

Evolução dos indicadores de desempenho na mineração

Evolution of mining performance indicators

Evolución de los indicadores de desempeño en minería

Recebido: 13/12/2022 | Revisado: 21/12/2022 | Aceitado: 22/12/2022 | Publicado: 26/12/2022

Samuel Pádua Batista¹

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6239-4138>

Universidade Federal de Ouro Preto, Brasil

samuel.batista@aluno.ufop.edu.br

Felipe Ribeiro Souza¹

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6804-9589>

Universidade Federal de Ouro Preto, Brasil

E-mail: felipe.souza@ufop.edu.br

Hernani Mota de Lima¹

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5595-4149>

Universidade Federal de Ouro Preto, Brasil

E-mail: hernani.lima@ufop.edu.br

Resumo

Diversas são as variáveis que interferem no processo produtivo mineral, visando alcançar resultados cada vez melhores, muito se faz uso de indicadores de desempenho. 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. A quantificação foi baseada 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 mineral, 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: Indicadores chave de desempenho; Lavra; Beneficiamento mineral; Operação de mina.

Abstract

There are several variables that influence the mining production process, in order to achieve better and better results, much is done using performance indicators. This work aims to identify the main performance indicators used in mining, these separated by areas such as production, human and environmental factors. The study was based on an extensive search for scientific publications, considering the period from 2010 to 2021. The results showed that the number of academic publications related to the performance indicators found in the 3 proposed areas showed similar growth. 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 publications referring to performance indicators found in mining.

Keywords: Key performance indicators; Mining; Mineral processing; Mining operation.

Resumen

Son varias las variables que influyen en el proceso productivo minero, para lograr cada vez mejores resultados, mucho se hace utilizando indicadores de desempeño. Este trabajo tiene como objetivo identificar los principales indicadores de desempeño utilizados en la minería, estos separados por rubros como producción, factores humanos y ambientales. El estudio se basó en una búsqueda extensa de publicaciones científicas, considerando el período de 2010 a 2021. Los resultados mostraron que el número de publicaciones académicas relacionadas con los indicadores de desempeño encontrados en las 3 áreas propuestas mostró un crecimiento similar. Hay una mayor evolución en el número de

¹ Department of Mining Engineering; Federal, Universidade Federal de Ouro Preto, Brasil

publicaciones relacionadas con factores humanos, en comparación con otros sectores, lo que demuestra una preocupación por parte de las empresas mineras, especialmente con la seguridad de sus trabajadores. Se concluyó que los eventos en la minería, como accidentes que involucran tranques de relaves, y el escenario económico minero, como la variación del valor del mineral de hierro en el mundo, fueron factores que influyeron en el comportamiento del número de publicaciones científicas referentes al desempeño. indicadores encontrados en la minería.

Palabras clave: Indicadores clave de desempeño; Minería, Procesamiento de minerales; Operación minera.

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 Mutmanky (1987), 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 (Caldeira, 2012).

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 (2012), os KPI's são ferramentas que medem, gerenciam e auxiliam na validação de parâmetros a serem quantificados e avaliados nos setores operacionais. Importante considerar que existe uma relação direta entre as demandas da sociedade e a produção acadêmica, o aumento de importância de um tema será associado a quantidade de trabalhos acadêmicos realizados. É natural assumir que os maiores esforços da engenharia estão associados a questões tecnológicas associadas a ciências exatas, entretanto este trabalho demonstra que o maior crescimento está relacionado a fatores humanos e ambientais nas publicações associadas a mineração(Ditlef et al., 2022).

2. Metodologia

Os objetivos deste trabalho foram divididos em duas atividades principais: Identificar os principais indicadores utilizados na mineração. Demonstrar e analisar a incidência destes indicadores em publicações acadêmicas.

Para identificar os 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 1 - Correlação entre os setores de um empreendimento minerário.

