Universidade Agostinho Neto

Faculdade de Engenharia

Departamento de Engenharia de Minas

AVALIAÇÃO DE KIPS E INDICADORES DE QUALIDADE NO PLANEJAMENTO DE LAVRA DE CURTO PRAZO

ESTUDO DE CASO: SOCIEDADE MINEIRA DE CATOCA

Autor: Manuel Kinanga Pedro

Orientador: PhD Nlandu Kinkela

Luanda, 2024

Universidade Agostinho Neto

Faculdade de Engenharia

Departamento de Engenharia de Minas

AVALIAÇÃO DE KIPS E INDICADORES DE QUALIDADE NO PLANEJAMENTO DE LAVRA DE CURTO PRAZO

ESTUDO DE CASO: SOCIEDADE MINEIRA DE CATOCA

Autor: Manuel Kinanga Pedro

Estudante Nº: 108881

Orientador: Msc.João Cláudio Cabeia

Trabalho de conclusão de fim de Curso apresentado como requisito complementar para obtenção do grau Licenciatura em Engenharia de Minas da Universidade Agostinho Neto, Faculdade de Engenharia

Luanda,2024

MESA DO JÚRI

PRESIDENTE DA MESA DO JÚRI

_____

OPOSITOR

_____

ORIENTADOR

_____

SECRETÁRIO

_____

APROVADO_____ / _____ / 2024

EPÍGRAFE

Nenhuma engenharia constrói carácter,

mas com carácter se faz os melhores engenheiros

." *(*Jordan Lucas*)*

DEDICATÓRIA

Aos meus pais (José Nkalumpuniko e Dielubanza Jorgina), meu avo Yamba Manuel e aos meus irmãos…

Ao meu amigo (Platini Pedro Paulo) em memória…

AGRADECIMENTO

A Deus, que pelo seu infinito amor me deu a vida, por me ter inspirado e ajudado na elaboração deste trabalho.

Aos meus pais, (José Nkalumpuniko e Dielubanza José), pelo amor, carinho, motivação, incentivo e por nunca desistirem de mim.

Ao meu avo, Yamba Manuel

A minha família no geral, aos meus irmãos, que sempre estiveram perto de mim ajudando de forma incessante, nos bons e maus momentos em especial a Lando Kinanga Pedro.

Ao meu orientador o Phd. Nlandu Nkinkela pela gentileza, paciência de ter aceitado trabalhar comigo e atendido o pedido de direcionar a elaboração desta monografia.

A todos docente do Departamento de Minas, pelos ensinamentos e conselhos que foram e sempre serão fundamentais para a minha vida profissional e não só.

Muito Obrigado!

ÍNDICE GERAL

EPÍGRAFE i

DEDICATÓRIA ii

AGRADECIMENTO iii

LISTA DE FIGURAS e Gráficos viii

lista de TABELAS ix

RESUMO x

ABSTRACT xi

Capítulo 1- GENERALIDADES 1

1.1 Introdução 1

1.2 Situação problemática 1

1.2.1 Problema 1

1.2.2 Hipóteses 2

1.3 Objectivos 2

1.3.1 Objectivo geral 2

1.3.2 Objectivos específicos 2

1.4 Justificativa 2

1.5 Delimitação do estudo 3

1.6 Metodologia de pesquisa 3

Capítulo 2- fundamentação teórica 4

2.1 Definição de termos e conceitos 4

2.2 Implementação da lavra 6

2.2.1 Lavra a céu aberto 6

2.2.2 Planejamento da lava 7

2.2.3 Sequenciamento de lavra 9

2.3 Custo operacional 12
2.4 Planejamento de lavra a curto prazo 13
2.4.1 Incerteza e riscos envolvidos numa lavra 14
2.4 Conceito de qualidade 15
2.4.1 A qualidade no planejamento de lavra 18
2.4.2 A importância do controle de qualidade dentro do planejamento da lavra 18
2.5 Kips e indicadores de qualidade 20
2.5.1 Kpis e indicadores de qualidade no contexto do planejamento da lavra 22
2.5.2 Índice de aderência, índice de cumprimento e de efectividade 24
2.5.3 Índice de aderência – (IA) 25
2.5.4 Índice de cumprimento – (IC) 26
2.5.5 Índice de efectividade – (IE) 26
CAPÍTULO 3: ESTUDO DE CASO 27
3.1 Historial da mina de catoca 27
3.2 Localização geográfica da mina 27
3.3 Vias de acesso 28
3.6 Relevo 30
3.7 Vegetação, Florestas e Fauna 30
3.8 Geomorfologia 31
3.9 Caracterização geológica 31
3.9.1 Geologia regional 32
3.9.2 Morfologia e estrutura interna do corpo mineralizado 33
3.10 Fácies do kimberlito camatchia 36
3.10.1 Técnicas de extração da chaminé Camatchia 36
3.10.2 Extração mecânica 36

3.10.3 Desmonte com explosivos 37
CAPÍTULO 4: ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS 38
4.1 Informações relacionada à Mina 38
4.1.1 Estrutura Orgânica do Departamento de Exploração Mineira 38
4.1.2 Objectivos do Departamento de Mineração 39
4.1.3 Planejamento e Operações 39
4.2 Resultado da produção 39
4.2.1 Indicadores de planejamento de lavra 40
4.3.1 Cálculos das áreas da movimentação de minério e estéril 41
4.3.2 Cálculos das áreas na movimentação de estéril/minério para frente A 42
4.4 Cálculos dos índices 44
4.4.1 Índice de Aderência 44
4.4.2 Índice de Cumprimento 44
4.4.3 Cálculos dos indicadores (aderência e cumprimento) para frente A 45
Cálculos dos indicadores (aderência e cumprimento) para frente B 45
4.4.5 Cálculos dos indicadores (aderência e cumprimento) para frente C 45
4.4.3 Índice de Efectividade 46
4.5 - Resultados das avaliações de indicadores de desempenho 46
4.5.1 Interpretação gráfica dos resultados obtidos no plano mensal 48
CONCLUSÃO 50
RECOMENDAÇÕES 51
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 52
ANEXOS 55

LISTA DE FIGURAS E GRÁFICOS

Figura 2. 1:Exemplo de uma cava final dividida em várias fases de operação. 10
Figura 2. 2:Planejamento de lavra na cadeia de producção mineral 10
Figura 2.3:A percepção da qualidade difere do consumidor para o produtor. 16
Figura 2. 4:Secção horizontal de um banco apresentando as áreas PNR, RP e RNP.... 24
Figura 2. 5:Perfil indicador de aderência (IA). 25
Figura 3. 1:Localização da Mina 27
Figura 3. 2:Aeródromo de Catoca 28
Figura 3. 3:Estrada nacional 28
Figura 3. 4:Rio Chicapa 30
Figura 3. 5:Vegetação da Região das Lundas 31
Figura 3. 6:Planície da Região das Lundas 31
Figura 3. 7:Chaminé de Catoca, Modelo Tridimensional 35
Figura 4. 1:Organograma do Departamento de Exploração Mineira 38
Gráfico 4. 1:Volumes planejadas e realizadas na movimentação de lavra 48
Gráfico 4. 2:Movimentação total da lavra planejado e realizado 48
Gráfico 4. 3:Índice de aderência e de cumprimento total 49
Gráfico 4. 4:Médias aritmética dos índices de aderência e de cumprimento mensais 49

LISTA DE TABELAS

Tabela 2. 1:Os três níveis de planejamento 8
Tabela 2. 2:A percepção de qualidade 17
Tabela 4. 1:Aderência de movimentação de lavra 40
Tabela 4. 2:Aderência de movimentação de lavra (PR; PNR & RNP) 43
Tabela 4. 3:Resumo dos cálculos na movimentação de lavra 47

RESUMO

O setor de mineração enfrenta desafios únicos devido ao alto risco e ao significativo investimento de capital. A medição do desempenho operacional nas diversas etapas do processo produtivo é essencial para a sustentabilidade e eficiência das operações. Este trabalho tem como foco a avaliação dos KPIs (Key Performance Indicators) e indicadores de qualidade no planejamento de lavra de curto prazo, com estudo de caso na Sociedade mineira de Catoca. A necessidade de medir o desempenho operacional no planejamento de lavra a curto prazo é crucial para minimizar riscos e otimizar o uso de recursos escassos. A correta avaliação dos KPIs e indicadores de qualidade permite a identificação de áreas de melhoria, a otimização de processos e a redução de custos operacionais. A pesquisa busca responder à seguinte pergunta: Como a avaliação de KPIs e indicadores de qualidade no planejamento de lavra de curto prazo pode melhorar o desempenho operacional e a eficiência produtiva na mineração, considerando os desafios de investimento e risco do setor?

A metodologia adotada combina abordagens qualitativas e quantitativas, utilizando procedimentos como estudo de caso, análise explicativa e pesquisa bibliográfica. A coleta de dados foi realizada por meio de visitas ao local, registros fotográficos, entrevistas com especialistas e análise de documentos e relatórios operacionais. Os resultados indicam que a Frente de Trabalho B é a mais eficiente, com uma aderência (IA) de 91,90% e um índice de cumprimento de 100%. A análise dos resultados demonstra a importância dos KPIs e indicadores de qualidade para um controle eficaz do planejamento de lavra a curto prazo, promovendo melhorias no desempenho e reduzindo custos

Palavras chave: Indicadores; plano mensal; lavra; Mina.

ABSTRACT

The mining sector faces unique challenges due to high risk and significant capital investment. Measuring operational performance across various stages of the production process is essential for the sustainability and efficiency of operations. This work focuses on evaluating KPIs (Key Performance Indicators) and quality indicators in short-term mine planning, with a case study on Sociedade Mineira de Catoca. The need to measure operational performance in short-term mine planning is crucial to minimize risks and optimize the use of scarce resources. Correct evaluation of KPIs and quality indicators allows for the identification of areas for improvement, process optimization, and reduction of operational costs. The research aims to answer the following question: How can the evaluation of KPIs and quality indicators in short-term mine planning improve operational performance and productive efficiency in mining, considering the sector's investment and risk challenges?

The adopted methodology combines qualitative and quantitative approaches, using procedures such as case study, explanatory analysis, and bibliographic research. Data collection was conducted through site visits, photographic records, interviews with experts, and analysis of documents and operational reports. The results indicate that Work Front B is the most efficient, with an adherence index (IA) of 91.90% and a compliance index of 100%. The analysis of the results demonstrates the importance of KPIs and quality indicators for effective control of short-term mine planning, promoting performance improvements and reducing costs

Keywords: Indicators; monthly plan; waste and ore; mine

CAPÍTULO 1- GENERALIDADES

1.1 Introdução

A indústria mineira, é uma operação que está associado a grandes riscos, quando analisada sob o ponto de vista de investimento. Nesta perspectiva é preciso métodos e técnicas que permitem recolher informações detalhadas sobre uma lavra, avaliando se o planejamento vá indo de acordo com aquilo que efectivamente está sendo executado.

O planejamento de lavra visa garantir a maximização da vida útil de uma mina, reduzir os custos de produção, atender as metas de movimentação de estéril, a relação estéril/ minério, e finalmente atender às especificações de qualidade do minério através da determinação das frentes e volumes a serem lavrados (CHIMUCO, 2010). Para se obter a qualidade estabelecida no plano de lavra, é necessário que a execução da lavra esteja em congruência com o planejado. Existem diferentes KPIs e indicadores de qualidade que podem ser relacionados dentro do planejamento de lavra a curto prazo, que pode-se usar para medir o sucesso ou desempenho de uma lavra, ou até para uma tomada de decisão. Por meio dos KPIs e indicadores de qualidade, é possível monitorar a aderência e cumprimento entre o planejado e realizado dentro do planejamento de lavra de curto prazo

1.2 Situação problemática

A necessidade de se medir o desempenho operacional nas etapas do processo produtivo é essencial na mineração, uma vez que este sector da economia possui capital de investimento escasso e de alto risco.

1.2.1 Problema

Assim, fez se a seguinte pergunta de partida:

Como a avaliação de KPIs e indicadores de qualidade no planejamento de lavra de curto prazo pode melhorar o desempenho operacional e a eficiência produtiva na mineração, considerando os desafios de investimento e risco do setor?

1.2.2 Hipóteses

- Conhecendo as massas do planejado e realizado, nos permite realizar os cálculos dos indicadores de qualidades, isto é, índice de aderência e índice de cumprimento.
- Tendo os valores percentuais do índice de aderência e índice de cumprimento do plano de lavra, a média aritmética desses dois indicadores, vai representar a efectividade da lavra, ou seja, índice de efectividade.

1.3 Objectivos

1.3.1 Objectivo geral

Avaliar os kips e indicadores de qualidade no planejamento de lavra de curto prazo

1.3.2 Objectivos específicos

- Conhecer planejamento de lavra.
- Conhecer kips e indicadores de qualidade.
- Determinar índice de aderência, índice de cumprimento e de efectividade no planejamento de lavra de curto prazo.

1.4 Justificativa

A grande quantidade de recursos financeiros devido ao alto custo de produção do sector e a concorrência do mercado internacional têm exigido melhorias contínuas em gestão dos empreendimentos mineiros, a fim de otimizar o investimento, diminuir o custo de produção e aumentar a produtividade, mantendo-se competitivos nesse mercado. De maneira geral, é crescente a busca por melhores formas de executar um trabalho que resultem em resultados econômicos e, devido a isso, estudos em gestão e otimização de recursos são cada vez mais necessários e desenvolvidos.

Os diversos índices de desempenho podem auxiliar no cumprimento dos planos de lavra. Os planos de lavra em algumas minas não são aderentes ou cumpridos como planejados. Assim não se cumprem as metas dos índices de desempenho do planejamento de lavra. Os índices de aderência e cumprimento de lavra medem a eficiência do sistema produtivo na mineração, sendo importantes ferramentas para verificar sectores da produção que estão com performance abaixo do planejado.

1.5 Delimitação do estudo

O presente trabalho de pesquisa delimitou se em fazer o estudo de avaliação de kips e indicadores de qualidade no planejamento da lavra de Curto prazo na Sociedade mineira de Catoca.

1.6 Metodologia de pesquisa

A metodologia utilizada para este trabalho segue a proposição de VERGARA (1997), que divide uma pesquisa em dois aspectos: quanto aos fins e quanto aos meios. Quanto aos fins, ele diz que uma pesquisa pode ser exploratória, descritiva, explicativa, metodológica, aplicada e intervencionista; e quanto aos meios, ela pode ser bibliográfica, documental, experimental, participativa, pesquisa de campo e estudo de caso.

