



OS IMPACTOS SOCIOAMBIENTAIS DECORRENTES DA TRAGÉDIA COM O ROMPIMENTO DA BARRAGEM DO FUNDÃO NA BACIA DO RIO DOCE, MINAS GERAIS

Raimundo Nonato Macêdo dos Santos

 <https://orcid.org/0000-0002-9208-3266>.

✉ rnmacedo@uol.com.br.

🏢 Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) |

ROR: <https://ror.org/047908t24> | Recife, Brasil.

Natanael Vitor Sobral

 <https://orcid.org/0000-0003-2410-494X>.

✉ natanael.sobral@ufpe.br.

🏢 Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) |

ROR: <https://ror.org/047908t24> | Recife, Brasil.

Dominique de Lira Vieira Corrêa

 <https://orcid.org/0009-0003-0593-0098>.

✉ dominiquevieira@hotmail.com.

🏢 Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) |

ROR: <https://ror.org/047908t24> | Recife, Brasil.

Ana Sara Pereira de Melo Sobral

 <https://orcid.org/0000-0002-8794-0905>.

✉ ana.sara@ufpe.br.

🏢 Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) |

ROR: <https://ror.org/047908t24> | Recife, Brasil.

Rinaldo Ribeiro de Melo

 <https://orcid.org/0000-0002-6711-3005>.

✉ rinaldo.ribeiro@ufpe.br.

🏢 Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) |

ROR: <https://ror.org/047908t24> | Porto Alegre, Brasil.

Eixo temático: Altmétrie e webométrie

Modalidade: Resumo expandido

DOI: 10.22477/ix.ebbc.367

Resumo: Objetiva realizar um estudo bibliométrico a fim de caracterizar, tipificar e relacionar os impactos socioambientais em decorrência do rompimento da barragem do Fundão, na bacia hidrográfica do Rio Doce, em Minas Gerais. Os procedimentos metodológicos contemplaram: recuperação de informações nas bases de dados Web of Science e Scopus; composição do corpus; padronização e processamento dos registros; e análise dos dados. Os principais resultados apontam tendência de crescimento na produção selecionada; predominância de artigos relacionados a impactos ambientais (água) e biológicos (organismos aquáticos) e uma discussão sobre os desafios do setor de mineração frente aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável.

Palavras-Chave: Bacia do Rio Doce. Barragem do Fundão. Impactos Socioambientais. Bibliometria. Rompimento de Barragem.

1 INTRODUÇÃO

Em 5 de novembro de 2015, a barragem do Fundão, que armazenava 62 bilhões de litros de rejeitos de minério de ferro, da Samarco Mineração, empresa de propriedade da Vale, a maior mineradora do Brasil, e da BHP Billiton, a maior mineradora do Mundo, ruiu abruptamente, na cidade histórica de Mariana, em Minas Gerais. A lama oriunda da barragem de mineração invadiu Bento Gonçalves, um distrito de Mariana, e percorreu 700 km no rio Doce até desaguar no oceano Atlântico, afetando 42 municípios em dois estados, Minas Gerais e Espírito Santo, e milhares de comunidades ao longo do caminho (IBAMA, 2015).

A catástrofe causou incomensuráveis impactos sociais, ambientais e econômicos: 19 pessoas foram mortas e milhares sofreram danos físicos e psicológicos; os recursos hídricos e o solo foram poluídos; os *habitats* foram irreversivelmente destruídos, cerca de 1.500 hectares de matas próximas ao rio foram devastadas, e incontáveis animais morreram; a economia local sofreu danos duradouros, do momento em que, as comunidades tradicionais e os povos originários foram particularmente prejudicados, pois as suas relações históricas, sociais, religiosas e culturais com as suas terras sofreram danos irreparáveis (IBAMA, 2015).

Desastres dessa ordem, recorrentes ao longo da história no campo de projeto de engenharia e da governança corporativa no Brasil, têm disfunções no processo de produção de mineração que não contempla riscos irreparáveis como a destruição de vidas e do ecossistema, na medida em que a legitimação das licenças e controles que são submetidos estão, segundo a indústria, sendo rigorosamente cumpridos (Castro; Carmo, 2019).

