



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO**  
**ESCOLA DE MINAS**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MINAS**



**UFOP**  
Universidade Federal  
de Ouro Preto

**ANNA LAURA PEREIRA TÔRRES**

**ANÁLISE DETALHADA DO ÍNDICE DE ADERÊNCIA NO PLANEJAMENTO DE  
MINA A CURTO PRAZO**

Ouro Preto - MG  
Setembro de 2024

ANNA LAURA PEREIRA TÔRRES

**ANÁLISE DETALHADA DO ÍNDICE DE ADERÊNCIA NO PLANEJAMENTO DE  
MINA A CURTO PRAZO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Minas. Área de concentração: Lavra de Minas / Planejamento de Lavra.

Orientador (a): Prof. Dr. Felipe Ribeiro Souza

Ouro Preto - MG  
Setembro de 2024

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

T693a Torres, Anna Laura Pereira.  
Análise detalhada do índice de aderência no planejamento de mina a curto prazo. [manuscrito] / Anna Laura Pereira Torres. - 2024.  
47 f.: il.: color., gráf., tab..

Orientador: Prof. Dr. Felipe Ribeiro Souza.  
Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Graduação em Engenharia de Minas .

1. Mineração. 2. Minas e recursos minerais - Planejamento. 3. Desempenho - Indicadores - Mineração. I. Souza, Felipe Ribeiro. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU 622.014

Bibliotecário(a) Responsável: Soraya Fernanda Ferreira e Souza - SIAPE: 1.763.787



## FOLHA DE APROVAÇÃO

**Anna Laura Pereira Tôrres**

Análise Detalhada do Índice de Aderência no Planejamento de Mina a Curto Prazo

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Minas

Aprovada em 20 de setembro de 2024

### Membros da banca

Dr - Felipe Ribeiro Souza - Orientador(a) Universidade Federal de Ouro Preto  
Engenheira - Thais de castro neves - SAMARCO MINERAÇÃO  
Dr -Elton Destro - Universidade Federal de Ouro Preto

Felipe Ribeiro Souza, orientador do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 16/10/2024



Documento assinado eletronicamente por **Felipe Ribeiro Souza, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 16/10/2024, às 13:43, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [http://sei.ufop.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **0795988** e o código CRC **8D1CBA00**.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente aos meus pais, Luciano e Renata, por sempre lutarem para transformar meus sonhos em realidade e por nunca permitirem que eu desistisse dos meus objetivos, mesmo nas noites de choro e saudade de casa.

Às minhas irmãs, Larissa, pelo exemplo constante de sabedoria, dedicação e competência, e Helena, por ter despertado em mim um profundo sentimento de carinho e amor.

Aos meus amigos de Bocaiúva e Ouro Preto, pela parceria de sempre e por celebrarem comigo cada vitória alcançada. A Ian, por ser minha pessoa, e que me acompanhou ao longo de todo este processo. Ao Gabriel e André pelo companheirismo desde o primeiro dia de aula.

À Escola de Minas e a Fundação Gorceix, pelo ensino gratuito e de qualidade e ao DEMIN e aos professores, pelos ensinamentos valiosos compartilhados ao longo da jornada. Ao meu orientador, Professor Felipe Ribeiro, pelo apoio essencial na realização deste trabalho.

Agradeço a Gerência de Planejamento de Mina, pelo conhecimento adquirido nos últimos anos, especialmente ao Rodrigo, Thais, Geraldo, Francis, Luciano e Tati, pelo apoio de sempre.

À minha querida República Nascente, por se tornar a minha segunda casa durante estes cinco anos.

Por fim, agradeço a todas as pessoas que contribuíram para esta conquista.

## RESUMO

O planejamento de mina é essencial para uma extração eficiente e sustentável de recursos minerais, balanceando lucro, custo e segurança. Este trabalho analisa o Índice de Aderência (IA) ao plano anual de lavra em uma mina de minério de ferro, destacando os principais fatores que afetam esse KPI (*Key Performance Indicator*) e propondo estratégias para sua melhoria. O IA mede a conformidade entre o plano e a execução real, refletindo a eficácia do planejamento e a adaptação a variáveis operacionais e geológicas, utilizando dados reais de produção e ferramentas como Deswik, CAD e Microsoft Excel. O estudo identificou gargalos e falhas, propondo soluções para aprimorar a aderência ao plano. A análise mostrou que a mina leste apresentou maior estabilidade devido a um plano rigoroso de transformação de espaço para cava de disposição de rejeito em polpa a longo prazo, enquanto a mina oeste enfrentou variações significativas devido a dificuldades operacionais e fatores externos, como a estação chuvosa e anomalias geotécnicas. A melhora do IA pode ser obtida com ajustes periódicos no modelo geológico e programas rigorosos de manutenção preventiva, além da redução de falhas operacionais humanas. O estudo contribui para a melhoria contínua dos processos de planejamento e execução em mineração.

**Palavras-chave:** Planejamento de mina; índice de aderência; ferramentas de melhoria.

## ABSTRACT

Mine planning is essential for the efficient and sustainable extraction of mineral resources, balancing profit, cost, and safety. This paper analyzes the Adherence Index (AI) to the annual mining plan in an iron ore mine, highlighting the key factors that affect this KPI (*Key Performance Indicator*) and proposing strategies for its improvement. The AI measures the conformity between the plan and actual execution, reflecting the effectiveness of planning and adaptation to operational and geological variables and using real production data and tools such as Deswik, CAD, and Microsoft Excel. The study identified bottlenecks and failures, proposing solutions to enhance adherence to the plan. Analysis showed that the eastern mine exhibited greater consistency due to a rigorous plan for the long-term transformation of space for tailings disposal in slurry. In contrast, the western mine faced significant variations due to operational difficulties and external factors such as the rainy season and geotechnical anomalies. The AI improvement can be achieved with periodic adjustments to the geological model and strict preventive maintenance programs, in addition to reducing human operational failures. This study contributes to the continuous improvement of planning and execution processes in mining.

**Keywords:** Mine planning; adherence index; optimization tools.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Exemplo de lavra por bancada .....	15
Figura 2 - Hierarquia Planejamento de Mina .....	16
Figura 3: Interface inicial Deswik.CAD.....	19
Figura 4: Topografia rotacionada.....	20
Figura 5- Perfil indicador de aderência (IA). .....	22
Figura 6 - Sólido realizado e topografia que melhor representa o ano .....	24
Figura 7- Sólido realizado e topografia que melhor representa o mês .....	24
Figura 8- Sólido realizado não planejado e topografia de orçamento .....	25
Figura 9- Sólido planejado realizado e topografia que melhor representa o ano .....	26
Figura 10 - Sólidos RNP e PR em 2D, região da mina oeste. ....	31
Figura 11- Sólidos RNP e PR em 3D, região da mina Oeste.....	32

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 - Índice de Aderência mina oeste.....	27
Tabela 2 – Índice de Aderência mina leste.....	28
Tabela 3 - Índice de Aderência Total.....	28
Tabela 4 - Valores dos Índices de Aderência, em %, determinados pelo Microsoft Excel.....	33

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Índice de Aderência Acumulada.....	34
Gráfico 2– Gráfico de justificativas trimestrais.....	36
Gráfico 3 – Maiores impactos .....	38
Gráfico 4 - Índice de Temperatura e Precipitação da cidade onde está situada a mina estudada .....	41

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	11
2. OBJETIVO GERAL .....	13
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	14
3.1. Métodos de lavra a céu aberto.....	14
3.2. Planejamento de Lavra .....	15
3.2.1. Planejamento de lavra a longo prazo.....	16
3.2.2. Planejamento de lavra a médio prazo.....	17
3.2.3. Planejamento de lavra a curto prazo .....	17
3.2.4. Plano Anual de lavra.....	17
3.3. <i>Software</i> de mineração .....	18
3.3.1. Deswik .....	18
3.3.2. Deswik.CAD.....	19
3.4. Topografia.....	19
3.5. KPI'S.....	21
4. METODOLOGIA .....	23
4.1. Procedimento para a o cálculo volumétrico topográfico.....	23
4.1.1. Estimção do volume lavrado mensal acumulado .....	23
4.1.2. Cálculo do volume realizado não planejado .....	24
4.1.3. Cálculo do volume planejado realizado .....	25
4.2. Procedimento para o cálculo do índice de aderência.....	26
4.2.1. Organização dos Dados .....	26
4.2.2. Cálculo do Índice de Aderência Individual e Total .....	26
4.2.3. Apresentação de resultados .....	27
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	30
5.1. Geração do volume realizado .....	30

5.2.	Cálculo do Índice de Aderência .....	32
5.3.	Análise crítica dos resultados .....	34
5.3.1.	Dificuldades operacionais na execução da frente de lavra .....	38
5.3.2.	Antecipação da lavra de acordo com o Plano de Revisão .....	39
5.3.3.	Antecipação por controle de qualidade.....	39
5.3.4.	Restrição de lavra devido a anomalia geotécnica.....	40
5.3.5.	Estação chuvosa.....	40
6	CONCLUSÕES .....	43
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	45

## 1. INTRODUÇÃO

O planejamento de mina desempenha um papel fundamental nas atividades de mineração, pois visa a extração eficiente e sustentável do recurso, garantindo a maximização de lucro, minimização de custo, eficiência operacional, segurança e sustentabilidade da operação. Segundo Campos (2017), uma das principais tarefas ao se fazer o planejamento de mina é fazer o planejamento da lavra. O planejamento de lavra visa o melhor aproveitamento dos recursos minerais, otimizando a recuperação do bem mineral útil em função da maximização do lucro.

