

PUC-Campinas EESC USP Comitês PCJ

APRESENTAM:

SUSTENTARE & WIPIS2023

WORKSHOP INTERNACIONAL

SUSTENTABILIDADE, INDICADORES E GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS



22/11 evento
23/11 100% online
24/11 e gratuito

DANOS AMBIENTAIS E SUBSIDIÊNCIA DE MINERAÇÃO: LIÇÕES EXTRAÍDAS DE UMA REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA

Verônica Nascimento Brito Antunes⁽¹⁾
Professora do Programa de pós-graduação em Economia da UFAL
veronica.antunes@feac.ufal.br

Michêlda Santana da Silva⁽²⁾
Graduando do curso de Administração da UFAL
michelda.silva@feac.ufal.br

Dayla Cristiano⁽³⁾
Graduando do curso de Ciências Econômica da UFAL
dayla.castro@feac.ufal.br

Lidiane Maria da Conceição⁽⁴⁾
Graduando do curso de Ciências Econômica da UFAL
lidiane.conceicao@feac.ufal.br

Isabele Tenório Santos da Silva⁽⁵⁾
Graduando do curso de Geografia da UFAL
isabele.silva@igdema.ufal.br

Resumo

O presente trabalho tem como propósito sintetizar as evidências relevantes acerca dos impactos ambientais relacionados às situações de subsidiência de mineração estudadas no mundo, destacando os principais tipos de extrativismo mineral e as medidas tomadas diante dos danos ambientais. Para a realização deste estudo, foi empregado o método de revisão sistemática da literatura. Os dados coletados foram extraídos das bases de periódicos Scopus e Web of Science, sem restrição de período de publicação. Os resultados mostram que a China é o país que mais produz pesquisas relacionadas à área de estudo e destacam a mineração de carvão como um dos principais focos de investigação do trabalho. É notável que é maior o volume de trabalhos sobre prevenção do que de reparação. No entanto, são poucos os relacionados às políticas públicas específicas para subsidiência em questão.

Palavras-chave: Subsidiência de mineração, impactos ambientais, revisão sistemática da literatura.

1. Introdução

O setor mineral brasileiro apresentou um grande faturamento na ordem de R\$250 bilhões, acompanhado por uma arrecadação expressiva oriunda da Compensação Financeira pela Exploração Mineral (CFEM), que obteve 7,08 bilhões. A magnitude dessa contribuição é também evidenciada pelo montante de R\$86,2 bilhões em impostos. A produção mineral foi estimada em 1,5 bilhões de toneladas, reforçando a relevância do setor para a economia do país (IBRAM, 2023). A mineração foi responsável por 5% do PIB nacional, gerou cerca de 200 mil empregos diretos e 800 mil indiretos em 2022, além de influenciar positivamente a cadeia e o mercado, englobando mais de 2,25 milhões de empregos.

PUC-Campinas EESC USP Comitês PCJ

APRESENTAM:

SUSTENTARE & WIPIS 2023

WORKSHOP INTERNACIONAL

SUSTENTABILIDADE, INDICADORES E GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS

22/11 | evento
23/11 | 100% online
24/11 | e gratuito

Apesar do satisfatório desempenho do ponto de vista econômico, o setor enfrenta críticas, em virtude do seu alto potencial de degradação ambiental. Vale destacar a atual crise humanitária entre os ianomâmis, causada pelo garimpo ilegal (Senado Federal, 2023). Segundo-Farias e Coelho (2022) do CGEE - Centro de Gestão e Estudos Estratégicos - os principais problemas decorrentes da mineração podem ser enquadrados em quatro categorias: poluição sonora, poluição da água, poluição do ar e subsidência do terreno.

As proporções tomadas pela subsidência de mineração nos bairros Pinheiro, Bebedouro, Bom Parto, Farol e Mutange, evidencia a necessidade de se identificar os impactos socioeconômicos e ambientais e alternativas de prevenção, monitoramento de desastres socioambientais e recuperação das áreas degradadas neste caso.

Especificamente, ainda não foi realizada uma pesquisa de avaliação dos danos ambientais provocados pela extração de sal-gema nos bairros atingidos na capital alagoana. O mapeamento de situações semelhantes, resultantes de atividades mineradoras subterrâneas, ocorridas em outros países podem auxiliar na busca por elementos de análise dos danos ambientais provocados pela subsidência em Maceió, e sem precedentes no Brasil.

Esse trabalho tem como objetivo sintetizar as evidências relevantes acerca dos impactos ambientais relacionados ao fenômeno geológico de subsidência, em decorrência de atividades mineradoras. Os objetivos específicos são: identificar problemas relacionados à degradação ambiental relacionados aos impactos de subsidência de minas subterrâneas no Brasil e no mundo; caracterizar as dificuldades enfrentadas no reconhecimento, nos métodos de mensuração e na atribuição de responsabilidade aos causadores dos danos ambientais; e verificar as ações tomadas pelos países diante dos danos ambientais decorrentes do incidente geológico provocado pela extração mineral.

2. Fundamentação teórica

Impacto Ambiental e Dano Ambiental

Antes de adentrarmos no que se refere ao impacto ambiental posterior a atividade de mineração, entender o que impacto significa e sua diferença perante ao dano ambiental é extremamente relevante. Ao contrário do senso comum, impacto e dano ambiental não são sinônimos (FENKER, 2007). O Impacto Ambiental, diferente do Dano Ambiental, é definido por lei, sendo a resolução n° 01/86 do CONAMA como:

"Qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam a saúde, a segurança e o bem-estar da população; as atividades sociais e econômicas; a biota e a qualidade dos recursos ambientais."

PUC-Campinas EESC USP Comitês PCJ

APRESENTAM:

SUSTENTARE & WIPIS 2023

WORKSHOP INTERNACIONAL

SUSTENTABILIDADE, INDICADORES E GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS

22/11 evento
23/11 100% online
24/11 e gratuito

Ainda segundo a resolução acima (inciso II do artigo 6º) o impacto pode ser positivo ou negativo e é aqui que a diferenciação entre impacto e dano se torna evidente. De acordo com as definições de *Oxford Languages* dano é semelhante a prejuízo, ruína ou estrago, portanto poderíamos interpretar o dano como resultado de um confronto entre custos e benefícios que analogicamente podem ser postos como impactos negativos e impactos positivos (FENKER, 2007).

