



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



SAMUEL PÁDUA BATISTA

REVISÃO EXAUSTIVA DOS INDICADORES DE DESEMPENHO UTILIZADOS NA  
MINERAÇÃO

OURO PRETO

2022

SAMUEL PÁDUA BATISTA

REVISÃO EXAUSTIVA DOS INDICADORES DE DESEMPENHO UTILIZADOS NA  
MINERAÇÃO

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

Orientador: Prof. Dr. Felipe Ribeiro Souza

OURO PRETO  
2022



## FOLHA DE APROVAÇÃO

**Samuel Pádua Batista**

REVISÃO EXAUSTIVA DOS INDICADORES DE DESEMPENHO UTILIZADOS NA MINERAÇÃO

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 22 de Novembro de 2022

### Membros da banca

Doutor Felipe Ribeiro Souza- Orientador(a) Universidade Federal de Ouro Preto  
Doutor- Hernani Mota de Lima - Universidade Federal de Ouro Preto  
Doutor - Flávio Afonso Ferreira Filho - 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 22/11/2022



Documento assinado eletronicamente por **Felipe Ribeiro Souza, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 22/11/2022, às 09:36, 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 **0429507** e o código CRC **F3D762DA**.

## RESUMO

A mineração é um setor que representa um dos pilares para o desenvolvimento socioeconômico de muitos países. Além disso, é uma atividade que gera diversos impactos onde é realizada. Diversas são as variáveis encontradas no processo produtivo minerário e, visando alcançar resultados cada vez melhores, muito se faz uso de indicadores de desempenho, os quais atuam principalmente na otimização de processos, sendo aplicados em praticamente todas as instâncias da produção. Diante disto, este trabalho tem como objetivo a identificação dos principais indicadores de desempenho utilizados na mineração, estes separados por áreas como produção, fatores humanos e ambientais, além da análise e comportamento, ao longo do tempo, do número de publicações científicas relacionadas ao tema. O método adotado resume-se na extensa pesquisa por publicações científicas, levando em consideração o período de tempo de 2010 a 2021. Os resultados mostraram que o número de publicações acadêmicas relacionadas aos indicadores de desempenho encontrados nas 3 áreas propostas demonstrou crescimento semelhante. Além disso, destaca-se uma maior evolução do número de publicações relacionadas aos fatores humanos, em comparação com os outros setores, demonstrando uma preocupação por parte das empresas mineradoras sobretudo com a segurança de seus trabalhadores. Concluiu-se que os acontecimentos na mineração, como os acidentes que envolveram barragens de rejeito, e o cenário econômico minerário, tal qual a variação do valor do minério de ferro no mundo, foram fatores que influenciaram o comportamento do número de publicações científicas referentes aos indicadores de desempenho encontrados na mineração.

Palavras-chave: Mineração. Indicadores de desempenho. Publicações científicas. Processos.

## **ABSTRACT**

Mining is a sector that represents one of the pillars for the socioeconomic development of many countries. In addition, it is an activity that generates different effects where it is carried out. There are several variables in the mining production process and, in order to achieve increasingly better results, performance indicators are much used, which are mainly aimed at optimizing processes, being applied in practically all instances of production. In view of this, this work aims to identify the main performance indicators used in mining, these separated by areas such as production, human and environmental factors, in addition to the analysis and behavior, over time, of the number of scientific publications related to the subject. The method was summarized in the extensive search for scientific publications, taking into account the time period from 2010 to 2021. The results found that the number of academic publications related to the performance indicators found in the 3 areas of research showed similar growth. In addition, there is a greater evolution in the number of publications related to human factors, compared to other sectors, demonstrating a concern on the part of mining companies, especially with the safety of their workers. It was concluded that events in mining, such as accidents involving tailings dams, and the mining economic scenario, such as the variation in the value of iron ore in the world, were factors that influenced the behavior of the number of scientific sciences referring to the performance indicators found in mining.

**Keywords:** Mining. Performance indicators. Scientific publications. Processes.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Indicadores de desempenho e suas relações .....	14
Figura 2: Perfil indicador de aderência (IA). .....	18
Figura 3: Representação <i>overbreak</i> e <i>underbreak</i> .....	23
Figura 4: Representação diluições operacional e planejada .....	24
Figura 5: Correlação entre os setores de um empreendimento minerário .....	34
Figura 6: Fluxograma explicativo das etapas metodológicas utilizadas .....	35
Figura 7: Publicações acadêmicas relacionadas ao planejamento de lavra .....	37
Figura 8: Publicações acadêmicas relacionadas a operação de mina .....	38
Figura 9: Total de publicações acadêmicas relacionadas à operação de mina .....	38
Figura 10: Total de publicações acadêmicas relacionadas ao beneficiamento .....	39
Figura 11: Evolução do crescimento do número de publicações relacionadas aos indicadores de produção .....	40
Figura 12: Valor em dólar da tonelada seca de minério de ferro.....	41
Figura 13: Publicações relacionadas aos indicadores de fator humano.....	42
Figura 14: Publicações relacionadas aos indicadores de meio ambiente .....	43
Figura 15: Publicações totais relacionadas aos indicadores de produção, meio ambiente e fator humano .....	44
Figura 16: Evolução no número de publicações relacionadas aos indicadores usados no setor minerário .....	45

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Principais KPI's utilizados no planejamento de lavra.....	17
Tabela 2: Nível da Qualidade do Ar e os efeitos sobre a Saúde .....	30
Tabela 3: Escala dos IQAs, variação de 0 a 100 (%) .....	32
Tabela 4: Áreas de aplicações de indicadores de determinadas mineradoras em 2019 .....	46

## LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1: Índice de aderência .....	18
Equação 2: Índice de comprimento .....	18
Equação 3: Índice de efetividade de lavra.....	19
Equação 4: Relação estéril minério.....	19
Equação 5: Disponibilidade física.....	19
Equação 6: Utilização física .....	20
Equação 7: Desempenho de Produção.....	20
Equação 8: Índice de Aderência da Produção .....	21
Equação 9: Índice Overall equipment effectiveness.....	22
Equação 10: Índice de diluição em relação ao minério .....	24
Equação 11: Índice de diluição em relação a massa total.....	24
Equação 12: Índice de diluição em relação ao teor do material carregado .....	25
Equação 13: Teor do elemento .....	25
Equação 14: Umidade.....	26
Equação 15: Porcentagem de sólidos.....	26
Equação 16: Sólidos na Polpa .....	26
Equação 17: Recuperação mássica.....	26
Equação 18: Recuperação metalúrgica. ....	26
Equação 19: Índice de enriquecimento .....	26
Equação 20: Taxa de frequência de acidentes com afastamento .....	28
Equação 21: Taxa de frequência de acidentes sem afastamento .....	28
Equação 22: Taxa de gravidade.....	28
Equação 23: Indicador de qualidade do ar.....	29

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	9
OBJETIVOS .....	11
Objetivos gerais.....	11
Objetivos específicos .....	11
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	12
2.1. Indicadores relacionados à produção.....	166
2.2. Indicadores relacionados à fatores humanos .....	27
2.3. Indicadores relacionados ao meio ambiente .....	28
3. MATERIAIS E MÉTODOS .....	33
3.1. Coleta de dados .....	33
4. RESULTADOS .....	36
4.1. Publicações relacionadas aos indicadores de produção .....	36
4.2. Publicações relacionadas aos indicadores de fator humano .....	41
4.3. Publicações relacionadas aos indicadores meio ambiente .....	42
4.4. Resultados gerais das publicações de indicadores da mineração .....	43
4.5. Principais áreas de aplicação de indicadores de grandes mineradoras .....	45
5. CONCLUSÃO .....	47
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	48

## 1. INTRODUÇÃO

Desde o início dos tempos, a história da humanidade sempre esteve associada à busca por recursos naturais. A utilização de bens minerais, um dos principais exemplos destes recursos, acompanha o caminho da evolução humana desde a antiguidade, na fabricação de ferramentas básicas como armas e instrumentos em geral, até os dias atuais, com as novas descobertas e tecnologias.

A importância dos bens minerais ao longo da evolução do homem é destacada, também, através da denominação dos períodos evolutivos da sociedade, de acordo com os respectivos materiais mais utilizados, tais quais: idade da Pedra, Bronze, Ferro, Aço, entre outros. De acordo com Hartman e Mutmansky (2002), pode-se associar a atividade mineradora com a prosperidade das mais marcantes civilizações e suas conquistas, tais quais a dominação dos impérios europeus sobre a Ásia, África e América, através da manipulação de diferentes minerais para confecção de armamento.

Nos tempos atuais, a mineração exerce um papel muito importante, sobretudo em quesitos socioeconômicos. Ela constitui um dos principais pilares da economia de muitos países, visto que é um setor responsável pela geração de muitos empregos, diretos e indiretos, melhorias da infraestrutura local, incentivos a investimentos e, portanto, desenvolvimento econômico e social.

O processo de extração e aproveitamento de bens minerais é complexo, envolvendo uma série de variáveis e, para cada etapa, desde a exploração até o beneficiamento, se obtém muitos dados (HEBERLE, 2020). Para o sucesso de um empreendimento é essencial buscar pela excelência dos processos produtivos, entendidos como o resultado de um conjunto de fatores, tais quais: um bom desempenho dos equipamentos utilizados, capacidade produtiva, diminuição de custos, execução da atividade, bons resultado dos planejamentos, entre outros (PARASZCZAK, 2005). Além destes fatores, referentes à produção em si, deve-se também pontuar a importância de manter bons índices relacionados ao meio ambiente, como taxa aceitável de emissão de gases, geração de poeira, contaminação da água, dentre outros e, também índices de fator humano, estes associados a acidentes, os quais muitas vezes se originam por questões comportamentais (CARDELLA, 1999).

Portanto, para a otimização dos processos e manutenção de boas taxas ambientais e humanas, os empreendimentos fazem uso dos indicadores de desempenho e indicadores chave de desempenho (KPI - *Key Performance Indicator*), os quais consistem em um conjunto de dados relacionados ao desenvolvimento e resultados dos processos. De acordo com Nader (2013), os KPI's são ferramentas que medem, gerenciam e auxiliam na validação de parâmetros a serem quantificados e avaliados nos setores operacionais.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivos gerais**

Entender os indicadores mais pesquisados e sua importância ao longo do tempo.

### **Objetivos específicos**

Este projeto, possui como pretensão listar os principais indicadores de desempenho encontrados em um empreendimento minerário, bem como sua análise e explicação, sendo estes relacionados à produção, fatores humanos e ambientais.

Apresentar um plano de revisão sistemático da literatura, a qual contenha a incidência destes principais indicadores nas publicações científicas produzidas entre 2010 e 2021. Além de uma análise que buscará associar o número de publicações científicas relacionadas ao tema, com o momento da mineração ao longo dos anos.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Um dos constantes desafios de um empreendimento é atender às demandas de seus clientes, portanto, para isto, são traçadas metas a serem cumpridas. Com este objetivo, as empresas realizam uma avaliação de controle da qualidade de seus processos, o qual, segundo Campos (1992), é descrito como a padronização das atividades através da análise e pontuação dos problemas na cadeia produtiva.

Em conjunto com o controle de qualidade dos processos, tem-se os medidores de desempenho, os quais auxiliam na definição e medição dos progressos do empreendimento, sempre alinhados às metas traçadas. (CÂMARA, 2013).

De acordo com Lima (2005), entende-se por indicador de desempenho como um conjunto de medidas as quais geram informações sobre o desempenho de processos e produtos, possibilitando mais assertividade nas tomadas de decisão.

Segundo Caldeira (2012), o indicador de desempenho tem por finalidade medir os resultados de uma empresa com o objetivo de comparar as metas em detrimento dos possíveis desvios de performance. Portanto, é essencial que as empresas acompanhem e façam uma boa gestão das informações relacionadas ao desempenho de suas atividades. A decisão pela utilização de determinados indicadores de desempenho, visando efetividade de aplicação e facilidade de análise, deve levar em consideração algumas características (BITTAR, 2001; WORRALL et al., 2009):

- a) Ser mensurável, fácil medição e sensível na identificação dos problemas;
- b) Dispor de condições mutáveis;
- c) Possuir formulação simples, permitindo a compreensão de todos;
- d) Ser representativo, objetivo e específico;
- e) Dados válidos e confiáveis;
- f) Ser relevante para o projeto.

