PRODUÇÃO ONLINE
REVISTA CIENTÍFICA ELETRÔNICA DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
ISSN 1676-1901

ASPECTOS FÍSICO-QUÍMICOS DA BACIA DO RIO DOCE: ANTES E APÓS O ROMPIMENTO DA BARRAGEM DE FUNDÃO

PHYSICAL AND CHEMICAL ASPECTS OF THE RIO DOCE BASIN: BEFORE AND AFTER THE FUNDÃO DAM BREAK

Andréia Santos dos Anjos* E-mail: andreiasantos280711@gmail.com
Raphaela Martins de Carvalho** E-mail: rapha_carvalhoo@hotmail.com
Vanielle Aparecida do Patrocinio Gomes* E-mail: vaniellea.gomes@hotmail.com
Mayra Jankowsky**** E-mail: mayra.jankowsky@gmail.com
Rodrigo Randow de Freitas* E-mail: rodrigo.r.freitas@ufes.br
*Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), São Mateus, ES, Brasil.
**Instituto Capixaba de Pesquisa (Incaper), Vitória, ES, Brasil.
***Fundação de Desenvolvimento da Pesquisa do Agronegócio (Fundepag), São Paulo, SP, Brasil.
****Instituto de Pesca de São Paulo (IP-SP), São Paulo, SP, Brasil.

Resumo: O rompimento da Barragem de Fundão, ocorrido em 2015 no município de Mariana (MG), provocou impactos ambientais significativos na Bacia do Rio Doce, comprometendo a qualidade da água, dos sedimentos e dos ecossistemas aquáticos ao longo da região atingida. Com isso, este estudo adota a abordagem bibliométrica com o objetivo de examinar os aspectos físico-químicos da Bacia do Rio Doce, tanto antes quanto após o colapso da Barragem de Fundão. Palavras-chave em português, inglês e espanhol foram buscadas em 19 bases de dados em um recorte temporal para posterior análise. A análise quantitativa mapeou e avaliou a produção científica relacionada ao tema, evidenciando as tendências e identificando lacunas no conhecimento, com um portfólio final de 62 artigos analisados. A análise qualitativa revelou consequências nos âmbitos ambiental, econômico e de saúde, sobretudo associadas à presença de metais pesados na água. Os resultados evidenciaram agrupamentos temáticos relacionados à qualidade da água, sedimentos, saúde coletiva, segurança alimentar e geoprocessamento, além da necessidade de estratégias de mitigação, com ênfase na compreensão do comportamento do Rio e no desenvolvimento de metodologias eficazes de monitoramento.

Palavras-chave: Bibliometria. Desastre. Metais pesados. Qualidade da Água. Transformações ambientais.

Abstract: The collapse of the Fundão Dam in 2015 in the municipality of Mariana (MG) caused significant environmental impacts on the Rio Doce Basin, compromising the quality of water, sediments, and aquatic ecosystems throughout the affected region. Therefore, this study adopts a bibliometric approach to examine the physicochemical aspects of the Rio Doce Basin, both before and after the collapse of the Fundão Dam. Keywords in Portuguese, English, and Spanish were searched in 19 databases within a specific period for later analysis. The quantitative analysis mapped and evaluated the scientific production related to the topic, highlighting trends and identifying gaps in knowledge, resulting in a final portfolio of 62 analyzed articles. The qualitative analysis revealed consequences in the environmental, economic, and health spheres, especially those associated with the presence of heavy metals in the water. The results highlighted thematic clusters related to water quality, sediments, public health, food security, and geoprocessing, as well as the need for mitigation strategies, with an emphasis on understanding the behavior of the river and developing effective monitoring methodologies.

Keywords: Bibliometrics. Disaster. Heavy Metals. Water Quality. Environmental Transformations.

1 INTRODUÇÃO

A Bacia do Rio Doce, localizada no sudeste do Brasil, constitui um ecossistema de impressionante riqueza, estendendo-se ao longo de uma vasta área de 86.715 km^2, com 86% desse território situado na região leste de Minas Gerais e os restantes 14% no nordeste do Espírito Santo. A região abriga uma população estimada em cerca de 3,5 milhões de habitantes, cujas vidas, em sua dinâmica social e econômica, estão diretamente ligadas aos 879 Km de curso do Rio Doce (Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Doce, 2021). No entanto, esse paraíso natural foi palco de um dos episódios mais marcantes da história ambiental do Brasil.