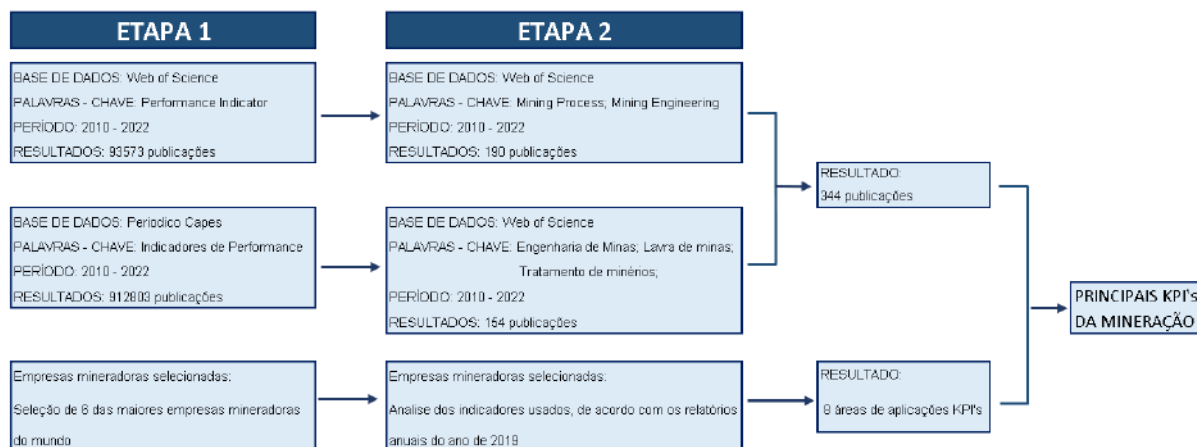


Fonte: Autores.

Após definida a área de aplicação da pesquisa, realizou-se revisão sistemática em diferentes bases de dados para seleção dos indicadores, seguido da demonstração dos filtros usados. Seguindo a metodologia proposta por Galvão e Perreira (2014) a primeira etapa foi determinar a pergunta central do trabalho. Seguido pela pesquisa sistemática nas bases de dados digitais gratuitas disponíveis. Finalizado com avaliação da qualidade de massa de dados obtida seguida pela avaliação da qualidade das evidências. O período inicial para aquisição dos dados foi o ano de 2010, pois foi o início do arranjo macroeconômico vigente atualmente. Além de marcar a retomada de algumas operações mineiras com maior restrição orçamentária qual demanda maior controle dos indicadores de desempenho. Considerando a pequena quantidade de artigos específicos voltados para a Mineração não foi possível filtrar os dados coletados, pois iriam reduzir a confiabilidade da amostragem para abaixo de 90%.

Para iniciar a pesquisa sistemática de dados foi necessário a identificação dos principais indicadores encontrados na mineração, foram utilizadas 2 grandes bases de dados, o Periódico Capes e a Web of Science. Foi realizada 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 1. Foram selecionadas as seguintes empresas: BHP, Rio Tinto, Glencore, Vale, Newmont e Anglo American.

Figura 2 - Fluxograma explicativo das etapas metodológicas utilizadas.



Fonte: Autores.

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.

3. Revisão Teórica

3.1 Indicadores relacionados a produção

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,2001; Holloway & Cowie, 2019; Oliveira et al., 2022). 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 o Quadro 1, na qual se encontram os KPI's mais importantes relacionados ao planejamento, durante a vida útil da mina:

Quadro 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).

3.2 Indicadores relacionados a 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 (Ilda, 2005).

O setor minerário é considerado, dentre o campo industrial, um dos mais perigosos em relação ao número de acidentes e taxa de mortalidade. Segundo Cardella (1999), 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 (Campos et al., 2022).

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, et al. 2002).

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 (Cardella, 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.

$$TF_{\text{com afastamento}} = \frac{n^{\circ} \text{ de acidentes com afastamento} \times 10^6}{\text{Homens} - \text{Horas trabalhadas}} \times 100 \quad (1)$$

$$TF_{\text{sem afastamento}} = \frac{n^{\circ} \text{ de acidentes sem afastamento} \times 10^6}{\text{Homens} - \text{Horas trabalhadas}} \times 100 \quad (2)$$

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

$$TG = \frac{(\text{dias perdidos} + \text{dias debitados}) \times 10^6}{\text{Homens} - \text{Horas trabalhadas}} \times 100 \quad (3)$$

3.3 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 (IQA_r), 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:

$$IQA_r = \frac{I_{Sup} - I_{Inf}}{C_{Sup} - C_{Inf}} \times (C - C_{Inf}) + I_{Inf} \quad (4)$$

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: Critérios para Episódios Agudos de Poluição do Ar (2013)

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 (Bünemann et al., 2018). 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 (Zeraatpisheh et al., 2022).
- **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 (Choudhury et al., 2022).
- **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 (Antonangelo et al., 2021).

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 et al., 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 (He et al., 2021) 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}*).