Sabe-se também, segundo Brint et al. (2021), que a má utilização de indicadores, seja por dados incorretos ou em excessiva aplicação, em termos quantitativos, prejudicam

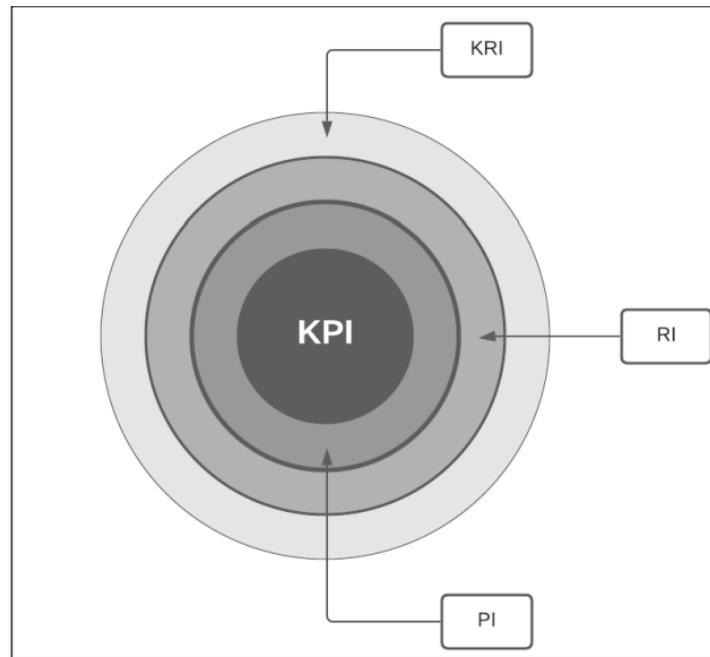
a interpretação de dados e efetividade destes, através da geração de informações desnecessárias ou até mesmo erradas.

Outro fator negativo, relacionado ao excesso de indicadores, é a possível interposição destes, a qual dificulta a tomada de decisão da empresa e assim, indo em contramão do objetivo dos indicadores de desempenho. Segundo Parmenter (2007), pode-se dividir os indicadores de desempenho em 4 classificações, sendo elas:

- 1) Indicadores chaves de resultado (KRI -*key result indicator*) – utilizado para resumir o progresso de um determinado setor, demonstrando como fazer para se alcançar um panorama de sucesso;
- 2) Indicador de resultado (RI -*result indicator*) – utilizado para demonstrar o que tem sido feito;
- 3) Indicador de performance (PI -*performance indicator*) – indica o que fazer ;
- 4) Indicador chave de performance (KPI - *key performance indicator*) – indica o que deve ser feito para aumentar o desempenho consideravelmente.

A Figura 1 mostra como os indicadores se comportam entre si. Segundo Parmenter (2010), as empresas têm utilizado tais recursos de forma errada, o que prejudica a análise crítica dos resultados que se espera obter. Os PI's e RI's são classificados como subconjuntos dos grupos dos indicadores, pois apesar de serem importantes ferramentas para a gestão, não auxiliam a resolver o problema por si só, mas sim a compor os KPI's.

Figura 1: Indicadores de desempenho e suas relações



Fonte: Adaptado de Badawy et al. (2016).

Já os KRI's são indicadores formados a partir do resultado de múltiplas ações. Normalmente são avaliados por períodos quadrienais a anuais, e representados por um gráfico de tendência. São comumente confundidos com os KPI's, os quais, diferentemente dos KRI's, são avaliados mensalmente, semanalmente e até diariamente. Um exemplo de aplicação dos KRI's é para se avaliar retorno financeiro esperado em relação ao capital investido para determinada atividade. (PARMENTER, 2015).

Os KPI's, são a combinação de indicadores que compõe um conjunto de ações em que contém os objetivos essenciais ao desenvolvimento estratégico de determinado setor (BEZERRA, 2022). Além disso, são importantes para as funções organizacionais, visto que possuem um alto nível de flexibilidade de utilização, objetividade e precisão de informações, as quais facilitam a análise e correção de possíveis desvios os quais prejudicam o desempenho produtivo. (PARMENTER, 2007; PERAL; MATÉ; MARCO, 2017).

De acordo com a Meier et al. (2013), os KPI's possuem papel fundamental para a administração de um empreendimento, pois a partir deles é possível distinguir informações importantes das irrelevantes, possibilitando uma intervenção mais

objetiva no que de fato prejudica o processo, simplificando questões complexas e assim, facilitando as tomadas de decisão. 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.

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 (KPIzone, 2014). Além disso, segundo Cavagnoli (2009), os KPI's não devem ser constantemente substituídos, visto que são uma ferramenta de gestão contínua e deve ser aplicada para atingir metas pré-determinadas. Recomenda-se mudar somente quando os objetivos se alterarem ou se aproximar da conclusão de alguma meta.

A escolha dos indicadores de desempenho, portanto, deve ser baseada nos objetivos previamente definidos, tanto de cada área, quanto do empreendimento de uma forma geral (CÂMARA 2013). Na indústria da mineração eles são amplamente utilizados, visto que esta área possui uma cadeia complexa de atividades. Para o sucesso do empreendimento minerário, é necessário que sejam atendidas as metas e demandas dos setores presentes no processo produtivo, sendo estes relacionados à produção, meio ambiente e humano.

## **2.1. Indicadores relacionados à produção**

Em uma mineração, os indicadores de desempenho são constantemente utilizados em praticamente todas as etapas produtivas, sendo elas, de acordo com Nader et al (2012), pesquisa mineral, geologia de mina, o planejamento e operação de lavra e beneficiamento de minerais.

O planejamento de lavra é uma área em que tem como objetivo elaborar e executar, sequencialmente, um plano de extração de minérios, atendendo às metas traçadas. (DAGDELEN, 2007; HOLLOWAY e COWIE,2019). Portanto devem ser levadas em consideração questões diretas e indiretas para a elaboração de um plano de lavra e com isso, diversos indicadores são utilizados. De acordo com COSTA (2015), tem-se a tabela 1, na qual se encontram os KPI's mais importantes relacionados ao planejamento, durante a vida útil da mina:

Tabela 1: Principais KPI's utilizados no planejamento de lavra

KPI	JUSTIFICATIVA
Índice de aderência do plano de curto prazo ao de longo prazo.	Permite avaliação da reconciliação do planejamento de lavra de curto prazo ao de longo prazo
Índice de reconciliação geológica de curto prazo com a de longo prazo.	Permite a avaliação da reconciliação geológica de curto prazo com a de longo prazo.
Índice de reconciliação da lavra com a geologia de curto prazo.	Permite a avaliação da reconciliação da lavra com a geologia de curto prazo.
Número de não conformidades de segurança.	Permite a avaliação do sistema de segurança adotado pela empresa.
Número de não conformidades de meio ambiente.	Permite a avaliação da filosofia adotada pela empresa em relação a questões ambientais.
Número de não conformidades de qualidade.	Permite a avaliação da qualidade do produto.
Índice de aderência da produção real à planejada.	Permite a avaliação da aderência da produção real com a planejada.
Índice de aderência da produtividade real à planejada.	Permite a avaliação da aderência da produtividade real à planejada.
Índice de aderência do custo de produção real ao planejado.	Permite a avaliação da aderência do custo de produção real ao planejado.
Índice de aderência dos preços dos produtos reais aos planejados.	Permite a avaliação da aderência dos preços reais dos produtos aos preços planejados.

Fonte - COSTA (2015).

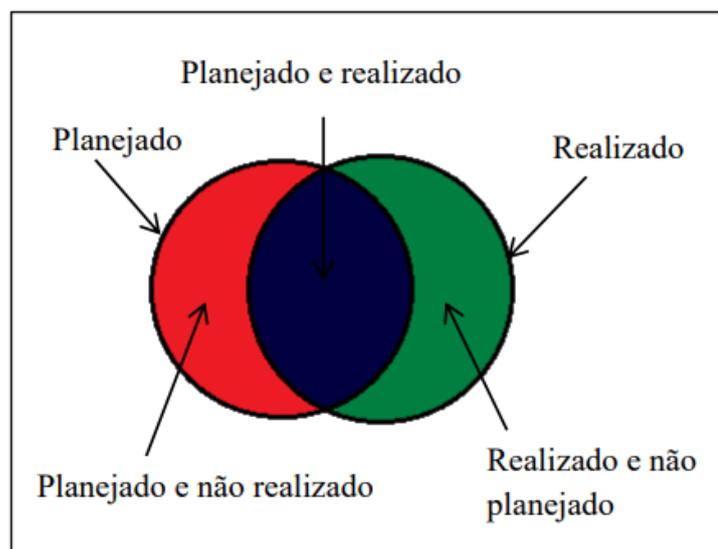
Dentre os itens da tabela 1, enumera-se alguns índices comumente usados, como:

1. Índice de aderência (IA): demonstra a taxa de desvio da operação de lavra em relação ao que foi representado no plano de lavra. Calcula-se a partir da divisão de massa total planejada e realizada (PR), pelo somatório da massa total

planejada e realizada (PR) e a massa total realizada não planejada (RNP) (Figura 2) (CÂMARA 2013).

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

Figura 2: Perfil indicador de aderência (IA).



Fonte: CÂMARA (2013)

2. Índice de cumprimento (IC): demonstra o quanto do total planejado foi devidamente executado. É calculado a partir da divisão da massa total planejada e realizada (PR), pela soma deste (PR) e o valor planejado não realizado (PNR), COSTA (2015).

$$IC = \frac{PR}{PR + PNR} \times 100 \quad (2)$$

3. Índice de efetividade de lavra (IE): este índice demonstra a efetividade da lavra, em relação aos índices anteriores. Calcula-se pela média aritmética do índice de aderência (IA) e índice de cumprimento (IC) (CÂMARA 2013).

$$IE(\%) = \frac{(IA + IC)}{2} X 100 \quad (3)$$

Além destes, utiliza-se um indicador básico, mas de extrema importância para avaliar a situação da lavra em termos econômicos, denominado relação estéril-minério (REM), o qual representa a quantidade de material sem valor econômico (estéril) que deve ser lavrado, para a obtenção do minério. Portanto, a operação e planejamento de lavra visam um menor valor possível de REM, para que gaste menos recursos para extração de material sem valor econômico (OLIVEIRA 2016). Tal índice é calculado por:

$$REM = \frac{\textit{Produção Estéril}}{\textit{Produção Minerio}} \quad (4)$$

Outro setor em que se utiliza os indicadores de desempenho é a operação de mina, que possui, em sua grande maioria, indicadores que monitoram a produtividade dos equipamentos e fatores relacionados à manutenção destes. Como principais indicadores deste setor, tem-se:

1. Disponibilidade Física de Equipamentos (DF): Este indicador fornece qual a disponibilidade de um equipamento para ser utilizado na operação. É calculado pela razão entre a subtração entre horas totais e inativas e as horas totais (ALMEANAZEL, 2010; BLANCHARD; VERMA; PETERSON, 1995). Tem-se o cálculo deste indicador:

$$DF(\%) = \frac{(HT - HI)}{HT} X 100 \quad (5)$$

Em que:

HT = Horas totais

HI = Horas inativas

Relacionado ao índice de disponibilidade física anteriormente citado, a Utilização Física é um indicador que fornece a taxa em que um equipamento esteve em operação em relação ao tempo que permaneceu disponível (BEZERRA 2022). É calculado pela seguinte equação:

$$UF(\%) = \frac{(HT - HI - HE)}{(HT - HI)} X 100 \quad (6)$$

Em que:

UF = Utilização Física

HT = Horas totais

HI = Horas inativas

HE = Horas em espera (tempo ocioso)

2. O indicador de Desempenho de Produção, diferentemente dos outros, utiliza em sua fórmula a capacidade operacional do equipamento, com o objetivo quantitativo de suprir a demanda de produção. Além de levar em consideração o tempo total em atividade, horas ociosas e inativas, capacidade operacional e produção real (GUSTAFSON et al., 2013; LANKE; HOSEINIE; GHODRATI, 2016). Sendo este calculado por:

$$DP(\%) = \frac{PT}{\frac{(HT - HI - HE)}{CN}} X 100 \quad (7)$$

Em que:

DP = Desempenho de produção

PT = Produção real do equipamento

HT = Horas totais

HI = Horas inativas

HE = Horas em espera (tempo ocioso)

CN = Capacidade operacional do equipamento por hora

3. Semelhante ao índice de aderência do planejamento, o índice de aderência da produção possui um significado semelhante, porém aplicado à operação de mina, ou seja, calcula a relação entre a produção real e a planejada (GUSTAFSON et al., 2013; LANKE; HOSEINIE; GHODRATI, 2016). É obtida através da equação:

$$AP(\%) = \frac{(PR)}{(P)} X 100 \quad (8)$$

Em que:

PR = Massa planejada e realizada durante um período específico

P = Massa total planejada para um período específico

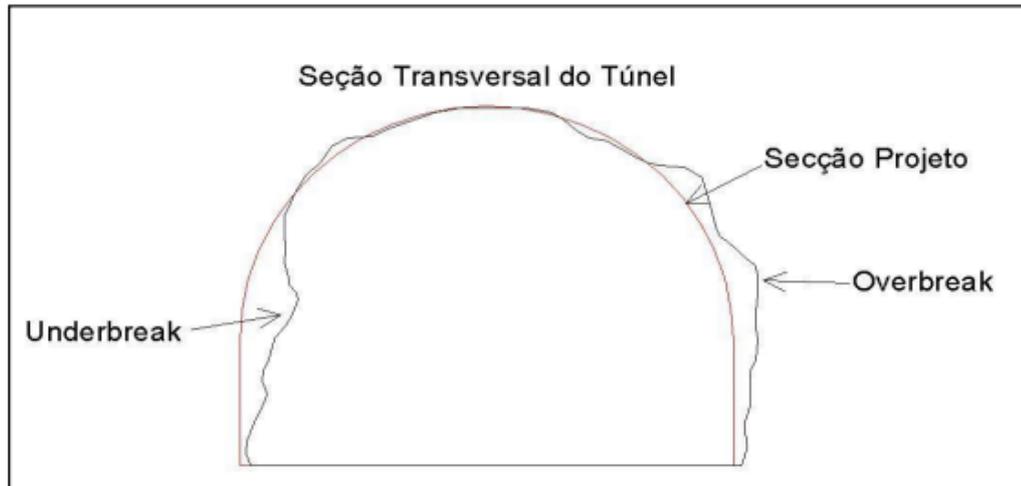
4. Com o objetivo de analisar a situação geral do processo produtivo, em que se pode relacionar os principais KPI's operacionais, utiliza-se o OEE (Overall Equipment Effectiveness), o qual consiste em um indicador, criado originalmente para o meio industrial, que possibilita mensurar o desempenho geral dos equipamentos, visto que pode identificar perdas na produtividade e performance das máquinas, bem como as intervenções por manutenção (SOUZA; CARTAXO; 2016). De acordo Lanke (2016), ao adaptar à mineração, o OEE permite identificar o motivo nas perdas de produção, a partir das metas pré-existentes, efetividade dos equipamentos, da manutenção e funcionalidade do processo como um todo, facilitando o processo de melhoria contínua na produção MUCHIRI; PINTELON, 2008). Na realidade minerária ele é calculado como:

$$OEE = \text{Disponibilidade} \times \text{Utilização} \times \text{Desempenho de Produção} \quad (9)$$

Dentre as etapas presentes na maioria dos processos produtivos, destaca-se como essencial a escavação de rochas. Precedida muitas vezes pelas operações de perfuração e desmonte, a escavação de rochas representa uma atividade chave para o desenvolvimento da lavra, tanto em minas à céu aberto, quanto em subterrâneas (FRANKLIN; IBARRA; MAERZ, 1989). À vista disto, é de suma importância realizar tais atividades com o melhor desempenho possível e, para um maior controle destas escavações, se faz uso de indicadores chave de performance. Dois dos mais comuns indicadores aplicados para este processo, são o *overbreak* e *underbreak* (FARIAS, 2021).

O *overbreak* e o *underbreak*, são, além de termos usados como indicadores, fenômenos relacionados à ruptura do maciço rochoso. Em definição, o *overbreak* é a porção de rocha removida além do planejamento, ou seja, uma ruptura excessiva do maciço, enquanto o *underbreak* constitui a fração de rocha remanescente do processo de escavação (FRANKLIN; IBARRA; MAERZ, 1989) (Figura 3).

Portanto, para uso destes indicadores, e assim buscar um melhor controle dos processos de ruptura do maciço rochoso, deve-se analisar o cenário planejado em relação à situação real.

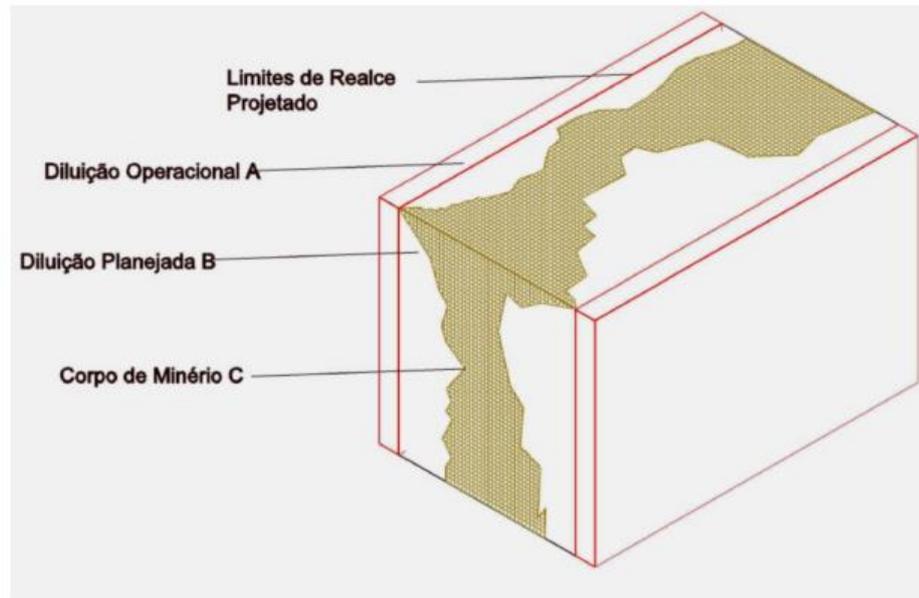
Figura 3: Representação *overbreak* e *underbreak*

Fonte: CINTRA; GONÇALES (2017)

Ainda em relação aos processos de exploração mineral, problemas de diluição são uns dos mais corriqueiros durante o processo produtivo em uma mina, tanto a céu aberto, quanto subterrânea. Definida por Câmara (2020) como a incorporação de estéril ao minério durante a extração, a diluição favorece a diminuição não planejada do teor estimado do minério, prejudicando, assim, o processo como um todo.

Sabe-se que a diluição é um fator que pode ocorrer de forma planejada, em que o estéril incorporado à extração está dentro do valor esperado. Quando não planejada, resulta em uma quantidade de material pobre superior ao que se deseja (TAVARES, 2016) (Figura 4).

Figura 4: Representação diluições operacional e planejada



Fonte: Oliveira (2012)

Quando não controlada, a diluição é de fato um significativo problema e foi comparada por Zarshenas e Saeedi (2016) como um vírus, no sentido de que ao não se dar a devida atenção, pode se espalhar e trazer malefícios a todos os níveis de produção na mineração.

Portanto, visando manter este fator controlado, se faz necessário a constante avaliação dos índices de diluição durante o processo de exploração de minério. Para o cálculo deste índice deve-se utilizar o método que melhor se adequa à situação que se deseja observar. Segundo Oliveira (2012), a diluição pode ser calculada levando em consideração alguns fatores:

Em relação ao minério:

$$Diluição = \frac{\text{Estéril minerado em Toneladas}}{\text{Minério minerado em Toneladas}} \quad (10)$$

Em relação à massa total:

$$Diluição = \frac{\text{Estéril minerado em Toneladas}}{\text{Minério minerado em Toneladas} + \text{Estéril minerado em Toneladas}} \quad (11)$$

Em relação ao teor de determinado material carregado:

$$Diluição = \frac{\text{Teor in situ estimado da reserva}}{\text{Teor de amostra da saída da moagem de mesma massa}} \quad (12)$$

A etapa subsequente à exploração de minérios é o processamento destes na usina de beneficiamento. Segundo Luz (2010), esta etapa chamada de beneficiamento ou tratamento de minérios, consiste no conjunto de operações que se aplica a uma determinada amostra em que contém um bem mineral de interesse, com o objetivo de alterar certas características, sobretudo físicas e, assim, obter o elemento que se deseja.

Tais modificações visam, portanto, concentrar o mineral contido na amostra, através de operações atuantes nas diferenças de propriedades entre o material de interesse, chamado de mineral-minério, e os minerais de ganga, material de menor interesse. São estas propriedades: densidade, suscetibilidade magnética, cor, propriedades químicas, entre outras (CHAVES, 2012).

Dentre os procedimentos realizados durante o tratamento de minérios, pontua-se como principais: a cominuição: britagem e moagem; peneiramento e classificação; concentração: magnética, flotação, gravítica, entre outras; desaguamento: filtragem e espessamento; secagem; disposição de rejeito (LUZ; LINS, 2010)

Portanto, para uma melhor performance em cada uma destas etapas unitárias do processo de beneficiamento mineral, são utilizados diversos indicadores de desempenho e muitos deles específicos para determinada operação, como por exemplo a medição e avaliação da eficiência para cada processo (SCHULTZ, 1970). Porém há alguns indicadores principais base para as etapas, de uma forma geral (BERGERMAN, 2020). São estes:

Teor:

$$\text{Teor do elemento} = \frac{\text{Massa do elemento}}{\text{Massa total da amostra}} \times 100 \quad (13)$$

Umidade (base seca):

$$Umidade = \frac{Massa \text{ úmida} - massa \text{ seca}}{massa \text{ seca}} \times 100 \quad (14)$$

Porcentagem de sólidos:

$$\% \text{ de sólidos} = \frac{Massa \text{ de sólidos}}{massa \text{ de sólidos} + massa \text{ de água}} \times 100 \quad (15)$$

Indicador de sólidos na polpa:

$$\%S = \frac{d_s * (d_p - d_a)}{d_p * (d_s - d_a)} \times 100 \quad (16)$$

Em que:

%S: Porcentagem de sólidos da polpa;

$d_s$ : Densidade do sólido;

$d_a$ : Densidade do líquido;

$d_p$ : Densidade da polpa.

Índice de recuperação mássica

$$Recuperação \text{ Mássica} = \frac{Vazão \text{ concentrado}}{Vazão \text{ de alimentação}} \times 100 \quad (17)$$

Índice de recuperação metalúrgica:

$$Recuperação \text{ metalúrgica} = \frac{Massa \text{ do elemento de interesse no concentrado}}{Massa \text{ do elemento de interesse na alimentação}} \quad (18)$$

Índice de enriquecimento:

$$enriquecimento = \frac{Teor \text{ do elemento útil no concentrado}}{Teor \text{ do elemento útil na alimentação}} \quad (19)$$

## **2.2. Indicadores relacionados à fatores humanos**

A saúde e segurança no trabalho devem ser fatores de extrema importância em qualquer tipo de empreendimento. Os acidentes de trabalho podem ocorrer em quaisquer que sejam as situações e estes são, de acordo com Ferreira (2012), interações inapropriadas entre o trabalhador, o ambiente e sua tarefa. Diversas são as causas que levam à ocorrência de um acidente de trabalho, porém resumem-se principalmente a comportamento inadequado do operador, perigos do ambiente de trabalho, falhas mecânicas dos equipamentos, falta de uso de equipamentos de proteção individual e descumprimento das normas de segurança. (IIDA, 2005).

O setor minerário é considerado, dentre o campo industrial, um dos mais perigosos em relação ao número de acidentes e taxa de mortalidade (PELLEGRINELLI, 2013). Segundo Cattabriga (2014), os fatores que levam à ocorrência de acidentes na mineração estão relacionados a: excesso de confiança de colaboradores mais experientes; falta de habilidade para determinada atividade; negligência em relação às medidas de segurança exigidas pela empresa; exibicionismo e falhas de comunicação entre diferentes equipes.

Além destes, a mineração, por sua natureza de atividade, oferece riscos a seus trabalhadores, como desmoronamentos, acidentes envolvendo explosivos, riscos mecânicos pela constante interação com máquinas, riscos químicos, biológicos e ergonômicos. (COSTA; PEREIRA; OLIVEIRA, 2022)

Assim como nos setores produtivos, é de grande valia que as empresas utilizem indicadores para identificar os possíveis pontos de desvios causadores de acidentes, e, portanto, realizar uma efetiva gestão de riscos (CARDELA, 1999). De acordo com Avila (2002), dentre os indicadores relacionados à fatores humanos, pontua-se dois comumente utilizados, sendo:

Taxa de Frequência de Acidentes (TF): É o número de acidentes por milhão de horas por colaborador em exposição ao risco, em determinado período.

$$TF_{com\ afastamento} = \frac{n^{\circ}\ de\ acidentes\ com\ afastamento\ x\ 10^6}{Homens - Horas\ trabalhadas} X100 \quad (20)$$

$$TF_{sem\ afastamento} = \frac{n^{\circ}\ de\ acidentes\ sem\ afastamento\ x\ 10^6}{Homens - Horas\ trabalhadas} X100 \quad (21)$$

Taxa de gravidade (TG): É o tempo calculado por milhão de horas-homem de exposição ao risco, em um determinado período.

$$TG = \frac{(dias\ perdidos\ +\ dias\ debitados)\ x\ 10^6}{Homens - Horas\ trabalhadas} X100 \quad (22)$$

### 2.3. Indicadores relacionados ao meio ambiente

A mineração é uma atividade que impacta expressivamente o meio ambiente de forma direta e indireta. Durante praticamente todas as fases do processo produtivo de exploração mineral são gerados impactos, os quais são possíveis resumir nas seguintes categorias: poluição da água, do ar, sonora e subsidência do terreno (FARIAS, 2002).