Para este trabalho, quanto aos fins, à pesquisa é exploratória: visa proporcionar maior familiaridade com o problema com vista a torná-lo explícito ou a construir hipóteses. Envolve levantamento bibliográfico; entrevistas com pessoas que tiveram experiências práticas com o problema pesquisado; análise de exemplos que estimulem a compreensão. Quanto aos meios, ela é bibliográfica e utiliza a técnica de produção de uma referência ou modelo.

Segundo o mesmo autor (VERGARA, 1997), a pesquisa bibliográfica ou de fontes secundárias, abrange toda bibliografia já tornada pública em relação ao tema de estudo.

Neste trabalho, a pesquisa bibliográfica baseia-se nos conhecimentos adquiridos através de publicações, tais como artigos, dissertações, livros, revistas científicas entre outras obras.

CAPÍTULO 2- FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Definição de termos e conceitos

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

Mina: Área onde explora um bem mineral. Quando a jazida passa a ser aproveitada, ela se transforma em mina, podendo ser a céu aberto ou subterrânea;

Minério: é toda rocha constituída de um mineral ou agregado de minerais contendo um ou mais minerais valioso, que podem ser aproveitados economicamente;

Mineral: é todo corpo inorgânico de composição química e de propriedades físicas definidas, encontrado na costa terrestre;

Estéril: Rocha ou solo que ocorre dentro do corpo de minério ou externamente ao mesmo, sem valor econômico, que é extraído na operação de lavra para aproveitamento do minério;

Encaixante: Diz-se das rochas que se situam externamente ao corpo mineral, nas quais o mesmo se encaixou;

Rejeitos: Materiais que resultam como “sem valor econômico” no processo de concentração mineral;

Usina: Instalações industriais onde os minérios são cominuídos e concentrados, onde é realizado o beneficiamento do minério;

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

Planejamento de lavra: é atividade estratégica que visa sequenciar a lavra que será executada pela operação de mina, estabelecendo prioridades, mapeando riscos;

KPIs: são medidas de desempenho, quantificáveis, que empresas utilizam a fim de definir, avaliar e melhorar sua performance;

Avaliação: é um processo de coleta e análise de dados, tendo em vista verificar se os objetivos propostos foram atingidos;

PR: é definida como a movimentação de minério e estéril planejada e realizada dentro do plano;

PNR: é definida como a movimentação de minério e estéril planejada e que não foi realizada dentro do plano;

RNP: é definida como movimentação de minério e estéril realizada fora do plano;

Rocha: qualquer agregado natural constituído de um ou mais tipos de partículas minerais. As rochas são constituídas por um ou mais minerais;

Método de lavra: é designado como sendo a técnica de extração do material;

Frente: local onde a lavra será realizada;

Carregamento: consiste no enchimento da caçamba do material de desagregação, ou seja, que já sofreu o processo de desmonte, esse processo de carregamento deve ser efectuado pela lateral ou traseira do equipamento de transporte;

Prospeção: é a procura por depósitos minerais através de técnicas diretas ou indiretas como a geofísica e a geoquímica;

Exploração: define a extensão e o valor do corpo de minério por meio de técnicas semelhantes à prospeção;

Desenvolvimento: é a abertura do depósito mineral para produção;

Recuperação: é o último estágio da vida de uma mina, na qual a restauração desta se dá durante a remoção das construções, monitoramento e recuperação das barragens de rejeitos e pilhas de estéril;

2.2 Implementação da lavra

Projeto de mineração é um conjunto de estudos necessários à implantação de uma empresa de mineração. Estes estudos envolvem especialidades da Engenharia de modo geral, e a condução do projeto de mineração ao alcance dos objetivos esperados é fortemente dependente da correção com que os referidos estudos forem realizados, dando a cada um deles a importância que o mesmo necessita, (BORGES, 2013).

Para Hartman & Mutmansky (2002), a lavra é constituída por processos, ocupações e pela indústria voltada para a extração de minerais da crosta terrestre.

Segundo Curi (2014), o processo de lavra é dividido em 3 etapas, sendo elas: o planejamento da lavra, implantação e produção. A primeira etapa tem como objetivo avaliar e estudar as melhores condições operacionais, visando o melhor beneficiamento do minério, a maior redução de custos e o maior lucro.

Curi (2014), continua dizendo que, dentre as três etapas, o planejamento da lavra pode ser considerado como o mais importante e com maior risco associado em um projeto de mineração.

2.2.1 Lavra a céu aberto

A lavra a céu aberto se dá quando a extracção do minério ocorre em superfície. Esse método pode ser definido como um conjunto de operações no qual minério e o estéril são extraídos na superfície da terra, em que as camadas horizontais são retiradas das cotas maiores para as menores (BLOM; PEARCE; STUCKEY, 2018; ZHENG; JIANG, 2012).

COUTO (1990), define como explorações mineiras a céu aberto, aquelas em que os trabalhos de escavação são desenvolvidos ao ar livre e dirigidas a depósitos superficiais, ou aquelas em que os locais de trabalho não são constituídos por escavações cercadas em todo o seu perímetro pelos terrenos encaixantes.

O método de lavra a céu aberto é mais operativo em grandes volumes, que possuem grande extensão vertical e estão mais próximos da superfície, isso se dá em decorrência de alguns factores como: alto grau de mecanização, o qual menores custos operacionais, maior recuperação do depósito, flexibilidade, capacidade de produção, perda e diluição de minério, segurança, entre outros. (BAKTHAVAR; SHAHRIAR; ORAEE, 2008).

Quando se trata de um empreendimento mineral a céu aberto um dos grandes problemas é a falta de planejamento ou, em muitos casos, um planejamento inadequado, o que reflete na má escolha em relação aos equipamentos utilizados nas operações em geral dentro da mina, gerando desta forma, desperdícios, diminuição de produtividade, e consequentemente, custos elevados (SILVA, 2008).

Segundo Girodo (2005) o planejamento da lavra a céu aberto deve proceder concomitantemente com o seu estudo de viabilidade técnica-econômica. Quando se estabelece a escala de produção para o projeto mineiro definitivo, os estudos de lavra devem ser feitos de forma bastante detalhada para evitar possíveis erros futuros.

2.2.2 Planejamento da lava

O planejamento de lavra é o conjunto de estudos e metodologias que tem como principal objectivo elaborar um plano de extracção para alcançar metas pré-estabelecidas (DAGDELEN, 2001; HOLLOWAY; COWIE, 2019; MORLEY; SNOWDEN; DAY, 1999).

Sendo assim, ele configura uma programação de operações de exploração que visa atender às necessidades do mercado em consonância com os objectivos da empresa, reduzindo custos e maximizando lucro, considerando as restrições económicas, técnicas, operacionais, legais, e ambientais inerentes às actividades desenvolvidas (ARAÚJO; SOUZA, 2011; ARMSTRONG et al. 2021; WHITTLE, 2011).

Para os pesquisadores Lagos et al. (2020), Mokhtarian asl e Sttarvand (2018) e Rodovalho (2013), o planejamento de lavra é uma das actividades de maior relevância para a previsão do ritmo produtivo, elaboração de orçamentos e escala de produção.

De acordo com Câmara (2014), o planejamento de lavra além de definir em qual frente a operação será executada, determinando onde será realizada a operação, também estabelece quando e a quantidade de ROM que será lavrado.

Os três níveis de planejamento podem ser visualizados de modo resumido na tabela seguinte:

Tabela 2. 1:Os três níveis de planejamento

Fonte: Chiavenato (2000)

PLANEJAMENTO	CONTEÚDO	EXTENSÃO DE TEMPO	AMPLITUDE
Estratégico	Genérico, sintético e abrangente	Longo Prazo	Macro-orientado: Aborda a empresa como uma totalidade
Tático	Menos genérico e mais detalhado	Médio Prazo	Aborda cada unidade da empresa
Operacional	Detalhado, especifico e analítico	Curto Prazo	Micro-orientado: Aborda cada tarefa ou operação apenas

A lavra a céu aberto deve ser planejada e executada cuidadosamente, minimizando o custo unitário (Hartman e Mutmansky, 2002).

Alguns factores devem ser considerados no planejamento e projecto da cava, segundo Hartman e Mutmansky (2002) *apud* Atkinson (1983):

- **Naturais** e **geológicos** - como a topografia, características metalúrgicas, teores do minério, clima, ambiente, etc.
- **Econômicos** - como massa e teor do minério, custo operacional e investimento, taxa de produção, relação estéril minério, etc.
- **Tecnológicos** - como o limite da cava, altura e ângulos de taludes, equipamentos, etc.

Weber (1990), comenta sobre algumas regras básicas de movimentação de mina para o planejamento de lavra e operação de mina:

- Movimentar a quantidade mínima de material.
- Movimentar material por uma menor distância possível.
- Movimentar material com a menor quantidade de equipamento possível.
- Movimentar material com a menor quantidade de operador possível.
- Movimentar material com o menor tempo possível.

Segundo Câmara *et al*. (2014), a função do planejamento de lavra é decidir e identificar quando e onde devem ser lavrados minério ou estéril.

Rodovalho (2013) diz que o planejamento de lavra deve definir o ritmo produtivo do empreendimento mineral assim como a escala de produção, considerando a variabilidade dos eventos que influenciam a produtividade como disponibilidade física e a utilização dos equipamentos, distância média de transporte, tempo de manobra, carregamento, descarregamento, etc.

2.2.3 Sequenciamento de lavra

Conforme Chimuco (2010), o sequenciamento de lavra deve respeitar parâmetros como a REM - Relação Estéril/Minério-, níveis de pilha de estocagem, capacidade da mina e usina, restrições geotécnicas e restrições logísticas.

Halatchev (2002) comenta que do ponto de vista tecnológico o sequenciamento de lavra está diretamente relacionado a dois fatores – o espaço e o tempo. De posse da cava final, o próximo estágio é determinar uma sequência adequada de extração dos blocos, ou seja, como a mina será desenvolvida. Durante esse sequenciamento de lavra torna-se possível determinar a vida útil da mina pela razão da produção requerida. Sabe se que a cava ótima fornece a máxima lucratividade, entretanto essa cava não é lavrada de uma só vez. Assim, existem inúmeras formas de se realizar o sequenciamento tendo como cava final a cava gerada na otimização.

Técnicas de pesquisa operacional são bastante aplicadas para encontrarem rapidamente a sequência ótima de extração para as premissas requeridas. Dessa forma, durante o processo de sequenciamento de lavra a cava final é dividida em vários avanços operacionais (*pushbacks*) que posteriormente são divididos ano a ano.

Durante a fase de sequenciamento, é planejada a estratégia de extração, ou seja, se a produção de minério, os teores e a relação estéril/minério (REM) serão crescentes, decrescentes ou constantes durante os anos de operação.

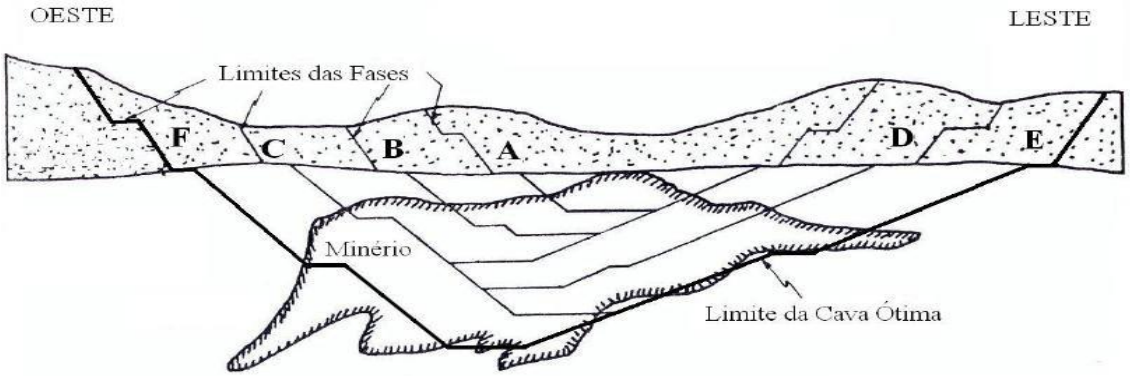


Figura 2. 1: Exemplo de uma cava final dividida em várias fases de operação.

Fonte: Hustrulid & Kuchta (1995).

Para Curi (2014), o planejamento de lavra envolve a correlação entre os recursos e a determinação de custos, com base no avanço da lavra, dentro de um período de tempo, sendo os períodos definidos como curto, médio e longo prazo.

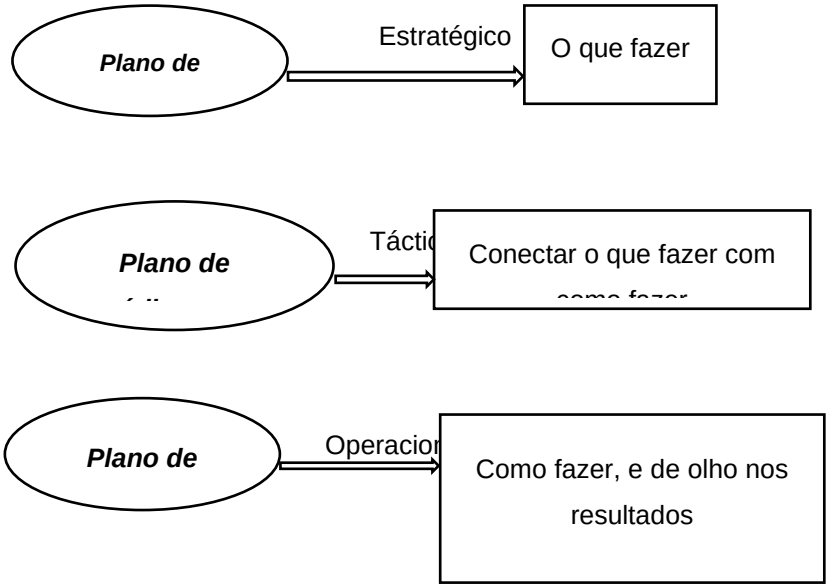


Figura 2. 2: Planejamento de lavra na cadeia de producção mineral

Fonte: vale(2014)

Planejamento de curto prazo tem como função a elaboração de lavra para as operações da mina, dentro de contextos temporais diversificados, como diário, semanal, mensal, semestral e anual, segundo (Chimuco,2010).

Busca-se com esse planejamento de curto prazo uma operação eficaz de modo a atender parâmetros como disposição de estéril, controle de qualidade de produtos, nível de pilhas de ROM, programação de embarques, topografia e aderências geométricas, infraestrutura de mina, entre outros.

Planejamento de médio prazo, conforme o IBRAM (1996) - Instituto Brasileiro de Mineração -, objetiva-se a continuidade da atividade de lavra, baseado nos planos de longo prazo, levando em conta os estudos técnicos e econômicos desenvolvidos no mesmo.

O planejamento de longo prazo inicia-se a partir da geração da cava ótima, ou seja, trata-se de um planejamento macro, que sequencia a extração em uma escala de tempo maior, definido como 10 anos ou mais, a depender do nível de detalhamento dos planos da empresa.