4. Resultados e Discussão

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

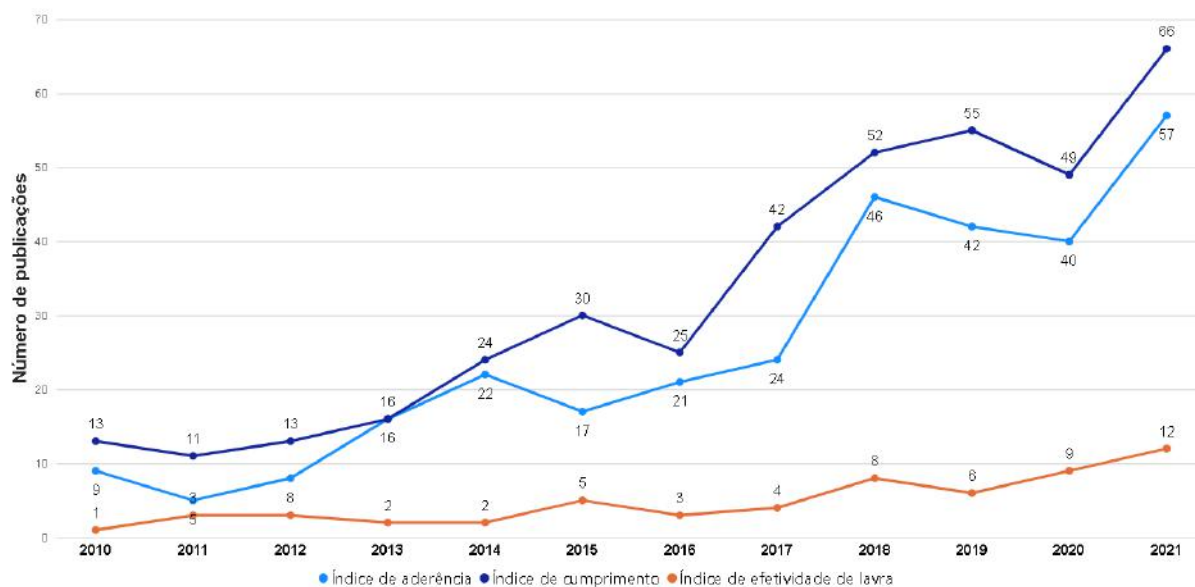
A partir dos resultados da produção de artigos relacionados aos índices utilizados no planejamento de lavra, representados pela

Figura 3, 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 3 - Publicações acadêmicas relacionadas ao planejamento de lavra.



Fonte: Autores.

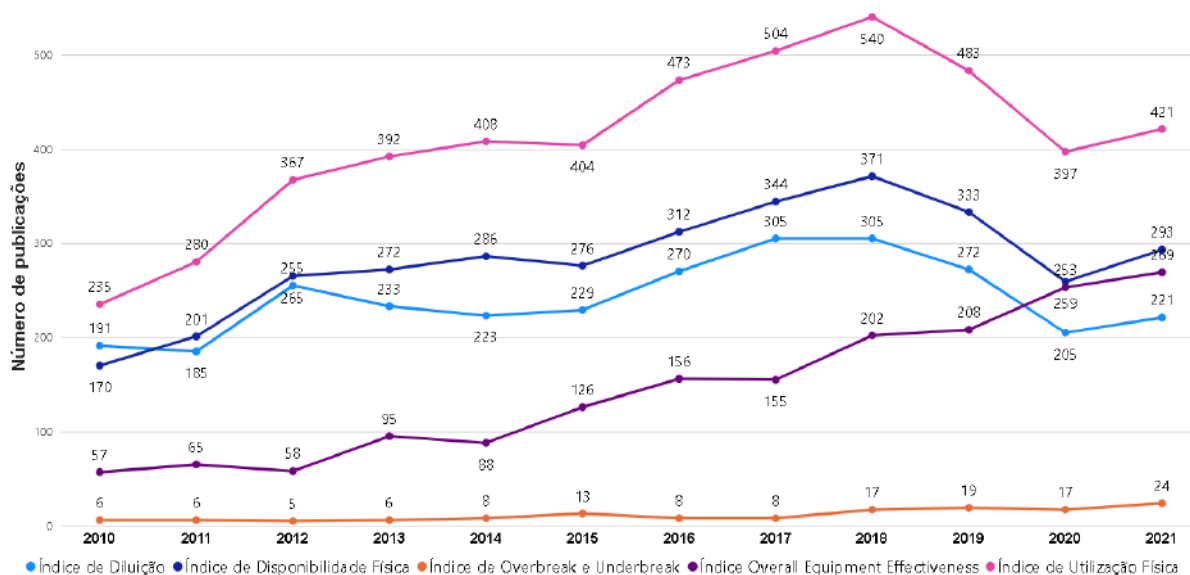
Em relação às publicações relacionadas aos indicadores de operação de mina, apresentadas na

Figura 4, 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 abrangem ambas operações de mina, tanto a céu aberto, quanto subterrâneas. Importante considerar que é um indicador relacionado a segurança das operações subterrâneas.