Para o licenciamento de um empreendimento minerário, deve-se apresentar uma série de documentos e estudos. Relacionado ao meio ambiente, é essencial a realização do Estudo de Impacto Ambiental (EIA), além do cumprimento de uma série de normas, critérios e diretrizes para implementação, estabelecidos pelo CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente).

Visando a análise e acompanhamento dos impactos ambientais provenientes das atividades mineradoras, em alinhamento com as normas propostas pelos órgãos ambientais, utiliza-se de alguns indicadores.

O indicador de qualidade do ar (IQAr), de acordo com a resolução CONAMA n.3, leva em consideração certos parâmetros, tais quais valores de emissão de dióxido de

enxofre, partículas em suspensão, partículas inaláveis, fumaça, monóxido de carbono, ozônio e dióxido de nitrogênio. A poluição do ar pode causar doenças do sistema respiratório, como por exemplo a silicose e pneumocuniose (RODRIGUES, 1993; RIBEIRO, 1995). Segundo Kiely (1996), calcula-se tal indicador por:

$$IQAr = \frac{I_{Sup} - I_{Inf}}{C_{Sup} - C_{Inf}} \times (C - C_{Inf}) + I_{Inf} \quad (23)$$

Em que:

$I_{Sup}$  = valor crítico superior do índice

$I_{Inf}$  = valor crítico inferior do índice

$C_{Sup}$  = concentração do poluente que corresponde ao  $I_{Sup}$

$C_{Inf}$  = concentração do poluente que corresponde ao  $I_{Inf}$

$C$  = concentração medida para o poluente em questão.

Portanto, pontua-se que tal índice é calculado para cada tipo de poluente e analisar cautelosamente o valor. A Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) desenvolveu a tabela 2 com os níveis de qualidade e os respectivos efeitos sobre a saúde:

Tabela 2: Nível da Qualidade do Ar e os efeitos sobre a Saúde

Qualidade do Ar	Índice	Níveis de cautela	Descrição dos efeitos sobre a saúde
BOA	0-50	-	Sem riscos há saúde
REGULAR	51-100	-	Pessoas de grupos sensíveis (crianças, idosos e pessoas com doenças respiratórias e cardíacas), podem apresentar sintomas como tosse seca e cansaço.
INADEQUADA	101-199	Atenção	Qualquer pessoa pode apresentar sintomas como tosse seca, cansaço, ardor nos olhos, nariz e garganta, ou até efeitos mais graves em pessoas de grupos sensíveis
MÁ	200-299	Alerta	Toda a população pode apresentar agravamento dos sintomas como tosse seca, cansaço, ardor nos olhos e garganta.
PÉSSIMA	300-399	Emergência	Pode apresentar sérios riscos à saúde de toda a população, como manifestação de doenças respiratórias e cardiovasculares, com agravamento a pessoas de grupos sensíveis.
CRÍTICA	Acima de 400		

Fonte: Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

Além da preocupação com a qualidade do ar (IQAr), outro fator importante a se analisar é a qualidade do solo. A qualidade do solo não é um fator diretamente mensurado, visto que necessita de um considerável número de variáveis para se calcular. (KARLEN e STOTT, 1994; KARLEN et al., 1997; ANDREWS et al., 2004). Porém, ela pode ser inferida através da utilização dos indicadores, estes analisados a partir de diferentes referenciais. Tais quais:

- **Indicadores físicos de qualidade do solo:** a qualidade física dos solos é um fator importante do ponto de vista de sustentabilidade, visto que está relacionado ao desenvolvimento de vegetação, suprimento de água e nutrientes, troca gasosa e atividade biológica presentes no solo. Para definição deste indicador, leva-se em consideração a textura do solo, espessura, capacidade de retenção hídrica, porosidade e resistência a penetração (ARSHAD et al., 1996).
- **Indicadores químicos de qualidade do solo:** este indicador é responsável por analisar as variáveis principalmente relacionadas ao teor de matéria orgânica no solo, bem como a acidez, taxa de nutrientes, saturação e elementos danosos, como por exemplo a presença de alumínio (STEVENSON, 1994).
- **Indicadores biológicos de qualidade do solo:** são exemplos de indicadores biológicos analisados para determinar a qualidade do solo a biomassa, respiração microbiana, nitrogênio mineralizável, entre outros. As avaliações destes fatores auxiliam nas informações sobre propriedades orgânicas do solo, as quais impactam diretamente no cultivo e regeneração do terreno devido a algum dano sofrido. (FRIGHETTO, 2000).

Além da qualidade do solo, outro fator que também deve ser levado em consideração é a análise da qualidade da água. Regulamenta pela Agência Nacional de Águas (ANA) e o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), a qualidade da água deve estar dentro das especificações após utilização ou intervenção por alguma atividade, como por exemplo a mineração (SÁNCHEZ, 2007)

Assim como o índice de qualidade do solo, para medir e analisar a qualidade da água, é necessário que se avalie um conjunto de indicadores. Tais indicadores levam em consideração a qualidade da água superficial, analisando parâmetros como oxigênio dissolvido, pH, alcalinidade, presença de cloreto, condutividade elétrica e carbono extraído por clorofórmio (HORTON, 1965) e, a partir da medição e ponderação dos indicadores, é possível avaliar a qualidade da água e tomar decisões que visem solucionar quaisquer questões.

De acordo com Prado (2010), são os indicadores: Índice de Qualidade de Água Superficial ( $IQA_H$ ); National Sanitation Foundation ( $IQA_{NSF}$ ); Índice de Qualidade de Água de Bascarán ( $IQA_B$ ); Canadian Water Quality Index ( $IQA_C$ ); Système d'évaluation de la Qualité des Eaux Souterraines (SEQ) e Índice de Qualidade de Água Subterrânea para Consumo Humano ( $IQAS_{CH}$ ) (Tabela 3).

Tabela 3: Escala dos IQAs, variação de 0 a 100 (%)

Ponderação	$IQA_H$	$IQA_{NSF}$	$IQA_B$	$IQA_C$	SEQ	$IQAS_{CH}$ Abordagem
		IQANAS				
		IQUAS				
100	Ótima	Ótima	Excelente	Ótima	Muito Boa	Ótima
95	Ótima	Ótima	Muito Bom	Ótima	Muito Boa	Boa
90	Boa	Ótima	Muito Bom	Boa	Muito Boa	Boa
85	Boa	Ótima	Bom	Boa	Muito Boa	Boa
80	Boa	Ótima	Bom	Boa	Muito Boa	Precisa de Tratamento
75	Boa	Boa	Agradável	Regular	Boa	Precisa de Tratamento
70	Regular	Boa	Agradável	Regular	Boa	Precisa de Tratamento
65	Regular	Boa	Aceitável	Regular	Boa	Precisa de Tratamento
60	Regular	Boa	Aceitável	Ruim	Boa	Precisa de Tratamento
55	Regular	Boa	Normal	Ruim	Regular	Precisa de Tratamento
50	Ruim	Regular	Normal	Ruim	Regular	Precisa de Tratamento
45	Ruim	Regular	Normal	Ruim	Regular	Precisa de Tratamento
40	Ruim	Regular	Impróprio	Muito Ruim	Regular	Precisa de Tratamento
35	Ruim	Ruim	Impróprio	Muito Ruim	Ruim	Precisa de Tratamento
30	Ruim	Ruim	Desagradável	Muito Ruim	Ruim	Precisa de Tratamento
25	Péssima	Ruim	Ruim	Muito Ruim	Ruim	Precisa de Tratamento
20	Péssima	Ruim	Ruim	Muito Ruim	Ruim	Precisa de Tratamento
15	Péssima	Péssima	Muito Ruim	Muito Ruim	Péssima	Precisa de Tratamento
10	Péssima	Péssima	Muito Ruim	Muito Ruim	Péssima	Precisa de Tratamento
5	Péssima	Péssima	Péssima	Muito Ruim	Péssima	Precisa de Tratamento
0	Péssima	Péssima	Péssima	Muito Ruim	Péssima	Imprópria

Fonte: (PRADO, 2010)

### **3. MATERIAIS E MÉTODOS**

Nesta seção serão apresentados os métodos utilizados para o desenvolvimento deste trabalho, bem como o plano de revisão sistemático realizado para apresentação dos resultados. A idealização deste trabalho foi baseada em duas proposições:

- 1) Identificar os principais indicadores utilizados na mineração.
- 2) Demonstrar e analisar a incidência destes indicadores em publicações acadêmicas.

Visando responder a estes questionamentos, será demonstrada a metodologia para coleta de dados, seleção e tratamento destes.

#### **3.1. Coleta de dados**

Em relação aos principais indicadores presentes na mineração, buscou-se dividir a atividade minerária em 3 grandes setores e suas correlações, as quais são responsáveis pela excelência operacional. Sendo eles Meio Ambiente, Produção e Fatores Humanos.

Figura 5: Correlação entre os setores de um empreendimento minerário

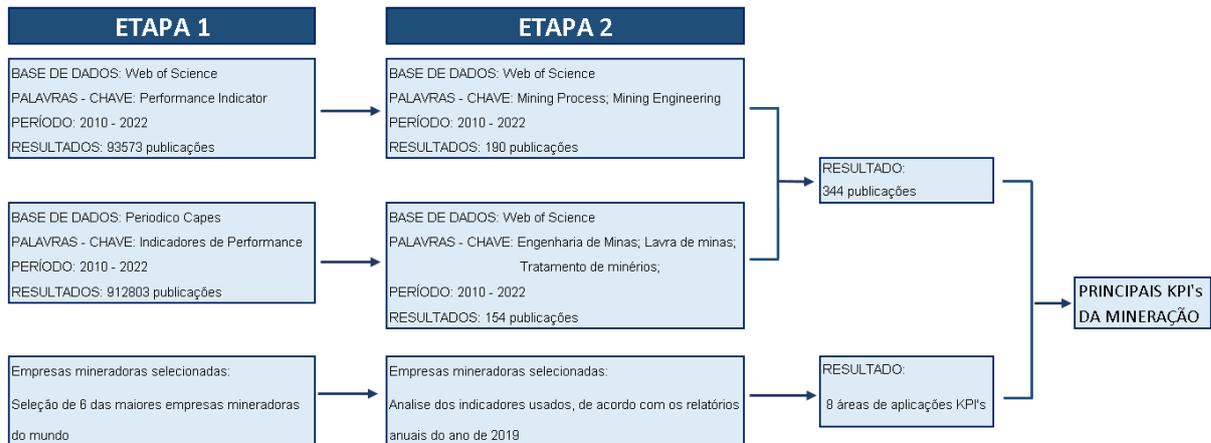


Fonte: Elaborado pelo autor.

Após definida a área de aplicação da pesquisa, buscou-se utilizar de diferentes bases de dados para seleção dos indicadores, seguido da demonstração dos filtros usados. Para identificação dos principais indicadores encontrados na mineração, foram utilizadas 2 grandes bases de dados, o Periódico Capes e a Web of Science.

Além disto, foi feita uma pesquisa das áreas de aplicação dos principais indicadores utilizados em 6 empresas mineradoras do mundo, que possuem significativa atuação no mercado, que, portanto, são referência em termos de produção e desenvolvimento econômico. As informações foram coletadas a partir do relatório anual regularmente publicados sobre o desempenho e sustentabilidade do período referenciado, no caso, do ano de 2019 e demonstradas na figura 6. Foram selecionadas as seguintes empresas: BHP, Rio Tinto, Glencore, Vale, Newmont e Anglo American.

Figura 6: Fluxograma explicativo das etapas metodológicas utilizadas



Após a definição dos principais indicadores de desempenho utilizados pelas empresas do setor minerário, utilizou-se a base de dados Google Scholar para quantificar as publicações relacionadas aos indicadores anteriormente selecionados e, portanto, analisar o comportamento dos dados ao longo dos anos, relacionando, também, a acontecimentos que influenciaram tais resultados.

## **4. RESULTADOS**

A análise dos resultados foi elaborada a partir do número de publicações acadêmicas relacionadas aos principais indicadores de desempenho utilizados na mineração, sendo eles separados em: produção (planejamento de lavra, operação de mina e beneficiamento mineral), fatores humanos e ambientais. A pesquisa se deu levando em consideração o período de 2010 a 2021.