O presente trabalho apresenta uma análise detalhada do indicador de desempenho, índice de aderência, no contexto do planejamento de mina a curto prazo em uma mina de minério de ferro. Tem como principal objetivo indicar os principais fatores que impactam esse KPI (*Key Performance Indicator*) e propor estratégias para melhoria contínua do processo de planejamento com base nos estudos e gargalos do objeto de estudo. A análise dos resultados foi realizada com base em dados reais de produção e planejamento, considerando aspectos operacionais, geológicos e de infraestrutura que mais impactaram negativamente o IA durante o ano de estudo, outrossim, enfatizam-se soluções para melhorar a aderência ao plano de lavra proposto.

Um dos principais indicadores aplicados para avaliar a efetividade do planejamento de mina é o Índice de Aderência (IA), que é a métrica utilizada para medir o grau de conformidade entre o plano de lavra e a execução real da operação, assumindo uma alta importância, pois reflete a capacidade da operação de atingir metas estabelecidas e do cumprimento de cronogramas, adaptando-se rapidamente às variáveis operacionais e geológicas que surgem no dia a dia das operações.

A importância desse indicador é devido a sua capacidade de estabelecer uma visão clara e sistemática sobre a eficácia das operações mineiras e a assertividade e precisão do planejamento, visto que, um IA alto, entre 85% e

90% reflete que as operações estão em linha com o que foi planejado inicialmente, fato que indica uma utilização eficiente dos recursos e uma operação otimizada. Sob outra perspectiva, quando o IA se apresenta inferior ao esperado, entre 75% e 80%, indica discrepâncias nos fatores que compõem o planejamento, como modelo geológico, dificuldades operacionais e de infraestrutura, condições climáticas e entre outros que impactam negativamente o indicador. Costa (2015) enfatiza que em todas as fases, etapas ou estágios da vida de uma mina é essencial acompanhar o desempenho dos setores produtivos por meio de índices que medem a eficiência de um processo. Ferramentas como gráficos de controle monitoram a variabilidade e a estabilidade de um processo, avaliando se este está de acordo com o desempenho desejado. Essa avaliação é obtida por intermédio de indicadores de desempenho como a reconciliação, aderência nas lavras, relação estéril / minério, disponibilidade física e utilização dos equipamentos, aderência econômica, entre outros.

Neste estudo, identificou-se que para uma melhor potencialização e aumento do Índice de Aderência (IA), deve-se ajustar o modelo de blocos utilizado no planejamento de lavra, assim como administrar e implantar um rigoroso programa de manutenções preventivas de infraestrutura de mina nos meses que antecedem o período chuvoso na região, com a finalidade de que a operação não seja tão impactada pelas chuvas, garantindo a eficácia e continuidade da mesma. Ademais, a mitigação de falhas operacionais humanas é de suma importância, visto que, pode assegurar a conformidade com os padrões de planejamento e operações estabelecidos e conseqüentemente um aumento na aderência ao plano de lavra elaborado.

## 2. OBJETIVO GERAL

Demonstrar como é realizado o cálculo do indicador de aderência ao plano anual de lavra em uma mina de minério de ferro, localizada no quadrilátero ferrífero, demonstrando os principais gargalos, falhas do planejamento, ferramentas de melhoria e busca de soluções para aumentar a aderência operacional real ao plano de lavra proposto.

### *Objetivos Específicos*

- Conceitualizar os métodos de lavra utilizados na mineração a céu aberto, com ênfase na lavra por bancadas, que é a utilizada pelo objeto de estudo.
- Descrever o conceito de planejamento de mina, com ênfase no curto prazo.
- Definir as ferramentas utilizadas para melhoria do processo.
- Apresentar a metodologia utilizada para o cálculo do índice de aderência e os principais fatores que impactaram durante o ano.
- Propor soluções e melhorias para aderência do plano anual ao planejado pelo médio e longo prazo.

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1. Métodos de lavra a céu aberto

A lavra engloba todo o conjunto de operações unitárias de aproveitamento da jazida. Corresponde à quarta fase da mineração (as anteriores são a prospecção, a exploração e o desenvolvimento) e é alternativamente chamada de exploração. Denomina-se método de lavra a sistematização e coordenação das várias operações unitárias visando ao aproveitamento de uma jazida mineral (CURI, 1991).

Os principais métodos de lavra a céu aberto são:

- A lavra por bancadas.
- A lavra em tiras ou fatias.
- A lavra de pedreiras.

##### *Lavra por Bancada*

O método de lavra por bancadas é mais usado em minas onde o corpo de minério esteja recoberto por um capeamento espesso. As bancadas são desenvolvidas consecutivamente, de cima para baixo, até se atingirem os limites finais dos corpos mineralizados mais profundos. O minério é recuperado e o estéril é removido e disposto em pilhas nas imediações da cava. Quando possível, o estéril poderá ser depositado na própria cava, facilitando a recuperação ambiental da área. A lavra por bancadas é utilizada principalmente em depósitos de minérios metálicos (CURI, 2017).

A figura 1, apresenta um exemplo de lavra por bancada, destacando a progressão das operações de lavra das cotas de maior altitude para as de menor altitude. A representação visual exposta facilita a compreensão da evolução da lavra como um objeto real e da disposição dos materiais extraídos, como a cava de disposição de rejeito em polpa na porção nordeste da imagem abaixo.



Figura 1 - Exemplo de lavra por bancada

### **3.2. Planejamento de Lavra**

Conforme Curi (2014), o planejamento de lavra corresponde ao projeto de avanço da lavra da mina envolvendo a previsão dos recursos e a determinação dos custos intrínsecos a esse avanço. À proporção que ocorre a lavra, novos desafios, empecilhos e informações sobre a reserva são evidenciados, acarretando na necessidade de readaptações do plano original, chamado Plano Orçamentário, essas adaptações são realizadas periodicamente em um tempo estabelecido de 3 meses e é denominado Plano de Revisão.

O planejamento de lavra é dividido entre longo, médio e curto prazo. No presente trabalho, será abordado o Plano Anual, que está inserido no Planejamento de Curto Prazo.

Figura 2 - Hierarquia Planejamento de Mina



### 3.2.1. Planejamento de lavra a longo prazo

Segundo Curi (2014), o plano de exaustão da mina se estabelece, essencialmente, como um plano a longo prazo, sendo também o plano mais estratégico. A sua elaboração visa aos objetivos e cubar a reserva teoricamente lavrável; determinar o estéril a ser removido e, conseqüentemente, a relação estéril/minério; definir os limites da cava final, impedindo, assim, a construção de obras permanentes dentro desses limites e prever as vias de acesso que se fizeram necessárias.

Ademais, Curi (2014) menciona que o planejamento de lavra de longo prazo é uma das primeiras etapas do plano de extração de minério de uma cava, é de suma importância que seus resultados gerados como a cava ótima, relação estéril minério global, dimensionamento e orçamento das frotas sejam ideais, para que o início do processo de extração de minério ocorra de forma correta sem geração de custos extras.

### *3.2.2. Planejamento de lavra a médio prazo*

De acordo com Campos (2017), o planejamento de médio prazo é importante para certificar que os objetivos intermediários sejam cumpridos. Geralmente esse planejamento consiste em períodos de 1 a 5 anos.

O planejamento de lavra a médio prazo tem como objetivo planejar a lavra anualmente e determinar as superfícies operacionalizadas, determinar as atividades auxiliares necessárias para exequibilidade econômica e operacional dos planos, identificar os gargalos produtivos. Além disso, realizar de forma efetiva o dimensionamento de frotas e correias transportadoras, criar o plano de drenagem e infraestrutura de mina e realizar análise de riscos e investimentos, com o intuito de definir as necessidades de investimentos (equipamentos móveis de mina, transportador de correias, estruturas de drenagem, mão de obra, pesquisa e sondagem, dentre outros).

### *3.2.3. Planejamento de lavra a curto prazo*

O planejamento de curto prazo se refere aos aspectos operacionais da lavra da mina, como a determinação do ritmo de lavra nas diversas frentes em atividade e a alocação de equipamentos de carga e transporte (PINTO e MERSCHMANN, 2001). Pode ser determinado como um detalhamento dos planos de médio e longo prazo.

### *3.2.4. Plano Anual de lavra*

Atuando em um aspecto anual, o plano deve conter detalhamento dos 12 meses que compõem o ano e é de suma importância durante o período de elaboração, executar o levantamento e consolidação das premissas de todas as atividades que impactam a rotina de produção, determinar o plano de produção e qualidade final no concentrador.

Ademais, identificar possíveis gargalos do processo produtivo, operacionalizar e sequenciar as frentes de lavra, dimensionar a frota e sistema

de correias que compõem o transporte do material e realizar análise de risco e determinar ações com objetivo de mitigá-los. Além de sequenciar a disposição de estéril e rejeitos.

### **3.3. Software de mineração**

A utilização de softwares de mineração tem se mostrado bastante positiva quando se trata do aperfeiçoamento da rotina dos engenheiros e na melhoria contínua da eficiência operacional. Os softwares impactam diretamente na produtividade, mitigação de riscos, segurança, sustentabilidade e maior utilização de recursos dentro das atividades mineiras como um todo. Atua diretamente no aumento de produtividade, visto que, fornece ferramentas importantes para a modelagem geológica, simulação de processos, sequenciamento e planejamento de lavra.

Tem efetiva participação na melhoria de segurança, sustentabilidade e gestão ambiental, pois fornece simulações de análises mais detalhadas, monitoramento em tempo real que impactam diretamente nas decisões tomadas durante o processo, minimizando os riscos aos quais os trabalhadores são expostos e diminuindo os impactos no meio ambiente.