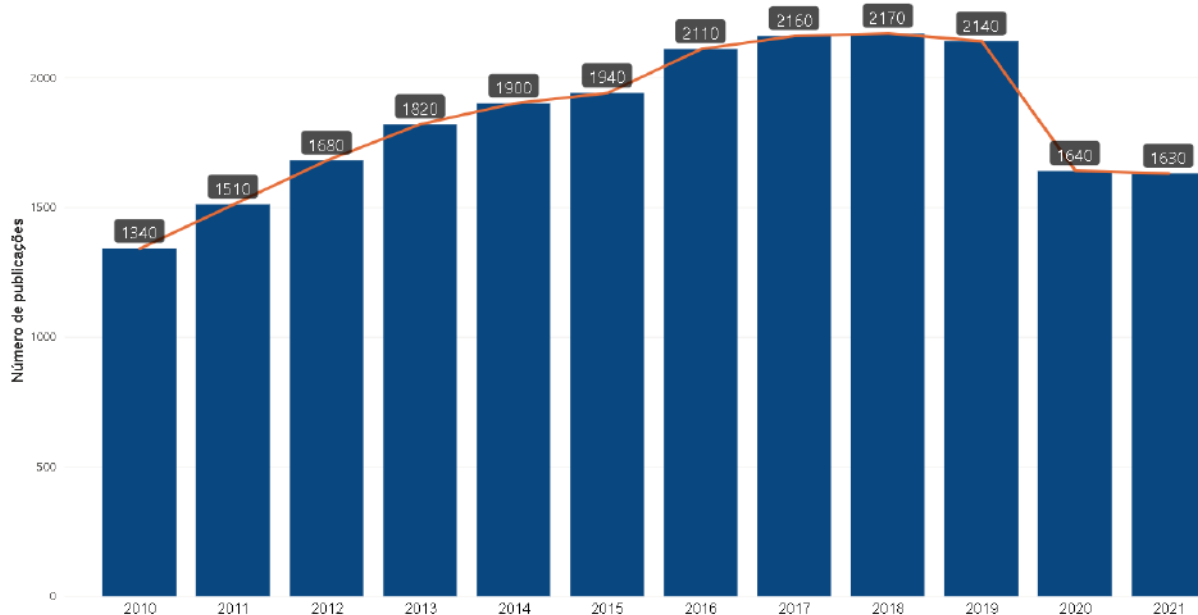
Figura 4 - Publicações acadêmicas relacionadas a operação de mina.



Fonte: Autores.

Na Figura 5 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.

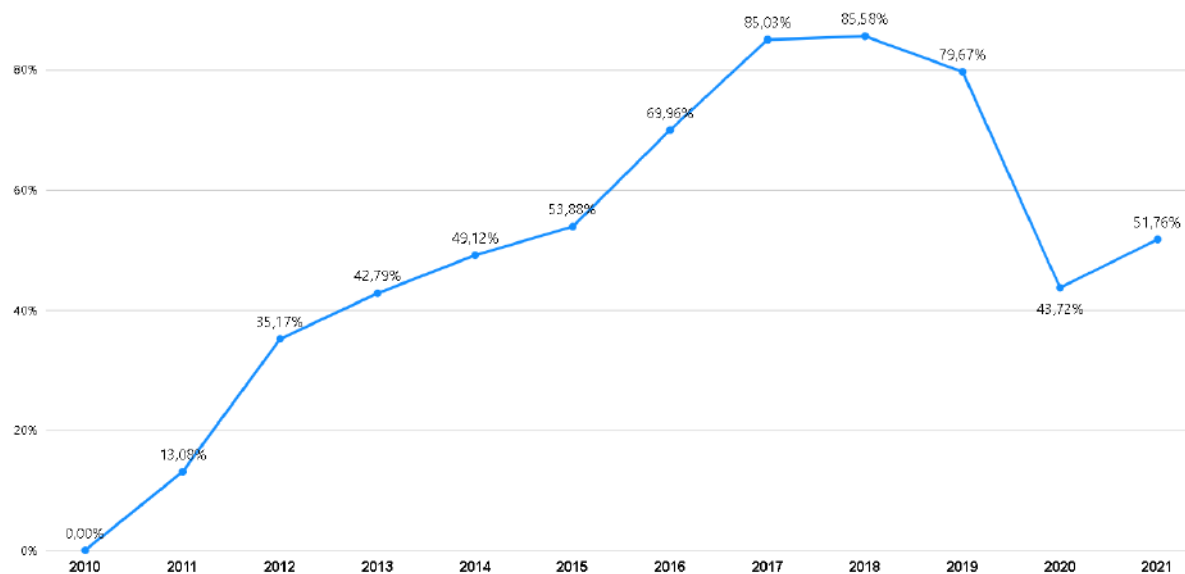
Figura 5 - Total de publicações acadêmicas relacionadas ao beneficiamento.



Fonte: Autores.

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 6, em sua maioria, uma significativa evolução no número de publicações acadêmicas.

Figura 6 -Evolução do crescimento do número de publicações relacionadas aos indicadores de produção.



Fonte: Autores.