O estado de Minas Gerais, que abriga algumas das maiores metalúrgicas do país, arrecada 38,9% do total do Compensação Financeira pela Exploração Mineral (CFEM)¹ no Brasil, (IBRAM, 2020); a maior parte delas instaladas na região centro-oeste do estado, de grande importância socioeconômica, denominado Quadrilátero Ferrífero (Paraguassu *et al.* 2019). De localização historicamente privilegiada, as atividades de mineração nessa região remontam ao ciclo do ouro, no século VXII no Brasil, passando nos anos seguintes por mudanças com a ampliação da atividade minerária, prevalecendo na atualidade a exploração massiva de minério de ferro (Castro; Naline Júnior; Lima, 2011).

Em 1972 houve o primeiro evento mundial, a Conferência de Estocolmo, que abordou o desenvolvimento econômico versus degradação ao meio ambiente. E em 1992, na Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (Eco-92), ocorrido no Rio de Janeiro, houve os primeiros planos para o desenvolvimento sustentável e preservação ambiental. Destaca-se neste trabalho a Agenda 2030² criada em 2015, onde 193 Estado-membros da Organização das Nações Unidas (ONU), incluído o Brasil, firmaram um acordo de seguir um plano de ação global que reúne 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) e 169 metas. Os ODS buscam adequar uma vida digna e sustentável a todas as pessoas a partir de medidas econômicas, sociais e ambientais.

Neste complexo cenário de exploração socioeconômica, o objetivo deste trabalho é realizar um

¹ CFEM Compensação Financeira pela Exploração de Recursos Minerais

² THE 17 GOALS | Sustainable Development un.org



estudo bibliométrico a fim de caracterizar, tipificar e relacionar os impactos socioambientais em decorrência do rompimento da barragem do Fundão, na bacia hidrográfica do Rio Doce, estado de Minas Gerais, atentando-se ao cumprimento dos ODS.

2 METODOLOGIA

Com o intuito de alcançar o objetivo proposto, cumpriram-se, respectivamente, as seguintes etapas metodológicas:

I) **Recuperação de informações científicas nas bases de dados *Web of Science (WoS)* e *Scopus*.**

Para isto, utilizou-se a expressão de busca: (“rio doce” OR “doce river”) AND (samarco OR “fundao dam” OR “dam fundao” OR “dam in mariana” OR “mariana dam” OR “dam mariana” OR “BHP Billiton” OR “vale company*” OR “company vale” OR “vale SA” OR “vale s.a”): *Between: 2015 – 2024*. Assim, obtiveram-se 143 resultado na *WoS* e 185 na *Scopus*. Todo o acesso às plataformas foi realizado via Comunidade Acadêmica Federada (CAFe) do Portal de Periódicos Capes, em fevereiro de 2024.

II) Aplicação dos Critérios de Composição do *corpus*: Neste momento, filtraram-se apenas os artigos que tratavam de impactos socioambientais relacionados ao rompimento da barragem do Fundão na bacia do rio Doce. Para isto, classificaram-se os trabalhos frente aos critérios de Macêdo *et al.*, (2023), que descrevem os impactos nas perspectivas: **(1) Ambiental:** (1.1) Solo, (1.2) Água, (1.3) Uso e cobertura da terra; **(2) Biológico:** (2.1) Vegetação, (2.2) Animais terrestres, (2.3) Organismos aquáticos; **(3) Social:** (3.1) Saúde humana, (3.2) Econômico. Visando aperfeiçoar a classificação e enquadrar os demais artigos que refletiam em sua constituição algum tipo de impacto, acrescentaram-se mais duas categorias, a (3.3) Outros impactos sociais e a **(4) Outros Impactos**. Em paralelo, eliminaram-se as duplicatas na planilha de cálculo referentes aos artigos que se repetiam nas bases, restando 97 artigos: 75 indexados na *WoS* e *Scopus*; 20 somente na *Scopus* e dois apenas na *WoS*, demonstrando alta intersecção na indexação (77,3%).