O principal foco do longo prazo é justamente acompanhar toda a atividade minerária de determinada reserva, conforme Hartman e Mutmansky (2002). Já para Souza (2013), o planejamento de longo prazo envolve o sequenciamento de lavra até a cava final.

Inúmeras são as variáveis que são levadas em consideração para melhor precisar o detalhamento desses planos de lavra, como minério extraído, tamanho da reserva, frota disponível, tamanho da usina, entre outros. em que os planos que possuem uma maior escala temporal, ou seja, aqueles de longo prazo, são utilizados como norte para os planos de médio prazo, assim como estes são norteadores dos planos de curto prazo.

Os planos de curto prazo buscam ser aderentes aos planos de médio e longo prazo. Essas aderências serão melhor abordadas e exemplificadas nos próximos capítulos, de modo a esclarecer e sugerir indicadores a serem utilizados dentro das minerações. Também serão apresentados os cálculos de índice de cumprimento, índice de aderência e índice de efectividade.

Sendo assim, com o objetivo de restringir o tema, o presente trabalho será focado no planejamento de lavra de curto prazo. Salienta-se que a existência de um plano de lavra referente a um período não exclui a utilização dos demais dentro do planejamento de mina.

Em verdade, todos os planos possuem uma integração entre si, equiparando-se a uma hierarquia.

Sendo dividido em duas ou três etapas, o planejamento é fundamental para qualquer empresa, independente do tipo de mineralização. Ou seja, essas etapas de planejamento devem ser realizadas de forma sequencial no qual, primeiramente dá-se valor ao empreendimento, posteriormente orienta-se as decisões de avanço e, por fim, coloca-se em prática os planos dentro da realidade operacional do empreendimento.

Levou-se em consideração que o plano de lavra de curto prazo exige um maior monitoramento e acompanhamento dos indicadores de qualidade, uma vez que este é responsável por fornecer o minério em características adequadas para a usina e garantir que as frentes de lavra estejam seguras e acessíveis para que a operação possa executar o trabalho de lavrar o minério, bem como realizar as operações unitárias necessárias,(Souza,2013).

2.3 Custo operacional

Waleski (1990) define custo operacional como todos os custos que variam com a taxa de produção e outras condições como custo de mão de obra, matéria-prima, energia, combustível e despesas gerais.

Os custos operacionais são definidos utilizando produtividade de equipamento e determinando o número de deslocamentos necessários para movimentar certo volume com suficiente mão de obra para cobrir os deslocamentos necessários na operação (Zimmer, 1990).

Torries (1998) define custo operacional direto como custos para produzir o minério e entregar ao cliente. A composição desses custos se dá por mão de obra, energia, materiais e suprimentos, transporte, *royalties*, impostos e seguros.

Montenegro (2007) aborda custo específico ou unitário afirmando que este representa os gastos diretos que envolvem a produção, sendo medido como gastos sobre quantidade em um determinado tempo. Em mineração o custo unitário normalmente é medido em gasto por tonelada.

Perfuração, desmonte, carregamento, transporte, estradas, disposição de estéril, britagem, manutenção e administração são funções do custo operacional. Cada função

consistindo no trabalho operacional, manutenção, peças e consumíveis e despesas gerais de mina (Zimmer, 1990).

Segundo Hartman e Mutmansky (2002), as estimativas dos custos de lavra devem levar em conta a taxa de produção, a taxa de movimentação, as condições geológicas e o desenvolvimento necessário para abrir e manter os custos de suprimentos.

Hartman e Mutmansky (2002) afirmam que confiáveis estimativas de custo geralmente implicam estudos detalhados de equipamentos, suprimentos e força de trabalho necessários no sistema de lavra proposto para operar a mina. Essas estimativas são usadas para determinar o custo por tonelada da extração.

Hustrulid e Kuchta (2006) comentam que há diferentes tipos de custos na mineração e eles são divididos em três categorias: capital, operacional e administrativo. Os custos operacionais podem ser reportados como perfuração, desmonte, transporte, etc.

Algumas minas consideram o custo de manutenção como operacional. Alguns custos são fixos e não dependem da produção, outros são variáveis, pois são dependentes da produção. Ricardo e Catalani (2007) comentam que os custos de equipamentos em operação são custos variáveis e são proporcionais às horas de uso. São consideradas despesas operacionais: combustível, lubrificante, filtros, mão de obra, pneus e partes rodantes.

2.4 Planejamento de lavra a curto prazo

O planejamento curto prazo integra os aspectos operacionais a começar dos planos de longo prazo de forma semestral, trimestral, mensal e semanal (Souza, 2013; Rodovalho, 2013).

O planejamento de curto prazo, dentro da atividade de mineração, é considerado aquele que estabelece as operações a nível micro, podendo ser em escala semestral, mensal, semanal e diário.

Rodovalho (2013, p.19) menciona que, em etapas operacionais de empreendimento mineiro existem as atividades de planejamento de lavra de curto prazo que possui foco em um horizonte máximo de um ano. Contudo, os planos anuais, que orientam as atividades de curto prazo, devem ser sequenciados em trimestres, meses e semanas, desempenhando forte interface com setores operacionais do empreendimento.

Segundo Thorley (2012), o principal objetivo do planejamento de lavra a curto prazo é atender a demanda da Usina de Tratamento de Minérios, respeitando-se os teores pré-determinados no Planejamento de Longo Prazo. Da mesma forma que o plano de lavra de longo prazo é uma continuidade do plano estratégico, o plano de curto prazo é um conjunto de planos detalhados decorrentes do plano de longo prazo.

Freitas (2015) afirma que “um planejamento de longo prazo inadequado ou pouco detalhado não raramente pode ser substituído ou complementado por um plano de curto prazo, porém um plano de curto prazo não executado devidamente pode acarretar em implicações negativas significativas para o sucesso da mina”.

O plano de curto prazo é com frequência chamado de plano de produção ou ainda de plano de operação, devido sua função ser dividir em etapas de operação o processo de produção. Esse planejamento compreende desde o planejamento diário até os doze ou dezoito meses seguintes, dependendo do projeto. E à medida que se concluem as etapas iniciais do cronograma, maiores níveis de precisão e exatidão são exigidos, principalmente com relação a manutenção dos equipamentos, avanço da lavra e em relação a qualidade dos materiais, tanto para o minério-bruto (do inglês, *Run-Of-Mine* ou ROM), quanto para os produtos finais.

Segundo Freitas (2015), as principais fases do planejamento de lavra a curto prazo são:

- Plano de orçamento anual;
- Plano trimestral de lavra;
- Plano mensal de lavra;
- Plano semanal de lavra;
- Plano diário de lavra.

2.4.1 Incerteza e riscos envolvidos numa lavra

É fato conhecido que a mineração é tipicamente um empreendimento que demanda níveis importantes de investimento, além de apresentar significativos riscos relacionados a incertezas diversas. Em contrapartida, pode oferecer recompensas extraordinárias para empresas, acionistas e a sociedade. Com o intuito de maximizar estas recompensas ao longo da vida útil da mina, um planejamento estratégico de lavra consistente necessita ser sistemática e cuidadosamente desenvolvido, incorporando e avaliando de forma apropriada as incertezas, e consequentemente os riscos, potencialmente envolvidos, de

modo a assegurar que o empreendimento de mineração possa ser conduzido segundo as expectativas originalmente projetadas (Silva, 2008, p. 1).

Silva (2008) afirma em seu trabalho que um planejamento estratégico de lavra eficiente é de grande importância para garantir o maior retorno e solidez de todo o investimento aplicado. Além de listar os principais riscos estratégicos que devem ser avaliados e controlados em um projeto de mineração da seguinte forma:

Riscos geológicos: mais comumente relacionados à contabilização de teores e tonelagens, estimados em inventários e relatórios das reservas lavráveis, ou remanescentes;

Riscos financeiros: relacionados às projeções de preços dos produtos e custos fixos e variáveis, durante a vida útil do empreendimento;

Riscos metalúrgicos: relacionados à representatividade dos modelos projetados para a recuperação do minério na usina de beneficiamento;

Riscos geomecânicos: relacionados aos controles do maciço em resposta à lavra, podendo potencialmente gerar condições inseguras, encarecimento por retrabalho e reabilitação, maiores diluições e menores recuperações da lavra do minério, além de atrasos na produção;

Riscos de engenharia: relacionados às falhas e ineficiências na concepção e implementação de sistemas, de modo a não alcançar as metas inicialmente projetadas;

Riscos ambientais: relacionados ao não cumprimento de metas e premissas acordadas com os órgãos de fiscalização ambiental competentes;

Riscos sócio-políticos: relacionados a contextos locais específicos, onde podem ocorrer restrições à lavra, em diversos níveis e períodos, principalmente por motivos culturais, sociais e políticos;

Riscos administrativos e gerenciais: relacionados à perda de controle, monitoramento e referência que conduzem ao não cumprimento de normas e objetivos pré-estabelecidos.

2.4 Conceito de qualidade

O termo qualidade, segundo Campos (1992), é o produto ou serviço que atende perfeitamente às necessidades do cliente no tempo, forma, seguro, acessível e confiável. Ainda segundo Campos (1992), controle significa localizar o problema, analisar e padronizar o processo, estabelecendo itens de controle com o objetivo de atender às reais

necessidades dos clientes, técnicas estatísticas foram desenvolvidas para controlar a qualidade.

Segundo Paladini (2008), o conceito de qualidade muda com tempo. Isso faz com que organizações e pessoas invistam constantemente em conceitos de qualidade que chamam de modernos, novos, atuais ou contemporâneos. A dependência do conceito da qualidade em relação ao momento presente aflige quem atua em sectores produtivos, particularmente nos mais productivos, gerando uma importante prioridade em suas acções: o empenho pelas inovações em productos, processos ou métodos de acção. A qualidade tem seu papel cada vez mais presente nas organizações, o que torna importante que se tenha um conceito que seja adequado às necessidades reais de cada organização.

Walter A. Shewhart reconheceu a variabilidade como inerente aos processos industriais, utilizando técnicas estatísticas para o controle de processos. São criados conceitos como "Risco do produtor e consumidor, probabilidade de aceitação, fração defeituosa tolerável e nível de qualidade aceitável." (PALADINI, 1995).

Qualidade também pode ser definida como a capacidade do produto em atender as necessidades do consumidor final da cadeia produtiva.

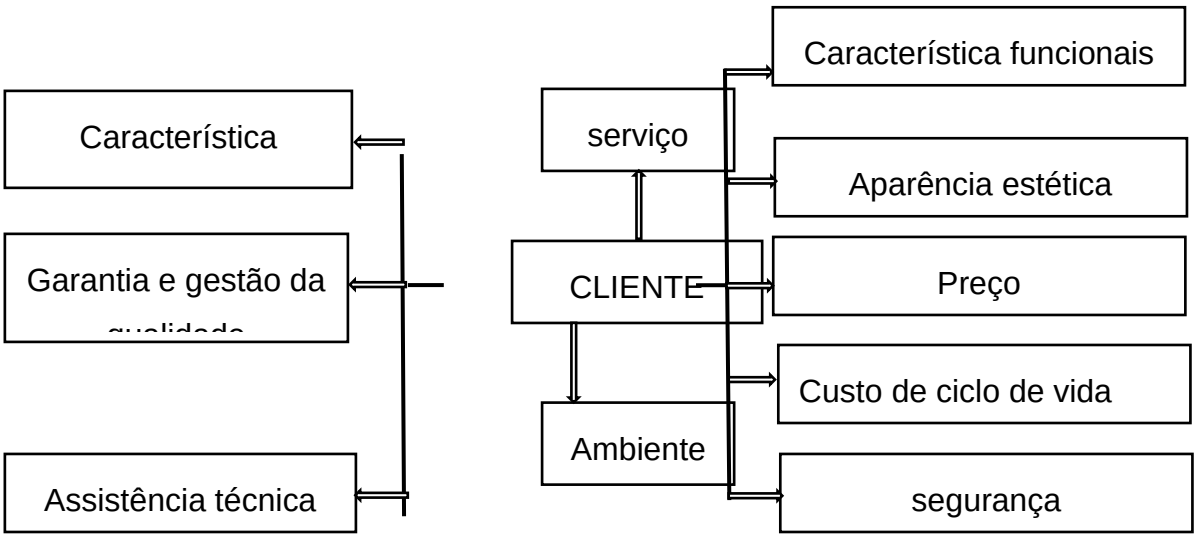


Figura 2.3:A percepção da qualidade difere do consumidor para o produtor.

Fonte: Ramos Pires, A., Qualidade, Sistemas de Gestão da Qualidade, Edições Sílabo, 3ª ed., 2007

Segundo Garvin (2002, p. 49) na visão transcendente, qualidade é o sinônimo de “excelência inata”. É não só absoluta, como também universalmente reconhecível, uma marca de padrões irretorquíveis e alto nível de realização.

Segundo Maximiano (1995, p. 160), A qualidade é um problema de todos e abrange todos os aspectos da operação da empresa, ou seja, a qualidade é uma questão sistêmica. Garantindo-se a qualidade do sistema, garante-se a qualidade dos produtos e serviços. Esta mudança de filosofia significa a evolução para a era da qualidade total.

Segundo Costa (2013; Pag 06), qualidade é uma questão intemporal, que sempre existiu e sempre vai existir, exatamente por ser um valor humano. E é por isto que a QUALIDADE é indispensável para o sucesso das organizações, que têm de se diferenciar umas das outras para chamar a atenção dos consumidores, e não é apenas através de produtos com níveis elevados de qualidade que o conseguem, pois, todas as empresas têm acesso à mesma tecnologia e ao mesmo conhecimento.

A dificuldade que se coloca às empresas é o que fazer para conseguir satisfazer os seus clientes quando o seu entendimento sobre o que é qualidade é tão variável.

Campos (1992), define a qualidade como algo:

Tabela 2. 2:A percepção de qualidade

Fonte: Junior (2010; pag 28)

A	**Que entende perfeitamente…**	**Projecto perfeito**
B	**De forma confiável…**	**Sem defeitos**
C	**De forma acessível…**	**Baixo custo**
D	**De forma segura…**	**Segurança do cliente**
E	**No tempo certo…**	**Entrega no prazo certo, no local certo e quantidade certa**

Percebe-se, assim, inúmeras definições de qualidades, contudo, todas convergem para um ponto em comum, na qual aborda o conceito de qualidade centrado na entrega de um produto que atenda ao planejado, dentro das expectativas do cliente.