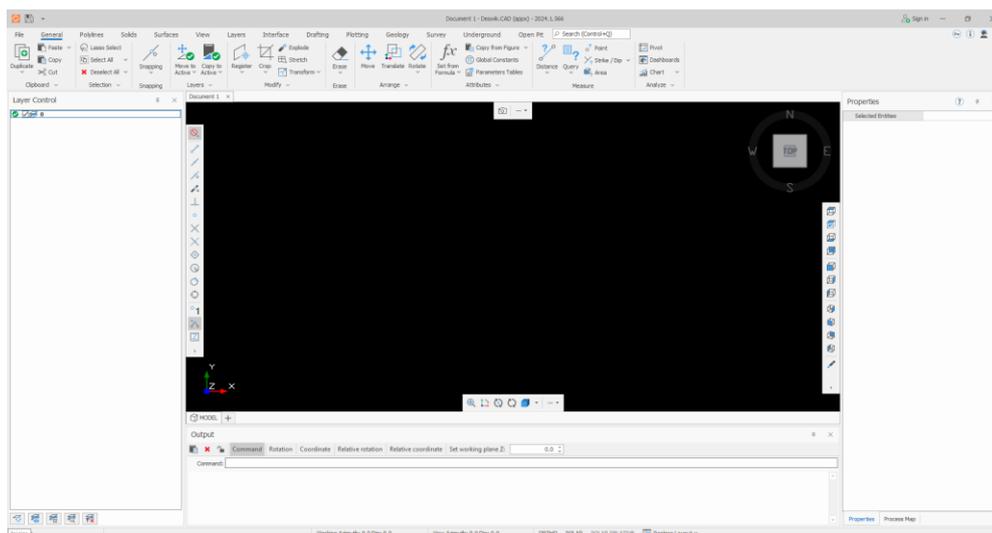
#### *3.3.1. Deswik*

A *Deswik* é uma empresa de tecnologia e consultoria multinacional que oferece soluções eficientes em todos os setores da mineração – Lavra a Céu Aberto e Subterrânea, de carvão e de metais. A empresa fornece ferramentas líderes de mercado para garantir planos de lavra consistentes, transparentes e alcançáveis, com softwares desenvolvidos para aproveitar ao máximo as últimas tecnologias de alto desempenho e excelentes algoritmos de computação (DESWIK, 2024). O pacote de *software* possui inúmeras ferramentas e extensões, sendo utilizado o *Deswik.CAD* para medir os indicadores presentes nesse trabalho.

### 3.3.2. Deswik.CAD

O Deswik.CAD reúne a potência visual de uma ferramenta moderna de CAD com o gerenciamento eficiente de informações de um banco de dados plenamente equipado, o que permite exibir, analisar e gerar relatórios sempre que for necessário. Desenvolvido com o intuito de fornecer genéricas ferramentas de engenharia com aplicativos flexíveis, gerenciamento integrado de dados, com um formato inclusivo, funcionalidade para levantamentos topográficos, ferramentas para projeto de lavra, mecanismo de desenho de cavas baseados em regras para projetos, possibilitando análises de cenários e hipóteses, geração de sólidos e superfícies (DESWIK,2019).

Figura 3: Interface inicial Deswik.CAD



### 3.4. Topografia

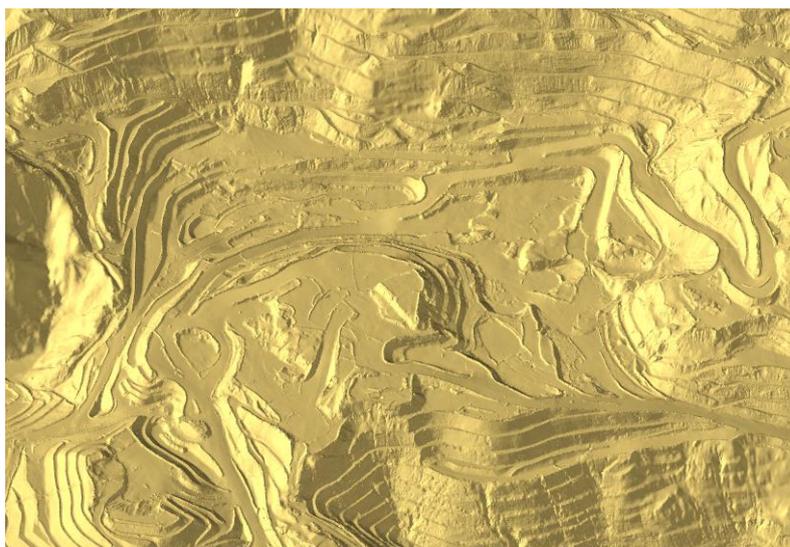
De acordo com a NBR 13133 (ABNT, 1991, p. 3), Norma Brasileira para execução de Levantamento Topográfico, o levantamento topográfico é definido por:

“Conjunto de métodos e processos que, através de medições de ângulos horizontais e verticais, de distâncias horizontais, verticais e inclinadas, com instrumental adequado à exatidão pretendida, primordialmente, implanta e materializa pontos de apoio no terreno, determinando suas coordenadas topográficas. A estes pontos se relacionam os pontos de detalhe visando a sua exata representação planimétrica numa escala pré-determinada e à sua representação altimétrica por intermédio de curvas de nível, com equidistância também pré-determinada e/ou pontos cotados.”

A topografia é uma ciência essencial para a engenharia de minas, especialmente no planejamento. Ela se dedica ao estudo e à representação gráfica detalhada da superfície de referência. Na mina estuda, os levantamentos topográficos são realizados diariamente na mineração, tendo como principal objetivo o monitoramento. A partir da nuvem de pontos coletada por meio de laser e drones, são geradas superfícies 3D pelo *software* utilizado supracitado, o Deswik.CAD.

Com a superfície criada, é possível desenvolver um mecanismo de acompanhamento eficaz, elaborando planos detalhados que abrangem desde o longo até o curto prazo. Esse processo é extremamente essencial para o acompanhamento efetivo da rotina na mineração, garantindo que as operações sejam realizadas de maneira segura e eficiente, além de permitir ajustes rápidos e precisos conforme necessário.

Figura 4: Topografia rotacionada



### 3.5. KPI'S

KPI'S, sigla em inglês para *Key Performance Indicator*, refere-se aos indicadores chave de desempenho, que são utilizados para medir os seus principais processos. De acordo com o Manual de Indicadores do Ministério Público do Estado de São Paulo (MINISTÉRIO PÚBLICO DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2024) os KPIs são ferramentas de gestão largamente utilizadas por empresas do mundo todo para medir e avaliar o desempenho de seus processos e gerenciá-los da maneira mais eficaz e eficiente possível, visando à conquista das metas e objetivos previamente estipulados pelas Instituições.

Segundo Parmenter (2010), os KPI's possuem algumas características fundamentais em sua formação e utilização, sendo elas:

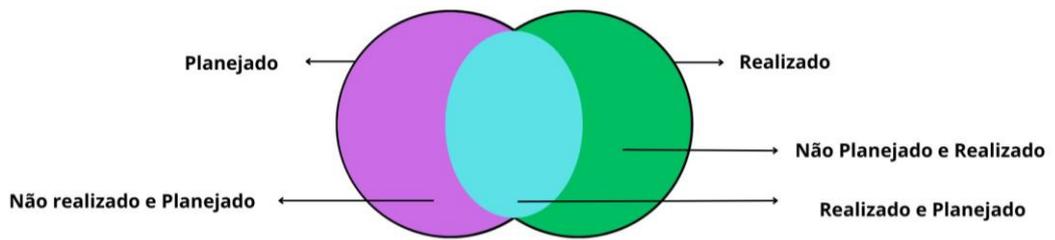
- São medidas não financeiras;
- São medidas frequentemente analisadas;
- Devem ser acionadas e avaliadas também pelo corpo gerencial do empreendimento;
- Permitem uma clara análise da ação a ser tomada com o objetivo de corrigir quaisquer desvios;
- Permitem a designação, por parte do corpo gerencial, a uma equipe responsável para tomar ações;
- Possuem impacto significativo na atividade em que se aplica;
- Incentivam ação apropriada, garantindo um impacto positivo no desempenho.

Segundo Batista (2022), apesar do considerável número de KPI's existentes, é responsabilidade do empreendimento selecionar aqueles que melhor se adequam às atividades realizadas e seus respectivos objetivos. De acordo com Nader *et al.* (2012) os principais KPI's que compreendem o planejamento de mina são: inclinação máxima de rampas, percentual de atendimento do plano estratégico, reconciliação de lavra, custo do run of mine (ROM) que é o minério antes da britagem, aderência ao orçamento, relação estéril minério (REM), aderência da lavra ao planejamento, fator de recuperação de lavra e fator de diluição total.

O objeto de estudo do presente trabalho é a aderência da lavra ao planejamento, onde o Índice de Aderência (IA), segundo Batista (2022), demonstra a taxa de desvio da operação de lavra em relação ao que foi representado no plano de lavra. A eq.(1) é usada para calcular o IA a partir da divisão de massa total realizada e planejada (PR), pelo somatório da massa total realizada e planejada (PR) e a massa total não planejada e realizada (RNP) (Figura 5) (CÂMARA 2013).

$$IA = \frac{PR}{PR + RNP} \times 100 \quad (1)$$

Figura 5- Perfil indicador de aderência (IA).



Fonte: Adaptado de CÂMARA (2013).

Adicionalmente, Batista (2022), observa que nos últimos 15 anos, o comportamento dos preços dos metais no mercado mundial, especialmente do ferro e do ouro, influenciou diretamente a gestão das atividades de produção minerária. A queda acentuada no preço do minério de ferro exigiu uma intensificação rigorosa das operações para manter a viabilidade econômica, o que se refletiu no aumento do número de publicações acadêmicas focadas em indicadores de desempenho, particularmente nos anos em que os preços dos minérios atingiram seus menores níveis.