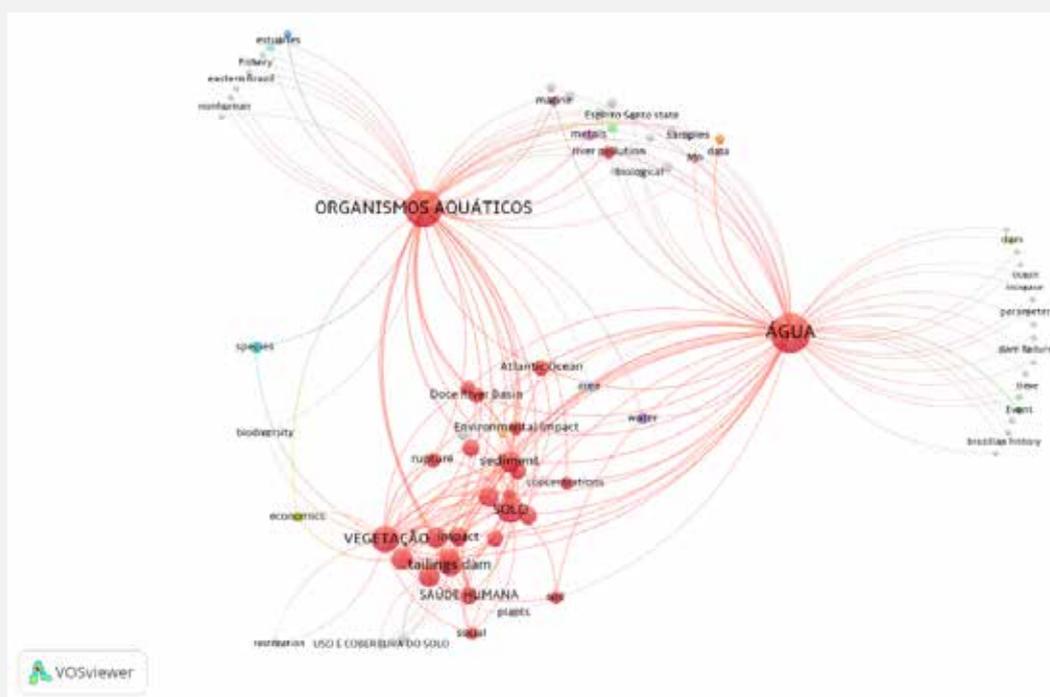
III) Padronização e Processamento dos dados. Fez-se necessário o tratamento e organização dos dados para a geração das redes. Para isto, adotou-se o *software The Vantage Point*. Assim, os registros foram padronizados com o uso de thesaurus capazes de realizar a limpeza, organizando nomes de autores, palavras-chave e os demais metadados. Dado que nem todos os artigos possuíam termos-chave, realizou-se o processamento de linguagem natural (PLN) dos títulos dos artigos e resumos, produzindo termos relevantes que foram associadas às palavras-chave do autor para assegurar que todos os textos fossem devidamente indexados. Em seguida, geraram-se as matrizes, fundamento constituinte da criação de grafos.

IV) Análise dos Dados. Para isto, optou-se pela técnica de Análise de Redes Sociais (ARS), com amparo da teoria dos grafos, fazendo-se uso da ferramenta *VOSviewer*. Nos grafos, foram consideradas as relações, sua intensidade, o quantitativo de produções e clusterização, sendo estas variáveis expressadas nos nós, vínculos e cores. Em paralelo a isto, os impactos socioambientais foram analisados frente aos ODS. Foi realizado um levantamento dos objetivos da Agenda 2030 que se relacionam com os impactos citados por Macedo *et al.*, (2023) com o intuito de refletir sobre estratégias de mitigação e prevenção a