2.4.1 A qualidade no planejamento de lavra

A qualidade deve ser considerada do ponto de vista do usuário, sendo que uma das suas definições se refere aquilo que melhora o produto do ponto de vista do cliente. Alguns aspectos da qualidade são identificados com facilidade, como o grau de funcionalidade, de confiabilidade e o tempo decorrido sem que o produto apresente algum defeito. (Aguayo, 1993).

Existe, portanto, uma diferença entre planejamento e o controle de qualidade, pois o planejamento trata da fixação de metas e do estabelecimento dos meios necessários para alcançar essas metas. O controle da qualidade trata da execução dos planos – da condução das operações de forma a atingir as metas e inclui a monitoração das operações, de forma a detectar as diferenças entre o desempenho real e as metas, também chamadas de variâncias e inclui acções para restaurar o padrão da operação, caso apareçam variâncias. (Juran, 2009).

Visando assim definir acerca da qualidade, dentro do planejamento de curto prazo, deve-se ter em vista não só a entrega do produto final, mas para uma lavra viável, deve-se levar em consideração o que foi planejado pela gerência de planejamento de mina, para que não haja desvios inesperados. (Souza, 2022).

Dessa forma, para fins do presente trabalho, estabeleceu-se como definição de qualidade a execução do plano de lavra de curto prazo, de forma segura, visando a entrega de uma lavra rentável, produtivo, dentro das métricas dos processos, consolidando os principais KPIs e indicadores de qualidade na prática operacional, atendendo ao que foi planejado, de forma a cumprir as tarefas como: o que será lavrado, onde, quando e a qualidade do que será lavrado, além de planejar as retomadas das pilhas de minério. (Souza, 2022).

2.4.2 A importância do controle de qualidade dentro do planejamento da lavra

Na lavra, o controle de qualidade tem a função de garantir que o material produzido esteja de acordo com os padrões de qualidade da empresa (Juran 2009). Esse processo visa identificar e medir diferenças entre o desempenho atual de uma lavra com o que foi

planejado, por meio do monitoramento do minério, comparações e planejamentos (Faria Jr. 2010).

Os métodos de controle de qualidade podem variar de acordo como particularidades de cada empreendimento como o tipo de minério, modificações no entendimento do corpo mineralizado, modificações e/ou melhorias nas operações e nos equipamentos utilizados, fatores externos e ambientais, dentre outros. A presença dessas particularidades em cada empreendimento, torna o controle de qualidade um processo dinâmico que precisa constantemente atualizado, por meio de observações e adaptações (Juran, 2009).

Juran (1990) relata que o controle da qualidade avalia o desempenho da qualidade real, comparando-a com as metas definidas, além de atuar em eventual diferença. Dessa forma, um controle de qualidade quando bem estabelecido, possui parâmetros com conceitos e métricas bem definidas. Essas metodologias possuem finalidade para acompanhamento do desempenho de um determinado processo e/ou avaliar a conformidade dos seus produtos.

Souza, (2022) Tratando-se de plano de lavra de curto prazo, em suas diversas escalas, tomando-se como exemplo o plano trimestral, mensal, semanal e diário, o controle de qualidade consiste em monitorar as atividades de lavra realizadas pela operação de mina, de forma a garantir que os planos desenhados e calculados, com as suas devidas estimativas, obtenham aderências maiores ou próximas daquelas que se tem como ideal, dentro das possibilidades, bem como da disponibilidade de equipamentos, mão de obra, tecnologia, corpo técnico, condições inerentes ao processo, capacidade de operação.

O controle de qualidade ainda tem como atribuição, a previsão, antecipação e mitigação de qualquer desvio do planejado, de forma a minimizar ou afastar os impactos na qualidade do produto.

Dessa forma, mostra-se de suma importância o técnico de qualidade, que é o profissional que suporta as operações de mina, de forma a diagnosticar, atuar e corrigir eventual anomalia que surja. Nesta senda, juntamente com o engenheiro responsável pelo plano de lavra de curto prazo, em escala diária, estes profissionais devem visualizar a melhor forma de corrigir a situação e realizar a tomada de decisão em tempo hábil, de forma a não prejudicar a qualidade do minério que será processado na usina nem impactar nos demais processos. (Souza, 2022).

Salienta-se que o controle de qualidade não se mostra importante somente no plano de curto prazo, fazendo-se necessário em todos os aspectos operacionais. Um controle de qualidade que garante a execução do plano de lavra de curto prazo o mais próximo do ideal, via de consequência, entrega um produto final dentro da qualidade especificada, satisfazendo os interesses do consumidor final. Assim, o controle de qualidade é imprescindível dentro das atividades de mineração, assim como qualquer outro ramo de empreendimento. (Souza, 2022)

Ele mostra-se imprescindível dentro do planejamento de curto prazo, uma vez que monitora por meio dos indicadores o quão aderente a execução da lavra está ao planejado.

2.5 Kips e indicadores de qualidade

A palavra indicador tem como significado aquilo que serve de guia. Dessa forma, KPIs e indicadores de qualidade tem como função servir de guia para a equipe técnica responsável pelo controle de qualidade de modo a permitir o acompanhamento de desempenho e performance das atividades do empreendimento (Souza, 2022).

Para Martorelli (2013), Tonchia e Quagini (2010) e Weber e Thomas (2005), medir performance é entender o passado, o presente e onde se quer chegar no futuro.

Segundo Caldeira (2012), para melhorar a gestão é necessário medir o desempenho da empresa. A medição possibilita ações corretivas, fornecendo uma indicação de progresso (Holanda, 2007).

Com frequência os indicadores são a porcentagem de desvio e a porcentagem de cumprimento real (Anabitarte, 2001).

Rezende (2016) aborda quatro tipos de indicadores de desempenho:

- Indicador de Resultado (**Result Indicator – RI*)***: cria uma perspectiva de sucesso;
- Indicador de Desempenho (**Performance Indicator – PI*)***: sugere o que deve ser feito;
- Indicador-Chave de Resultado (**Key Result Indicator – KRI*)***: sugere algo como “o que deve ser feito” para satisfazer a perspectiva de sucesso;
- Indicador-Chave de Desempenho (**Key Performance Indicator – KPI*)***: sugere o que deve ser feito para um ganho significativo de produtividade.

Segundo Nader (2013) *Key Performance Indicators* (KPIs) são indicadores que servem

para medir, gerenciar e validar parâmetros que possam ser quantificados para o monitoramento de sectores operacionais, tornando assim uma maior facilidade da integração da cadeia de valor, mais especificamente no caso da mineração a cadeia de valor mineral (CVM), uma vez que estes são estabelecidos, eles mostram o quanto um determinado sector está em risco, ou se está dentro das normalidades. Para que se possa obter um gerenciamento adequado, deve-se obter ferramentas para medir e controlar.

De acordo com Nader (2012), os KPI's são ferramentas que medem, gerenciam e auxiliam na validação de parâmetros a serem quantificados e avaliados nos sectores operacionais

Segundo Lima (2005), indicador de desempenho é um conjunto de medidas que fornece informações sobre o desempenho de processos e produtos, auxiliando na tomada de decisões. Os indicadores precisam ser selecionados com cuidado, pois são essenciais para conseguir avaliar o desempenho de um processo.

Monitorar o desempenho de uma empresa é essencial. Os indicadores de desempenho têm a função de medir os resultados de uma empresa para que possam comparar as metas aos possíveis desvios de performance (Caldeira, 2012).

Neste caso falando da diferença Souza (2022) no seu trabalho abordou que, existe uma diferença entre KPIs e indicadores de qualidade, posto que aquele é tomado a partir da detecção de indicadores que são tidos como mais críticos do processo organizacional, possuindo uma maior influência nas tomadas de decisões e no desempenho, ou seja, essas variáveis métricas possibilitam promover melhorias e identificar desvios no processo.

Vale mencionar que indicadores de qualidade e KPIs são apresentados em formato de média, percentagem, taxa, razão, já que possuem um significado de dados comparados, conforme Peterson (2006).

Para Martins e Costa Neto (1998, p.306) "os indicadores de desempenho são propostos para medir o desempenho em áreas-chave do negócio: clientes, mercados, produtos, processos, fornecedores, recursos humanos e comunidade e sociedade.

Indicador de desempenho é um dado numérico ao qual se atribui uma meta e cuja tradução periódica é submetida à atenção dos gestores de uma organização (FNQ, 2012). Em publicação no ano de 2015, a Fundação Nacional da Qualidade - FNQ trouxe o conceito de indicadores de forma mais abrangente, como sendo "uma informação quantitativa ou

qualitativa que expressa o desempenho de um processo, em termos de eficiência, eficácia ou nível de satisfação e que, em geral, permite acompanhar sua evolução ao longo do tempo e compará-lo com outras organizações". Para a Business Process Management Professionals International - ABPMP (2013), indicadores de desempenho medem os processos para verificar seu rendimento em termos de extrapolação de tempo, custo, capacidade e qualidade. Dessa forma, indicadores de qualidade, bem como KPIs buscam avaliar o desempenho das atividades dentro de um empreendimento, independente do ramo de atuação. (Souza, 2022)

Segundo Rodrigues (2013), existem KPI que envolvem equipamentos de mina. A reconciliação da distância média de transporte (DMT) é um deles. Esse KPI mede a eficiência entre a distância média de transporte planejada com a distância média de transporte executada para a movimentação de minério e estéril fornecida pelo despacho eletrônico. Outros importantes KPI são as velocidades dos caminhões e o consumo de combustível.

Nader (2012) também apresenta diversos indicadores de desempenho de acordo com as etapas do processo produtivo de mineração. Entre os KPIs mapeados, na etapa de pesquisa mineral, apresentou indicadores como o percentual de atendimento do plano anual de prospecção, aderência ao orçamento.

Quanto em relação à etapa de beneficiamento, mapeou indicadores como consumo específico por insumo, recuperação mássica, recuperação metalúrgica. Um estudo detalhado de KPIs e indicadores de qualidade pode ser encontrado em Costa (2015) e Nader (2012).

Segundo (Souza, 2022) no seu artigo salienta que, com base na definição de KPIs e indicadores de qualidade, fica a cargo da equipe técnica responsável por cada área da empresa estabelecer, dentro da metodologia utilizada, quais indicadores serão adotados e quais serão considerados críticos.

2.5.1 Kpis e indicadores de qualidade no contexto do planejamento da lavra

Nader, Tomi e Passos (2012) discorrem sobre a relação entre o KPI e os benefícios da integração dos processos produtivos que ajudam na tomada de decisões no momento de investir. Medindo o impacto por meio do KPI obtêm-se os benefícios da integração da cadeia de valor mineral.

Segundo Câmara et al. (2014), nem sempre o que é planejado para a lavra é cumprido e ocasionalmente, divergências entre o planejamento de lavra e a produção ocorrem. Uma forma de aferir os resultados de produção contra os resultados previstos pelo planejamento de lavra é comparar as estimativas de modelagem com a medição do executado das massas e teores de minério estimados no modelo de blocos da jazida, com as massas e teores lavrados e beneficiados na usina.

No contexto do PMBOK (2014), no gerenciamento de qualidade do projeto, gerenciar qualidade significa a busca pela minimização da variação e entregar resultados que cumpram requisitos definidos.

Essa definição apresentada pelo guia do PMBOK adere a premissa adotada no presente trabalho a respeito do que foi considerado qualidade dentro do planejamento de lavra de curto prazo, uma vez que se busca uma variação mínima da execução da lavra em relação ao que foi planejado, entregando resultados mais próximos aos ideais, salientando que resultado ideal é aquele que foi planejado pela equipe técnica. (Souza, 2022)

Para presente trabalho, os KPIs e indicadores de qualidade que serão abordadas em seguida foram considerados alguns dos mais relevantes dentro de um empreendimento mineiro, que são eles:

- Índice de Aderência
- Índice de Cumprimento
- Índice de Efectividade

2.5.2 Índice de aderência, índice de cumprimento e de efectividade

Ao se realizar um plano de lavra, espera-se que este seja cumprido pela equipe de operação de forma integral. Entretanto, devido às dificuldades e incertezas citadas no capítulo anterior nem sempre é possível à realização por completo do planejamento efetuado. Conforme apresentado pela Figura 4, ao se sobrepor a topografia inicial com as superfícies planejada e realizada em uma seção horizontal, podem-se distinguir três áreas distintas (SOUZA, 2013):

Área planejada não realizada (PNR);

Área realizada planejada (RP);

Área realizada não planejada (RNP);

Logo, para que o planejamento seja cumprido de forma efetiva deve-se buscar a minimização das áreas RNP e PNR, maximizando consequentemente a área RP.

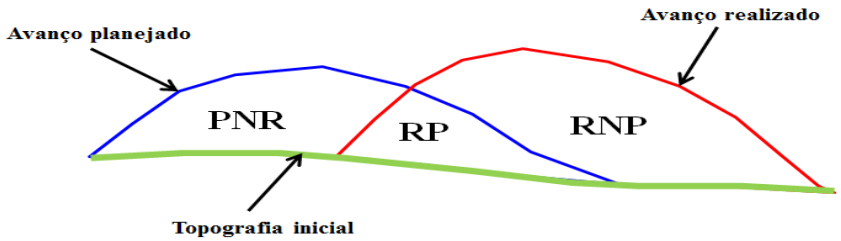


Figura 2. 4: Secção horizontal de um banco apresentando as áreas PNR, RP e RNP.

Fonte: Rafael Alvarenga De Souza

Essa visão em planta é fundamental para o entendimento do funcionamento da rotina desenvolvida. Entretanto, em uma mina não é lavrado apenas um banco para que se possa analisar a área lavrada, mas sim, vários bancos simultâneos. Por isso, ao se sobrepor as áreas (PNR, RP e RNP) de cada banco obtém-se o valor do volume correspondente a cada uma das três partes. Souza (2013)

Segundo Souza (2013), comparar o plano de lavra com sua execução é importante para o aprimoramento dos planos seguintes. Quando um plano de lavra não pode ser executado como planejado tem-se uma decisão intuitiva de alterar o plano e, possivelmente, a estratégia do longo prazo é prejudicada.

Alguns indicadores que mostram a real reconciliação de lavra e demonstram se o planejamento está ou não sendo seguido são o índice de aderência, o índice de cumprimento e a efetividade de lavra. (Câmara et al. ,2014).