Essa estrutura revisada reforça a importância dos *KPI's* na mineração, destacando como a análise desses indicadores se tornou essencial, especialmente em períodos de desafios econômicos.

## 4. METODOLOGIA

Com base na revisão bibliográfica supracitada, foi realizada uma análise do *KPI* do Índice de Aderência (IA), em uma Mina de Ferro localizada em Minas Gerais. Através de uma abordagem quantitativa, foram executadas análises volumétricas e geométricas de aderência ao Plano anual de lavra durante um ano. A análise geométrica de aderência envolve a verificação da correspondência entre os limites planejados para a lavra e os volumes reais realizados durante o período estabelecido para a avaliação. Onde o IA é um dos índices de desempenho utilizado pelo planejamento de lavra para avaliar o desempenho das operações e planejamento.

### 4.1. Procedimento para a o cálculo volumétrico topográfico

Nos tópicos indicados abaixo, é representado o procedimento de elaboração do índice de aderência mensal acumulada, repetindo-o durante os 12 meses subsequentes. Sendo composto pela geração do volume lavrado, realizado não planejado e planejado realizado, por meio de comandos executados dentro do *software Deswik.CAD*.

#### 4.1.1. Estimação do volume lavrado mensal acumulado

A movimentação de material realizada durante o período estabelecido será definida como “realizado”. Para a criação do sólido volumétrico, foi necessário a utilização de 2 topografias, sendo a primeira a base que melhor representa o ano vigente e a segunda a topografia do mês vigente a qual se deseja calcular a aderência acumulada. A Figura 6 demonstra o sólido do volume realizado durante 1 mês, através do corte das duas topografias supracitadas, assim como a topografia que melhor representa o ano vigente que foi calculado. Já a Figura 7, representa o sólido lavrado e a topografia que melhor representa o mês vigente que foi calculado.

Figura 6 - Sólido realizado e topografia que melhor representa o ano



Figura 7- Sólido realizado e topografia que melhor representa o mês

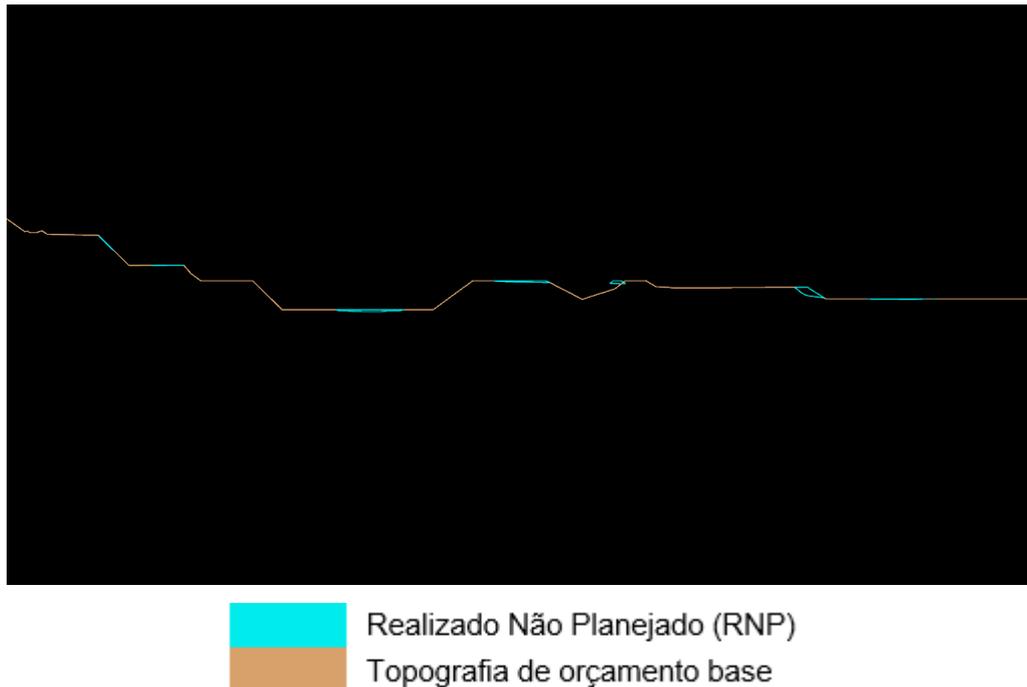


#### 4.1.2. Cálculo do volume realizado não planejado

Define-se o volume de material que foi lavrado fora do plano mensal pré-estabelecido como, realizado não planejado (RNP). O resultado desse volume se dá através da topografia de orçamento base do mês que está sendo realizada a aderência e o sólido lavrado resultado do processo 4.1.1. Sendo assim, quando

realizamos o corte do sólido na topografia de orçamento, será criado o sólido volumétrico que indica as regiões que foram realizadas, porém, não planejadas. A Figura 8, representa o sólido realizado não planejado em conjunto com a topografia de orçamento base que foi planejado.

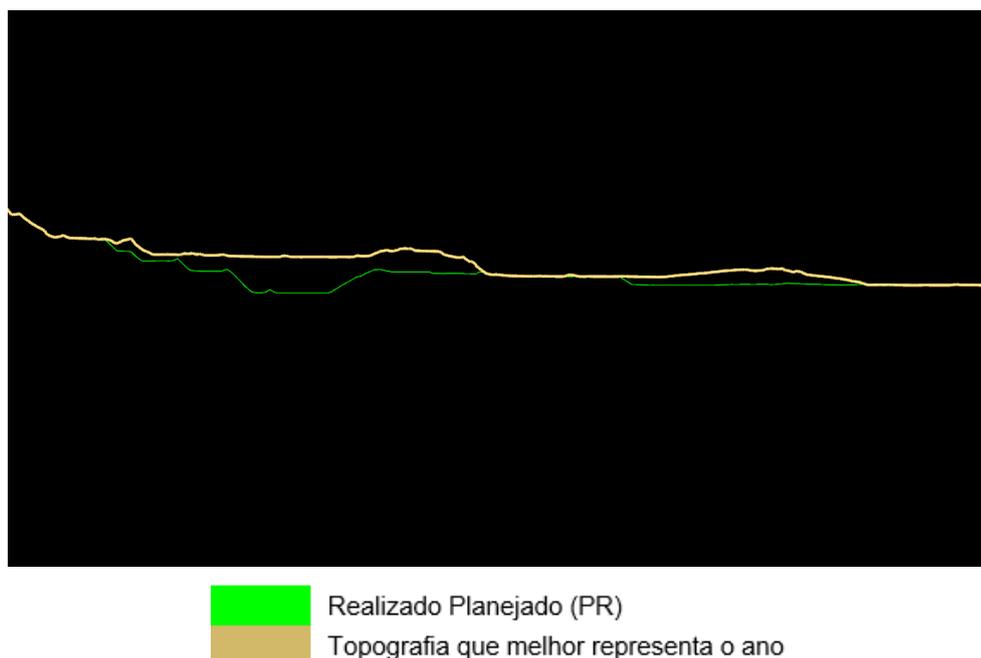
Figura 8- Sólido realizado não planejado e topografia de orçamento



#### 4.1.3. Cálculo do volume planejado realizado

O volume de material lavrado que está contemplado no plano mensal de lavra é definido como, planejado realizado (PR). Para a geração do sólido é necessário realizar um corte entre os sólidos realizado e realizado não planejado, gerados no processo 4.1.1 e 4.1.2 respectivamente. A Figura 9 representa o sólido planejado realizado e a topografia que melhor representa o ano.

Figura 9- Sólido planejado realizado e topografia que melhor representa o ano



#### 4.2. Procedimento para o cálculo do índice de aderência

Para a realização do cálculo do índice de aderência foi utilizada a ferramenta *Microsoft Excel*, onde os dados de entrada são os volumes realizados, RNP e PR, encontrados no item 4.1.1, 4.1.2 e 4.1.3 respectivamente.

##### 4.2.1. Organização dos Dados

Os volumes realizados, RNP e PR foram inseridos na tabela 1, para cada uma das minas estudadas. Os dados de entrada foram organizados em colunas separadas como forma de facilitar a análise e o cálculo subsequente.

##### 4.2.2. Cálculo do Índice de Aderência Individual e Total

Para cada mina, o IA foi calculado de acordo com a eq.(1)

$$IA = \frac{PR}{PR + RNP} \times 100 \quad (1)$$

Este cálculo tem como objetivo determinar a porcentagem resultante do indicador. Após calcular o IA individualmente para cada mina, os volumes realizados, RNP e PR das duas minas foram somados, gerando assim, o IA total da mina estudada, fornecendo uma visão geral da aderência da operação em relação ao plano de lavra inicial.

#### 4.2.3. Apresentação de resultados

As tabelas 1 e 2, mostram de forma simplificada os dados volumétricos gerados anteriormente nos itens 4.1.1, 4.1.2, 4.1.3 sendo respectivamente o volume realizado, RNP e PR, em conjunto com o IA gerado após os valores citados serem inseridos na eq. (1), os números apresentados são referentes aos 12 meses do ano estudado, sendo a Tabela 1 referente a mina oeste e a Tabela 2 a mina leste.