Segundo definição dada por Fenker (2007) podemos imaginar que a fórmula para identificar um dano possa ser resumida a uma operação simples de soma, onde os componentes negativos são subtraídos dos positivos e o resultado indicará a necessidade de compensação ou não. O intuito da compensação é equilibrar o negativo e o positivo, entretanto existem considerações técnicas, econômicas e legais que devem ser postas em evidência.

Resumidamente, existem seis formas de reparação: reconstituição da condição original, compensação (bem ou recurso substituto), compensação econômica, implementação de melhoria ambiental ou social em outro local e benefício com uso alternativo.

1.1 Classificação de Dano Ambiental

A Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA) em sua estrutura relaciona o conceito de dano ambiental com o de degradação ambiental. De acordo com a PNMA a degradação ambiental é qualquer alteração negativa as características que o ambiente apresenta que prejudique a saúde, o bem estar da população, crie condições adversas às atividades sociais e econômicas e afete a biota de maneira desfavorável (PNMA, art. 3º, 1981).

Diferente do que é comumente entendido, o dano ambiental não se resume a um dano causado ao meio ambiente, podendo ser um dano ecológico, cultural, artificial, individual, coletivo ou material (GENUINO e FERREIRA, 2008). Neste contexto, a subsidiência no Brasil pode ser compreendida como dano ambiental, sendo o agente causador responsável pelas indenizações ou reparações dos danos causados ao meio ambiente e a terceiros, afetados por sua atividade.

1.2 Subsidiência do Solo

Antes de discutirmos sobre os casos de subsidiência do solo vale conceituar o que seria a subsidiência e suas formas de mensuração, dado que cada existem diversos mecanismos que favorecem ou propiciam a mesma. A subsidiência nada mais é do que o rebaixamento do solo em detrimento a algum fenômeno, que segundo Prokopovich (1978) pode ser classificado entre endógeno e exógeno. Endógeno seria o rebaixamento em decorrência de causas naturais, ou seja, falhas geológicas, vulcanismo e outros; enquanto o fenômeno exógeno se relacionaria a forças externas, a intervenção humana no ambiente geralmente é a principal causadora. Além disso, também é válido ressaltar que existe mais de uma classificação para o fenômeno de rebaixamento do solo, sendo eles: subsidiência, colapso e recalque do solo.

Enquanto a subsidiência se liga ao rebaixamento do solo em decorrência da remoção do suporte subterrâneo e se caracteriza, na maioria das vezes, por ser um processo lento, o colapso

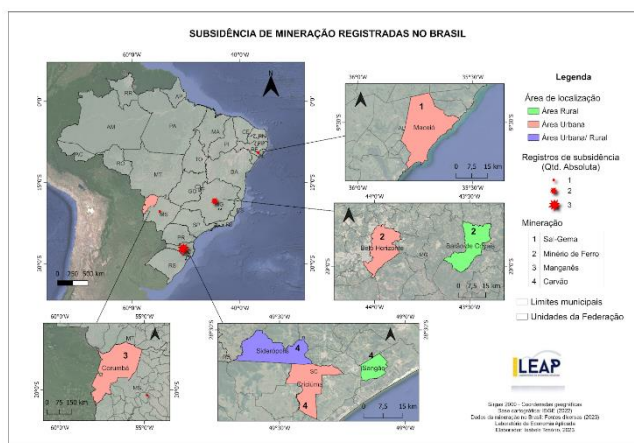


do solo é um movimento brusco e muitas vezes inesperado, acontecendo sem nenhum indicativo. Já o recalque do solo pode ser entendido como uma movimentação vertical descendente do solo (LUNA, 2017; ARAÚJO, 2006).

Como já mencionado, o rebaixamento do solo não se origina apenas de uma fonte, tendo então mecanismos de mensuração que consideram o fator chave de cada causa. Mingnorange (2000) resume as causas da subsidência em cinco classes, sendo elas hidro compactação; dissolução de rochas e sais; extração de petróleo; extração de água subterrânea, atividade mineradora. De acordo com Song et al (2012) a mineração subterrânea traz danos e deformação às estruturas superficiais. Esses problemas são causados pela deformação e movimento do solo ao redor de áreas de mineração. É possível ainda observar diferentes tipos de deformação, com: O solo quando afunda uniformemente os danos não são grandes, mas quando a deformação do solo acontecer horizontal é as mudanças nas de curvaturas da superfície além do limite aceitável, esta estrutura será danificada.

A Figura 1 apresenta a localização dos principais eventos de subsidência de mineração identificados no Brasil, desde o final do século XIX.

Figura 1 - Mapeamento das principais subsidência de mineração no Brasil identificadas



Fonte: elaboração própria (2023)

Verifica-se pela Figura 1 que a mineração de carvão foi responsável pela instabilidade de solo nos municípios do estado de Santa Catarina, e a extração de minério de ferro em duas cidades de Minas Gerais. Ressalte-se os problemas de subsidência do solo na área urbana da cidade de Maceió/Alagoas decorrente da extração de sal-gema.

A subsidência de mineração confirmada pelo Serviço geológico Brasileiro (CPRM, 2019) está relacionada da operação da empresa Braskem S.A. e atingiu diretamente cinco bairros da capital alagoana (Pinheiro, Mutange, Farol, Bebedouro e Bom Parto), uma população de mais de 50.000 moradores e 3.500 empresas (BRASKEM, 2020). Vale destacar que os danos ambientais às unidades de conservação presentes no entorno (as áreas de preservação ambiental



do Parque Municipal de Maceió e Lagoa de Mundaú) ainda não foram mensurados. A empresa encerrou definitivamente as extrações de sal-gema no final do ano de 2019 e realizou um Programa de Compensação Financeira e Apoio à Realocação, com cobertura de aproximadamente 15 mil imóveis (BRASKEM, 2021).