2.5.3 Índice de aderência – (IA)

Índice de aderência demonstra a taxa de desvio da operação de lavra em relação ao que foi representado no plano de lavra. É obtido dividindo a massa total planejada e realizada (PR) pela soma deste e o realizado não planejado (RNP). Esse índice mede o desvio da operação de lavra. (Câmara *et al*. ,2014):

$$\mathbf{IA} = \frac{\mathbf{PR}}{(\mathbf{PR} + \mathbf{RNP})} \times \mathbf{100\%}$$

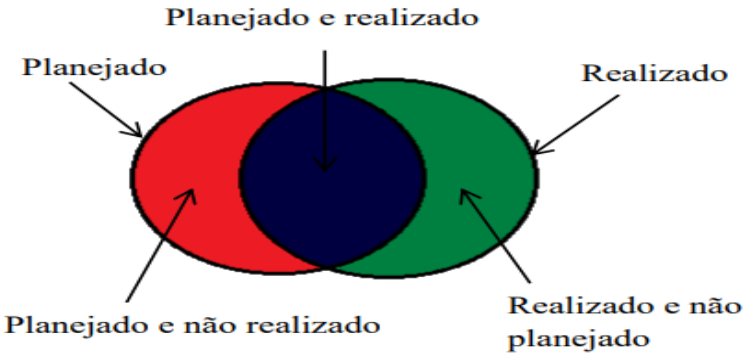


Figura 2. 5: Perfil indicador de aderência (IA).

Fonte: CÂMARA (2013)

2.5.4 Índice de cumprimento – (IC)

Índice de cumprimento demonstra o quanto do total planejado foi devidamente executado. É obtido dividindo a massa planejada e realizada pela soma deste e o planejado não realizado (PNR). Mede-se por esse índice o quanto foi executado como consequência do planejado. (Câmara *etal*. ,2014):

$$\mathbf{IC} = \frac{\mathbf{PR}}{(\mathbf{PR} + \mathbf{PNR})} \times \mathbf{100}\%$$

2.5.5 Índice de efectividade – (IE)

O índice de efetividade (IE) mede a efetividade da lavra, que é a média aritmética entre o IA e o IC (Câmara *et al*. ,2014):

$$\mathbf{IE} = \frac{\mathbf{IA} + \mathbf{IC}}{\mathbf{2}}$$

CAPÍTULO 3: ESTUDO DE CASO

3.1 Historial da mina de catoca

Entre 1965 e 1975, acontece a descoberta do Kimberlito de Catoca. Durante a década de 80 foram executados os estudos de viabilidade. Já nos primeiros anos da década de 90 acontecem a concessão dos serviços, por parte do Governo angolano, e a estruturação da empresa (Sociedade Mineira de Catoca, Lda.). A implantação, propriamente dita, acontece em 1995. As obras se estendem até 1997 – quando começa a produção. E, em Janeiro de 1999, é atingida a marca de 2.000.000 de quilates produzidos. Em 2008 Catoca removeu 11 milhões de m3 de estéril e extraiu 10,3 milhões de toneladas de minério com recuperação de 6 milhões de quilates, totalizando 56,6 milhões de m3 de estéril e 56,68 milhões de toneladas de minério tratado com recuperação de 40 milhões de quilates no período de 1997-2008.

3.2 Localização geográfica da mina

Geograficamente, a sociedade mineira de Catoca situa-se no Nordeste da República de

Angola, na parte noroeste da província da Lunda Sul, e esta por sua vez faz fronteira a Norte com a província da Lunda Norte, a Sul com a província do Moxico, a Oeste com Malanje e Leste com a República Democrática do Congo. A SMC situa-se a 35 km de Saurimo (Capital da província da Lunda Sul), e cerca de 949 km (EN230) de Luanda. O território da área de concessão da SMC encontra-se dentro da folha topográfica 121-SG34 (Escala 1:1000000) do Cadastro Topográfico do Estado, numa região situada nos limites entre as Lundas Norte e Sul, e ocupa uma área de 340 km2, delimitada pelas seguintes coordenadas geográficas; Longitudes **Este (X)** 20°15´00´´ - 20°24´15´´; **Latitudes Sul (Y)** 9°18´00´´ - 9°29´20´´ ; **Altitudes (Z)** 937 – 1005 m.

Figura 3. 1: Localização da Mina

Fonte: Relatório Catoca (2001)

3.3 Vias de acesso

A mina é acessível por estrada asfaltada ou por via aérea, quer via Saurimo, quer via Lucapa.

Por via aérea, utilizam-se aviões de grande e pequeno porte que aterram, respetivamente no aeroporto de Saurimo e aeroporto da mina de Catoca.

Figura 3. 2: Aeródromo de Catoca

Fonte: Carlos Lemos; 2009

Por via terrestre, através das estradas nacionais nº 180 que liga as cidades de Saurimo ao Dundo, e estrada nacional 230 entre as cidades de Malange e Saurimo (Lunda Sul).

Já o acesso ao campo de estudo é feito por uma via principal, asfaltada pela empresa Catoca, a partir do desvio da estrada nacional nº 180, no bairro do Zorro.

Figura 3. 3: Estrada nacional

Fonte: André da Costa

3.4 Clima

O clima da região é tropical, tendo duas principais estações típicas durante o ano: a época das chuvas que perdura do final de Agosto até os primeiros dias de Maio, e a estação de seca que se prolonga de Maio a Agosto. A temporada mais chuvosa incide nos meses de Novembro a Março, quando a precipitação atmosférica diária chega até 53,0 mm. A máxima temperatura registada é de +37,2 á +37,4oC, a mínima - +11,6 á +11,8oC. As temperaturas máximas e mínimas incidem na estação seca. A temperatura diária média, durante o ano, constitui +22,5 á +22,8°C. De noite e nas madrugadas, costuma-se fazer um pouco mais frio do que no pleno dia, quando a temperatura atinge os seus valores máximos. O intervalo mais quente é das 13 as 15 horas. As direcções predominantes dos ventos, em função da estação do ano, são Nor-nordeste e Su-sudoeste, mais raramente norte ou sul. A velocidade média do vento cifra-se em 2,0-2,5 m/s, enquanto os valores máximos vão de 16,6 á 18,4 m/s.

3.5 Hidrografia

A rede hidrográfica da região está orientada na direção norte, drena as suas águas para o rio Zaire, por intermédio do rio Kassai, um dos seus maiores tributários e cujos afluentes, alimentados por inúmeros sub-afluentes, atravessam a região de sul para o norte. Os principais afluentes do rio Kassai são, de oeste para leste, o Kuango, Cuilo, Luangue, Luxico, Chicapa, Luachimo, Chihumbe e seu afluente Luembe. A chaminé de Catoca encontra-se na ladeira direita do vale de curso médio do rio Lova, um dos afluentes do rio Chicapa. O jazigo está situado numa caldeira erosiva natural, formada pelo riacho Catoca que ocorre acima da própria chaminé.

Os vales dos rios são abertos e têm formas de U e V. São rios de comprimento médio,

frequentemente com pedregais, por isso são impróprios para navegação (conforme se pode observar na figura 2). Os rios presentes na área de concessão da sociedade mineira de Catoca, possuem recursos hídricos interessantes, destacando-se o rio Lova, que é utilizado para o abastecimento de água potável e o rio Luite, que fica localizado na zona adjacente à bacia de contenção de rejeitados. O mais atractivo é o rio Chicapa, que corre ao longo do limite leste da concessão, e é utilizado para o aproveitamento hidroelétrico, fornecendo energia eléctrica para Catoca e à cidade de Saurimo. O caudal destes rios

varia segundo as estações do ano. No período seco apresentam um caudal mínimo, enquanto no tempo chuvoso, o caudal aumenta consideravelmente.

No que respeita às cotas do relevo na superfície envolvente à intrusão, estas rondam 1065 m na parte mais para E e 950 m no leito do rio Lova.

Figura 3. 4: Rio Chicapa

Fonte: Sabino Juliano; 2020

3.6 Relevo

A Lunda Sul, como a maior parte da África Central, do ponto de vista climático, classifica-se no grupo de clima sub-equatorial A superfície é suavemente ondulada e monótona, quase sem deformações por isso é constituída por autênticas planícies. A altitude baixa gradualmente desse o canto SW, onde estão as nascentes dos grandes rios Cuango, Kassai, etc. Onde alcança cerca de 1400 metros a NE e para NW reduz-se até 700 metros.

3.7 Vegetação, Florestas e Fauna

A moldura verde das matas e da grande floresta equatorial é mais expressiva junto dos braços dos grandes rios.

O solo desfeito pelo volume das quedas pluviais ou a savana desacolhedora, salvo em algumas modestas manchas é coberto de vegetação rasteira. A Lunda Sul é em síntese uma região de savana pouco arborizada. Todavia a região possui alguns recursos florestais localizados, fundamentalmente nos municípios de Muconda e de Saurimo.

A diversidade da fauna compreende mamíferos de grande porte, aves diversas, répteis, batráquios, peixe e numerosos grupos de vertebrados (antópolos, coleópteros, fauna do solo, etc).

Figura 3. 5: Vegetação da Região das Lundas

Fonte: Carlos Lemos; 2009 – Pág 04

3.8 Geomorfologia

É uma área de planície monótona correspondente a parte Leste do planalto da Lunda com inclinação superficial geral Sul-Norte.

Figura 3. 6:Planície da Região das Lundas

Fonte: Carlos Lemos; 2009 – Pág 05

3.9 Caracterização geológica

As características de engenharia geológica da chaminé de Catoca, no período de 1998 a 2001, foram abertos os poços de pesquisas de engenharia geológica, de até 70m de profundidade, totalizando 1813,2 metros corridos, visando tomar amostras e efectuar

ensaios das características físico-mecânicas de todas as variedades litológicas das rochas kimberlíticas, gnaisses encaixantes e rochas arenáceo-argilosas sobrejacentes, do jazigo de Catoca. Além disso, a cada intervalo de 5-10m foram recolhidos espécimes das rochas a partir dos testemunhos das rochas kimberlíticas, recuperados nos poços de prospecção geológica de até 600m de profundidade, e também dos gnaisses descobertos debaixo do corpo kimberlítico. Os estudos das propriedades das rochas efectuavam-se tanto no laboratório como no campo. O respectivo trabalho foi executado pelo Sector de Engenharia Geológica e Hidrogeologia do Departamento de Geologia da SMC (Sociedade Mineira de Catoca). Foram calculados também os parâmetros das bancadas, construídas em determinados tipos de rochas. O dado base para os cálculos e resultados, estão apresentados na tabela a seguir. Os valores de coesão estão apresentados considerando as correcções em coeficiente de enfraquecimento estrutural (λ).

3.9.1 Geologia regional

A região enquadra-se na orla meridional da bacia do Congo, serpentando o seu prolongamento geomorfológico natural em território Angolano. Geologicamente, o tubo kimberlito Catoca está entre os maiores depósitos de diamantes primários do mundo.

Em termos da estrutura tectónica, a região situa-se na parte Sudoeste do escudo cristalino Cassai, da idade arqueano-proterozoica, confinando com a parede da depressão mesocenozoica do Congo. Geomorfologicamente, o território da região está localizado na parte Leste do planalto da Lunda, onde estão desenvolvidas as rochas da capa de plataforma. No Sector Angolano da Plataforma Africana, distinguem-se dois andares estruturais:

- O inferior, representado por embasamento cristalino e composto por rochas do Arqueano e Proterozoico inferior;
- O superior, representado por um complexo das rochas da capa de plataforma, do proterozoico superior, paleozoico, mesozoico e cenozoico. As numerosas ocorrências kimberlíticas da idade cretácica encontram-se na zona regional de fracturas abissais de Lucapa que tem a direcção submeridional e cuja extensão atinge 1.200 km, a largura sendo de 55 – 85 km. Na parte Sudoeste dessa estrutura, além dos kimberlitos, são muito frequentes os corpos tipo “pipe”, de carbonatitos e de rochas de composição alcalina. As chaminés kimberlíticas situam-se, por via de regra, nas zonas de cruzamento das fracturas

regionais bissistemáticas. A primeira tem a direcção Nordeste, a segunda está direcionada a Noroeste.

O território mais estudado em termos de revelação dos corpos kimberlíticos e avaliação das perspectivas das mesmas é a área que se estende ao longo dos rios Luembe, Chiumbe, Luachimo e Chicapa. Estruturalmente, essa região abrange a ladeira Oeste do escudo Cassai. Nessa área são conhecidas mais de 70 chaminés agrupadas em quatro campos kimberlíticos: Camafuca-Camazambo (19 chaminés); Camútue (15 corpos); Camagia (8); Catoca (32).

O campo kimberlítico de Catoca está localizado na bacia do rio Chicapa e tem orientação submeridional. Entre os “pipes” conhecidos do campo, o maior é a chaminé de Catoca.

3.9.2 Morfologia e estrutura interna do corpo mineralizado

A chaminé de Catoca pertence aos maiores corpos kimberlíticos do mundo. A maior parte do jazigo estava recoberta (até 2004) por produtos de destruição das rochas encaixantes e sedimentos finos da formação Calahári, cuja espessura varia de uns metros até 120m, constituindo em média 40m.

A chaminé de Catoca pertence aos depósitos kimberlíticos fracamente erodidos com o funil conservado, preenchido pelas rochas da fácies crateral. A transição da cratera ao diatrema, com o canal do tipo cilíndrico, é observada numa profundidade de 400m (cota absoluta +560m), em que as dimensões do corpo mineralizado são reduzidas até 430×360m (136,4 mil $m2$). A máxima redução da área da chaminé é constatada dentro dos limites da cratera: na profundidade de 100 m a partir da superfície terrestre a área do corpo mineralizado diminui-se em 19%, e a 200m de profundidade constitui 52% das suas dimensões inicias. Os resultados da prospecção revelam a morfologia e estrutura interna complicadas, da chaminé de Catoca.

Em termos generalizados, as rochas kimberlíticas e as formações a elas associadas, por sua composição substancial e o carácter diamantífero subdividem-se em três complexas estruturas faciais, os quais compõem no interior da chaminé os sectores distintos separados:

1-A parte central do corpo mineralizado, até a profundidade de 260m (Sector intercrateral) está formada pelas rochas vulcanogénico-sedimentares e epiclasticas RVS, sendo

fracamente diamantíferas (Teor Baixo), e brechas kimberliticas tufáceas com teores indústrias de diamantes BKT-2.

2-O cinturão anelar (endoperiferico) da chaminé, confinante com as paredes do funil da cratera, está composta normalmente por brechas kimberliticas com a textura maciça do cimento BKM, estes por sua vez apresentam o principal tipo dos minérios industriais o jazigo, e parcialmente por brechas Kimberlítica tufáceas BKT-1 que também contem diamantes em concentrações industriais;

3-A parte central do corpo kimberlítico, abaixo da profundidade de 260m (o próprio diatrema), está representada por brechas kimberliticas autolíticas (BKA), que por suas características diamantíferas são próximas as brechas kimberliticas com textura maciça do cimento (BKM).