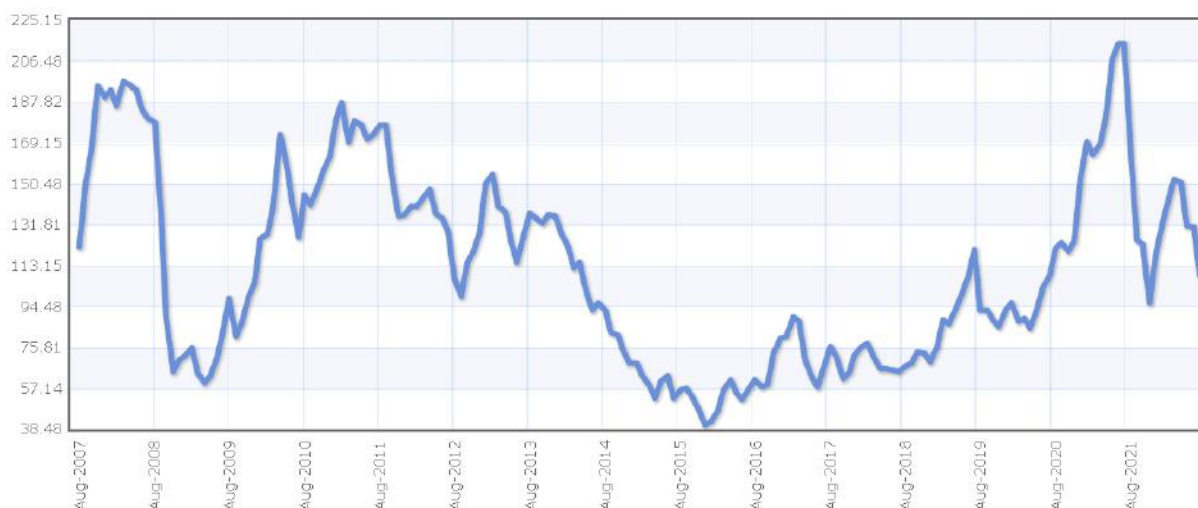
Esta evolução do crescimento do número de publicações referentes aos indicadores de produção pode ser relacionada ao comportamento do preço dos metais no mercado mundial, assim como identificado na Figura 7. De uma forma geral, a

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 7 - Valor em dólar da tonelada seca de minério de ferro.



Fonte: Autores.

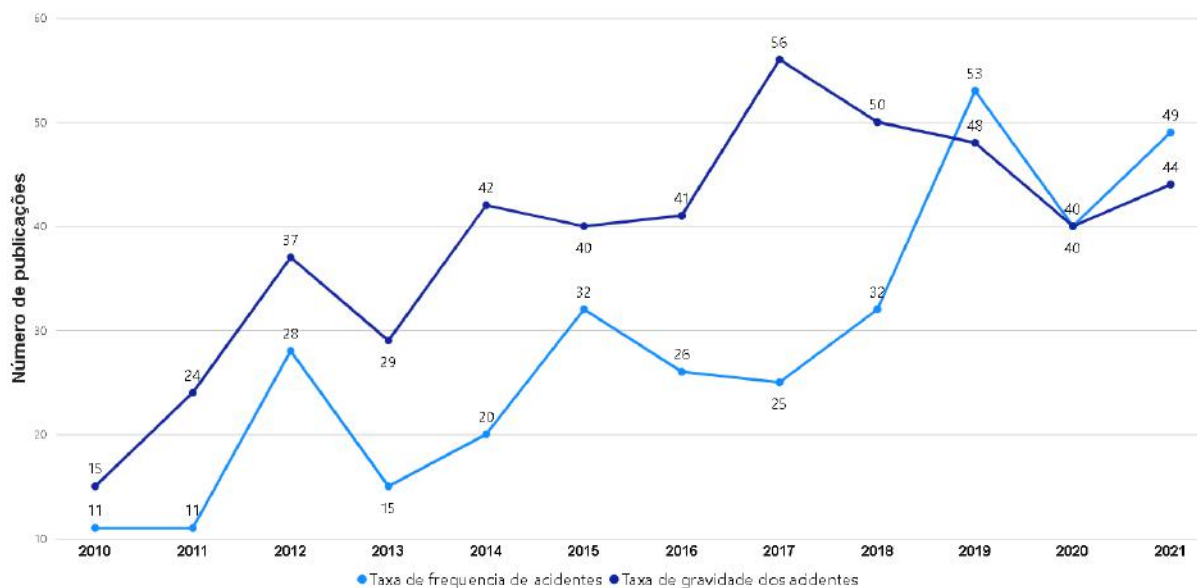
4.2 Publicações relacionadas aos indicadores de fator humano

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 8.

Figura 8 - Publicações relacionadas aos indicadores de fator humano.



Fonte: Autores.