3. Metodologia

A realização da RSL é de caráter qualitativo e sem restrição de período de publicação para não limitar o número de ocorrências, dada a perspectiva de reduzida produção acadêmica sobre o tema. Os procedimentos adotados seguiram recomendações para pesquisas desta natureza com a finalidade de identificar, qualificar e sintetizar os estudos relacionados aos impactos ambientais gerados pelo fenômeno de subsidência decorrentes de atividade mineradoras no Brasil e no mundo. A revisão teve início em novembro de 2022, seguindo a pergunta norteadora. Será adotado o protocolo de pesquisa de Tranfield et al. (2003), para formatação das etapas, dividido em identificação, mapeamento e análise de literatura realizadas buscas nas bases de dados Scopus e Web of Science com vocábulos próprios de cada base, nos idiomas inglês, espanhol e português.

O uso do protocolo tem como objetivo criar o caminho ou diretrizes a serem adotadas, mas de forma flexível dando ao pesquisador a capacidade de ser criativo e se adequar no processo de RSL. Nele é contido às perguntas específicas a serem abordadas pelo estudo, a estratégia de busca para identificação dos estudos relevantes e os critérios para inclusão e exclusão, conforme a Figura 2. Antes da primeira etapa, se faz necessário a realização de estudos para criação do escopo da literatura, ou seja, seu tamanho e relevância para melhor delimitação do tópico e identificação de interdisciplinaridade ou subcampos, o que já está atendido neste projeto. O início da realização da RSL se dará com a identificação das palavras-chave e termos de pesquisa apropriados para o estudo com base no escopo da literatura, resultando assim nas Strings de busca, as quais devem ser descritas detalhadamente de forma a garantir que a estratégia de busca possa ser replicada em outras pesquisas (TRANFIELD et al., 2003).

Figura 2 - Protocolo de RSL da pesquisa

PUC-Campinas EESC USP Comitês PCJ

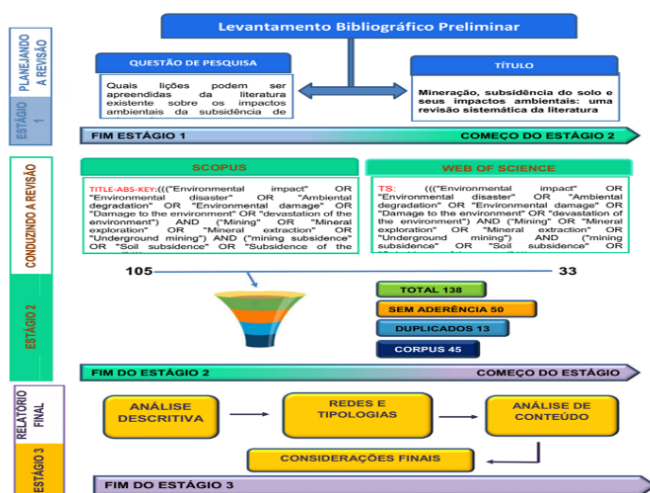
APRESENTAM:

SUSTENTARE & WIPIS2023

WORKSHOP INTERNACIONAL

SUSTENTABILIDADE, INDICADORES E GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS

22/11 evento
23/11 100% online
24/11 e gratuito



Fonte: elaboração própria (2023)

Os dados foram extraídos das bases de periódicos Scopus e Web of Science (via portal de periódicos Capes), comumente utilizadas em estudos bibliométricos, coletados na primeira semana de janeiro do ano de 2023 e posteriormente em agosto de 2023. A escolha da base deu-se tanto pela relevância como pela possibilidade de extração dos dados necessários para a realização das análises disponíveis no Bibliometrix e no Vosviewer, programas utilizados na pesquisa.

Para a construção do Corpus de pesquisa, no estágio 2, inicialmente foram selecionados os termos de busca, os operadores booleanos e caracteres especiais definidos para delimitação do universo de artigos a serem pesquisados (string de busca). A busca incluiu os campos título, resumo e palavras-chave das bases, e resultou em 138 documentos. Na etapa de filtragem, consideramos a delimitação da área do conhecimento das ciências sociais aplicadas e interdisciplinares (84 documentos Scopus e 32 webs of Science) e publicações completas em periódicos revisados por pares (66 documentos da Scopus e 22 da Web of Science). Os resultados, em seguida, foram exportados e iniciou-se a seleção dos artigos (triagem, elegibilidade e seleção final) por meio de planilhas geradas em Excel. Foram considerados elegíveis trabalhos que atenderam aos seguintes critérios: i) que continham necessariamente DOI; ii) A leitura do título e resumo evidenciava se tratar de trabalho sobre impactos ambientais associados à subsidência de mineração. Uma vez excluídos os documentos que não atendiam aos critérios de elegibilidade e duplicidade, finalmente, o banco de dados gerado contou com 45 artigos. No estágio 3, os resultados obtidos foram sintetizados e interpretados por meio de gráficos, tabelas e métricas bibliométricas, para identificação do estado atual da pesquisa sobre a temática, identificando os principais trabalhos, autores, periódicos, mapeando colaborações entre pesquisadores e instituições.



4. Resultados

A RSL fornece informações importantes acerca da forma como os danos ambientais da subsidência de mineração foram tratados em algumas partes do mundo. A seguir serão apresentados os resultados obtidos que permitiram identificar o quantitativo de artigos ao longo do período, os principais periódicos da área, a classificação dos artigos mais citados, as palavras com maior índice de ocorrência e nos artigos, as datas em que foram publicados e os autores com maior número de pesquisas realizadas na área, sintetizados na Figura 3.

Figura 3 – Sumário das informações principais do corpus textual



Fonte: elaboração a partir do Bibliometrix (2023).

Conforme a Figura 4 abaixo, classifica os dez artigos mais citados e o número de vezes que cada artigo foi citado. Em primeiro lugar, está o artigo intitulado “*Control of waste rock-tailings paste backfill for active mining subsidence areas*” (Sun, Wang e Hou,2018), no periódico *Journal of Cleaner Production*. O artigo versa sobre a preparação de resíduos sólidos em uma forma de pasta, onde os resíduos seriam levados para a área de subsidência para realizar o reaterro, para que alcançar o controle integrado da subsidência superficial e dos resíduos sólidos nas minas. Concluiu-se que os principais desastres enfrentados pelas minas de ferro na China foram causados pela subsidência superficial, e a falha da lagoa de rejeitos.