Os kimberlitos e as rochas Vulcanogénico-sedimentares (RVS) diamantíferas, das fáceis crateral do jazigo, geneticamente vinculadas à formação do próprio corpo mineralizado, estão representados pelos seguintes tipos principais:

✓ Brechas kimberlíticas com a textura maciça do cimento (BKM);

✓ Brechas kimberlíticas autolíticas (BKA);

✓ Tufos kimberlíticos, brechas tufáceas e tufo-gravelitos com intercalações de arenitos tufáceos (BKT);

✓ Arenitos, arenitos tufáceos, tufo-aleurolitos, argilitos (RVS);

✓ Rochas kimberlíticas da zona de transição (ZT);

✓ Substrato do complexo vulcanogénico-sedimentar, saturadas em abundância com os xenólitos de gnaisses encaixantes – a chamada “zona xenolítica” (ZX).

As rochas encaixantes da chaminé são gnaisses pré-cambrianos de diferentes composições e graus de meteorização, e as rochas sobrejacentes de cobertura são areias da formação paleogeno-neogénica de Calahári, areias e arenitos interformacionais paleogénicos e sedimentos aluviais e artificiais industriais modernos.

Constitui uma peculiaridade dos kimberlitos da chaminé de C Catoca, a sua resistência

relativamente pequena e alto teor do material argiláceo, o que permite proporcionar, em regime de moagem sem bolas trituradoras (moagem autógena). No minério, o teor de minerais com uma densidade maior de 3,1 g/$cm3$ nos kimberlitos da chaminé de Catoca não ultrapassa 1-5%, mais da metade deles são minerais magnéticos.

A delimitação de blocos e categorização das reservas foram efectuadas em função do grau atingido de prospecção geológica, densidade de demarcação e amostragem. No âmbito desses parâmetros, a chaminé de Catoca está prospectada: até a profundidade de 200m (horizontes de +960 - +760m) – a nível da categoria B, no intervalo de 200-400m (horizontes de +760 - +560m) – a nível da categoria C1, e no intervalo de 400-600m as reservas têm sido avaliados a nível da categoria C2. Com base nos materiais elaborados pelo Instituto “Iakutniprolamaz”, foi adoptado como parâmetro-limite dos requisitos para a avaliação das reservas de diamantes, o mínimo teor de mineralização de 0,15 qlt/ton

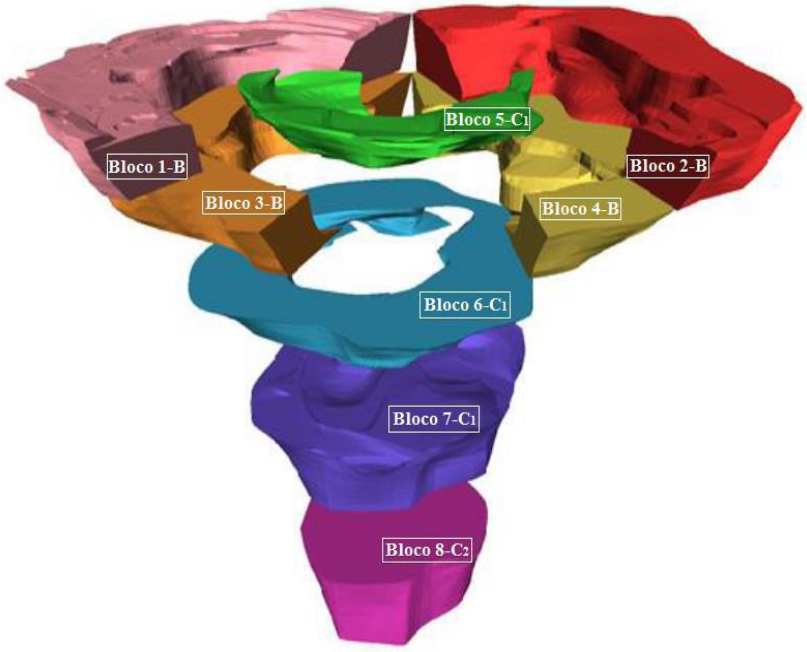


Figura 3. 7: Chaminé de Catoca, Modelo Tridimensional

Fonte: Relatório da Catoca (2001)

3.10 Fácies do kimberlito camatchia

A chaminé Camatchia tem forma mais ou menos circular, com um diâmetro de cerca de 650 metros e cerca de 30 hectares, sendo a sua morfologia composta por rochas de duas fácies genéticas principais, a hipabissal-eruptiva e a crateral, representada a primeira por kimberlitos porfíricos intrusivos e brechas kimberlíticas autolíticas explosivas e as segundas por formações sedimentares de origem vulcânica com inclusões de material kimberlítico, compostos por tufitos, argilas tufáceas, tufos diversos, conglomerados tufísticos, brechas tufáceas e depósitos sedimentares de granulação diversa.

Em geral o jazigo Camatchia engloba 8 principais tipos de minérios:

- Kimberlito porfírico;
- Kimberlíto Brecha;
- Kimberlíto Autolítico Brecha;
- Tufo kimberlítico;
- Tufo Kimberlítico Brecha;
- Tufo Sedimentar Brecha.
- Xeno brechas de fragmentação grossa;
- Tufo Grés.

3.10.1 Técnicas de extração da chaminé Camatchia

Existem duas técnicas principais para extração:

- Extração mecânica
- Desmonte com explosivos.

3.10.2 Extração mecânica

É aquela que não se faz o uso de explosivos, isto é, em frentes em que o minério não está muito consistente a escavadora vai na frente de trabalho e faz a extração e depois faz o carregamento do minério extraído aos camiões. Em casos em que o minério apresenta uma dureza em que não é possível fazermos a extração directa com a escavadeira usamos a buldozer, isto é, com a ajuda do riper nós vamos ripando o minério de modo a torna-lo menos consistente e de seguida usamos as escavadeiras para fazerem o carregamento.

3.10.3 Desmonte com explosivos

Explosivos são substâncias ou misturas de substâncias que reagem rapidamente sob determinada condição, produzindo grande volume de gases com grande liberação de calor e desenvolvimento súbito de pressão.

Existem vários tipos de explosivos, isto de acordo a sua composição química. A mina do camatchia para as suas operações com os explosivos utiliza os seguintes:

- Anfo
- Gelatinosos
- Emulsões.

CAPÍTULO 4: ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

No presente capítulo, será realizado avaliação dos indicadores citados nos capítulos anteriores, isto é apresentação dos cálculos do índice de aderência, índice de cumprimento para verificar sectores da produção que estão com performance abaixo do planejado ou comparar o planejado com aquilo que foi realizado.

4.1 Informações relacionada à Mina

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

4.1.1 Estrutura Orgânica do Departamento de Exploração Mineira

O Departamento de Exploração Mineira agrega 4 Sectores, nomeadamente: Administração; Planeamento Minério e Análise; Trabalhos de Detonação; Trabalhos preparatórios.

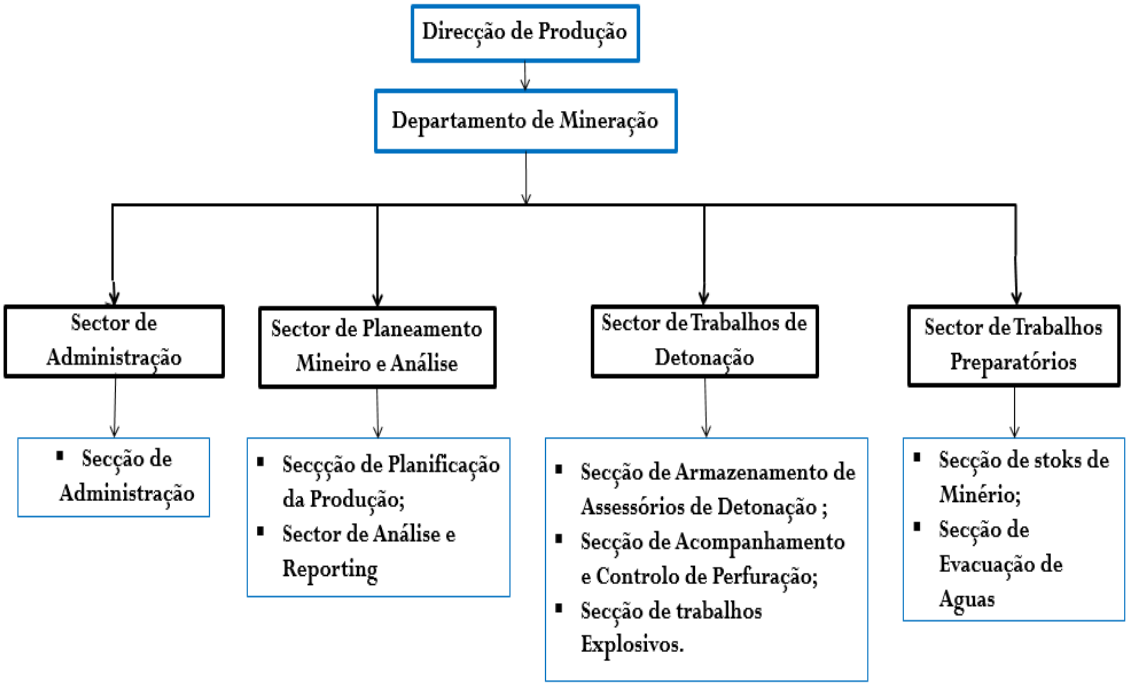


Figura 4. 1: Organograma do Departamento de Exploração Mineira

Fonte: Catoca

4.1.2 Objectivos do Departamento de Mineração

O departamento de mineração é a estrutura na empresa focada no desenvolvimento das actividades de mineração, com base em regra e princípios específicos, para garantir remoção do estéril e a extração racional e optimizada do minério da chaminé kimberlítica e seu respectivo fornecimento as Centrais de Tratamento.

4.1.3 Planejamento e Operações

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

O design e o Planeamento é feito com recurso ao software **Datamine** e o monitoramento das operações pelo software **Wenco** “Sistema que permite uma gestão integral e em tempo real dos activos na Mina, bem como o processamento automático da produção.

A Chaminé Kimberlítica de Catoca é explorada à Céu Aberto, utilizando o sistema de mineração com escavação por avanço e transporte rodoviário. O “Flowsheet” tecnológico inclui o desmonte directo do maciço de estéril, com particularidade das rochas duras serem submetidas ao desmonte com explosivos e posteriores carregamentos com escavadeiras para as pilhas de estéril. A extração do minério é feita com recurso a escavação directa precedida de escarificação com tratores de esteiras

4.2 Resultado da produção

No presente trabalho, os dados relacionados foram recolhidos a partir de acompanhamentos já realizados na mina pela Administração anterior.

Relativamente à extração da massa mineira, de acordo ao plano de exploração, a sociedade mineira de Catoca teve o desafio de superar o défice na remoção de estéril de aproximadamente (**882 mil m³**) resultante da restrição na utilização de todos os recursos operacionais durante os anos de 2020 e 2021. - (CATOCA ANNUAL REPORT, 2021)

Neste quesito, em 2021 a produção, face ao ano de 2020 esteve acima no tocante a extração de massa mineira, mas abaixo no que se refere ao processo de tratamento de minério e recuperação de quilates. Como resultados, foram obtidos os seguintes volumes:

A extração de massa mineira registou um volume de **12,67 milhões de m³** (2020: **10,68 milhões de m³)**, tendo extraído mais **980 mil m³** de Estéril do que em 2020 (**5,48 milhões de m³**) e mais **1,02 milhões m³** de minério do que em 2020 (**5,18 milhões de m³**). O tratamento foi de **9,86 milhões de toneladas**, menos **827,7 mil toneladas** que no ano anterior. - (CATOCA ANNUAL REPORT**,** 2021)

4.2.1 Indicadores de planejamento de lavra

Dessa forma, a equipe de planejamento consegue apresentar uma estimativa a respeito das massas/volumes planejadas e realizadas na movimentação de lavra em (**m³**) na tabela seguinte:

Tabela 4. 1:Aderência de movimentação de lavra

Fonte: (CATOCA ANNUAL REPORT**,** 2021)

Aderência		
Frente	**Planejado (m³)**	**Realizado (m³)**
A	450.655	325667
B	402.217	437563
C	360.343	292603
Total	1.213.215	1.055.833

4.3 Procedimentos para os cálculos das superfícies na movimentação da lavra

O planejamento de lavra de curto prazo tem como objetivo planejar de forma operacional a lavra que será executada pela operação de mina. Para isso, com o auxílio de software, são desenhadas plantas de lavras, que consistem em limites topográficos (superfícies) projetados a partir de coordenadas, com qualidades específicas, que atendem às características requeridas pela usina.

A partir das plantas de lavra, são estabelecidas massas (em toneladas ou metros cúbicos), no plano de lavra de curto prazo, em escala diária, semanal, mensal, trimestral, entre outros, que deverão ser lavradas na escala temporal determinada pelo plano. (SOUZA: 2022)

Para o cálculo do **PR**, **RNP** e **PNR** são necessárias três superfícies referentes ao plano de lavra:

- ✓ Superfície original;
- ✓ Superfície realizada;
- ✓ Superfície planejada.

Superfície original: A superfície original deve ser a última superfície precedente ao plano de lavra diária, semanal, mensal, trimestral a elaborar.

Superfície realizada: deve ser a última superfície levantada no mês do plano de lavra diária, semanal, mensal, trimestral vigente.

Superfície planejada: é a superfície original acrescida do plano de lavra diária, semanal, mensal, trimestral.

4.3.1 Cálculos das áreas da movimentação de minério e estéril

Conhecendo-se o valor da densidade do material a ser movimentado, torna-se possível a obtenção das massas **PNR**, **RP** e **RNP**, para diferentes frentes de trabalho na movimentação da lavra no plano de curto prazo.

Para cálculo das superfícies ou áreas (**PR, RNP** e **PNR**) precisamos usar as seguintes fórmula e condições:

Condições:

A movimentação de minério e estéril planejada e realizada será igual a superfície planejada se o realizado for maior que planejado.

PR = Superfície Planejada; *se* realizado > planejado.

A movimentação de minério e estéril planejada e realizada será igual a superfície realizada se o realizado for menor que o planejado.