Em 5 de novembro de 2015, a Barragem de Fundão, localizada em Mariana, Minas Gerais, cedeu diante das pressões do tempo e do descuido humano, desencadeando um desastre que perdurará por gerações. O resultado desse trágico evento foi a liberação de 60 milhões de m^3 de rejeitos, enriquecidos com elevadas concentrações de sais de ferro, que primeiramente devastaram o rio Gualaxo do Norte, o primeiro afluente do Rio Doce a sofrer a embate desse fluxo de destruição. A lama tóxica, então, avançou pelo Rio Doce, até seu desaguamento no Oceano Atlântico (Fongaro *et al.,* 2019).

Enquanto os aparatos institucionais e corporativos empreendem esforços para compreender e quantificar os danos ambientais, sociais e econômicos causados, aqueles diretamente afetados convivem com a presença da lama, cuja marca de destruição se tornou um triste emblema de vidas que foram transformadas e desafiadas de maneira inigualável (Teixeira, 2018).

Embora diversos estudos tenham investigado os impactos ambientais do rompimento da Barragem de Fundão, ainda são limitadas as pesquisas que sistematizam e analisam, de forma integrada, a produção científica relacionada aos aspectos físico-químicos da Bacia do Rio Doce.

Neste contexto de complexidades e desafios, este artigo tem como objetivo analisar, por meio de uma análise bibliométrica, a produção científica sobre os aspectos físico-químicos da Bacia do Rio Doce antes e depois do rompimento da Barragem de Fundão em Mariana, Minas Gerais, identificando as principais características, tendências e lacunas da literatura no período analisado. A pesquisa busca responder à seguinte questão: como a produção científica tem abordado os aspectos físico-químicos da Bacia do Rio Doce antes e após o rompimento da

Barragem de Fundão? Dessa forma, busca-se contribuir para a compreensão desta tragédia ambiental e das suas ramificações duradouras.

2 METODOLOGIA

A abordagem metodológica parte de uma extensa pesquisa bibliométrica sobre os aspectos do Rio Doce pré e pós o desastre de Mariana. A bibliometria consiste em um método de análise da literatura científica, utilizado para identificar tendências de pesquisa, redes de colaboração, evolução temática e lacunas do conhecimento em determinada área de estudo. O portfólio documental utilizado neste estudo deriva da estratégia de busca desenvolvida por Jankowsky *et al.* (2021). A descrição detalhada dos procedimentos de busca, seleção e constituição da base documental encontra-se disponível no estudo original. A partir desse conjunto documental, o presente trabalho estabeleceu um recorte temático específico, selecionando e analisando as publicações relacionadas aos aspectos físico-químicos da Bacia do Rio Doce. Assim, embora a proveniência da base documental esteja vinculada ao estudo anterior, a delimitação do objeto, a seleção do subconjunto de interesse e a análise e discussão dos aspectos físico-químicos constituem o foco específico deste estudo..

Os dados foram analisados de forma quantitativa e qualitativa, a partir da bibliometria, em que as "*tags*" (Tabela 1) foram definidas com foco em caracterizar todos os aspectos relacionados à atividade pesqueira da Bacia Hidrográfica do Rio Doce, visto que esse estudo é um recorte de Jankowsky *et al.* (2021), permitindo uma visão ampla da região e bases de dados, que foram escolhidas de acordo com a abrangência, alta relevância e de maior visibilidade. Sendo que, com o portfólio final, foi possível listar e quantificar as publicações voltadas para temas da área físico-química.

Tabela 1 - "*Tags*" definidas pelo estudo.