Em segundo lugar, está o artigo denominado “*Environmental Impact Assessment of sand Mining from the Small Catchment Rivers in the Southwestern Coast of India a Case Study*” (Screebha e Padmalal, 2011), no periódico *Environmental Management*. Em terceiro lugar, se encontra o artigo “*Distribution Characteristic and Development Rules of Ground Fissures Due to Coal Mining in Windy and Sandy Region*”, (Hu,Wang e He, 2014), no periódico *Meitan Xuebao/ Journal of the China Coal Society*. Cada artigo traz uma contribuição para impacto ambiental de mineração.

Figura 4 - Artigos mais citados pelo corpus textual

PUC-Campinas EESC USP Comitês PCJ

APRESENTAM:

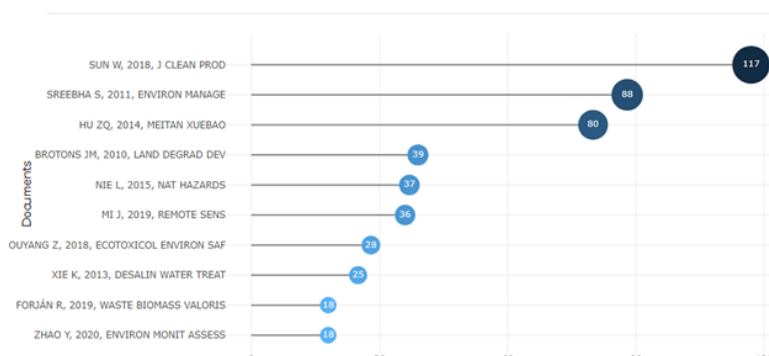
SUSTENTARE & WIPIS2023

WORKSHOP INTERNACIONAL

SUSTENTABILIDADE, INDICADORES E GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS



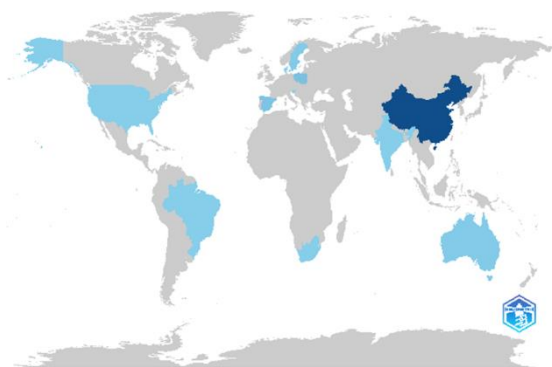
22/11 evento
23/11 100% online
24/11 e gratuito



Fonte: elaboração a partir do Bibliometrix (2023).

A Figura 5 destaca os cinco principais países com maior produção de artigos. A China concentra 42 produções científicas. É factível que a China seja o país com maior predominância na criação de artigo sobre subsidência decorrente de mineração, tendo em vista seu protagonismo mundial na exploração de carvão mineral desse recurso.

Figura 5 – Produção científica por país



Fonte: elaboração a partir do Bibliometrix (2023).

Um dos critérios que podem ser usados para estabelecer os relacionamentos em redes de autores, são os chamados de indicadores de ligação, baseados em ocorrências de publicações, citações e palavras-chave. Neste sentido, os autores, mesmo não participando da mesma rede de pesquisa, produzem artigos com as mesmas palavras-chave em temáticas comuns. Esta análise estabelece as possíveis forças de ligação entre os termos e assuntos que ocorrem, proporcionando, desta forma, a criação de um mapa do conhecimento, obtido a partir das palavras-chave contidas nos artigos.

Figura 6 – Nuvem de palavras do corpus textual

PUC-Campinas EESC USP Comitês PCJ

APRESENTAM:

SUSTENTARE & WIPIS2023

WORKSHOP INTERNACIONAL

SUSTENTABILIDADE, INDICADORES E GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS

22/11 evento
23/11 100% online
24/11 e gratuito

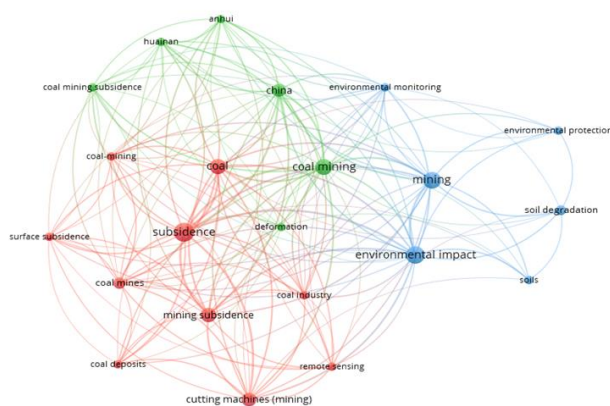


Fonte: elaboração a partir do Bibliometrix (2023).

No contexto específico da mineração de carvão, a referência a "coal deposits," "coal mining," e "subsidence" acentua os desafios coesos à exploração de recursos e à subsidência do solo resultante. Além disso, a menção de "environmental impact assessment" alude à importância de avaliar os impactos ambientais antes de introduzir projetos de mineração. O foco na China é evidente por meio das menções a "coal industry" e "China." O país tem uma longa história de mineração de carvão e tem enfrentado desafios apreciáveis em equilibrar o desenvolvimento industrial com a proteção ambiental.

A Figura 7 ilustra as redes de ocorrência das palavras-chave com ao menos quatro menções no corpus.

Figura 7 - Mapa de ocorrência de palavras-chave



Fonte: elaboração própria (2023).