$\mathbf{PR}$ = Superfície Realizada; *se* realizado < planejado

Fórmulas:

$\mathbf{RNP}$ = Superfície realizado − PR

$\mathbf{PNR}$ = Superfície planejado – PR

Onde:

PR – Planejado realizado

PNR – Planejado não realizado

RNP – Realizado não planejado

4.3.2 Cálculos das áreas na movimentação de estéril/minério para frente A

Na frente A, a lavra planejada foi igual a 450655m³. A partir da aferição da lavra, obteve-se dado de que foram realizadas 325667m³, observamos que o volume planejado é maior que o realizado logo o PR = 325667m³

$\mathbf{RNP}$ = Superfície realizado – PR

$\mathbf{RNP}$ = 325667m³ – 325667m³

$\mathbf{RNP}$ = 0 m³

$\mathbf{PNR}$ = Superfície planejado – PR

$\mathbf{PNR}$ = 450655m³ – 325667m³

$\mathbf{PNR}$ = 124988 m³

4.3.2 Cálculos das áreas na movimentação de estéril/minério para frente B;

Na frente B, a lavra planejada apresenta um volume igual a 402217m³. A partir da aferição da lavra, obteve-se dado de que foram realizadas 437563m³, conseguimos observar que o volume planejado apresenta um valor menor que realizado, logo o PR = 402217m³

$\mathbf{RNP}$ = Superfície realizado – PR

$\mathbf{RNP}$ = 437563m³ – 402217m³

$\mathbf{RNP}$ = 35346m³

PNR = Superfície planejado – PR

PNR = 402217m³ – 402217m³

PNR = 0 m³

- **Cálculos das áreas na movimentação de estéril/minério para frente C;**

Na frente C, a lavra planejada apresenta um valor igual a 360343m³. A partir da aferição da lavra, obteve-se dado de que foram realizadas 292603m³, neste caso observamos que o volume planejado apresenta um valor maior que o realizado, então o PR=292603m³

RNP = Superfície realizado – PR

RNP = 292603m³ – 292603m³

RNP = 0 m³

PNR = Superfície planejado – PR

PNR = 360343m³ – 292603m³

PNR = 67740m³

Na tabela seguinte apresenta-se os valores determinados anteriormente, de aderência de movimentação de lavra em metros cúbicos

Tabela 4. 2:Aderência de movimentação de lavra (PR; PNR & RNP)

Fonte: O autor (2024)

Aderência			
Frente	**PR**	**PNR**	**RNP**
A	325667	124988	0
B	402217	0	35346
C	292603	67740	0

Tendo como base o indicador de produção/massa desmontada na mina em (**m³**), será analisado a performance da produção no plano mensal, para verificação de quais indicadores tiveram maior impacto na lavra.

4.4 Cálculos dos índices

As equações a seguir sugerem como a comparação dessas massas pode ser utilizada na análise e controle da aderência, cumprimento e de efectividade dos planos de lavra. O valor de IA e IC são obtidos pelos valores dos volumes RNP, PNR e PR. E valor de IE é obtido pelos valores de IA e IC.

4.4.1 Índice de Aderência

O IA mede quanto uma movimentação de lavra foi realizada dentro de um plano de lavra.

Para o cálculo do índice de aderência aplicamos a seguinte fórmula:

$$\mathrm{IA} = \frac{\mathrm{PR}}{(\mathrm{PR} + \mathrm{RNP})} \times 100\%$$

Onde:

PR - Planejado realizado

PNR - Planejado não realizado

RNP - Realizado não planejado

4.4.2 Índice de Cumprimento

O IC mede quanto uma movimentação de lavra foi cumprida dentro de um plano de lavra.

Para o cálculo do índice de cumprimento aplicamos a seguinte fórmula:

$$\mathrm{IC} = \frac{\mathrm{PR}}{(\mathrm{PR} + \mathrm{PNR})} \times 100\%$$

Onde:

PR - Planejado realizado

PNR - Planejado não realizado

RNP - Realizado não planejado

4.4.3 Cálculos dos indicadores (aderência e cumprimento) para frente A

$$\text{IA} = \frac{\text{PR}}{(\text{PR+RNP})} \times 100\% \quad \rightarrow \quad \text{IA} = \frac{325667}{(325667 + 0)} \times 100\% \quad \rightarrow \boxed{\text{IA} = 100\%}$$

$$\text{IC} = \frac{\text{PR}}{(\text{PR+PNR})} \times 100\% \quad \rightarrow \quad \text{IC} = \frac{325667}{(325667 + 124988)} \times 100\% \quad \rightarrow \boxed{\text{IC} = 72{,}26\%}$$

Para frente A, assim sendo, o índice de aderência apresentado foi de 100%, e o índice de cumprimento foi na proporção de 72,26%, uma vez que a lavra planejada não foi integralmente realizada, trazendo impacto directo no índice de cumprimento de movimentação de lavra.

- **Cálculos dos indicadores (aderência e cumprimento) para frente B**

$$\text{IA} = \frac{\text{PR}}{(\text{PR+RNP})} \times 100\% \quad \rightarrow \quad \text{IA} = \frac{402217}{(402217 + 35346)} \times 100\% \quad \rightarrow \boxed{\text{IA} = 91{,}90\%}$$

$$\text{IC} = \frac{\text{PR}}{(\text{PR+PNR})} \times 100\% \quad \rightarrow \quad \text{IC} = \frac{402217}{(402217 + 0)} \times 100\% \quad \rightarrow \boxed{\text{IC} = 100\%}$$

Para frente B, o índice de aderência apresentado foi de 91,90%, e o índice de cumprimento foi na proporção de 100%, uma vez que a lavra planejada foi integralmente realizada acima do planeado.

- **4.4.5 Cálculos dos indicadores (aderência e cumprimento) para frente C**

$$\text{IA} = \frac{\text{PR}}{(\text{PR+RNP})} \times 100\% \quad \rightarrow \quad \text{IA} = \frac{292603}{(292603 + 0)} \times 100\% \quad \rightarrow \boxed{\text{IA} = 100\%}$$

$$\text{IC} = \frac{\text{PR}}{(\text{PR+PNR})} \times 100\% \quad \rightarrow \quad \text{IC} = \frac{292603}{(292603 + 67740)} \times 100\% \quad \rightarrow \boxed{\text{IC} = 81{,}20\%}$$

Para a frente C, o índice de aderência foi de 100%, e o índice de cumprimento foi na proporção de 81,20%, uma vez que a lavra planejada não foi integralmente realizada.

4.4.3 Índice de Efectividade

IE mede a efetividade da lavra, que é a média aritmética entre o IA e o IC. Para o cálculo do índice de efectividade aplicamos a seguinte fórmula:

$$\mathrm{IE} = \frac{\mathrm{IA} + \mathrm{IC}}{2}$$

Onde:

IA – Índice de Aderência

IC – Índice de Cumprimento

- **Cálculos do IE para frente A**

$$\mathrm{IE} = \frac{\mathrm{IA+IC}}{2} \rightarrow \mathrm{IE} = \frac{100\% + 72{,}26\%}{2} \rightarrow \boxed{\mathrm{IE} = 86{,}13\%}$$

- **Cálculos do IE para frente B**

$$\mathrm{IE} = \frac{\mathrm{IA+IC}}{2} \rightarrow \mathrm{IE} = \frac{91{,}90\% + 100\%}{2} \rightarrow \boxed{\mathrm{IE} = 95{,}95\%}$$

- **Cálculos do IE para frente C**

$$\mathrm{IE} = \frac{\mathrm{IA+IC}}{2} \rightarrow \mathrm{IE} = \frac{100\% + 81{,}20\%}{2} \rightarrow \boxed{\mathrm{IE} = 90{,}60\%}$$

4.5 - Resultados das avaliações de indicadores de desempenho

Depois dos cálculos feitos com objetivo de avaliar os indicadores de desempenho, afim de analisar a performance da produção no plano mensal de três frentes nomeadamente **A**, **B** e **C** no ano de 2021 na mina em estudo, para verificação de quais indicadores tiveram maior impacto na lavra.

A tabela seguinte representa de forma resumida, ou seja, os resultados dos cálculos das superfícies/áreas e indicadores que foram considerados no presente trabalho.

Tabela 4. 3:Resumo dos cálculos na movimentação de lavra

Fonte: Autor (2024)

Aderência			Cálculos das superfícies			Indicadores		
Frentes	**Planejado**	**Realizado**	**PR**	**PNR**	**RNP**	**IA**	**IC**	**IE**
A	450655	325667	325667	124988	0	100%	72,26%	86,13%
B	402217	437563	402217	0	35346	91,90%	100%	95,95%
C	360343	292603	292603	67740	0	100%	81,20%	90,60%
Total	1213215	1055833	1020487	192728	35346	96,67%	84,11%	90,39%

Observamos que na tabela de resumo dos cálculos na movimentação de lavra de curto prazo foi dividida em três principais secções, sendo:

- **Aderência;**

Dentro da primeira secção, a aderência, dentro da movimentação de lavra, encontra-se a indicação de especificações como as seguintes:

Frente - local onde a lavra será realizada;

Planejado - massa de minério ou estéril que deverá ser lavrada na frente determinada;

Realizado - massa de minério ou estéril que foi efetivamente lavrada no período de tempo estabelecido no plano de curto prazo;

- **Cálculos das superfícies;**

Quanto à segunda secção, cálculos, tem-se o planejado realizado (PR), planejado não realizado (PNR) e o realizado não planejado (RNP).

- **Indicadores;**

Na terceira secção, indicadores, apresenta-se os índices de aderência (IA), índice de cumprimento (IC) e índice de efectividade (IE).

Os índices de aderência (IA) e índice de cumprimento (IC) foram obtidos por meio dos valores dos volumes de RNP, PNR e PR.

Ìndice de efectividade (IE), que foi obtido por meio da média aritmética entre (IA) e (IC).

4.5.1 Interpretação gráfica dos resultados obtidos no plano mensal

- **Volumes planejadas e realizadas na movimentação de lavra.**

O gráfico 4.1 ,representa em cor azul, os volumes planejados e de cor cinzenta, os volumes realizados.

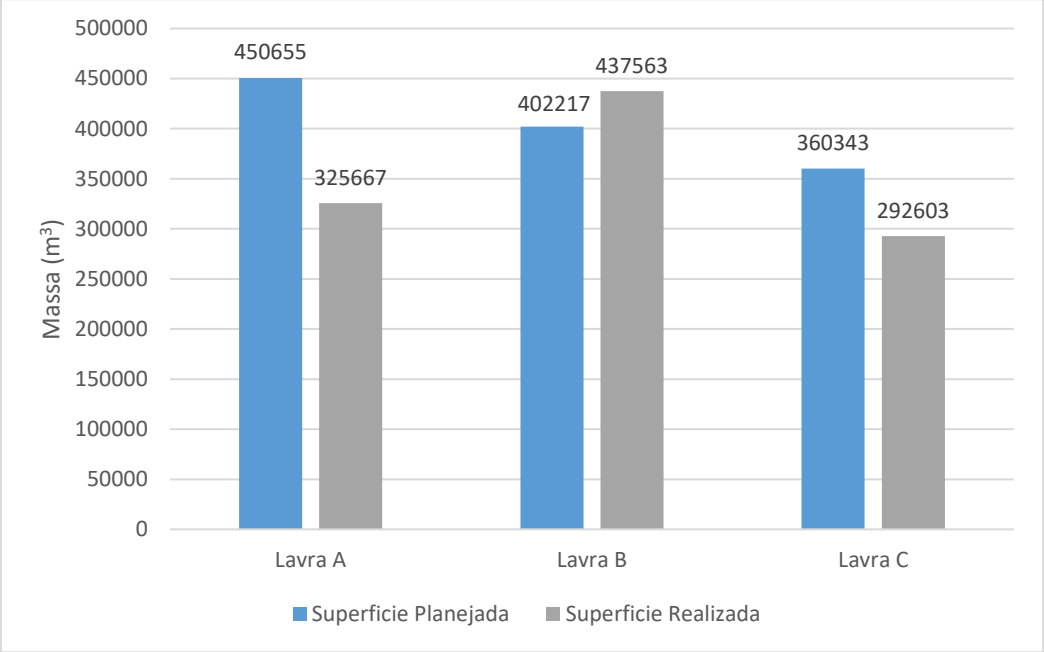


Gráfico 4. 1: Volumes planejadas e realizadas na movimentação de lavra

Fonte: O autor (2024)

- **Movimentação total da lavra planejado & realizado.**

O gráfico 4. 2 representa a movimentação total da lavra no plano mensal, conforme dados apresentados

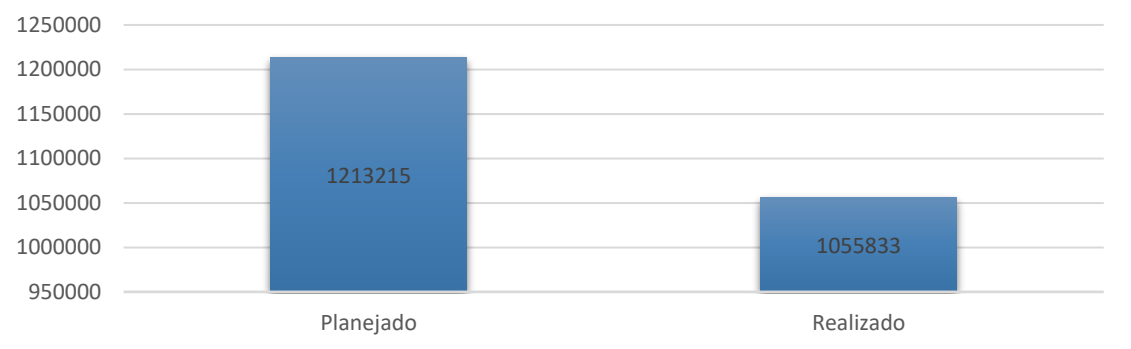


Gráfico 4. 2: Movimentação total da lavra planejado e realizado

Fonte: O autor (2024)

- **Índice de aderência e de cumprimento total**

O gráfico 4.3 representa o índice de aderência e o índice de cumprimento total, considerando assim o conjunto de áreas de lavra em distintas frentes de operação que compõem o plano.

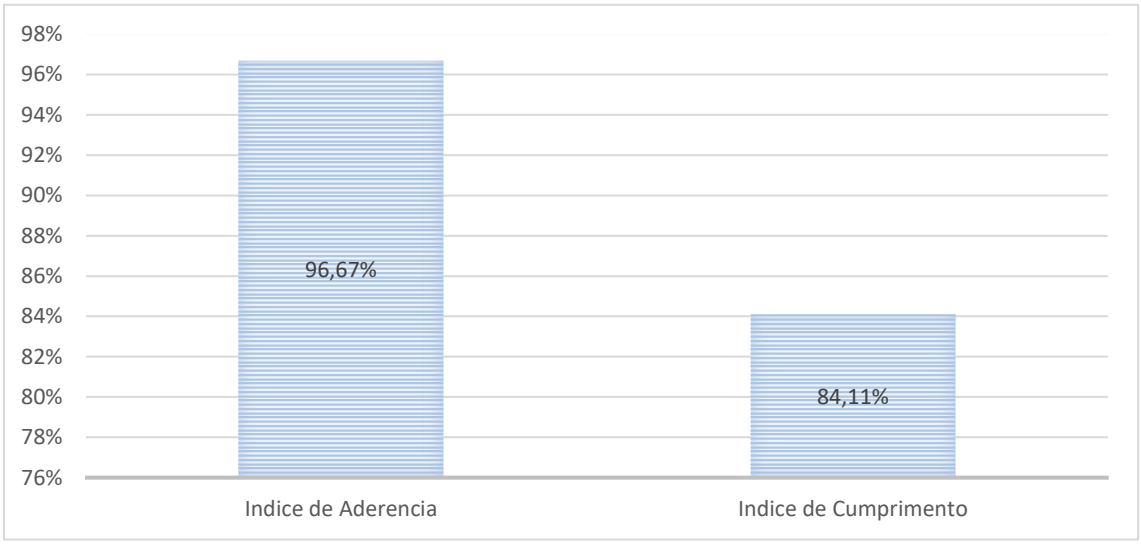


Gráfico 4. 3:Índice de aderência e de cumprimento total

Fonte: O autor (2024)

- **Médias aritmética em cada frente de trabalho (IE)**

O gráfico 4.4 mostra o comportamento das médias aritméticas mensais dos índices estudados a cada frente.