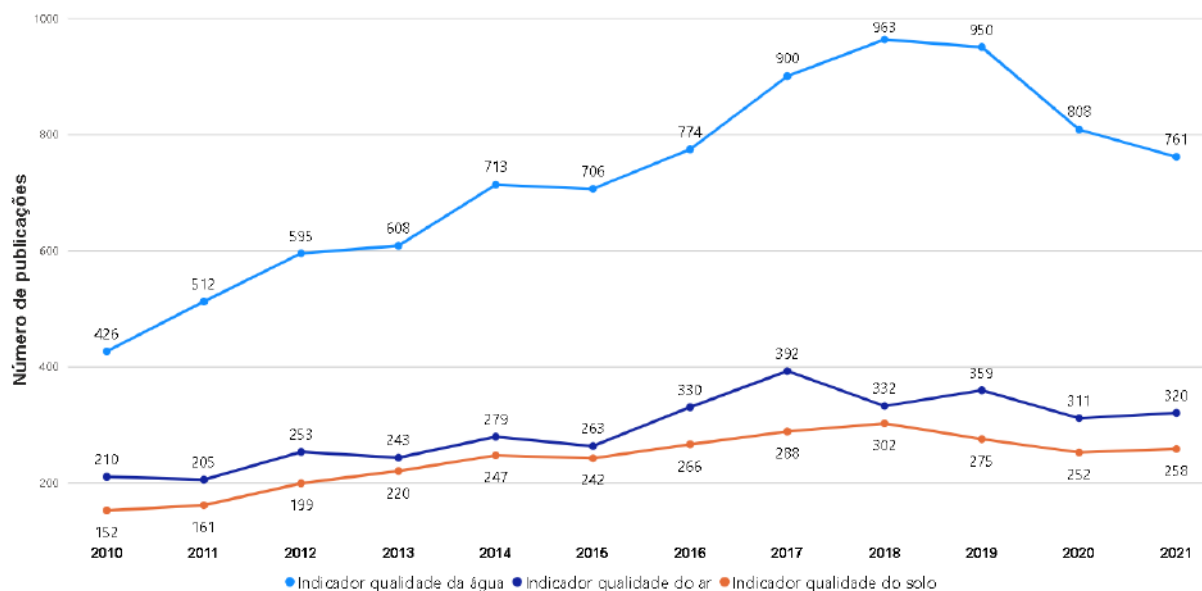
4.3 Publicações relacionadas aos indicadores meio ambiente

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 9, 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 a uma série de requisitos estabelecidos pelos órgãos ambientais.

Figura 9 -Publicações relacionadas aos indicadores de meio ambiente.

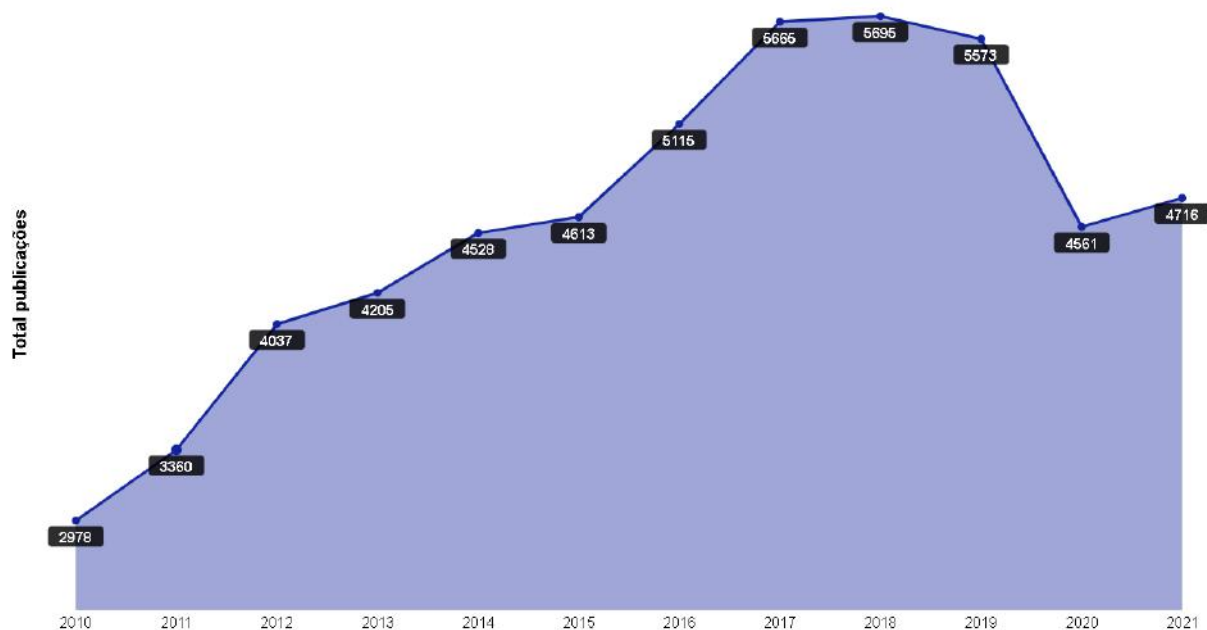


Fonte: Autores.