Tabela 1 - Índice de Aderência mina oeste

<b>Mês</b>	<b>Realizado (m<sup>3</sup>)</b>	<b>RNP (m<sup>3</sup>)</b>	<b>PR (m<sup>3</sup>)</b>	<b>IA(%)</b>
Janeiro	598.15	364.69	233.46	39%
Fevereiro	1,277.43	614.75	662.68	52%
Março	1,929.33	739.04	1,190.29	62%
Abril	2,597.37	37.50	1,924.28	74%
Maio	3,401.51	818.12	2,583.39	76%
Junho	4,194.49	882.47	3,312.02	79%
Julho	4,886.10	666.36	4,219.74	86%
Agosto	5,686.47	932.63	4,753.84	84%
Setembro	6,522.24	1,013.16	5,509.08	84%
Outubro	7,354.74	1,130.64	6,224.09	85%
Novembro	7,843.55	1,203.71	6,639.83	85%
Dezembro	8,027.03	1,005.85	7,021.18	87%

Tabela 2 – Índice de Aderência mina leste

<b>Mês</b>	<b>Realizado (m³)</b>	<b>RNP (m³)</b>	<b>PR (m³)</b>	<b>IA(%)</b>
Janeiro	791.44	248.12	543.32	69%
Fevereiro	1,673.49	631.06	1,042.43	62%
Março	2,806.38	1,004.78	1,801.60	64%
Abril	3,449.53	1,337.06	2,112.47	61%
Mai	4,515.64	1,416.95	3,098.68	69%
Junho	5,317.25	1,376.01	3,941.24	74%
Julho	6,005.87	1,463.78	4,542.10	76%
Agosto	6,967.58	1,409.18	5,558.41	80%
Setembro	7,596.46	1,206.53	6,389.93	84%
Outubro	8,542.26	1,414.33	7,127.93	83%
Novembro	9,512.21	1,134.35	8,377.86	88%
Dezembro	10,449.03	1,009.31	9,439.72	90%

Após os resultados individuais, foi somado item a item da tabela 1 e tabela 2, gerando assim a Tabela 3, que mostra o Índice de aderência total da operação estudada de forma geral, sintetizando assim, os dados volumétricos de todas as frentes de lavra estudadas, facilitando a avaliação global da aderência operacional ao plano de lavra.

Tabela 3 - Índice de Aderência Total

<b>Mês</b>	<b>Realizado (m³)</b>	<b>RNP (m³)</b>	<b>PR (m³)</b>	<b>IA(%)</b>
Janeiro	1,389.59	612.81	776.78	56%
Fevereiro	2,950.92	1,245.81	1,705.11	58%
Março	4,735.72	1,743.82	2,991.89	63%
Abril	6,046.90	1,374.55	4,036.75	75%
Mai	7,917.15	2,235.07	5,682.08	72%
Junho	9,511.74	2,258.48	7,253.26	76%
Julho	10,891.97	2,130.14	8,761.83	80%
Agosto	12,654.06	2,341.81	10,312.25	81%
Setembro	14,118.70	2,219.69	11,899.01	84%
Outubro	15,897.00	2,544.97	13,352.03	84%
Novembro	17,355.75	2,338.06	15,017.69	87%
Dezembro	18,476.06	2,015.16	16,460.90	89%

Essa metodologia permite uma avaliação precisa e detalhada do desempenho operacional em relação ao planejado. O uso do Microsoft Excel para a elaboração dos cálculos acima, tem como finalidade a facilitação da manipulação dos dados, criação de tabelas, gráficos e relatórios detalhados, contribuindo consideravelmente para a identificação das áreas que necessitam de implementações de melhorias e ações corretivas para otimizar o desempenho operacional e mitigação de riscos.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados foram elaborados a partir da geração dos volumes com base no *software Deswik.CAD*, em conjunto com os cálculos de (IA) realizados no *Microsoft Excel*, demonstrado no capítulo de metodologia supracitado. Na tabela 1, os valores do indicador de desempenho estão descritos em porcentagem e representam os 12 meses do ano de estudo.

### 5.1. Geração do volume realizado

Através do item 4, o capítulo de metodologia, onde foi demonstrado o procedimento detalhado para gerar os resultados referentes ao volume realizado, realizado não planejado e planejado realizado em metros cúbicos (m<sup>3</sup>) referente ao ano estudado, foi aplicado ao *software Deswik.CAD* para se obter os resultados do trabalho apresentado.

A Figura número 10, representa em um formato bidimensional (2D) e ilustra a interface do *software* após gerar os sólidos utilizados para a realização do cálculo volumétrico do mês vigente, sendo essencial para análise dos dados do IA no período de estudo.

Podemos observar em escala de cinza, a topografia base, que melhor representa o ano de estudo, ou seja, o primeiro levantamento topográfico do período, esta camada é fundamental, pois fornece referências do território e seu atual estado antes do início do processo, garantindo a precisão na comparação dos volumes lavrados no tempo especificado.

O sólido Realizado não planejado (RNP) evidenciado em cor ciano, caracteriza o volume lavrado fora da geometria prevista originalmente, apontando desvios operacionais onde a lavra não seguiu o planejamento original. Esses sólidos, são de suma importância para identificar os erros cometidos, visando a correção de práticas da operação e ajustes nos próximos planos. Na figura 10, pode-se observar na porção oeste, uma grande quantidade de volume realizado não planejado (RNP), fator influenciado diretamente pelas dificuldades operacionais encontradas no mês vigente, ocasionando a necessidade de substituição de massa. Desvio justificado visando

cumprir com as metas de produção e garantindo a qualidade do material extraído, diminuindo os desvios negativos no produto final.

Por outro lado, o Planejado realizado (PR) é exibido em tonalidade verde e corresponde ao volume que foi projetado anteriormente e foi realizado no período previsto. Na figura 10, observa-se na porção central, uma quantidade significativa de volume PR, indicando que o material foi lavrado de acordo com o planejado.

A Figura 11 expande a análise ao representar os mesmos itens em três dimensões (3D). Proporcionando uma perspectiva mais real e intuitiva dos volumes e as posições dentro da mina, fator facilitador para se analisar os dados e identificar as áreas mais críticas, permitindo uma melhor comunicação entre o planejamento e operação de mina, auxiliando de uma forma mais clara as tomadas de decisões e estratégias para reverter os desvios apresentados.

Figura 10 - Sólidos RNP e PR em 2D, região da mina oeste.

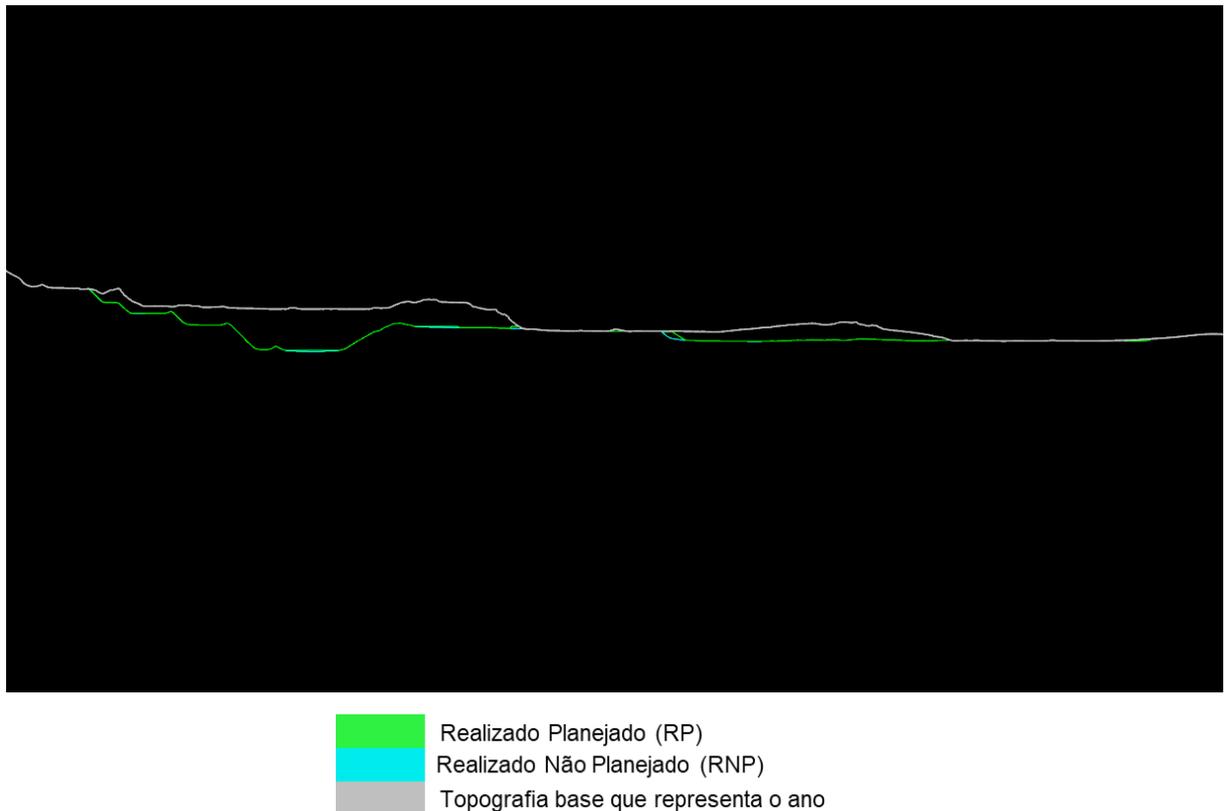
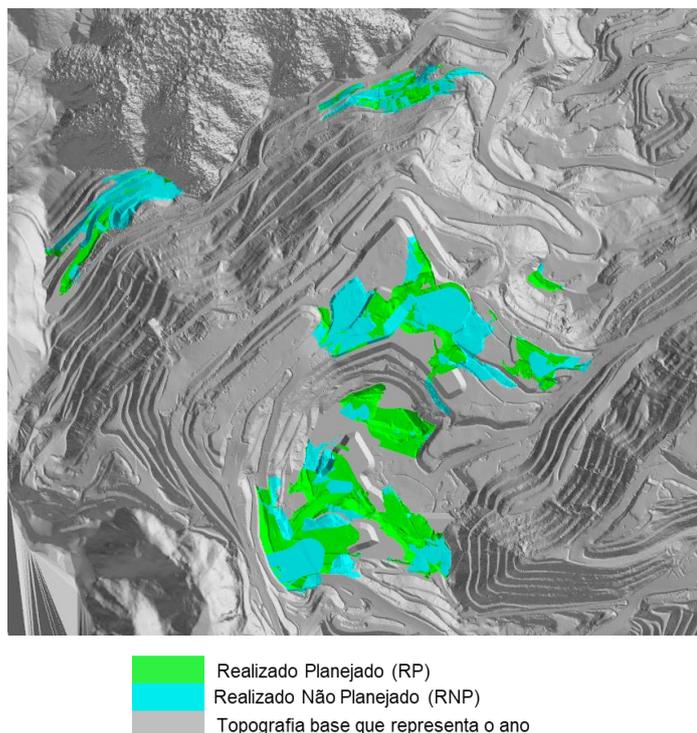


Figura 11- Sólidos RNP e PR em 3D, região da mina Oeste.