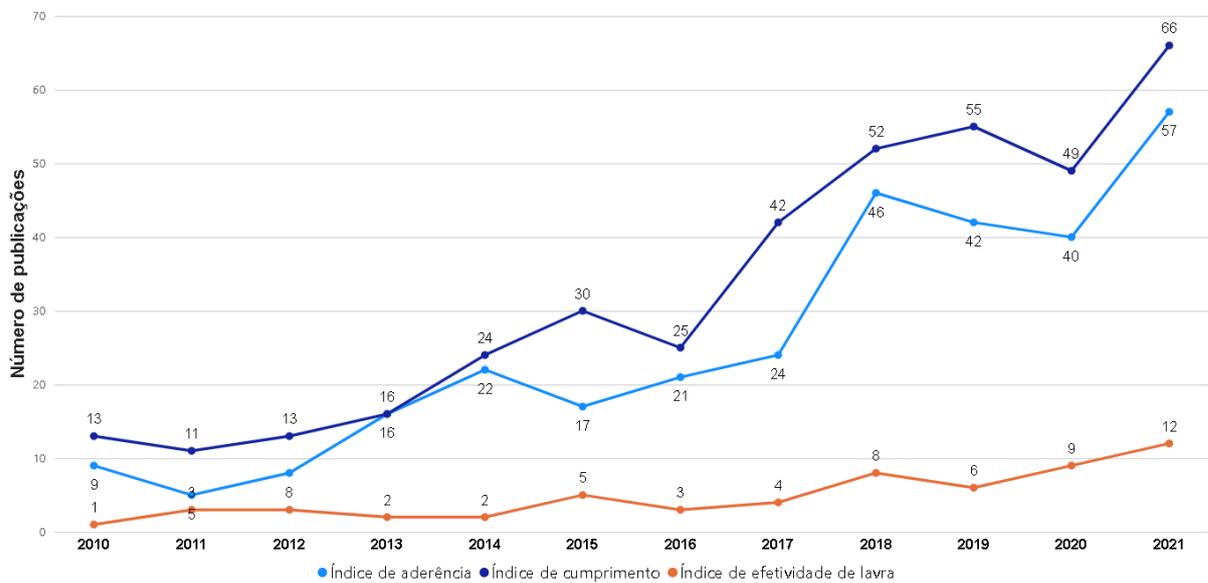
### **4.1. Publicações relacionadas aos indicadores de produção**

A partir dos resultados da produção de artigos relacionados aos índices utilizados no planejamento de lavra, representados pela figura 7, nota-se uma tendência geral de aumento da produção de publicações científicas desde 2010 a 2021, com um pico de produção em 2017, o qual teve um aumento, em comparação com o ano anterior, 2016, de 51% e em relação ao primeiro ano, 2010, de 220%.

Além disto, nota-se também um comportamento de crescimento semelhante das publicações relacionadas aos índices de cumprimento e aderência, os quais são os indicadores de desempenho mais comumente utilizados no planejamento de lavra. Em relação ao índice de efetividade de lavra, os números comparativamente baixos se dão pelo fato de ser um indicador mais recente dos que os outros dois em questão, portanto, não tão popular.

Logo, nota-se uma preocupação por parte das empresas ao longo dos anos por analisar e adequar os planos de lavra confeccionados pela equipe de planejamento de mina.

Figura 7: Publicações acadêmicas relacionadas ao planejamento de lavra



Em relação às publicações relacionadas aos indicadores de operação de mina, apresentadas na figura 8, tem-se a utilização física como o mais popular, seguido da disponibilidade física. Isto demonstra que, com o passar dos anos, tem havido um maior interesse em controlar as variáveis referentes às máquinas em operação na mina.

As publicações relacionadas ao índice OEE (*Overall Equipment Effectiveness*) demonstraram um comportamento de evolução acentuado e, apesar de ser um indicador relativamente recém adaptado ao contexto da mineração, visto que foi inicialmente utilizado em meios industriais e, atualmente, vêm ganhando mais notoriedade. Sua utilização se justifica, por permitir medir o desempenho geral dos equipamentos presentes na operação, já que, para seu cálculo, são utilizados valores de disponibilidade e utilização.

A respeito das publicações referentes aos índices de *Overbreak* e *Underbreak*, o menor número se deu visto que é um índice majoritariamente utilizado em operações de minas subterrâneas, em detrimento dos outros índices abrangerem ambas operações de mina, tanto a céu aberto, quanto subterrâneas. Importante considerar que é um indicador relacionado a segurança das operações subterrâneas.

Figura 8: Publicações acadêmicas relacionadas a operação de mina

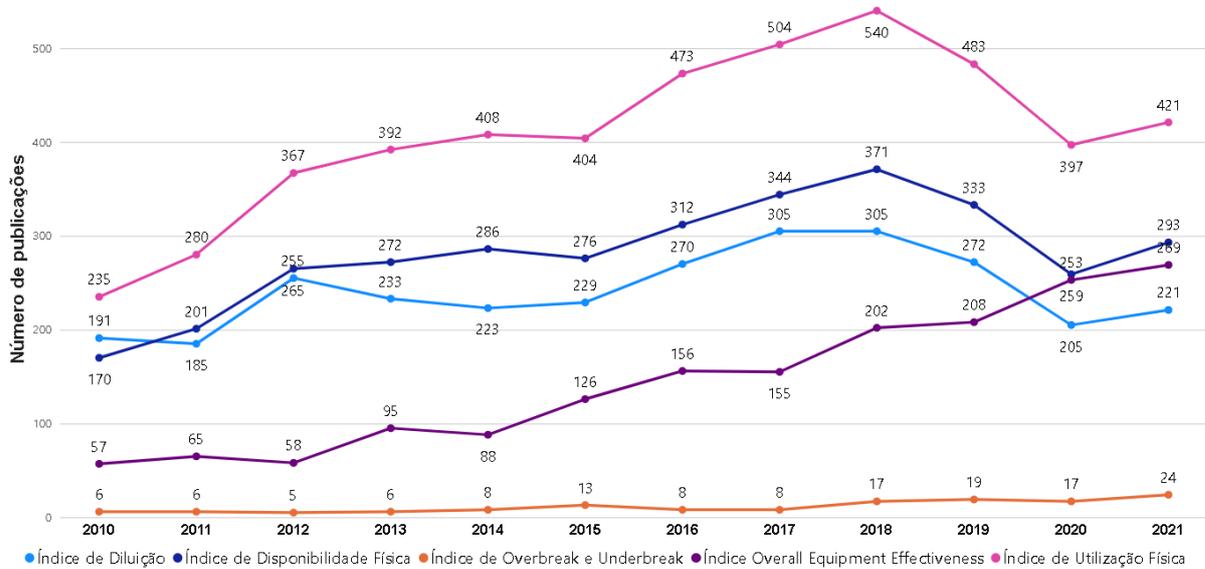
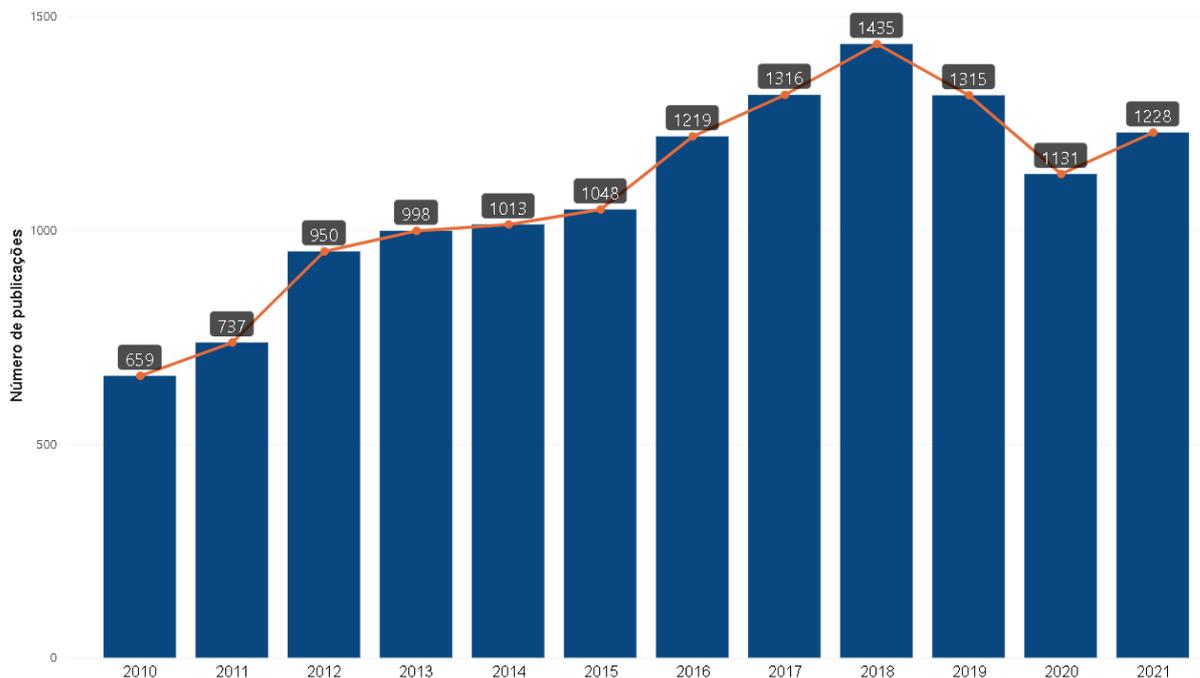


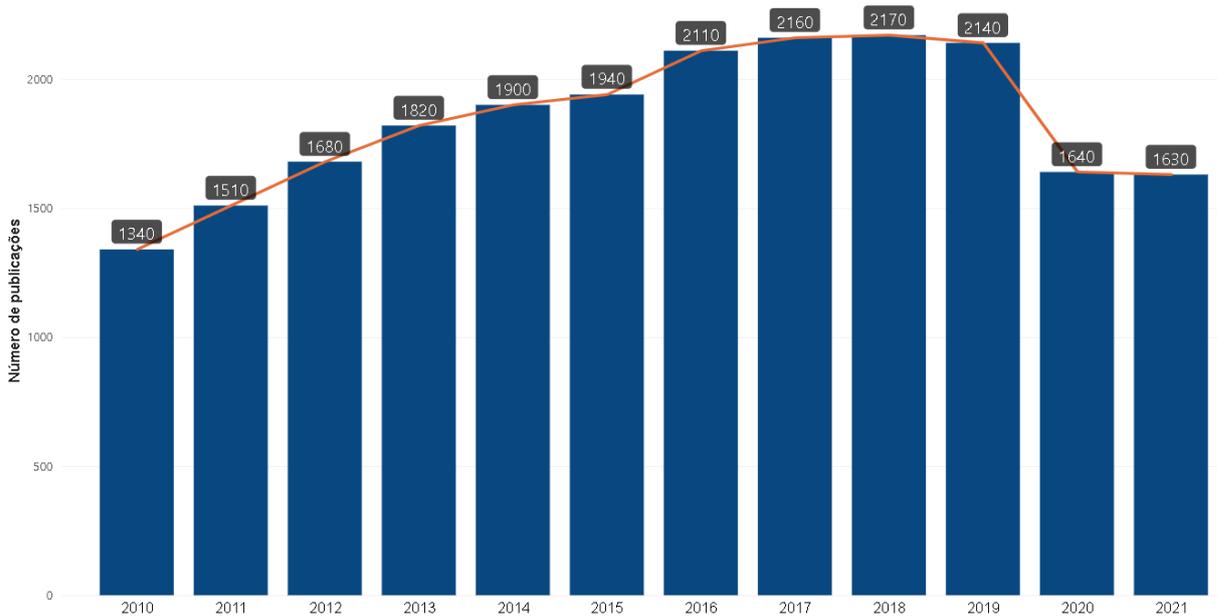
Figura 9: Total de publicações acadêmicas relacionadas à operação de mina



Na figura 10 é possível observar os números de publicações relacionadas aos indicadores utilizados na fase de beneficiamento mineral. Quantitativamente, em comparação aos dados dos temas anteriores, os resultados foram mais elevados desde o primeiro ano estabelecido neste trabalho. Este fato se dá pelo setor de beneficiamento conter muitos processos ao longo de sua cadeia produtiva, logo muitas variáveis a se controlar e, portanto, uma maior gama de indicadores a se

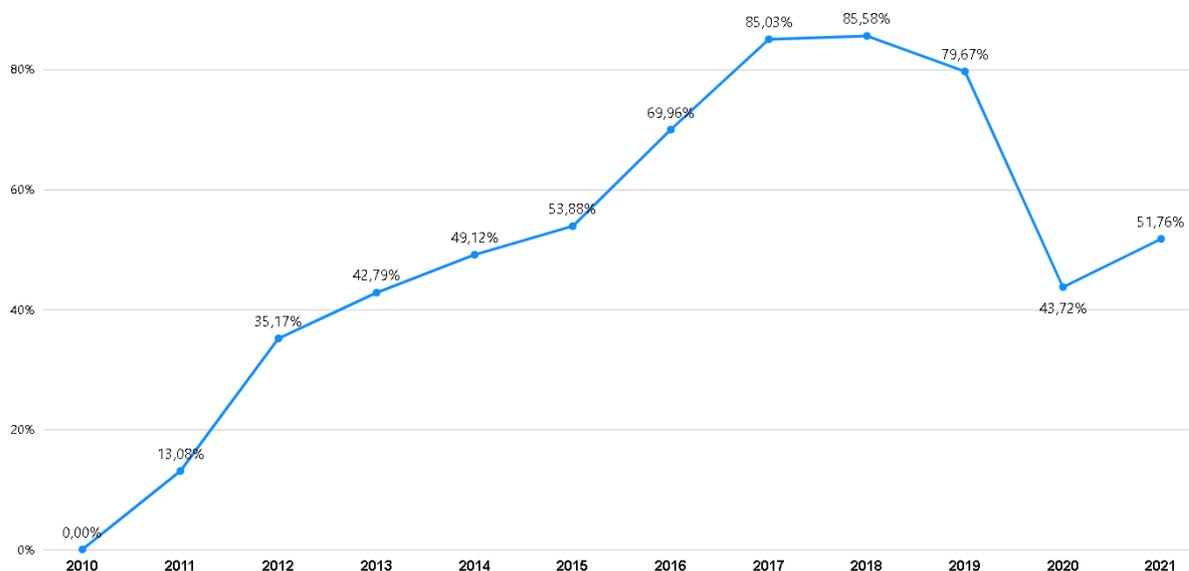
aplicar. É possível observar o crescimento do número de publicações, sobretudo após o ano de 2015, visto que, em 2016 houve um aumento de 13%, o maior encontrado durante o período estabelecido. É possível relacionar este comportamento de evolução dos dados com a preocupação das empresas mineradoras, não só por otimizar seus processos, mas também readequá-los. Esta readequação se deu principalmente após os trágicos acidentes ocorridos relacionados ao rompimento de barragens ao final de 2015 e início de 2019. Portanto, apesar dos processos deste setor ocorrerem em cadeia, ou seja, cada operação influenciar o resultado e atividade seguinte, houve uma maior atenção nos procedimentos relacionados sobretudo ao desaguamento, como por exemplo o espessamento, filtragem e secagem, visando aumentar a segurança na disposição e controle dos rejeitos provenientes do beneficiamento.