4.4 Resultados gerais das publicações de indicadores da mineração

A Figura 10 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 10 - Publicações totais relacionadas aos indicadores de produção, meio ambiente e fator humano.



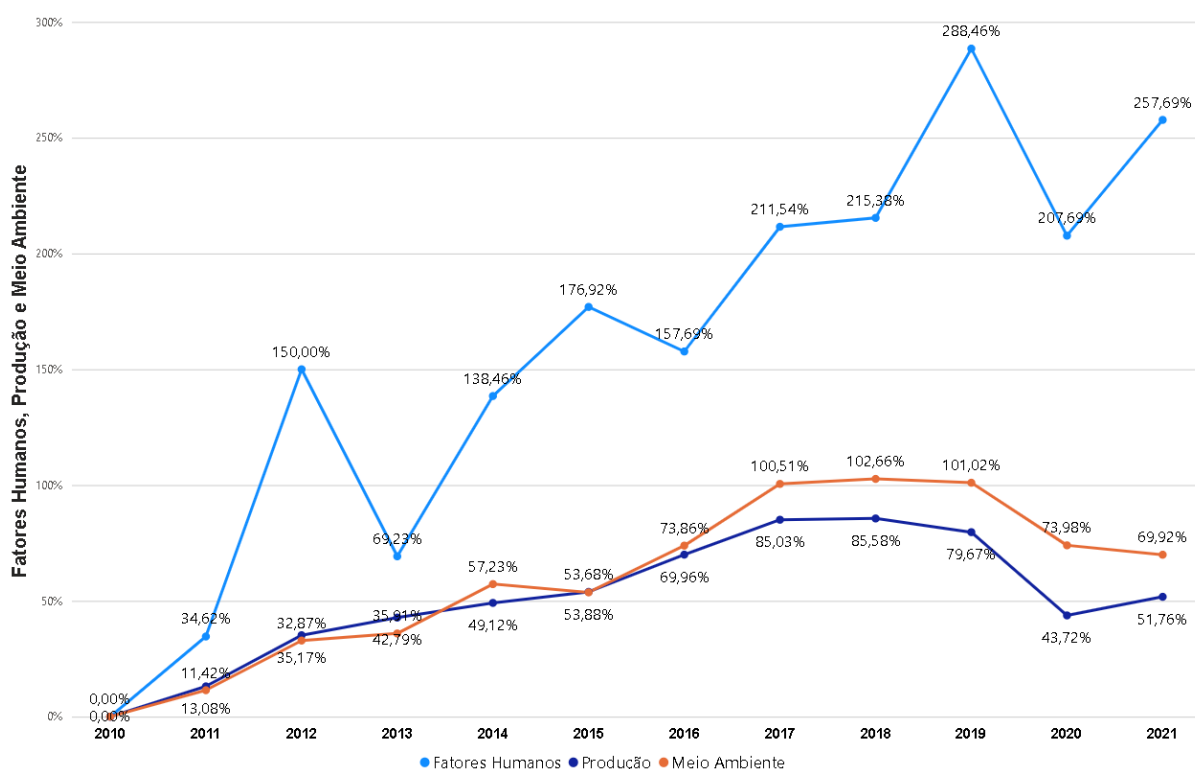
Fonte: Autores.

Através da

Figura 11, 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 11 - Evolução no número de publicações relacionadas aos indicadores usados no setor minerário.



Fonte: Autores.

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.

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.

Agradecimentos

Os autores deste trabalho agradecem a CAPES, CNPQ pelo suporte no desenvolvimento da pesquisa. Pois consideramos que o suporte foi determinante para a finalização do trabalho desenvolvido.

Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito

Samuel Pádua Batista 50%; Felipe Ribeiro Souza– 30% e Hernani Mota de Lima – 20%

Referências

- Antonangelo, J. A., Sun, X., & Zhang, H. (2021). The roles of co-composted biochar (COMBI) in improving soil quality, crop productivity, and toxic metal amelioration. *Journal of Environmental Management*, 277, 111443. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111443>
- Ávila, J. B. C. (2002). *Indicadores de Acidentes do Trabalho: ranking das atividades econômicas - média do triênio 1997/1999*. Informe de Previdência Social.
- Bünemann, E. K., Bongiorno, G., Bai, Z., Creamer, R. E., De Deyn, G., de Goede, R., Flesskens, L., Geissen, V., Kuyper, T. W., Mäder, P., Pulleman, M., Sukkel, W., van Groenigen, J. W., & Brussaard, L. (2018). Soil quality – A critical review. *Soil Biology and Biochemistry*, 120, 105–125. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2018.01.030>
- Caldeira, J. (2012). *100 Indicadores da Gestão: Key Performance Indicators*. Ed. Coimbra. .
- Campos, B. I. S., Souza, F. R., & Lima, H. M. de. (2022). Variáveis de impacto no sequenciamento de lavra. *Research, Society and Development*, 11(12), e107111234146. <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i12.34146>
- Cardella, B. (1999). *Segurança no trabalho e prevenção de acidentes: uma abordagem holística: segurança integrada à missão organizacional com produtividade, qualidade, preservação ambiental e desenvolvimento de pessoas*. Atlas.
- Choudhury, M., Jyethi, D. S., Dutta, J., Purkayastha, S. P., Deb, D., Das, R., Roy, G., Sen, T., & Bhattacharyya, K. G. (2022). Investigation of groundwater and soil quality near to a municipal waste disposal site in Silchar, Assam, India. *International Journal of Energy and Water Resources*, 6(1), 37–47. <https://doi.org/10.1007/s42108-021-00117-5>
- Costa, B.S; Pereira, C.F; Oliveira, M. L. (2002). *Das Medidas Preventivas De Acidentes Do Trabalho Na Atividade De Mineração*. Veredas do Direito.
- Costa, F. V. (2015). *Análise Dos Principais Indicadores De Desempenho Usados No Planejamento De Lavra*. Universidade Federal de Ouro Preto.
- Ditlef, A., Lima, H. M., Cunha, E. R., & Souza, F. R. (2022). A feasibility study of surface miner. *Research, Society and Development*, 11(13), e307111335619. <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i13.35619>
- Farias, C. E. G. (2002). *Mineração e Meio Ambiente no Brasil*. Centro de Gestão e Estudos Estratégicos: Ciência, Tecnologia e Inovação.
- Galvão, T. F., & Pereira, M. G. (2014). Revisões sistemáticas da literatura: passos para sua elaboração. *Epidemiologia e Serviços de Saúde*, 23(1), 183–184. <https://doi.org/10.5123/S1679-49742014000100018>
- Hartman, H. L. (1987). *Introductory Mining Engineering*. John Willey & Sons ed.
- He, M., Xiong, X., Wang, L., Hou, D., Bolan, N. S., Ok, Y. S., Rinklebe, J., & Tsang, D. C. W. (2021). A critical review on performance indicators for evaluating soil biota and soil health of biochar-amended soils. *Journal of Hazardous Materials*, 414, 125378. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.125378>
- Heberle, J. M. . (2020). *Desenvolvimento de metodologia para consolidação de indicadores de desempenho para controle e gestão na mineração: Um estudo de caso*. Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Holloway, E.; Cowie, S. (2019). *Mine Planning and the Crucial Role of Geology*.
- Ilda, I. (2005). *Ergonomia: projeto e produção*. (2ª. ed.). E. Blucher .
- K.Dagdelen. (2001). Open Pit Optimization - Strategies for Improving Economics of Mining Projects Through Mine Planning. In IMCET (Ed.), *17º International Mining Congress and Exhibition of Turkey*. <https://doi.org/975-395-417-4>
- Kiely, G. (1996). *Environmental Engineering* . ed. McGraw-Hill.
- Nader, A. (2012). *Monitoramento de taludes via radar SSR como indicador chave de desempenho geotécnico integrado às atividades primárias da cadeia de valor mineral*. USP - Universidade de São Paulo.
- Oliveira, M. P. R. de, Souza, F. R., & Silva, J. M. da. (2022). Otimização da Unidade Mínima de Lavra para o Planejamento de Curto. *Research, Society and Development*, 11(6), e56311629576. <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i6.29576>
- Paraszczak, J. (2005). Understanding and assessment of mining equipment effectiveness. *Mining Technology*, 114(3), 147–151. <https://doi.org/10.1179/037178405X53971>

Critérios para episódios agudos de poluição do ar, (2013).

Ribeiro, J. T. M. (1995). *Curso básico sobre medição, prevenção e controle da poluição na mineração (poeira e ruído)*. (28th ed.). DNPM/CECOPOMIM.

Rodrigues, G. L. (1993). *Efeitos ambientais na produção de brita em área urbanas (poluição atmosférica e vibração)*. USP - Universidade de São Paulo.

Sánchez, E., Colmenarejo, M. F., Vicente, J., Rubio, A., García, M. G., Travieso, L., & Borja, R. (2007). Use of the water quality index and dissolved oxygen deficit as simple indicators of watersheds pollution. *Ecological Indicators*, 7(2), 315–328. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2006.02.005>

Zeraatpisheh, M., Bottega, E. L., Bakhshandeh, E., Owliaie, H. R., Taghizadeh-Mehrjardi, R., Kerry, R., Scholten, T., & Xu, M. (2022). Spatial variability of soil quality within management zones: Homogeneity and purity of delineated zones. *CATENA*, 209, 105835. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105835>