PUC-Campinas EESC USP Comitês PCJ

APRESENTAM:

SUSTENTARE & WIPIS2023

WORKSHOP INTERNACIONAL

SUSTENTABILIDADE, INDICADORES E GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS



22/11 evento
23/11 100% online
24/11 e gratuito

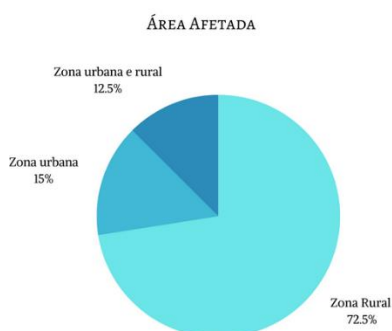
Após remover os termos “article”, percebemos que os estudos sobre o corpus gravitam em torno de termos como “subsidence” e “environmental impact” e “coal mining”. A centralidade desses termos é medida pela quantidade de ligações que eles possuem com os demais termos da rede: 105, 79 e 80, respectivamente. Naturalmente, esses termos são importantes para o tema, pois estão conectados com o total de palavras-chave nessa rede (22). A presença do termo “coal” na lista dos principais termos revela o protagonismo das pesquisas sobre os danos decorrentes da extração do carvão mineral, sobretudo a partir do ano de 2018. Vale destacar a existência de três clusters, separados por domínio temático nos estudos sobre o tema.

4.1 Estudo comparado

Os estudos do corpus textual fornecem informações sobre mineração, danos ambientais e subsidência. Ao todo, 26 documentos empregam a metodologia quantitativa e nove são de natureza qualitativa. Cada artigo aborda de uma maneira única, contribuindo para a construção de conhecimento e compreensão aprofundada no campo. As conclusões destacam a relevância e as implicações práticas dessas pesquisas, oferecendo direções para futuras investigações e aplicação em contextos relevantes. possível observar a quantidade dos tipos de pesquisa.

A figura 8 a seguir nos mostra um gráfico que em 72.5% dos artigos destacam a zona rural como a área mais afetada pelos danos ambientais, isso ocorre na maioria dos casos por conta da localização das minas. Já 15% dos estudos revelam que a região urbana também é afetada pelos danos, além de que 12.5% são as duas regiões, tanto rural quanto urbano são afetadas em alguns casos.

Figura 8 - Percentual de área afetada



Com base nos dados dos estudos, pode-se discernir os tipos de mineração mais prevalentes e suas respectivas alocações percentuais. A mineração de carvão tem o maior destaque, englobando aproximadamente 69% dos estudos. os dados indicam que a mineração de carvão ocupa uma posição preeminente nas análises de casos, possivelmente em virtude de sua expressiva abrangência global e de seu impacto considerável no âmbito ambiental e social. Ademais, outros tipos de mineração, englobando potássio, cobre, ferro, andesito e diversos minerais e



recursos adicionais, são abordados em torno de 16.7% das análises de casos. Já outros tipos de mineração, como ouro, areia ou metais são abordados cada um em cerca 4,8% dos estudos de casos.

Quadro 1 - Quantitativo de medidas de mitigação e prevenção

| Políticas públicas | Nº de artigos |
|---------------------------|---------------|
| Leis e Decretos | 5 |
| Modelos de Gestão | 2 |
| Reparação | 17 |
| Prevenção e Monitoramento | 19 |

O quadro 1 exibe a seguir apresenta uma proposta de prevenção e monitoramento, leis e políticas públicas e também modelos de gestão. Podemos observar que apenas cinco artigos tratam de alguns tipos de leis ou políticas públicas, tanto de danos ambientais causados pela mineração, leis ambientais ou de legislação para as minas. O artigo intitulado “*Subsidence Prediction Versus Observation In Australia A Short Comment*” informa que a legislação australiana para que as minas cumpram metas ambientais, que podem variar de um estado para outro, mas os requisitos de monitoramento e relatórios são semelhantes e, em cada estado, eles estão se tornando mais rigorosos (KHANAL; HODGKINSON, 2021).

A análise de caso do quadro 1 ainda mostra que tipos de modelos de gestão foram abordados de forma mais abrangente em apenas duas das análises de casos examinadas. Observou-se que apenas 17 estudos se dedicaram à exploração das estratégias de reparação dos danos causados pela mineração. Esses estudos examinaram uma série de abordagens e técnicas que visam mitigar ou reverter os impactos negativos decorrentes da atividade mineradora. As formas de reparação mencionadas incluem a restauração de áreas mineradas, a reabilitação de ecossistemas degradados e a implementação de medidas para reduzir a poluição, introdução de tecnologias, recuperação das áreas de subsistência, entre outros.

Um total de 19 artigos se concentram nas diversas estratégias e abordagens para prevenção e monitoramento dos impactos ambientais causados pela atividade de mineração. É importante ressaltar que a abordagem de monitoramento e prevenção adotadas várias consideravelmente, sendo altamente influenciada pela natureza específica dos danos causados pela mineração em cada contexto. Alguns desses estudos abordam questões como a monitorização da qualidade da água, a erosão do solo, a degradação da paisagem e os efeitos sobre a fauna e a flora local. Essa diversidade de tópicos demonstra a complexidade das demandas por monitoramento ambiental na indústria de mineração e enfatiza a necessidade de estratégias adaptadas às condições e desafios específicos de cada local de mineração.

PUC-Campinas EESC USP Comitês PCJ

APRESENTAM:

SUSTENTARE & WIPIS2023

WORKSHOP INTERNACIONAL

SUSTENTABILIDADE, INDICADORES E GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS

22/11 | evento
23/11 | 100% online
24/11 | e gratuito

Em Maceió, Alagoas, a atividade de mineração de sal-gema desencadeou problemas urbanos e ambientais, incluindo fissuras, rachaduras em estruturas, cavidades em vias públicas e alagamentos. Surpreendentemente, a subsidência resultante desse processo é tratada como um fenômeno geológico, não sendo categorizada como um dano ambiental. Isso destaca a necessidade de uma análise mais abrangente e uma abordagem mais ampla para considerar a subsidência como um problema ambiental. Os problemas ambientais decorrentes da mineração foram tratados com alguns acordos, que são: Um plano ambiental, composto de um plano ambiental de uso sustentável da água subterrânea, plano de compensação ecológica e o plano de monitoramento da fauna de manguezais; um Acordo Socioambiental e Urbanístico e Acordo das Liminares.