## 5.2. Cálculo do Índice de Aderência

A Tabela 4 apresenta o índice de aderência das minas oeste e leste de forma mensal e em porcentagem, pode-se identificar também a coluna de IA total, sendo utilizada a soma dos volumes realizados, RNP e PR das duas minas e inseridas na eq. (1), descrita no capítulo de metodologia.

O objetivo da tabela 4 é quantificar a aderência dos planos de lavra ao longo do ano em uma visão numérica, permitindo uma análise mais rápida e comparativa, assim representada no formato de indicador chave de desempenho, que reflete a eficácia do planejamento de lavra e a execução das operações mineiras. Também pode-se observar que a mina leste tem uma estabilidade maior, visto que é uma mina que segue um projeto de cava para disposição de rejeito em polpa, previsto no planejamento a longo prazo. Tornando-se extremamente inflexível em questões como atraso de lavra, pois o cronograma em que se baseia o projeto é bastante rígido, e o descumprimento do mesmo pode causar uma indisponibilidade da cava para disposição, podendo comprometer a continuidade das atividades de operações de beneficiamento.

Além disso, a não conformidade com o projeto previamente aprovado em aspectos ambientais e regulamentares pode ocasionar multas e penalidades severas. Pode-se destacar a existência de aspectos de infraestrutura planejados para a conversão de mina para cava de disposição que podem ser afetados pelos atrasos operacionais, como sistemas de bombeamento de polpas, que demandam uma precisão maior, pois qualquer desvio pode ocasionar aumento de custo, além da coordenação logística entre lavra e disposição que exige exatidão para evitar gargalos e causar ineficiência produtiva.

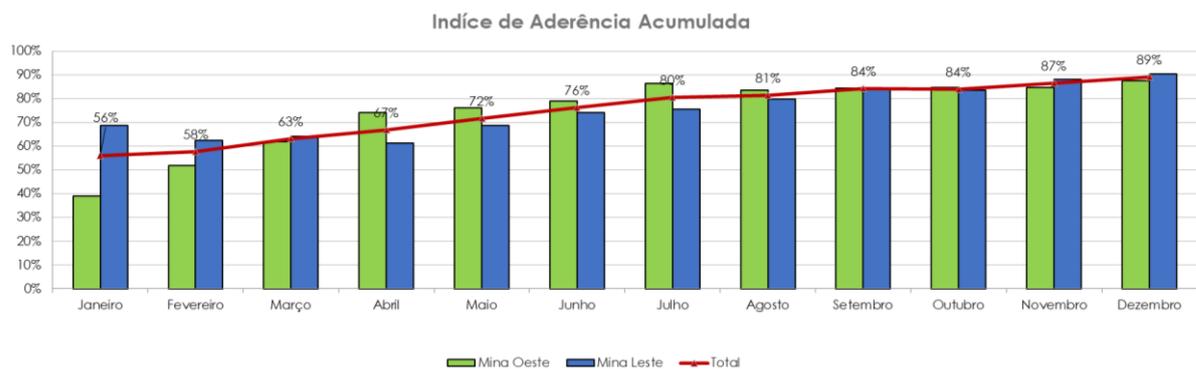
Tabela 4 - Valores dos Índices de Aderência, em %, determinados pelo Microsoft Excel

<b>Mês</b>	<b>Mina Oeste</b>	<b>Mina Leste</b>	<b>Total</b>
Janeiro	39%	69%	56%
Fevereiro	52%	62%	58%
Março	62%	64%	63%
Abril	74%	61%	67%
Maio	76%	69%	72%
Junho	79%	74%	76%
Julho	86%	76%	80%
Agosto	84%	80%	81%
Setembro	84%	84%	84%
Outubro	85%	83%	84%
Novembro	85%	88%	87%
Dezembro	87%	90%	89%

A partir do gráfico 1, observa-se uma queda expressiva do IA entre os meses de janeiro e fevereiro quando trata-se da mina leste, ocasionada por uma dificuldade operacional encontrada e que não estava prevista. Essa dificuldade na frente de lavra se manifestou de uma maneira inesperada e fez com que o material planejado fosse impossibilitado de ser utilizado imediatamente, impactando diretamente na eficiência das operações mineiras. Esse fator teve impacto na aderência do ano como um todo, devido a proximidade do material ao limite ambiental atual aprovado da mina, fato que impõe uma série de restrições adicionais à operação de lavra.

O material retido não pode ser extraído devido à proximidade do limite ambiental, sendo assim, foram desenvolvidas estratégias eficazes para a substituição de massa e qualidade da região planejada pelas demais encontradas na mina. O primeiro estudo aplicado foi a modelagem geológica atual, avaliando se existe a presença de variações na composição do minério e na presença de estruturas geológicas imprevistas ou a contras condições subterrâneas adversas não contempladas anteriormente. Após análise da natureza da problemática atual, foi reformuladas as soluções alternativas para mitigar os impactos na produção do produto final durante o ano, utilizando a substituição de frentes alternativas, fato que impacta diretamente no IA durante o ano, mas em contrapartida, reduz o impacto de produção do material final.

Gráfico 1 – Índice de Aderência Acumulada



### 5.3. Análise crítica dos resultados

A partir dos dados exibidos no Gráfico 1, pode-se observar que o IA no ano segue um comportamento linear e crescente. Com base nisso, foi realizada uma análise qualitativa dos dados apresentados anteriormente para compreender melhor os fatores que influenciaram essa tendência. Com isso, foi gerado o Gráfico 2 que representa, em forma de colunas, as justificativas que mais impactaram os quatro

trimestres do ano vigente, com o objetivo de demonstrar de forma mais clara os fatores de maior relevância para o estudo, o formato escolhido tem extrema importância para uma análise efetiva e compreensão do desempenho operacional e dos fatores que influenciaram as atividades de lavra no decorrer do tempo, permitindo uma comparação direta e intuitiva entre as categorias de fatores e os períodos.

No primeiro trimestre, o impacto foi significativamente influenciado pela antecipação de lavra, conforme estratégias geradas no plano de revisão. Esse período também sofreu uma alta porcentagem de impacto devido à estação chuvosa, já que o primeiro trimestre do ano coincide com o período de maior índice pluviométrico na localidade da mina. Esse fator é justificável a partir da análise mostrada no Gráfico 4, que apresenta o Índice de Temperatura e Precipitação da cidade onde está situada a mina. A alta precipitação afeta diretamente as operações de lavra e infraestrutura da mina, causando atrasos e reduzindo a eficiência operacional.

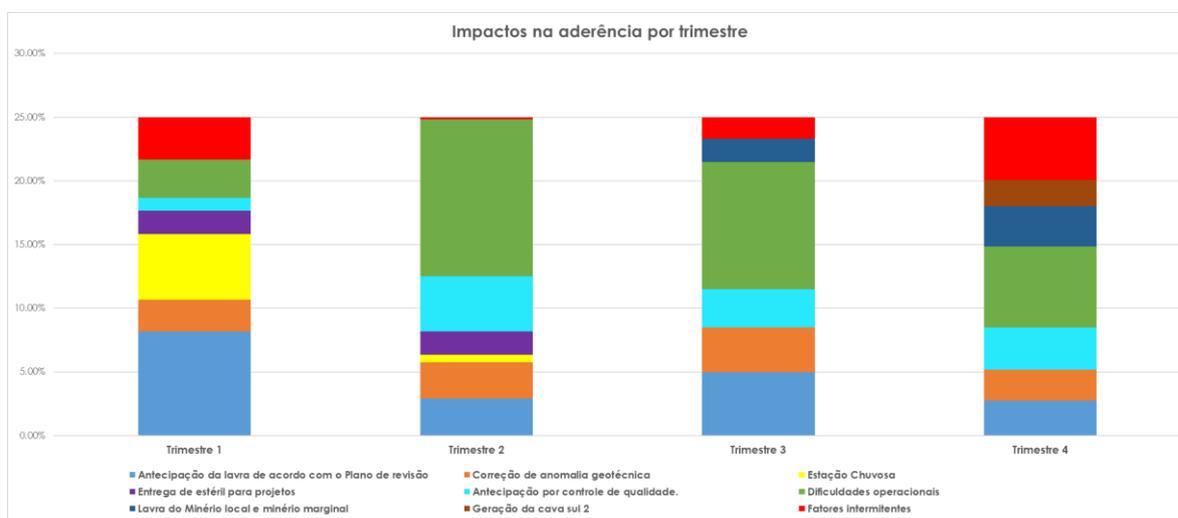
Já no segundo trimestre, podemos notar um grande efeito nas dificuldades operacionais dentro da mina, sendo o fator de maior impacto neste intervalo de tempo, tendo como foco principal o impedimento de lavra em uma frente planejada anteriormente na mina leste. Da mesma forma, podemos observar a alta influência do controle de qualidade, fator importante para substituir de forma coerente a massa anteriormente programada e que não foi possível realizar, são ajustes necessários durante o período apresentado, com o objetivo de mitigar riscos e diminuir a diferença de massa total e material levado a usina, respeitando os teores e qualidades previamente estabelecidos.