Rio Doce / Bacia do Rio Doce / Rio Doce catchment / Cuenca del Rio Doce	Xopotó / Piracicaba / Casca / Santo Antônio / Corrente Grande / Suaçuí Pequeno / Suaçuí Grande / Manhuaçu / Matipó / Guandu / Pancas / São José		
	Minas Gerais / Mariana / Barra Longa / Santa Cruz do Escalvado / Rio Casca / Sem-peixe / São Pedro dos Ferros / São Domingos do Prata / São José do Goiabal / Raul Soares / Dionísio / Córrego Novo / Pingo D'água / Marliéria / Bom Jesus do Galho / Timóteo / Caratinga / Ipatinga / Santana do Paraíso / Ipaba / Belo Oriente / Bugre / Iapu / Naque / Periquito / Sobrália / Fernandes Tourinho / Alpercata / Governador Valadares / Tumiritinga / Galiléia / Conselheiro Pena / Resplendor / Itueta / Ponte Nova / Aimorés		
	Espírito Santo / Baixo Guandu / Colatina / Aracruz / Marilândia / Linhares / Fundão		
	Hidrelétrica / PCH UHE Candonga / UHE Risoleta Neves / UHE Baguari / UHE Aimorés / UHE Mascarenhas	Hydroelectric power plant / Candonga / Risoleta Neves / Baguari / Aimorés / Mascarenhas	Central Hidroeléctrica / Candonga / Risoleta Neves / Baguari / Aimorés / Mascarenhas
	pesca / pescaria / pescado / frutos do mar / peixe	fishing / fishery / fish / seafood /	pesca / pescado / mariscos / pescado
	pesca artesanal / pesca comercial / pesca industrial / pesca de subsistência / pesca esportiva/ pesca amadora / pesque-pague / ornamental / pesca continental / pesca marinha / pesca estuarina / pesca extrativista / pesca fluvial / pesca ribeirinha	artisanal fishing / commercial fishing / industrial fishing / subsistence fishing / sport fishing / fish pay pond/ fishing pond / pay pond / ornamental fish / continental fishing / marine fishing / estuarine fishing (fisheries) / extractive fishing / river fishing / riverside fishing	pesca artesanal / pesca comercial / pesca industrial / pesca de subsistencia / pesca deportiva / coto de pesca / pesca continental / pesca marina / pesca (pesquerías) estearina / pesca extractiva / pesca fluvial / pesca fluvial
	produção pesqueira / produção de pescado / esforço de pesca / CPUE / perfil laboral pesca / pescadores / trabalhadores da pesca / povos das águas / comunidade pesqueira / ribeirinhos / território pesqueiro / zona de pesca / área de pesca / ordenamento (pesqueiro, pesca, pescarias)	fishery production / fish production / catch / catch per unit effort / CPUE / fishing effort / fishing profile / fishermen / fisheries workers / fishing community / artisanal fisherman / fishing community / riverside / fishing territory / fishing zone / fishing area / fishery space / fisheries management	producción pesquera / captura / captura por unidad de esfuerzo / CPUE / esfuerzo de pesca / perfil de pesca / pescadores / trabajadores pesqueros / comunidad de pescadores / orilla / comunidad de pescadores / comunidades ribereñas / territorio de pesca / zona de pesca / zona de pesca / manejo pesquero
	estaleiro / atracadouro / píer / molhe / marina / estruturas de apoio náutico / desembarque pesqueiro / descarga pesqueira	shipyard / berth / pier / marina / structures of nautical support / fishing landing / fish landing	astillero / muelle / puerto pequeño / estructuras de apoyo náutico / desembarco de pesca
	associações / associação de pescadores / colônia / comunidade / povo(s) tradicional(is)	associations / fishermen's association / colony / union / traditional community	asociaciones / asociación de pescadores / colonia / culturas/comunidades / l os pueblos tradicionales
	perfil laboral pesca / pescadores / trabalhadores da pesca / povos das águas / comunidade pesqueira / ribeirinhos / território pesqueiro / zona de pesca / área de pesca	fishing profile / fishermen / fisheries workers / fishing community / artisanal fisherman, fishing community / riverside / fishing territory / fishing zone / fishing area / fishery space	perfil de pesca / pescadores / trabajadores pesqueros / comunidad de pescadores / orilla / comunidad de pescadores / comunidades ribereñas / territorio de pesca / zona de pesca / zona de pesca
	comercialização pescado / comercialização pesqueira / venda peixe / consumo de peixe / consumo pescado	fish commercialization / fishing commercialization / fish sale / fish consumption	comercialización de pescado / comercialización de pesca / venta de pescado / consumo de pescado