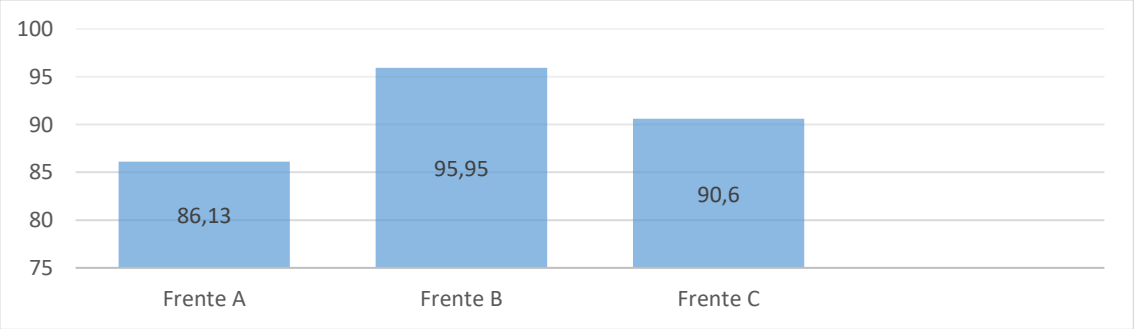


Gráfico 4. 4:Médias aritmética dos índices de aderência e de cumprimento mensais

Fonte: O autor (2024)

CONCLUSÃO

Em virtude das análises feitas ao longo da nossa pesquisa, chegamos as seguintes conclusões:

Uma vez que o plano de lavra de curto prazo necessita de um acompanhamento mais próximo das suas operações, os KPIs e indicadores mostram sua importância no controle de qualidade, que é abordado no contexto da rotina de planejamento de lavra. Dentro da mineração, os KPIs e indicadores de qualidade são muito importantes, porque proporcionam maior segurança no traçado de estratégias e tomadas de decisões, reduzindo custos, proporcionar melhorias no desempenho, melhor controle, a fim de tornar a atividade minerária mais eficiente e eficaz, de forma viável, para promover impacto positivo na produção e consequentemente no produto fornecido ao cliente.

A avaliação é considerada um processo que permite a coleta e análise de dados, tendo em vista verificar se os objetivos propostos foram atingidos. Diante de todo o exposto, dos objetivos traçados, das análises realizadas e cálculos feitos dos indicadores para diferentes frentes de trabalhos, visto que a lavra a presenta um desempenho aceitável no ponto de vista operacional:

- Quanto as frentes de trabalho A e C, apresentam aderência (IA) uma percentagem de 100% de quantidade do material que foi movimentado, uma vez que a lavra planejada não foi integralmente realizada. trazendo impacto directo no índice de cumprimento de movimentação de lavra, apresentando os seguintes valores para cada frente de trabalho, frente A = 72,26% e na frente C = 81,20%.

- Quanto a frente de trabalho B, apresentou aderência (IA) num valor de 91,90%, o índice de cumprimento foi na proporção de 100%, uma vez que a lavra planejada foi integralmente realizada acima do planeado.
- E quanto a efectividade (IE), cada frente apresentou os seguintes valores correspondentes: frente A = 86,13%; frente B = 95,95%; e frente C = 90, 60%. E podemos observar que nas três diferentes frentes, a frente B apresenta o maior valor em relação as outras frentes.

RECOMENDAÇÕES

A partir dos resultados e conclusões obtidas na avaliação de kips e indicadores de qualidade, recomenda-se:

- Para que as empresas mineradoras, aplicação dos IA, IC e IE como os principais indicadores chave de desempenho, de modo a monitorar a aderência, cumprimento e a efectividade entre o planejado e realizado dentro do planejamento de lavra e usar os resultados para melhorar o desempenho das empresas.
- No uso de um plano de lavra de curto prazo, sendo considerado um plano mais dinâmico, mais passível de erros e atrasos na rotina de operação.
- A comunidade científica, em particular os Engenheiros de minas a realizarem mais pesquisas sobre o tema em abordagem, uma vez que se trata de matéria de suma importância dentro do empreendimento mineiro pouco abordada dentro da graduação, considerando seus inúmeros benefícios de ordem econômica, operacional, ambiental, entre outros.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BORGES, T.C. Análise dos custos operacionais de produção no dimensionamento de frotas de carregamento e transporte em mineração. 2013

CALDEIRA, J. 100 Indicadores da Gestão: Key Performance Indicators. 1ª ed. Coimbra: Actual, 2012.

CÂMARA, T.R. Reconciliação: Ferramentas de avaliação do fator mina/Usina. 8º Congresso Brasileiro de Mina a Céu Aberto / 8ºCongresso Brasileiro.

CAMPOS, V. C. Controle de Qualidade Total. Belo Horizonte: FCO, 1992.

CATOCA, SOCIEDADE MINEIRA DE CATOCA (2011). Livro (Documentação de

Projecto Catoca 1/01/2011) Volume 1.1.

CATOCA, SOCIEDADE MINEIRA DE CATOCA (2021). Relatório sobre os resultados da produção. (CATOCA ANNUAL REPORT**,** 2021)

CHIMUCO, **João Paulino Júlio**. Metodologia de Planejamento de Mina para retomada das operações de lavra das jazidas de Kassinga Norte - Angola. Ouro preto, 2010

COSTA, Flávio Vieira. Análise dos principais indicadores de desempenho usados no planejamento de lavra. 2015. 79 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mineral) - Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2015.

COUTO, R. T. Da S. Lavras a céu aberto e equipamentos principais. 1990. 330p.

CURI, A. Minas a Céu Aberto: planejamento de lavra. São Paulo: Oficina de Textos, 2014

HARTMAN, H. L.; MUTMANSKY, J. M. Introductory Mining Engineering. 2nd ed.

New Jersey: John Wiley & Sons, 2002.

HUSTRULID, W.; KUCHTA, M. Open Pit Mine: planing & design. 2nd ed. London:

Taylor & Francis, 2006

IBRAM - Instituto Brasileiro de Mineração. Workshop “Planejamento de Mina**:** Práticas e experiências de empresas de mineração”. Módulo I e II. Belo Horizonte, 1996

JURAN, Joseph Moses. Juran na liderança pela qualidade**:** um guia para executivos. São Paulo: Pioneira, 1990.

LIMA, H. M. R. Concepção e Implementação de Sistema de Indicadores de Desempenho em Empresas Construtoras de Empreendimentos Habitacionais de Baixa Renda. 2005. 171 p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

MARTINS, R. A., COSTA NETO, P. L. O. Indicadores de Desempenho para a Gestão pela Qualidade Total: uma proposta de sistematização. Revista Gestão & Produção, São Carlos, v. 5, n. 3, p. 298-311, 1998.

NADER, Beck; TOMI, Giorgio de; PASSOS, Alexandre Orlandi. Indicadores-chavede desempenho e a gestão integrada da mineração. Revista Escola de Minas -REM, Ouro Preto, out. dez. 2012. NADER, Beck; TOMI, Giorgio de; PASSOS, Alexandre Orlandi. Indicadores-chave de desempenho e a gestão integrada da mineração. Revista Escola de Minas -REM, Ouro Preto, out. dez. 2012

PETERSON, E. T. The Big Book of Key Performance Indicators. 2006. Disponível

RICARDO, H. S.; CATALANI, G. Manual Prático de Escavação: terraplenagem e

escavação de rocha. 3ª ed. rev. amp. São Paulo: Pini, 2007.

RODOVALHO, Edmo da Cunha. Aplicação de Ferramentas de simulação em operações mineiras para determinação de índices operacionais utilizados em planos de lavras adaptados ao estudo de caso da mineração Casa de Pedra -CSN**.** 2013. 111p. Dissertação (Mestrado). Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2013.

SILVA, N. C. S. Metodologia de planejamento estratégico de lavra incorporando riscos e incertezas para a obtenção de resultados operacionais. Tese de doutorado em engenharia mineral da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2008. 128 p.

SOUZA, Rafael Alvarenga. Análise e controle dos índices de aderência e cumprimento para planos de lavra**.** 2013, 52 f. Monografia (Graduação em Engenharia de Minas); Universidade Federal de Goiás; Catalão, 2013**.**

VALE. 2014. Disponível em <www.vale.com>. Acesso em 21 dez. 2014

WALESKI, W. E. Powder River Basin Open Pit Coal Mines. In: KENNEDY, B. A.. Surface Mining. 2nd ed. Englewood: SME, 1990

WEBER, A.; THOMAS, R. Key Performance Indicators: measuring and managing the maintenance funtion. IVARA Corporation. Ontario, 2005.

ZIMMER, G. S. Base Metal Open Pit Mining. In: KENNEDY, B. A.. Surface Mining. 2nd ed. Englewood: SME, 1990

ANEXOS

Bancadas

Fonte: Autor

Carregamento de camião

Fonte: Autor

Praça

Fonte: Autor

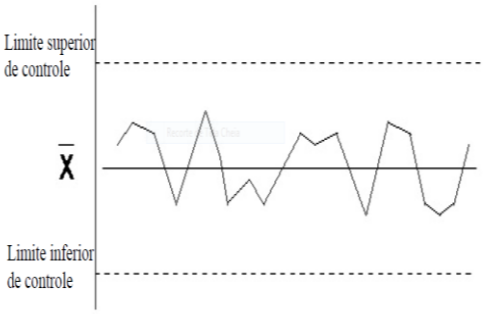
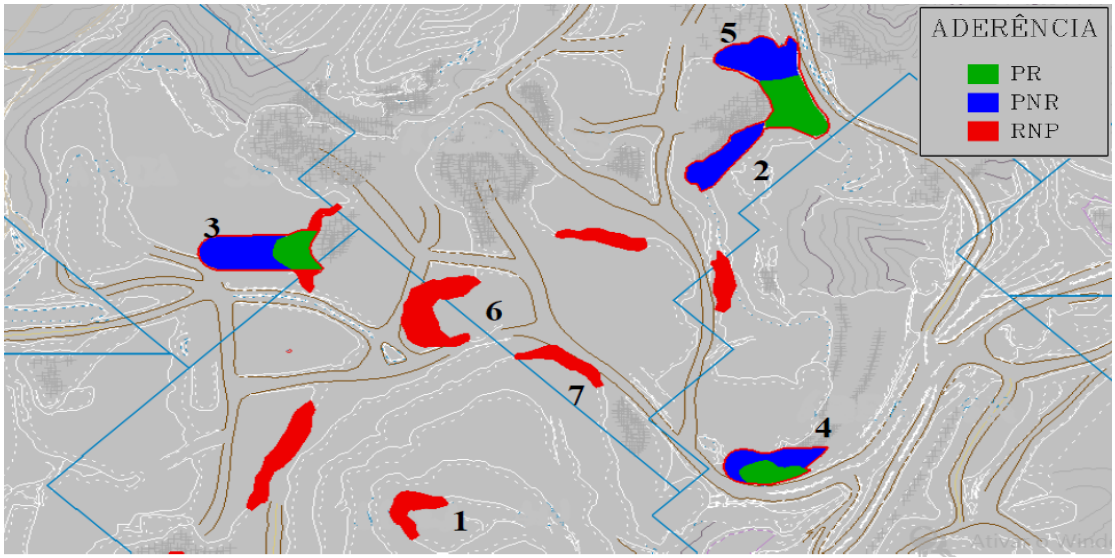


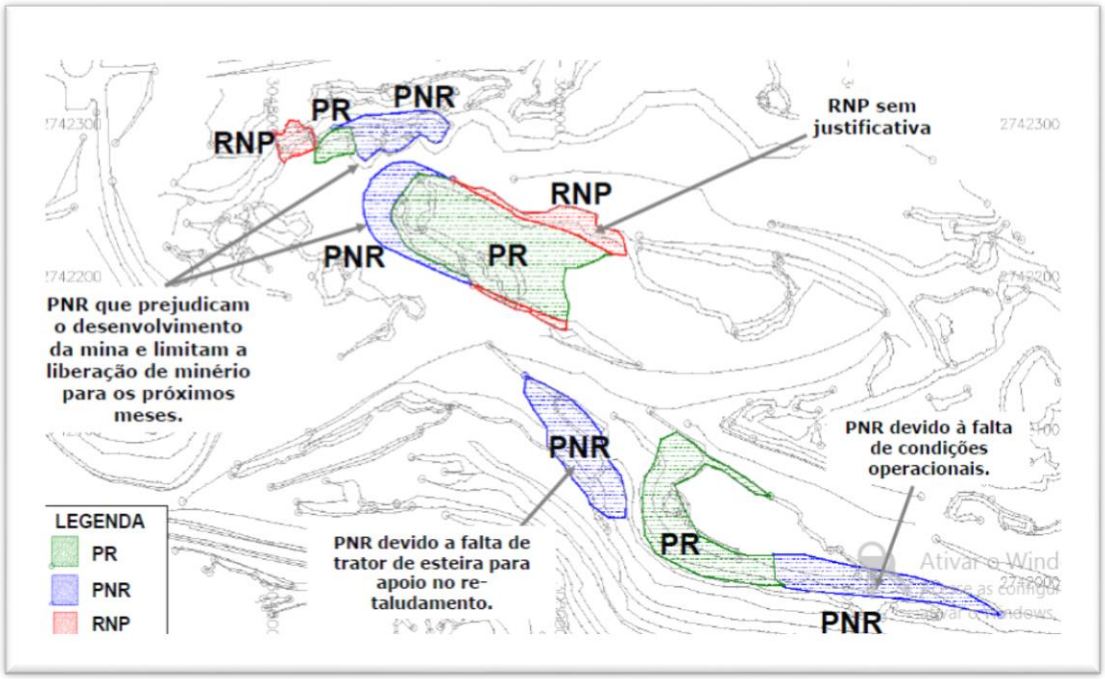
Gráfico de controle

Fonte: Adaptado Werkema (1995)



Análise de um plano mensal executado

Fonte: Costa



Exemplo de análise dos índices IA e IC do plano de lavra

Fonte: Vale