5. Conclusões

Ao examinar os impactos da subsidência resultante de atividades de mineração, esta pesquisa busca contribuir para a compreensão do tratamento dado. A diferenciação entre impacto ambiental e dano ambiental é fundamental nesse contexto, destacando a necessidade de classificar a subsidência como um tipo distinto de dano. A análise das informações revela a evolução no número de publicações ao longo do período investigados, também se identificam os principais periódicos e autores mais citados, ressaltando a influência da China na pesquisa global sobre o tema.

É notável a preponderância da China como uma área com um alto número de registros de danos ambientais relacionados à mineração, principalmente na mineração de carvão. A China se destaca nesse cenário, enfrentando graves problemas de poluição e degradação ambiental decorrentes da exploração de recursos naturais. A análise de caso também expôs uma falta em relação às medidas de mitigação e prevenção, o estudo apontou que apenas um número limitado de artigos aborda políticas públicas, leis, e modelos de gestão. Isso destaca a necessidade de uma maior atenção a esses aspectos regulatórios e de governança na gestão da mineração. Essa lacuna representa uma ameaça significativa para o meio ambiente e a saúde das comunidades locais.

Pode-se concluir que depois da análise sugere que há uma relativa escassez de pesquisas focadas na questão da subsidência como um dano específico decorrente da mineração. A falta de estudos específicos sobre a subsidência relacionada com a mineração é um ponto de destaque, indicando uma possível lacuna na literatura existente. Essa carência de estudos detalhados sobre os efeitos da subsidência e as estratégias para mitigá-los poderia ser uma área promissora para futuras investigações, uma vez que essa é uma possível preocupação relevante tanto para a indústria da mineração quanto para a proteção do meio ambiente e das comunidades impactadas.

Os estudos sobre mineração, subsidência e seus impactos ambientais e sociais oferecem importantes lições que podem ser aplicadas para analisar a situação em Maceió, Alagoas, onde a subsidência causou impactos significativos em imóveis e na vida de dezenas de milhares de

PUC-Campinas EESC USP Comitês PCJ

APRESENTAM:

SUSTENTARE & WIPIS2023

WORKSHOP INTERNACIONAL

SUSTENTABILIDADE, INDICADORES E GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS

22/11 evento
23/11 100% online
24/11 e gratuito

habitantes. Algumas observações que podem ser destacadas: Os estudos sobre subsidência ajudam a compreender as causas e os mecanismos deste fenômeno, a importância do monitoramento constante das áreas afetadas pela subsidência, prevenção, Políticas Públicas, legislação e regulamentação mais rigorosas para atividade de mineração e danos ambientais.

Essas políticas podem incluir leis ambientais, regulamentações para atividades de mineração, diretrizes para reabilitação de áreas mineradas e medidas para proteger as comunidades afetadas. Ademais, medidas de reparação e compensação adequadas para a comunidade afetada pela subsidência deve receber apoio adequado. Deste modo, os estudos sobre mineração e subsidência oferecem uma base sólida para a análise da situação de Maceió, oferecendo uma melhor orientação para a compreensão das causas, a implementação de medidas de prevenção e mitigação e o desenvolvimento de políticas públicas eficazes e o apoio às comunidades afetadas.

6. Referências bibliográficas

BRASIL. [Constituição (1988)]. Constituição da República Federativa do Brasil de 1988. Brasília, DF: Presidência da República. Disponível em: <[Constituição \(planalto.gov.br\)](http://www.planalto.gov.br/constituicao)>. Acesso em: 08 mar 2023.

BROTONS, J. Moreno et al. Wind erosion on mining waste in southeast Spain. **Land Degradation & Development**, v. 21, n. 2, p. 196-209, 2010. Disponível em: <[Land Degradation & Development | Environmental & Soil Science Journal | Wiley Online Journal](http://www.wileyonlinelibrary.com/doi/10.1002/ldr.1111)>. Acesso em: 07 ago. 2023.

CARABASSA, Vicenç et al. Soil erosion monitoring in quarry restoration using drones. **Minerals**, v. 11, n. 9, p. 949, 2021. Disponível em: <[Minerals | Free Full-Text | Soil Erosion Monitoring in Quarry Restoration Using Drones \(mdpi.com\)](http://www.mdpi.com/1424-6460/11/9/949)>. Acesso em: 27 ago.. 2023.

CETIN, Mehmet et al. Determination of the Impacts of Mining Activities on Land Cover and Soil Organic Carbon: Altintepe Gold Mine Case, Turkey. **Water, Air, & Soil Pollution**, v. 234, n. 4, p. 272, 2023.

CGEE - Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. (s.d.). Mineração e Meio Ambiente no Brasil. Disponível em: <[Microsoft Word - mineracao e meio ambiente no brasil.doc \(cgge.org.br\)](http://www.cgge.org.br/pt-br/assuntos/mineracao-e-meio-ambiente-no-brasil)>. Acesso em: 27 ago. 2023

CHEN, Qiuji; LI, Jiye; HOU, Enke. Dynamic simulation for the process of mining subsidence based on cellular automata model. **Open Geosciences**, v. 12, n. 1, p. 832-839, 2020. Disponível em: <[Dynamic simulation for the process of mining subsidence based on cellular automata model \(degruyter.com\)](http://www.degruyter.com/view/OpenGeosciences/2020/1/832-839)>. Acesso em: 14 ago. 2023.

DAI, Hua-yang et al. Water distribution extracted from mining subsidence area using Kriging interpolation algorithm. **Transactions of Nonferrous Metals Society of China**, v. 21, p. s723-s726, 2011. Disponível em: <[Water distribution extracted from mining subsidence area using Kriging interpolation algorithm - ScienceDirect](http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1875666611000000)>. Acesso em: 14 ago. 2023.

DE AMORIM, Ludimila de Oliveira et al. How geological origin influences the quality of sand and the environmental impacts of its mining, Bahia state, Northeastern Brazil. **Environmental Earth Sciences**, v. 76, n. 1, p. 42, 2017. Disponível em: <[How geological origin influences the quality of sand and the environmental impacts of its mining, Bahia state, Northeastern Brazil | SpringerLink](http://www.springerlink.com/10.1007/s12665-017-6420-0)>. Acesso em: 07 jul. 2023.