Figura 10: Total de publicações acadêmicas relacionadas ao beneficiamento



Desde início dos anos selecionados para análise das publicações relacionadas aos indicadores utilizados na produção, sendo eles compostos pelos indicadores do planejamento de lavra, operação de mina e beneficiamento mineral, nota-se, através da figura 11, em sua maioria, uma significativa evolução no número de publicações acadêmicas.

Figura 11: Evolução do crescimento do número de publicações relacionadas aos indicadores de produção

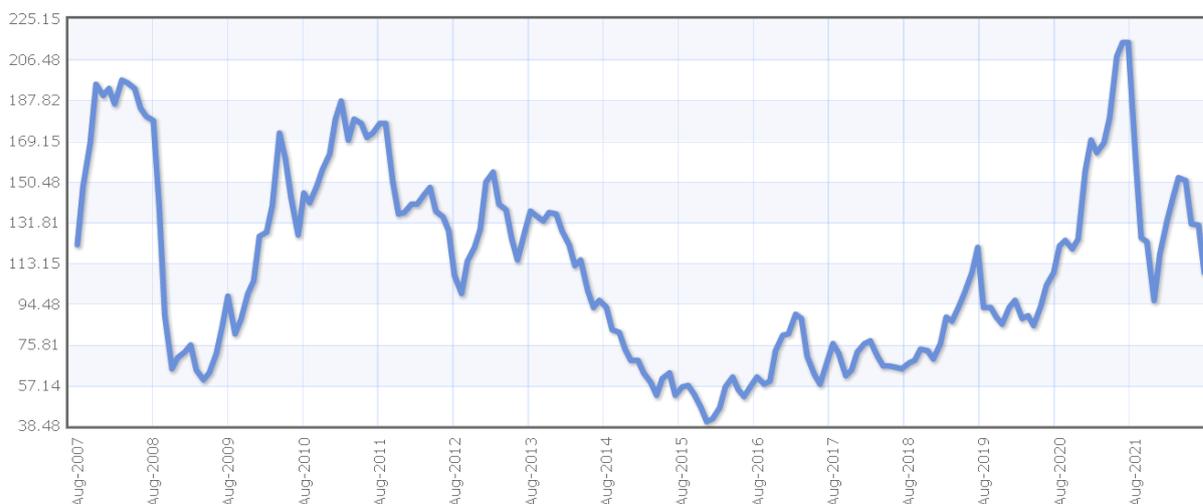


Esta evolução do crescimento do número de publicações referentes aos indicadores de produção pode ser relacionada ao comportamento do preço dos metais no mercado mundial, assim como identificado na figura 12. De uma forma geral, a maioria dos metais e, dentre eles os mais explorados, como ferro e ouro, tiveram um comportamento de preço semelhante durante os últimos 15 anos.

A expressiva queda do preço do minério de ferro a partir de 2013 impactou na gestão das atividades de produção minerária, visto que, neste momento, elas deveriam ser ao máximo otimizadas. Apresentando, portanto, bons índices de desempenho, menores custos por produção e máximo aproveitamento em todas as instâncias abrangidas por este setor.

Por este motivo se faz necessário uma melhor utilização e análise dos indicadores de desempenho e conseqüentemente, aumenta-se o número de publicações acadêmicas destes. Tal afirmação se justifica pela correspondência entre os anos de menor preço do minério com os que houveram maior crescimento no número de publicações acadêmicas relacionadas a indicadores utilizados na produção.

Figura 12: Valor em dólar da tonelada seca de minério de ferro

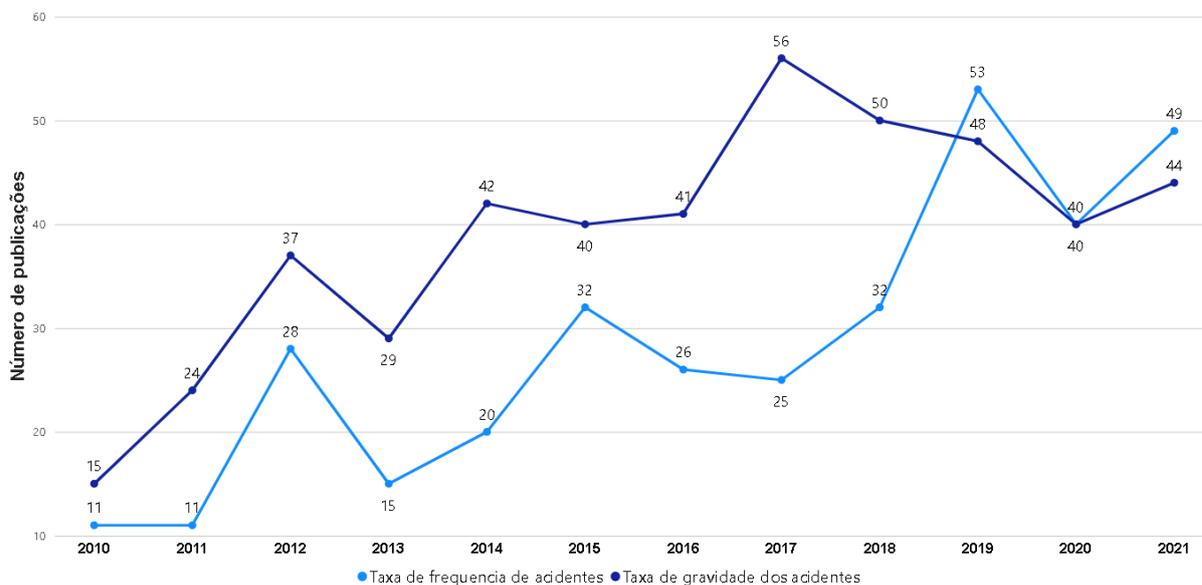


#### 4.2. Publicações relacionadas aos indicadores de fator humano

Uma das principais preocupações das empresas de mineração é relacionada à segurança de seus funcionários e em muitas delas é encontrado, como um de seus princípios, a segurança em primeiro lugar. São comumente utilizados os indicadores de taxa de frequência de acidentes e taxa de gravidade, os quais permitem avaliar as situações que levaram às causas do acidente. Com objetivo de aprimorar as atividades realizadas e estabelecer novas medidas para mitigar quaisquer riscos, evitando assim, novos acidentes.

O ICMM (*International Council on Mining and Metals*), um conselho que reúne 21 das principais empresas de mineração do mundo e possui como objetivo o fortalecimento do desempenho ambiental e social, constatou que o número de acidentes nas minerações, tanto relacionados a fatalidade ou não, sofreram um aumento a partir do ano de 2013, e, visando a diminuição destes números, fomentou-se pesquisas na área de segurança de trabalho e, portanto, tem-se a expressiva evolução do número de publicações relacionadas aos indicadores de fator humano, bem como mostrado pela figura 13.

Figura 13: Publicações relacionadas aos indicadores de fator humano



#### 4.3. Publicações relacionadas aos indicadores meio ambiente

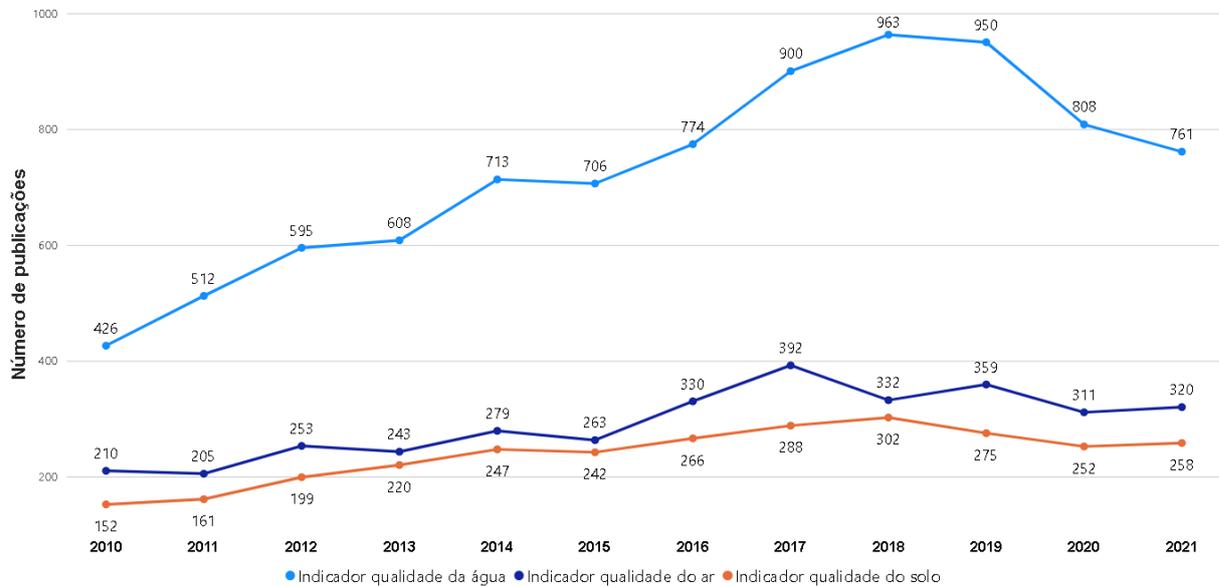
A mineração constitui uma atividade em que impacta diretamente o meio ambiente. Portanto o monitoramento dos impactos ambientais gerados pelas atividades mineradoras, em todos os processos é de extrema importância.

Representados pela figura 14, observa-se que os maiores resultados de publicações relacionadas aos indicadores de meio ambiente foram os referentes à qualidade de água. Estes dados podem se relacionar pelo fato dos processos de beneficiamento utilizarem constantemente o recurso hídrico. Além disso, nota-se uma constante evolução do número de publicações acadêmicas desde 2010 e uma intensificação a partir do ano de 2015. Tal resultado possui influência dos trágicos acidentes relacionados ao rompimento de barragens no Brasil, sobretudo pelo episódio ocorrido com a barragem da empresa Samarco, localizada em Mariana/MG, o qual representou um acidente que teve um dos maiores impactos ambientais no mundo, com uma extensa área atingida.

Os menores números de publicações relacionadas a indicadores de qualidade do ar e solo, se devem pelo fato da atividade minerária impactar menos nestes aspectos, quando em comparação com a questão hídrica. Normalmente, tem-se uma maior preocupação durante o momento de exploração mineral, através do uso de

explosivos, constantes escavações e no momento de fechamento da mina, o qual deve obedecer uma série de requisitos estabelecidos pelos órgãos ambientais.