O terceiro trimestre mostrou uma diminuição das dificuldades operacionais, embora estas ainda representassem o índice de maior impacto, junto com a antecipação de lavra de acordo com o plano de revisão. Este período refletiu o esforço contínuo do planejamento de mina para otimizar as operações e compensar as perdas dos trimestres anteriores, realizando substituições de frentes para atender a massa e teor antes previstos para a usina. As estratégias de planejamento de lavra foram ajustadas para melhorar a eficiência e reduzir os impactos das dificuldades operacionais.

No quarto trimestre, observou-se uma queda nas dificuldades operacionais, com um impacto mais equilibrado entre os demais fatores. A correção de anomalias, que se perpetuou durante todo o ano, continuou a ser relevante, mas em menor escala comparada aos trimestres anteriores. Um novo fator de impacto emergente foi a geração da cava leste, como mencionado anteriormente, justificando a menor maleabilidade da mina leste. Este fator, embora novo, trouxe um impacto significativo, exigindo uma adaptação rápida e eficiente do planejamento de mina para incorporar essa nova realidade.

Em suma, a antecipação de lavra, a estação chuvosa, as dificuldades operacionais e o controle de qualidade são fatores interligados que exigiram ajustes contínuos e estratégias de mitigação ao longo do ano. Esta análise não apenas destaca a complexidade do planejamento de lavra, mas também a importância de uma abordagem flexível e adaptativa para enfrentar os desafios operacionais e ambientais que surgem no decorrer das operações de mineração.

Gráfico 2– Gráfico de justificativas trimestrais



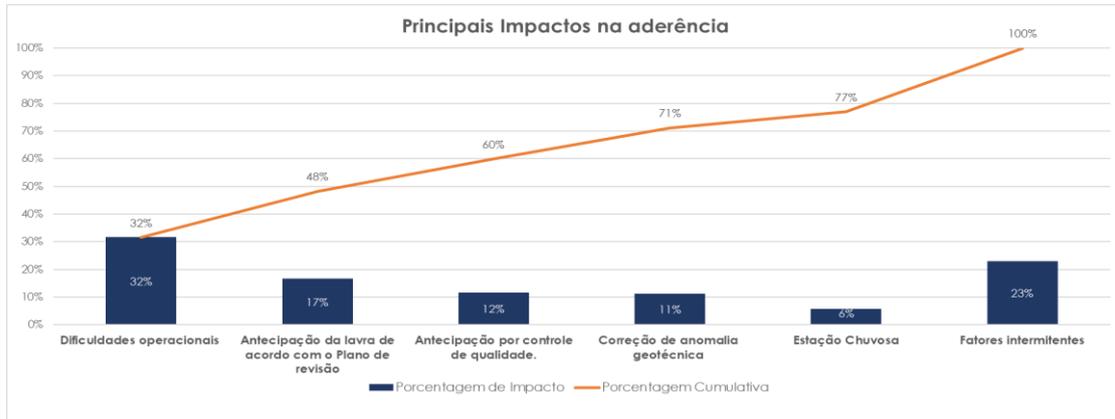
Foram levantados cerca de 78 argumentos ao longo do ano que justificam a perda de aderência da empresa. O gráfico 3, agrupa esses argumentos em 5 tópicos mais influentes de acordo o impacto em relação ao ano, as barras representam os fatores influentes já a linha de tendência em laranja representa a porcentagem acumulada referente ao total, destacamos os seguintes resultados: Dificuldades operacionais na execução da frente de lavra, antecipação da lavra de acordo com o

Plano de Revisão, antecipação por controle de qualidade, correção da anomalia geotécnica e estação chuvosa.

Pode-se observar que os fatores operacionais que podem ser mitigados em campo, são somente o representado pela primeira coluna, somando-se uma parcela de 32%. Para uma correção mais efetiva, deve-se implementar na rotina do planejamento de mina uma série de medidas estratégicas, com objetivo de aumentar a precisão, a flexibilidade operacional e garantir uma maior aderência ao plano de orçamento, como enfatizar a necessidade de melhoria na comunicação entre a geologia, planejamento e operação de mina, ministrar treinamentos para os operadores de dos equipamentos de lavra, para que os colaboradores estejam sempre atualizados com as melhores práticas e técnicas de operação, realizar programas de manutenção preventiva, para que os equipamentos estejam sempre no seu melhor estado de funcionamento, garantindo um aumento de eficiência operacional, fazer análise de falha diária do que foi realizado fora do planejado, pois assim pode-se destacar os erros recorrentes e buscar soluções imediatas. Todas as ações descritas são essenciais para a diminuição desse impacto negativo no IA.

Já os fatores que são impactados pela modelagem, que somam 17%, deve-se contar com um auxílio de terceiros para melhoria contínua. Isso inclui a revisão e atualização periódica do modelo geológico utilizado para geração do plano de lavra, contratações de consultorias especializadas com uma visão externas e novas abordagens para soluções complexas, investimentos em novas tecnologias que possam auxiliar na precisão tanto do modelo quanto do plano de lavra em questão, para que possa ser realizado uma série de simulações para chegar ao melhor cenário utilizável.

Gráfico 3 – Maiores impactos



### 5.3.1. Dificuldades operacionais na execução da frente de lavra

Ao longo do ano, as operações nas frentes de lavra enfrentam desafios significativos que impactaram negativamente o IA. A exploração de uma frente específica na mina leste, prevista no planejamento, foi impedida por restrições operacionais, resultando em um PR que, ao final do ano, revelou-se inferior à projeção inicial. Esta discrepância entre o planejado e o realizado teve efeitos adversos na aderência aos objetivos estabelecidos e, conseqüentemente, levou à necessidade emergencial de se recorrer à extração de minério de uma frente de lavra alternativa, que não estava incluída no planejamento original, colaborando com os números apresentados na terceira coluna do gráfico 3, antecipação por controle de qualidade. A finalidade dessa medida era cumprir com o ROM (*Run Of Mine*) programado estipulado para o ano, garantindo assim a qualidade do produto final.

Essa alteração não programada nas operações de lavra não só afetou a aderência ao planejamento como também elevou o RNP, refletindo uma relação inversamente proporcional com o IA. Isso significa que quanto maior o RNP, menor tende a ser o IA, uma dinâmica que foi claramente demonstrada pela fórmula mencionada anteriormente no capítulo de metodologia trabalho. Esta relação inversa é um indicativo da sensibilidade do IA às variações no RNP, ressaltando a importância do planejamento e da flexibilidade operacional na gestão das frentes de lavra.

### *5.3.2. Antecipação da lavra de acordo com o Plano de Revisão*

Conforme observado nos resultados obtidos pela empresa em estudo, a antecipação das atividades de mineração, alinhada às estratégias de revisão, teve um impacto direto e negativo sobre o IA do plano de produção anual.

Foi registrado um impacto significativo de 17% na aderência ao plano do ano, ressaltando a importância da atualização do plano de revisão em intervalos trimestrais para a implementação de ajustes estratégicos eficazes.

Esses ajustes, enfatizados pelas solicitações das diversas áreas com base em premissas sólidas, asseguraram que o plano vigente fosse executado da melhor maneira possível dentro do cenário atual da mina. Isso incluiu a consideração das dificuldades operacionais identificadas no plano anterior, garantindo uma abordagem mais adaptativa e otimizada às condições dinâmicas da operação mineira.

### *5.3.3. Antecipação por controle de qualidade*

A antecipação da lavra, estratégia implementada com o objetivo de controlar a qualidade do material extraído, pode estar associada a deficiências no modelamento geológico e nas investigações de sondagem realizadas previamente na área de lavra. Tal medida é frequentemente uma reação à qualidade do minério recebido pela usina, que pode divergir do teor de ferro esperado e conter níveis de contaminantes acima do previsto.

Além disso, as condições operacionais que visam o melhor aproveitamento do uso dos equipamentos e à redução do tempo ocioso da frota são fatores relevantes. O manejo de estéril para atender a projetos específicos também pode estar relacionado à antecipação da lavra, o que acarreta um incremento na produção de resíduos. Essas variáveis, se não forem geridas de forma eficaz, podem afetar negativamente tanto a eficiência operacional quanto a qualidade do produto final.

#### *5.3.4. Restrição de lavra devido a anomalia geotécnica*

A correção da anomalia geotécnica na mina em questão representa um fator crítico, exercendo uma influência de 11,25% no IA do projeto analisado. A estrutura em questão, é composta por uma sequência de taludes, onde foi encontrada uma erosão que contribui consideravelmente para a instabilidade geotécnica da região onde se encontra, na mina oeste, inviabilizando a lavra do local, fazendo com que a área da mina se torne inacessível quando tratamos de segurança operacional.

Durante o período de correção da anomalia geotécnica em cavas operacionais, podem surgir várias restrições à atividade de mineração, não apenas devido ao risco geotécnico inerente, mas também pelo potencial de ameaça à segurança dos trabalhadores envolvidos.

A equipe de geotecnia, em colaboração com os departamentos de planejamento, operação e infraestrutura da mina, juntamente com uma consultoria especializada, desenvolveu um plano de correção que se estenderá por 4 anos. Este plano contempla o retaludamento de toda a área anteriormente considerada instável, aplicação de um sistema efetivo de drenagem, visando mitigar a probabilidade de erosões oriundas da descarga hídrica do local, além de um processo de revegetação para mitigar os riscos efetivamente e assegurar a continuidade das operações da cava de longo prazo da empresa, priorizando a segurança, a integridade estrutural da mina e buscando uma estabilidade do talude global.