PUC-Campinas EESC USP Comitês PCJ

APRESENTAM:

SUSTENTARE & WIPIS 2023

WORKSHOP INTERNACIONAL

SUSTENTABILIDADE, INDICADORES E GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS

22/11 | evento
23/11 | 100% online
24/11 | e gratuito

DO NASCIMENTO, Alana Rayza Vidal Jerônimo et al. Assessing soil quality and heavy metal contamination on scheelite mining sites in a tropical semi-arid Setting. **Water, Air, & Soil Pollution**, v. 232, p. 1-15, 2021. Disponível em: <[Assessing Soil Quality and Heavy Metal Contamination on Scheelite Mining Sites in a Tropical Semi-arid Setting | SpringerLink](#)>. Acesso em: 07 jul. 2023.

FENKER, Eloy. Impacto Ambiental e Dano Ambiental. 2007. Disponível em: <[\(99+\) IMPACTO AMBIENTAL E DANO AMBIENTAL | Eloy Fenker - Academia.edu](#)>. Acesso em: 2023

GAO, Shan et al. Properties and application of thixotropic cement paste backfill with molybdenum tailings. **Journal of Cleaner Production**, v. 391, p. 136169, 2023. Disponível em: <[Properties and application of thixotropic cement paste backfill with molybdenum tailings - ScienceDirect](#)>. Acesso em: 14 ago. 2023.

GERASSIS, Saki et al. AI approaches to environmental impact assessments (EIAs) in the mining and metals sector using AutoML and Bayesian modeling. **Applied Sciences**, v. 11, n. 17, p. 7914, 2021. Disponível em: <[Applied Sciences | Free Full-Text | AI Approaches to Environmental Impact Assessments \(EIAs\) in the Mining and Metals Sector Using AutoML and Bayesian Modeling \(mdpi.com\)](#)>. Acesso em: 07 jul. 2023.

HEDAYATZADEH, Mansour et al. Numerical investigations to assess ground subsidence and fault reactivation during underground coal gasification. **Advances in Geosciences**, v. 58, p. 93-99, 2022. Disponível em: <[ADGEO - Numerical investigations to assess ground subsidence and fault reactivation during underground coal gasification \(copernicus.org\)](#)>. Acesso em: 07 jul. 2023.

HILSON, Gavin. Small-scale mining in Africa: Tackling pressing environmental problems with improved strategy. **The Journal of Environment & Development**, v. 11, n. 2, p. 149-174, 2002. Disponível em: <[Small-Scale Mining in Africa: Tackling Pressing Environmental Problems With Improved Strategy - Gavin Hilson, 2002 \(sagepub.com\)](#)>. Acesso em: 15 ago. 2023.

HU, Zhen-Qi; WANG, Xin-Jing; HE, An-Min. Distribution characteristic and development rules of ground fissures due to coal mining in windy and sandy region. **Journal of China Coal Society**, v. 39, n. 1, p. 11-18, 2014. Disponível em: <[Distribution characteristic and development rules of ground fissu...: Ingenta Connect](#)>. Acesso em: 07 jul. 2023.

Instituto Brasileiro de Mineração (IBRAM). (2022). Desempenho da mineração tem queda em 2022, mas setor cria mais empregos e aumentará investimentos para US\$50 bi até 2027. Disponível em: <[Desempenho da mineração tem queda em 2022, mas setor cria mais empregos e aumentará investimentos para US\\$ 50 bi até 2027 - IBRAM](#)>. Acesso em: 25 ago 2023.

LEVI, Nathan et al. Soil quality index for assessing phosphate mining restoration in a hyper-arid environment. **Ecological Indicators**, v. 125, p. 107571, 2021. Disponível em: <[Soil quality index for assessing phosphate mining restoration in a hyper-arid environment - ScienceDirect](#)>. Acesso em: 07 jul. 2023.

KARADAG, Arife. Changing environment and urban identity following open-cast mining and thermic power plant in Turkey: case of Soma. **Environmental monitoring and assessment**, v. 184, p. 1617-1632, 2012. Disponível em: <[Changing environment and urban identity following open-cast mining and thermic power plant in Turkey: case of Soma | SpringerLink](#)>. Acesso em: 07 jul. 2023.

PUC-Campinas EESC USP Comitês PCJ

APRESENTAM:

SUSTENTARE & WIPIS 2023

WORKSHOP INTERNACIONAL

SUSTENTABILIDADE, INDICADORES E GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS

22/11 evento
23/11 100% online
24/11 e gratuito

KHAYRULINA, Elena et al. Properties of alluvial soils of taiga forest under anthropogenic salinisation. **Forests**, v. 12, n. 3, p. 321, 2021. Disponível em: <[Forests | Free Full-Text | Properties of Alluvial Soils of Taiga Forest under Anthropogenic Salinisation \(mdpi.com\)](#)>. Acesso em: 07 jul. 2023.

MA, Jianquan et al. Decision-making fusion of InSAR technology and offset tracking to study the deformation of large gradients in mining areas-Xuemiaotan mine as an example. **Frontiers in Earth Science**, v. 10, p. 962362, 2022. Disponível em: <[Frontiers | Decision-making fusion of InSAR technology and offset tracking to study the deformation of large gradients in mining areas-Xuemiaotan mine as an example \(frontiersin.org\)](#)>. Acesso em: 15 ago. 2023.

MANDAL, Arup Kumar. Soil degradations in the IGP of central Haryana, India—a spatial assessment for reclamation and management. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 194, n. 11, p. 835, 2022. Disponível em: <[Soil degradations in the IGP of central Haryana, India—a spatial assessment for reclamation and management | SpringerLink](#)>. Acesso em: 07 jul. 2023.

NIE, Lei et al. A new prediction model for mining subsidence deformation: the arc tangent function model. **Natural Hazards**, v. 75, p. 2185-2198, 2015. Disponível em: <[A new prediction model for mining subsidence deformation: the arc tangent function model | SpringerLink](#)>. Acesso em: 14 ago. 2023.