As palavras-chave mais representativas foram: *tailings dam* (n=88); *sediment* (n=77); *disaster* (n=64); *environment* (n=62); *Brazil* (n=61); *disasters* (n=46); *impact* (n=45); *water quality* (n=45); *tailings* (n=43); *Atlantic Ocean* (n=40); *results* (n=39); *Doce River Basin* (n=34); *study* (n=31) *river pollution* (n=24); *species* (n=24). Ao dividir os nove anos analisados em três triênios (2016 a 2018 / 2019 a 2021 / 2022 a 2024) nota-se que para além das palavras genéricas que refletem à natureza do fato, tais como “barragem de rejeitos”, “sedimentos”, “desastre” etc., alguns termos mostraram-se importantes pela sua carga semântica e característica central na rede, como “qualidade da água”, “poluição do rio” e “espécies”, conjunto este que congregou estudos sobre impactos na água e nos organismos aquáticos, sendo a produção ligada à “qualidade da água” transtemporal, pois esteve presente com alta representatividade em todos os triênios analisados.

Na esteira desta discussão, o gráfico 2 relacionou as palavras-chave aos impactos socioambientais, sendo os impactos mais frequentes mapeados no estudo: Água (n=50); Organismos aquáticos (n=40); Solo (n=22); Vegetação (n=21); Econômico (n=15); Saúde humana (n=12); Animais Terrestres (n=7); Uso e Cobertura da Terra (n=5); Outros Impactos (n=1); e Outros Impactos Sociais (n=1).

Figura 2 - Palavras-chave geradas por PLN associadas aos impactos socioambientais.



Fonte: Dados da pesquisa (2024).

Os termos utilizados na expressão de busca foram retirados.

As categorias de impactos socioambientais encontram-se com fonte maiúscula.

O gráfico 2 pautado na classificação revisional de Macêdo *et al.* (2023) aponta a centralidade das produções ligadas ao impacto na água e nos organismos aquáticos. Sobre a água, as principais palavras-chave não genéricas ligadas a este tipo de impacto são: qualidade da água, poluição do rio, mangarês (Mn), amostras e concentração, sendo o artigo *Water and sediment quality in the coastal zone around the Mouth of Doce River after the fundão tailings dam failure*, dos autores Richard *et al.* (2020) um caso emblemático de pesquisa alinhada a este enfoque. Quanto à produção sobre impactos nos organismos aquáticos há um perfil muito parecido com impactos na água, porém, com acréscimo das palavras-

-chave: espécies, metais, contaminantes, estuário, biodiversidade de peixes, onde se pode mencionar o artigo *The effect of a mining dam failure on the genetic diversity and population resilience of marine fishes along the eastern Brazilian coast* (De Biasi et al., 2023) como representativo.

Diante da tragédia ocorrida e da iminência de outros desastres similares, os impactos foram discutidos à luz dos 17 ODS, analisando o papel do setor da mineração frente aos desafios postos nos ODS (Lewis, 2017). Assim, o quadro 1 mostra quais ODS se relacionam aos impactos causados pelo desastre que ocorreu no município de Mariana.

Quadro 1- Impactos x ODS

Impactos	ODS relacionados a cada impacto
Ambiental	ODS 6 - Água potável e saneamento: garantir disponibilidade e manejo sustentável da água e saneamento para todos.
	ODS 12 - Consumo e produção sustentável: alcançar o manejo ambientalmente saudável dos produtos químicos e todos os resíduos e reduzir significativamente a liberação destes para o ar, água e solo.
Biológico	ODS 14 - Vida na água: conservação e uso sustentável dos oceanos, dos mares e dos recursos marinhos para o desenvolvimento sustentável.
	ODS 15 - Vida terrestre: proteger, recuperar e promover o uso sustentável dos ecossistemas terrestres, gerir de forma sustentável as florestas, combater a desertificação, deter e reverter a degradação da terra e deter a perda de biodiversidade.
Social	ODS 1 - Erradicação da pobreza: acabar com a pobreza em todas as suas formas, em todos os lugares.
	ODS 2 - Fome zero e agricultura sustentável: acabar com a fome, alcançar a segurança alimentar e melhoria da nutrição e promover a agricultura sustentável.
	ODS 3 - Saúde e bem-estar: assegurar uma vida saudável e promover o bem-estar para todos.
	ODS 8 - Trabalho decente e crescimento econômico: promover o crescimento econômico sustentável, inclusivo e sustentável, emprego pleno e produtivo, e trabalho decente para todos.