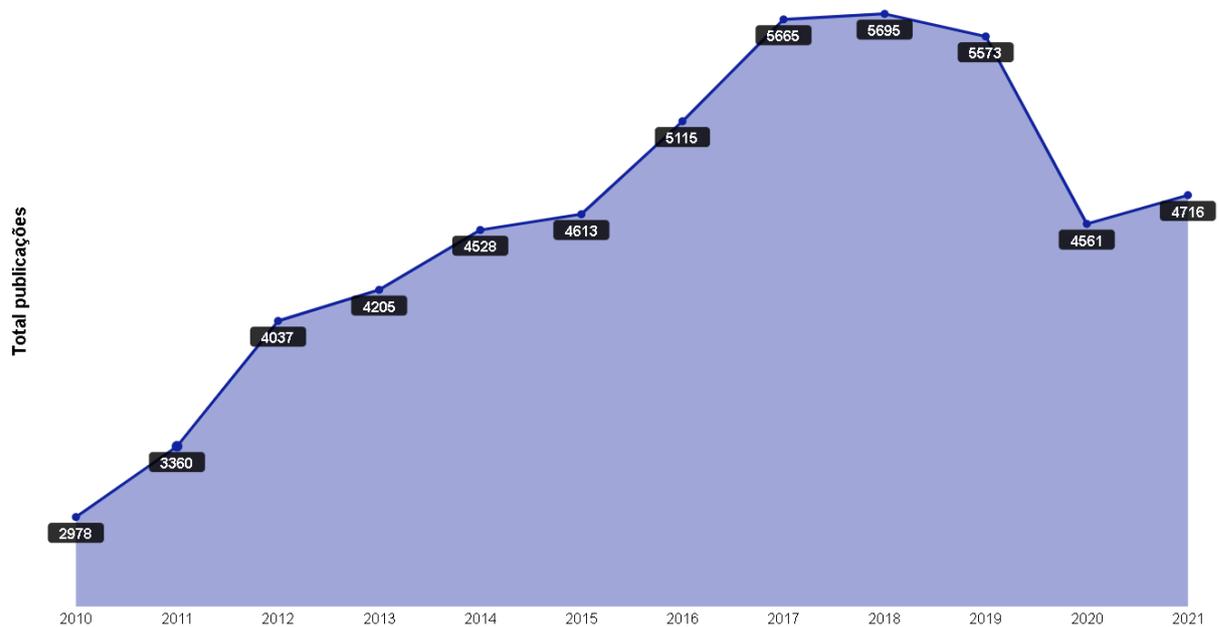
Figura 14: Publicações relacionadas aos indicadores de meio ambiente



#### 4.4. Resultados gerais das publicações de indicadores da mineração

A figura 15 mostra, de uma forma geral, a constante evolução do número de publicações relacionadas a indicadores encontrados na mineração. Tais dados revelam a constante preocupação por parte das empresas com seu desempenho na produção, seja ela nas fases de pesquisa, planejamento, operação de lavra e beneficiamento mineral. A pesquisa e publicações relacionadas a fatores humanos e ambientais seguiram, também, demonstrando uma evolução.

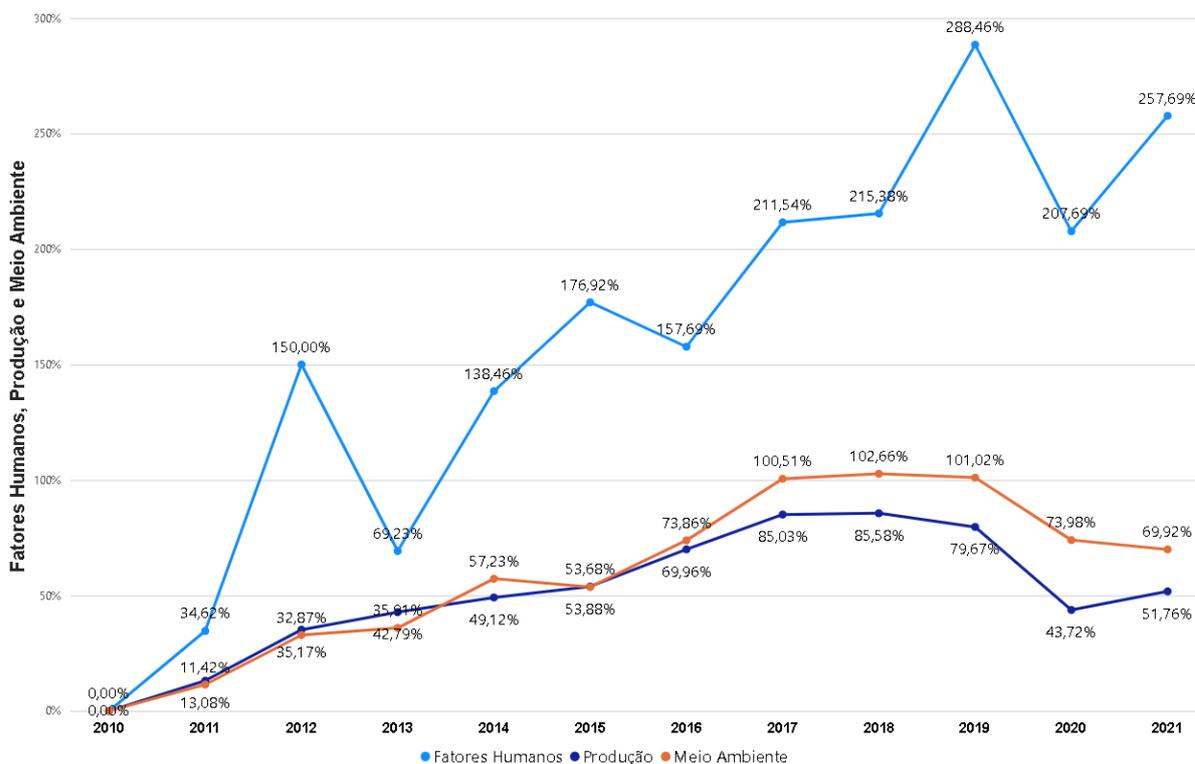
Figura 15: Publicações totais relacionadas aos indicadores de produção, meio ambiente e fator humano



Através da figura 16, nota-se uma maior evolução no número de publicações relacionadas a fatores humanos, área em que as empresas, vêm se adequando cada vez mais e buscando a constante redução no número de acidentes. Tais acidentes se devem, sobretudo, pela falta de cuidado e atenção dos próprios colaboradores das empresas, através, principalmente, da negligência com os processos de segurança.

Os números relacionados às publicações de indicadores de produção e meio ambiente seguiram uma taxa de crescimento semelhante, ambas sendo intensificadas a partir 2016, evolução esta provinda também de aspectos econômicos como os anteriormente citados e acidentes os quais envolveram significativos impactos ambientais.

Figura 16: Evolução no número de publicações relacionadas aos indicadores usados no setor minerário



#### 4.5. Principais áreas de aplicação de indicadores de grandes mineradoras

A partir dos resultados encontrados e demonstrados na tabela 4, nota-se que todas as empresas selecionadas utilizam indicadores voltados para as áreas de produção, segurança e saúde e meio ambiente, ou seja, são o principal foco de controle de resultados.

Dentre as áreas de aplicação de indicadores, tem-se somente a Vale com indicadores utilizados na recuperação de áreas degradadas, demonstrando uma preocupação da empresa com estes fatores.

Vale ressaltar, também, a respeito dos indicadores aplicados para o desenvolvimento e manutenção de relações comunitárias, estes aplicados pela metade das empresas analisadas. Tal área é de extrema importância para a atenção das empresas mineradoras, visto que a atividade de mineração não só altera o ambiente visualmente, mas também impacta a vida das pessoas, através de poluição sonora, provinda dos desmontes de rocha, vibração, geração de poeira, entre outros fatores.

Tabela 4: Áreas de aplicações de indicadores de determinadas mineradoras em 2019

Principais Áreas de Aplicação de Indicadores	Mineradoras Analisadas					
	BHP Billinton	Rio Tinto	Glencore	Vale	Newmont	Anglo American
Ética e transparência	x				x	
Desenvolvimento e manutenção das relações comunitárias		x	x	x		
Desempenho econômico		x	x	x		
Meio Ambiente	x	x	x	x	x	x
Pessoas	x	x		x	x	x
Produção	x	x	x	x	x	x
Saúde e segurança	x	x	x	x	x	x
Recuperação de áreas degradadas				x		

## 5. CONCLUSÃO

Os indicadores de desempenho são recursos constantemente utilizados pelas empresas mineradoras, visto que há uma constante busca pela excelência de processos.

O desenvolvimento do presente trabalho possibilitou a apresentação, explicação e análise dos principais indicadores de desempenho utilizados na mineração, levando em consideração os momentos de lavra e beneficiamento de minerais, bem como os fatores ambientais e humanos, os quais possuem papel essencial no processo produtivo.

Pela análise dos resultados pôde-se concluir que houve uma relação entre o presente momento e passados acontecimentos da mineração, sendo eles de cunho social e ambiental, como os acidentes ocorridos envolvendo barragens de rejeito e natureza econômica, tal qual a variação do preço do minério de ferro no mundo, com o uso de indicadores de desempenho e, conseqüentemente, fomento à produção científica destes.

Além disso, observou-se as principais áreas em que grandes mineradoras aplicam indicadores de desempenho, e notou-se não só uma preocupação geral das empresas com os setores produtivos, mas principalmente também com fatores humanos, através das áreas de “Pessoas” e “Saúde e Segurança”, em que praticamente todas as empresas aplicam indicadores. Este resultado é coerente com o fato de que fatores humanos foi a área em que houve maior evolução do número de publicações acadêmicas.

Por fim, como sugestão de trabalhos futuros, propõe-se a demonstração e análise de indicadores de desempenho recém desenvolvidos, com o objetivo de melhor apresentá-los, possibilitando maior visibilidade e conseqüentemente aplicação nas empresas, visto que os indicadores atualmente utilizados são, em sua maioria, não tão recentes, havendo, portanto, oportunidades para inovação.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEANAZEL, O. T. R. Total productive maintenance review and overall equipment effectiveness measurement. **Jordan Journal of Mechanical and Industrial Engineering**, v. 4, n. 4, p. 517–522, 2010.

Anglo American. **Sustainability Report**. 2019. Available online: <https://www.angloamerican.com/~{}media/Files/A/Anglo-American-Group/PLC/investors/annual-reporting/2020/aa-sustainability-report-2019-v1.pdf> (Acessado em 20 de Setembro de 2022).

ARSHAD, M.A.; MARTIN, S. **Identifying critical limits for soil quality indicators in agro-ecosystems**. Agriculture, Ecosystems and Environment, v.88, n.2, p.153-160, 2002.

ÁVILA, J.B.C. **Indicadores de Acidentes do Trabalho: ranking das atividades econômicas - média do triênio 1997/1999**. Informe de Previdência Social. Brasília, p. 1-16. 2002.

BADAWY, M.; EL-AZIZ, A. A. A.; IDRESS, A. M.; HEFNY, H.; HOSSAM, S. A. **Survey on exploring key performance indicators**. Future Computing and Informatics Journal, v. 1, n. 1–2, p. 47–52, 2016.

BERGERMAN, M.G. **Beneficiamento mineral: Aplicações e conceitos básicos**. São Paulo: Pmi - Epusp, 2020. 60 slides.

BEZERRA, E B. **Nova metodologia de análise de indicadores operacionais do planejamento de lavra de curto prazo**. 2022. 87 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Minas, Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo, - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo., São Paulo, 2022.

BITTAR, O. J. N. V. Indicadores de qualidade e quantidade em saúde. **Revista de Administração em Saúde**, v. 3, n. 12, p. 21–28, 2001.

**BHP Sustainability Report.** 2019. Available online: <https://www.bhp.com/-/media/documents/investors/annual-reports/2019/bhpsustainabilityreport2019.pdf> (Acessado em 20 de Setembro de 2022).

BLANCHARD, B. S.; VERMA, D.; PETERSON, E. L. **Maintainability : a key to effective serviceability and maintenance management.** New York: Wiley, 1995.

BRINT, A.; GENOVESE, A.; PICCOLO, C.; TABOADA-PEREZ, G. J. Reducing data requirements when selecting key performance indicators for supply chain management: the case of a multinational automotive component manufacturer. **International Journal of Production Economics**, v. 233, p. 1 -12, 2021.

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

CÂMARA, TR. **DILUIÇÃO OPERACIONAL EM LAVRA A CÉU ABERTO: QUANTIFICAÇÃO, CONTROLE E MINIMIZAÇÃO UTILIZANDO FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS E INCERTEZAS GEOLÓGICAS.** 2020. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Minas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2020.

CÂMARA, T R. **Sistematização do cálculo de diluição e perdas operacionais para reconciliação de teores e massas em lavra a céu aberto.** 2013. 88 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Minas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

CAMPOS, AL. **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.

CARDELLA, B. **Segurança no trabalho e prevenção de acidentes: uma abordagem holística: segurança integrada à missão organizacional com produtividade, qualidade, preservação ambiental e desenvolvimento de pessoas.** São Paulo: Atlas, 1999.

CAVAGNOLI, I. **Gestão e Inovação. Indicadores de Desempenho (Key Performance Indicators - KPI).** 2009. Disponível em <http://gestaoeinovacao.com/?p=1089>. Acesso em 22 ago. 2022.

CHAVES, A.P. **Teoria e prática do tratamento de minérios.** São Paulo: Signus Editora, 4ª edição, 2012. vol. 1.

CINTRA, J.P; GONÇALES, R. **TOPOGRAFIA DE TÚNEIS COM LASER SCANNER TERRESTRE: ESTUDO DE CASO.** Boletim de Ciências Geodésicas. Curitiba, p. 115-133. Março, 2017.