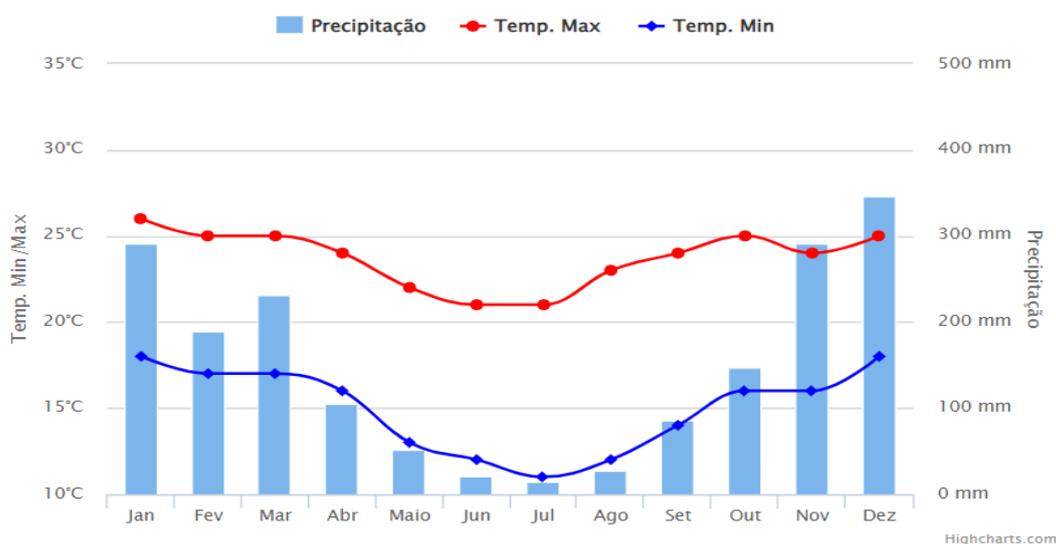
#### *5.3.5. Estação chuvosa*

A estação chuvosa impõe desafios significativos ao IA, com efeitos notáveis durante sua presença, mas que podem ser corrigidos no subsequente período seco. A vulnerabilidade da mineração a céu aberto às precipitações é evidente, influenciando todas as etapas, desde a extração até o processamento na usina.

O gráfico 4, mostra o índice de temperatura e precipitação da cidade onde se localiza a mina estudada, pode-se observar o alto índice pluviométrico do primeiro e último trimestre, fato que reflete diretamente no IA que é afetado pela estação chuvosa, como mostrado anteriormente no gráfico. A infraestrutura da mina requer

atenção especial durante a estação chuvosa. A engenharia deve focar na manutenção e preparação dos acessos, *sumps*, bacias de decantação e sistemas de drenagem. Uma abordagem proativa e preventiva é crucial para garantir a integridade e funcionalidade dessas estruturas essenciais, minimizando os riscos operacionais e garantindo a continuidade das atividades, sendo assim, o período disponível para se preparar a mina para o período chuvoso está entre o segundo e terceiro trimestre do ano.

Gráfico 4 - Índice de Temperatura e Precipitação da cidade onde está situada a mina estudada



Fonte: Climatempo (2024).

Durante a operação de extração, o transporte de materiais é fortemente impactado. O aumento do tempo de ciclo dos equipamentos é uma consequência direta da necessidade de reduzir a velocidade por questões de segurança dos operários em condições chuvosas. Isso resulta em uma diminuição geral da eficiência operacional. Além disso, o material saturado pela chuva aumenta a demanda por manutenção e pode causar interrupções frequentes nos transportadores de correia, que são essenciais para o movimento do minério na mina em análise.

No contexto da usina, o impacto do material saturado é ainda mais pronunciado no processo de beneficiamento. A umidade excessiva pode levar

à aderência do minério aos equipamentos, afetando negativamente a eficiência dos moinhos e britadores. Isso não só prejudica o desempenho operacional como também pode alterar as características do produto final, afetando sua qualidade e valor de mercado. Portanto, um controle rigoroso da umidade é fundamental para manter os padrões de qualidade exigidos pela empresa e pelo mercado.

## 6 CONCLUSÕES

O tema abordado durante a elaboração do presente trabalho de conclusão de curso, consiste na análise detalhada do índice de aderência (IA) no contexto do planejamento de mina a curto prazo. E foi fundamental para compreender os desafios, gargalos e oportunidades presentes no planejamento, operação e geologia de mina, bem como a utilização de ferramentas de melhoria que visam o aumento do indicador de desempenho abordado.

A escolha do tema discutido se mostra relevante no campo científico e na indústria da mineração dado o impacto direto do planejamento de lavra eficiente sobre a produtividade e sustentabilidade das operações. Também pode destacar a importância de se medir os indicadores de desempenho, considerando o ambiente dinâmico onde estão inseridas as mineradoras, buscando mitigar falhas e riscos, além de um maior contato com as tecnologias que cercam o ambiente de trabalho.

Os resultados apresentados no gráfico 1, mostram que apesar de existir uma tendência linear do IA ao longo do ano, alguns eventos específicos, como dificuldades operacionais e estação chuvosa podem ter um impacto significativo exigindo adaptações rápidas para diminuir os impactos negativos e fazer com que os resultados se mantenham aderente ao planejado, enfatizando a necessidade de flexibilidade e precisão nas operações e planejamento de lavra.

Na metodologia apresentada, foi detalhadamente descrito o processo de realização do cálculo do índice de aderência, incluindo a apresentação dos *softwares* de melhoria utilizados no processo. A análise incorporou o método de lavra utilizado na mina em estudo e a definição do planejamento de mina que compõe o processo. Essa abordagem não só confirmou a hipótese de que a aderência ao planejamento pode ser significativamente impactada por fatores operacionais, ambientais e de controle de qualidade, como também respondeu ao problema central do trabalho: entender como melhorar a eficácia dos planos de lavra para minimizar os desvios entre o planejado e o realizado.

## SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como sugestões para futuras pesquisas e trabalhos, recomenda-se o estudo de novas técnicas de aperfeiçoamento dos métodos de modelagem geológica, e a adoção de tecnologias avançadas para monitoramento em tempo real das operações, visando uma maior precisão no planejamento e na execução das lavras planejadas. Além disso, estudos que aprofundem uma correlação entre variáveis ambientais, geotécnicas, geológicas e operacionais com o IA, pois podem oferecer *insights* valiosos para a mitigação de riscos e o aperfeiçoamento das operações mineiras. A continuidade desse tipo de pesquisa poderá contribuir para uma mineração eficiente, sustentável e alinhada aos padrões de qualidade exigidos pelo mercado e pela sociedade.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. \*\*NBR 13133: execução de levantamento topográfico\*\*. Rio de Janeiro, 1994. Disponível em: <<http://www.carto.eng.uerj.br/cdecart/download/NBR13133.pdf>>. Acesso em: 08 jul. 2024.

BATISTA, S. P. REVISÃO EXAUSTIVA DOS INDICADORES DE DESEMPENHO UTILIZADOS NA MINERAÇÃO. Orientador: Felipe Ribeiro Souza. 2022. 57 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Minas, Departamento de Engenharia de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Repositório UFOP, 2022.

CAMPOS, A. L. Benefícios socioeconômicos advindos da mineração: estudo de caso do município de Araxá-MG e região. 2017. 59 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Minas, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Araxá, 2017.

CAMPOS, P. H. A., Um Comparativo de Metodologias no Planejamento de Lavra: Sequenciamento direto de Blocos Vs. Planejamento Tradicional. Ouro Preto, 2017.

CLIMATEMPO. Climatologia em Mariana - MG. Disponível em: <https://www.climatempo.com.br/climatologia/160/mariana-mg>. Acesso em: 06 jun. 2024.

COSTA, F. V. ANÁLISE DOS PRINCIPAIS INDICADORES DE DESEMPENHO USADOS NO PLANEJAMENTO DE LAVRA. Orientador: Prof. Dr. ADILSON CURI. 2015. 98 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Minas, Departamento de Engenharia de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Repositório UFOP, 2015. Disponível em: <https://www.repositorio.ufop.br/handle/123456789/5933>. Acesso em: 14 mar. 2024.

CURI, A. Lavra de minas. São Paulo: Oficina de textos, 2017.

CURI, A. Minas a céu aberto: planejamento de lavra. São Paulo: Oficina de Textos, 2014.

DESWIK. Deswik.CAD Brochure. Disponível em: <https://www.deswik.com/wp-content/uploads/2015/10/Portuguese-Deswik.CAD-Brochure.pdf>. Acesso em: 10 jul. 2024.

MINISTÉRIO PÚBLICO DO ESTADO DE SÃO PAULO. Manual de indicadores. Disponível em: [https://www.mpsp.mp.br/portal/page/portal/Centro\\_de\\_Gestao\\_Estrategica/ManualIndicadores.pdf](https://www.mpsp.mp.br/portal/page/portal/Centro_de_Gestao_Estrategica/ManualIndicadores.pdf). Acesso em: 10 jul. 2024.

PARMENTER, D. Key Performance Indicators: developing, implementing and using winning KPIs. 1st ed. New Jersey: John Wiley & Sons, 2010.

XIMENES, G. F.. PLANO MENSAL DE LAVRA DE UMA MINA DE FERRO LOCALIZADA NO QUADRILÁTERO FERRÍFERO: UM ESTUDO DE CASO. Orientador: Prof. Dr. Adilson Curi. 2018. 41 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Minas, Departamento de Engenharia de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Repositório UFOP, 2018.