Fonte: Dados da pesquisa (2024).

A indústria de mineração possui importantes desafios frente aos padrões estabelecidos pelos ODS, principalmente, no âmbito ambiental, biológico e social. Em relação aos impactos ambientais e biológicos, as atividades de mineração costumam afetar o solo, a água, o clima, a flora, a fauna e as pessoas que dependem desses recursos. O monitoramento da qualidade da água e dos resíduos dos diferentes segmentos deve ser priorizado, levando em consideração os riscos de eventos que afetem a água devido ao descumprimento das leis ambientais e da ética proposta nos ODS. Sobre os impactos sociais, é notório que a mineração pode afetar significativamente as comunidades locais, trazendo oportunidades de progresso, mas, em contrapartida, abusando do poder econômico para minar os meios de subsistência das populações, extinguindo seus recursos e direitos, comprometendo a saúde física e mental das pessoas.



4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por meio da análise da literatura científica foi possível revelar os impactos adversos do rompimento da barragem de rejeitos ao longo dos anos na bacia do rio Doce. Um caminho para a compreensão do combate aos impactos é a observação dos parâmetros postos na Agenda 2030, enfocando as questões ambientais como um compromisso urgente para a elaboração de políticas públicas, antecipando as tragédias e reparando os desastres ambientais, biológicos e sociais.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pelas bolsas PCI-E1 - Programa de Capacitação Institucional (2018-2023) e Produtividade em Pesquisa (PQ-1C).

REFERÊNCIAS

- CASTRO, E.; CARMO, E. (org.). **Dossiê desastres e crimes da mineração em Barcarena, Mariana e Brumadinho**. Belém: NAEA/UFGA, 2019. Disponível em: <https://conflitosambientaismg.lcc.ufmg.br/wp-content/uploads/2021/03/Dossie-desastes-da-minerac%CC%A7a%CC%83o.pdf>. Acesso em: 15 fev. 2024.
- CASTRO, P. T. A.; NALINE JÚNIOR, H, A.; LIMA H. M. **Entendendo a Mineração no Quadrilátero Ferrífero**. Belo Horizonte: Ecológico, 2011. Disponível em: https://qfe2050.ufop.br/sites/default/files/qfe2050/files/quadrilatero_ferifero.pdf?m=1525724467. Acesso em: 15 fev. 2024.
- DE BIASI, J. B. *et al.* The effect of a mining dam failure on the genetic diversity and population resilience of marine fishes along the eastern Brazilian coast, **Regional Studies in Marine**, v. 68, Dec. 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2023.103239>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2352485523004292?via%3Dihub>. Acesso em: 04 mar. 2024.
- FUNDAÇÃO RENOVA. **A Fundação**. 2024. Disponível em: <https://www.fundacaorenova.org/a-fundacao>. Acesso em: 06 mar. 2024.
- IBAMA. **Laudo Técnico Preliminar: impactos ambientais decorrentes do desastre envolvendo o rompimento da barragem de Fundão, em Mariana, Minas Gerais**. 2015. Disponível em: https://www.ibama.gov.br/phocadownload/barragemdefundao/laudos/laudo_tecnico_preliminar_ibama.pdf. Acesso em: 04 mar. 2024.
- IBRAM. **Relatório anual de atividades**. 2020. Disponível em: https://ibram.org.br/wp-content/uploads/2021/06/Relatorio-de-atividades_2020_ATUALIZADO.pdf. Acesso em: 15 fev. 2024.
- LEWIS, B. *et al.* Atlas: mapeando os objetivos de desenvolvimento sustentável na mineração. **Fórum Econômico Mundial**, 2017. Disponível em: <https://www.undp.org/pt/brazil/publications/atlas-mapeando-os-objetivos-de-desenvolvimento-sustentavel-na-mineracao>. Acesso em: 26 fev. 2024.
- MACÊDO, A. K. S. *et al.* Socio-environmental impacts on the Doce River basin, Brazil: a review from