COSTA, B.S; PEREIRA, C.F; OLIVEIRA, M.L. **DAS MEDIDAS PREVENTIVAS DE ACIDENTES DO TRABALHO NA ATIVIDADE DE MINERAÇÃO.** Veredas do Direito. Belo Horizonte, p. 69-93. 2022

COSTA, F V. **ANÁLISE DOS PRINCIPAIS INDICADORES DE DESEMPENHO USADOS NO PLANEJAMENTO DE LAVRA.** 2015. 79 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2015.

DAGDELEN, K. **Open pit optimization - strategies for improving economics of mining projects through mine planning. Orebody modelling and strategic mine planning, uncertainty and risk management models.** 2nd. ed. Perth: Australasian Institute of Mining and Metallurgy, 2007. p. 145-148. Australasian Institute of Mining and Metallurgy Publication Series.

Ebrahimi A. **The importance of dilution fator for open pit mining projects.** World Mining Congress, Vancouver 2013

FARIAS, C.E.G. Mineração e Meio Ambiente no Brasil. **Centro de Gestão e Estudos Estratégicos: Ciência, Tecnologia e Inovação**. p. 4-37. out. 2002.

FARIAS, N.M. **MINERAÇÃO E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL: Responsabilidade do Estado por falha na fiscalização da inserção de políticas sociais**. 2013. 48 f. Monografia (Especialização) - Curso de Direito, Instituto Brasiliense de Direito Público, Brasília, 2013.

FARIAS, R.; SOUZA, P.; JESUS, E.; **Monitoramento de escavações das galerias da mina subterrânea da Mineração Caraíba S/A**.IBRAM, p. 1-17, abril, 2021.

FERNANDES, D.R. Uma contribuição sobre a construção de indicadores e sua importância para a gestão empresarial. **Revista FAE**, 7(1), p.1-18, 2004

FERREIRA, M; SOUZA, C.E.S; RIBEIRO, C.A; GALDINO, D.B; RICCI, G.L. AVALIAÇÃO SOBRE A PREVENÇÃO DE RISCOS NA ATIVIDADE DE TRABALHO EM PRENSAS. **Iberoamerican Journal Of Industrial Engineering**. Florianópolis, p. 48-68. 2012

FRANKLIN, J., IBARRA, J., MAERZ, N. Blast overbreak measurement by light sectioning. **International journal of mining and geological engineering**. v. 6, p. 97-112, 1989.

FRIGHETTO, R.T.S.; VALARINI, P.J. (Coords.). **Indicadores biológicos e bioquímicos da qualidade do solo: manual técnico**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2000. 198p. (EMBRAPA Meio Ambiente – Documentos, 21).

Gackowiec, P.; Podobińska-Staniec, M.; Brzychczy, E.; Kühnbach, C.; Özver, T. **Review of Key Performance Indicators for Process Monitoring in the Mining Industry**. *Energies* 2020, 13, 5169. <https://doi.org/10.3390/en13195169>

Glencore. **Sustainability Reporting Highlights** 2019. Available online: <https://www.glencore.com/dam:jcr/c7f6c5fc-b275-4e12-9448-de5302805781/2019-Glencore-Sustainability-Highlights--.pdf> (Acessado em 20 de Setembro de 2022).

Gustafson, A., Schunnesson, H., Galar, D. and Kumar, U. (2013), "Production and maintenance performance analysis: manual versus semi-automatic LHDs", **Journal of Quality in Maintenance Engineering**, Vol. 19 No. 1, pp. 74-88.

<https://doi.org/10.1108/13552511311304492>

HARTMAN, H. L.; MUTMANSKY, J. M. **Introductory Mining Engineering**. 2nd ed. New Jersey: John Wiley & Sons, 2002.

HEBERLE, J.M.C. **Desenvolvimento de metodologia para consolidação de indicadores de desempenho para controle e gestão na mineração: Um estudo de caso**. 2020. 74 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2020.

HOLLOWAY, E.; COWIE, S. **Mine Planning and the Crucial Role of Geology**. *SEG Discovery*, v. 118, p. 16–27, 2019.

HORTON R. K. An index number system for rating water quality. **Journal WPCF37**, p. 300-305, 1965.

Idrees, Amira. A survey on exploring key performance indicators. **Future Computing and Informatics Journal**: Vol. 1: Iss. 1, Article 5, 2016.

IIDA, I. **Ergonomia: projeto e produção**. 2.ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2005.

Kang, N., Zhao, C., Li, J., & Horst, J. A. (2016). A Hierarchical structure of key performance indicators for operation management and continuous improvement in production systems. **International Journal of Production Research**.

<https://doi.org/10.1080/00207543.2015.1136082>, 2016.

KARLEN, D.L.; MAUSBACH, M.J.; DORAN, J.W.; CLINE, R.G.; HARRIS, R.F.; SCHUMAN, G.E. Soil quality: a concept, definition and framework for evaluation. **Soil Science Society America Journal**, v.61, n.1, p.4-10, 1997.

KARLEN, D.L.; STOTT, D. A framework for evaluating physical and chemical indicators. Defining soil quality for a sustainable environment. Madison, Wisconsin, USA: **Soil Science Society American Journal**, 1994. Cap.4, p.53-72. (Special Publication, 35).

KIELY Gerard, **Environmental Engineering**. *Berkshire England*. McGraw-Hill. 1996

KPIZONE. 2014. Disponível em <<http://www.ccinw.com/kpizone/Home/index.php>> . Acesso em 22 ago. 2022.

LANKE, A. A.; HOSEINIE, S. H.; GHODRATI, B. Mine production index (MPI)-extension of OEE for bottleneck detection in mining. **International Journal of Mining Science and Technology**, v. 26, n. 5, p. 753–760, 2016.

LANKE, A.; HOSEINIE, H.; GHODRATI, B. Mine Production Index (MPI): new method to evaluate effectiveness of mining machinery. **International Journal of Geological and Environmental Engineering**, v. 8, n. 11, p. 755–759, 2014.

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.

Lisboa, H. M. & Kawano, M. **Controle da Poluição Atmosférica: Monitoramento de Poluentes Atmosféricos**. Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Departamento de Eng. Sanitária e Ambiental, 2010, Florianópolis.

LUZ, A.B; SAMPAIO, J.A; FRANÇA, S.C.A. **Tratamento de Minérios**. 5. ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2010. 896 p.

MEIER, H.; LAGEMANN, H.; MORLOCK, F.; RATHMANN, C. **Key performance indicators for assessing the planning and delivery of industrial services**. *Procedia CIRP*, v. 11, p. 99–104, 2013. Presented in 2nd. International Through-Life Engineering Services Conference, 2013.

MUCHIRI, P.; PINTELON, L. Performance measurement using overall equipment effectiveness (OEE): literature review and practical application discussion. **International Journal of Production Research**, v. 46, n. 13, p. 3517–3535, 2008.

NADER, A S. **Monitoramento de taludes via radar SSR como indicador chave de desempenho geotécnico integrado às atividades da cadeia primárias de valor mineral**. 2013. 208 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Mineral, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013

NADER, B.; TOMI, G.; PASSOS, A. O. Indicadores-chave de Desempenho e a Gestão Integrada da Mineração. **Revista da Escola de Minas - REM**, Ouro Preto, out. 2012.

NADER, Beck *et al.* Indicadores-chave de desempenho e a gestão integrada da mineração. **International Engineering Journal**, Ouro Preto, p. 537-541, maio 2012.

Newmont. **Sustainability Report Performance Data**. 2019. Available online: <https://s24.q4cdn.com/382246808/> (Acessado em 20 de Setembro de 2022).

Oliveira M. M. 2012. **Dimensionamento empírico de realce em sublevel stoping**. Dissertação, Curso de Pós-graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 162p, 2012.

OLIVEIRA, M.M. **ANÁLISE DOS INDICADORES DE PERFORMANCE COM O CUSTO DE MINÉRIO DE FERRO EM UMA MINA POR MEIO DE REGRESSÃO MÚLTIPLA**. 2016. 54 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Produção, Universidade Federal Fluminense, Niteroi, 2016.

OLIVEIRA, M.M. **DIMENSIONAMENTO EMPÍRICO DE REALCE EM SUBLEVEL STOPING**. 2012. 148 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Minas e Engenharia Metalúrgica, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.

PARASZCZAK, J. Understanding and assessment of mining equipment effectiveness. **Mining Technology**, v. 114, n. 3, p. 147–151, 2005.

PARKIN, T. B.; DORAN, J. W.; FRANCO-VIZCAÍNO. Field and laboratory tests of soil respiration - Methods for assessing soil quality. **Soil Science Society of America**, 1996. p.231-245.

PARMENTER, D. **Key performance indicators: developing, implementing and using winning KPIs**. New Jersey: John Wiley, 2007.

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

PARMENTER, D. **Key Performance Indicators: Developing, implementing, and using winning KPIs**, Third Edition. Wiley, 2015

PELLEGRINELLI, Cláudia Mara B.F. **Programa Especial de Segurança e Saúde Ocupacional na Mineração**. Palestra proferida no Centro de Tecnologia Mineral, Rio de Janeiro, 16 abril. 2013.

PERAL, J.; MATÉ, A.; MARCO, M. **Application of data mining techniques to identify relevant key performance indicators**. *Computer Standards and Interfaces*, v. 50, p. 55–64, Febr. 2017.

PRADO, R. B.; TURETTA, A. P. D.; ANDRADE, A. G. de (Org.). **Manejo e conservação do solo e da água no contexto das mudanças ambientais**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2010. pt. 4, cap. 5, p. 325-352.

RIBEIRO, J.T.M. **Curso básico sobre medição, prevenção e controle da poluição na mineração (poeira e ruído)**. São Paulo: DNPM/CECOPOMIM, 28 p.1995.

Rio Tinto. **Sustainability Reporting** 2019. Available online: <https://www.riotinto.com/sustainability/sustainabilityreporting> (Acessado em 20 de Setembro de 2022).

RODRIGUES, G.L. **Efeitos ambientais na produção de brita em áreas urbanas (poluição atmosférica e vibração)**. São Paulo, 78p. Dissertação (Mestrado) – Instituto de geociências, Universidade de São Paulo, 1993.

SÁNCHEZ, E.; COLMENAREJO, M. F.; VICENTE, J., RUBIO, A.; GARCÍA, M. G., TRAVIESO, L.; BORJA, R. **Use of the water quality index and dissolved oxygen deficit as simple indicators of watersheds pollution**. *Ecological Indicators*, v. 7, n. 2, p. 315-328. 2007.

SCHULTZ, N.F. **Separation efficiency**, *Transactions SME, AIME*, v. 247 (mar 1970), p. 81-87

SOUZA, M.; CARTAXO, G. **Aplicação do Indicador OEE (Overall Equipment Effectiveness) em uma Indústria Fornecedora de Cabos Umbilicais**. XXXVI ENEGEP, Encontro Nacional de Engenharia de Produção. João Pessoa, 2016.

STEVENSON, F.J. **Humus chemistry: genesis, composition, reactions**. New York: John Wiley, 1994. 496 p.

TAVARES, F.L. **AVALIAÇÃO DO IMPACTO DA DILUIÇÃO NA ECONOMICIDADE DE UM REALCE DE UMA MINA DE OURO**. 2016. 40 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Minas, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais Unidade Araxá, Araxá, 2016.

Vachnadze, R. Prioritization of Performance Measures using Analytic Hierarchy Process. **International Journal of the Analytic Hierarchy Process**, 2016

Vale. **Sustainability Report** 2019. Available online:  
[http://www.vale.com/EN/investors/information-market/annual-reports/sustainability-reports/Sustainability%20Reports/Relatorio\\_sustentabilidade\\_vale\\_2019\\_alta\\_en.pdf](http://www.vale.com/EN/investors/information-market/annual-reports/sustainability-reports/Sustainability%20Reports/Relatorio_sustentabilidade_vale_2019_alta_en.pdf) (Acessado em 20 de Setembro de 2022).

VIDAL, F.V.; AZEVEDO, H.C.A.; CASTRO, N. F.; CATTABRIGA, L. **SAÚDE E SEGURANÇA NO TRABALHO**. CAPÍTULO DO LIVRO TECNOLOGIA DE ROCHAS ORNAMENTAIS: PESQUISA, LAVRA E BENEFICIAMENTO. Rio de Janeiro, CETEM/MCTI. ISBN: 987-85– 8261-005-3. p 399 – 432, 2014

WORRALL, R.; NEIL, D.; BRERETON, D.; MULLIGAN, D. Towards a sustainability criteria and indicators framework for legacy mine land. **Journal of Cleaner Production**, v. 17, n. 16, p. 1426–1434, 2009.

ZARSHENAS, Y., SAEEDI, G. **Risk assessment of dilution in open pit mines**, **Arab J Geosci** 9: 209 DOI 10.1007/s12517-015-2214-8, 2016