OLIVEIRA, Isabela Damasceno de. Subsidiência do solo devido à exploração de água subterrânea / Isabela Damasceno de Oliveira, Isabela Oliveira Campos - 2019. Disponível em: <[DSpace Doctum:: Repositorio Institucional: SUBSIDÊNCIA DO SOLO DEVIDO À EXPLORAÇÃO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA](#)>. Acesso em: 2023

OUYANG, Zhuozhi; GAO, Liangmin; YANG, Chen. Distribution, sources and influence factors of polycyclic aromatic hydrocarbon at different depths of the soil and sediments of two typical coal mining subsidence areas in Huainan, China. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 163, p. 255-265, 2018. Disponível em: <[Distribution, sources and influence factors of polycyclic aromatic hydrocarbon at different depths of the soil and sediments of two typical coal mining subsidence areas in Huainan, China - ScienceDirect](#)>. Acesso em: 07 jul. 2023.

OUYANG, Zhuozhi; GAO, Liangmin; YANG, Chen. Distribution, sources and influence factors of polycyclic aromatic hydrocarbon at different depths of the soil and sediments of two typical coal mining subsidence areas in Huainan, China. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 163, p. 255-265, 2018. Disponível em: <[Distribution, sources and influence factors of polycyclic aromatic hydrocarbon at different depths of the soil and sediments of two typical coal mining subsidence areas in Huainan, China - ScienceDirect](#)>. Acesso em: 28 ago. 2023

POONIA, Poonam; CHOUDHARY, Ram Prasad; PARIHAR, Sangeeta. A review on impact of coal mining on soil properties and reclamation by organic amendments. Disponível em: <[EECO-32.pmd \(envirobiotechjournals.com\)](#)>. Acesso em: 14 ago. 2023.

SREEBHA, Sreedharan; PADMALAL, Damodaran. Environmental impact assessment of sand mining from the small catchment rivers in the southwestern coast of India: a case study. **Environmental management**, v. 47, p. 130-140, 2011. Disponível em: <[Environmental Impact Assessment of Sand Mining from the Small Catchment Rivers in the Southwestern Coast of India: A Case Study | SpringerLink](#)>. Acesso em: 07 jul. 2023.

Senado Notícias (2023, março). A mineração causa impactos no PIB e no meio ambiente. Disponível em: <[Mineração causa impactos no PIB e no meio ambiente — Senado Notícias](#)>. Acesso em: 25 ago. 2023

PUC-Campinas EESC USP Comitês PCJ

APRESENTAM:

SUSTENTARE & WIPIS 2023

WORKSHOP INTERNACIONAL

SUSTENTABILIDADE, INDICADORES E GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS

22/11 evento
23/11 100% online
24/11 e gratuito

ŠTERBENK, Emil et al. Transformation of the Velenje subsidence lake. **Dela**, n. 47, p. 41-84, 2017. Disponível em: <[Preobrazba ugrezninskega Velenjskega jezera | Dela \(uni-lj.si\)](#)>. Acesso em: 14 ago. 2023.

SUN, Wei; WANG, Hongjiang; HOU, Kepeng. Control of waste rock-tailings paste backfill for active mining subsidence areas. **Journal of Cleaner Production**, v. 171, p. 567-579, 2018. Disponível em: <[Control of waste rock-tailings paste backfill for active mining subsidence areas - ScienceDirect](#)>. Acesso em: 15 ago. 2023.

THEODORO, Suzi Huff et al. Soil remineralization and recovery of degraded areas: An experience in the tropical region. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 107, p. 103014, 2021. Disponível em: <[Soil remineralization and recovery of degraded areas: An experience in the tropical region - ScienceDirect](#)>. Acesso em: 07 jul. 2023.

WANG, Ying. Environmental degradation and environmental threats in China. **Environmental monitoring and assessment**, v. 90, p. 161-169, 2004. Disponível em: <[Environmental Degradation and Environmental Threats in China | SpringerLink](#)>. Acesso em: 14 ago. 2023.

XIE, Kai et al. Optimal resource utilization and ecological restoration of aquatic zones in the coal mining subsidence areas of the Huaibei Plain in Anhui Province, China. **Desalination and Water Treatment**, v. 51, n. 19-21, p. 4019-4027, 2013. Disponível em: <[Optimal resource utilization and ecological restoration of aquatic zones in the coal mining subsidence areas of the Huaibei Plain in Anhui Province, China: Desalination and Water Treatment: Vol 51, No 19-21 \(tandfonline.com\)](#)>. Acesso em: 15 ago. 2023.

XU, Liangji; WANG, Jiayi; ZHANG, Kun. Response of Heavy Metals to Microseism in Coal Mining Subsidence Water of Huainan, China. **Water**, v. 15, n. 14, p. 2624, 2023. Disponível em: <[Water | Free Full-Text | Response of Heavy Metals to Microseism in Coal Mining Subsidence Water of Huainan, China \(mdpi.com\)](#)>. Acesso em: 07 jul. 2023.

YAO, En-qin; GUI, He-rong. Four trace elements contents of water environment of mining subsidence in the Huainan diggings, China. **Environmental monitoring and assessment**, v. 146, p. 203-210, 2008. Disponível em: <[Four trace elements contents of water environment of mining subsidence in the Huainan diggings, China | SpringerLink](#)>. Acesso em: 14 ago. 2023.

ZHANG, Xingsheng et al. A time function-based prediction model of mining subsidence: application to the Barapukuria coal mine, Bangla. **Scientific Reports**, v. 12, n. 1, p. 18433, 2022. Disponível em: <[A time function-based prediction model of mining subsidence: application to the Barapukuria coal mine, Bangla | Scientific Reports \(nature.com\)](#)>. Acesso em: 14 ago. 2023.

ZHANG, Bo et al. Using storage of coal-mining subsidence area for minimizing flood. **Journal of Hydrology**, v. 572, p. 571-581, 2019. Disponível em: <[Using storage of coal-mining subsidence area for minimizing flood - ScienceDirect](#)>. Acesso em: 14 ago. 2023.

ZHAO, Yanling et al. Rapid monitoring of reclaimed farmland effects in coal mining subsidence area using a multi-spectral UAV platform. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 192, p. 1-19, 2020. Disponível em: <[Rapid monitoring of reclaimed farmland effects in coal mining subsidence area using a multi-spectral UAV platform | SpringerLink](#)>. Acesso em: 14 ago. 2023.