	embarcações / barco(s) / frota pesqueira / canoa / baitera / lancha	boat(s) / fishing fleet / canoe / speedboat	barco(s) / flota pesquera / canoa / lancha rápida
	legislação da pesca / censo pesqueiro / monitoramento participativo / conflitos na pesca / manejo dos recursos naturais / tamanho mínimo de captura / ordenamento (pesqueiro, pesca, pescarias) / defeso (períodos) / espécies protegidas	fisheries law (regulation) / fishing census / participatory monitoring / fishing conflict / management of fishery resources / minimum catch size / fisheries management / temporal closures / protected species	legislación de pesca / censo pesquero / monitoreo participativo / conflictos en la pesca / manejo de recursos naturales / talla mínima de captura / manejo pesquero / veda de pesca / especies protegidas
	artes de pesca / artefatos de pesca / aparelhos de pesca/apetrecho de pesca / rede/malha / anzol e linha (espinhel, linha de mão) / arrasto / dragas / armadilhas / mergulho / arpão / coleta de mão	fishing gear / fishing artifacts / fishing tackle / net/ fish net/mesh hook a line (longline, handline) / trawl / dredges / traps / diving / harpoon / hand collection	equipo de pesca / artefactos de pesca / aparejo de pescar / red/malla / anzuelo y línea (espinel, línea de mano) / arrastre / dragas / trampa / buceo / arpón / colecta manual
	espécies de peixe / espécies de crustáceos / espécies de moluscos / espécies de invertebrados / nomes comuns / tilápia / camarão / comunidades peixes / crustáceos / moluscos	fish species / crustacean species / mollusk species / invertebrate species / common names / tilapia / shrimp / fish communities (crustaceans / mollusks)	especies de peces / especies de crustáceos / especies de moluscos / especies de invertebrados / nombres comunes / tilapia / camarón / comunidad de peces (crustáceos / moluscos)
	estrutura populacional (idades / tamanhos) / unidade de estoque / estoque pesqueiro / banco de pescado / pesqueiro / prospecção pesqueira / estado de exploração / explotação / determinação de idades / taxas de crescimento / taxas de mortalidade / explotação / abundância / biomassa / captura por unidade de esforço (CPUE) / esforço de pesca / ciclos de vida	population structure (age / size) / stock unit / fishing stock / fish bank / fishing survey / exploitation status / age determination / growth rate / mortality rate / exploitation rate / abundance / biomass / catch per unit effort (CPUE) / fishing effort life history (cycles)	estructura de la población (edad / tallas) / unidad de stock / stock de pesca / banco de peces / prospección pesquera / estado de explotación / determinación de edades / tasa de crecimiento / tasa de mortalidad / tasa de explotación / abundancia / biomasa / captura por unidad de esfuerzo (CPUE) / esfuerzo de pesca / ciclo de vida
	aquicultura / aquacultura / aquaponia	aquaculture / aquaponics	acuicultura / acuaponía
	produção aquícola / cultivo aquícola / consórcio / produção consorciada / Policultivo	aquaculture production / aquaculture cultivation / consortium / consortium production / polyculture	producción acuícola / cultivo de la acuicultura / consorcio / producción de consorcio / policultivo
	viveiros / viveiros escavados / tanque escavado / tanque concreto / barragem / barramento / tanque-rede	hapas / earth ponds/ nursery pond/ ponds / net-cages / net tanks	vivero / estanque / estanque de tierra / estanque de muro / estanque recubierto/estanque de presa/ dique / jaula flotante
	APP - Área de Preservação Permanente / mata ciliar / unidade (área) de conservação / Etnoecologia / habitats essenciais / área de reprodução / reprodutiva	environmental protection areas / riparian forest / protected areas, conservation unities (areas) / ethnoecology / essential habitats / nursing areas	bosque de ribera / unidades de conservación / Etnoecologia / hábitats esenciales / áreas de reproducción

	qualidade água / mananciais / afluentes / tributários / manguezais / estuários / plataforma continental / talude continental / recifes / cadeia / teia trófica / produtividade primária	water quality/ springs / tributaries / mangroves / estuaries / continental shelf / Continental slope / reefs / Food web / primary productivity	calidad del agua / resortes / afluentes / manglares / estuarios / plataforma continental / talud continental / arrecifes / red trófica / producción primaria
	fatores abióticos / temperatura / salinidade / frentes oceanográficas / descarga fluvial / pluviosidade / ressurgência / massas d'água / mudança climática	abiotic factors / temperature / salinity / oceanographic fonts (or just fronts) / fluvial discharge / pluviosity / upwelling / water masses / climate change	factores abióticos / temperatura / salinidad / frentes oceánicos / aporte fluvial / pluviosidad / resurgencia / masas de agua / cambio climático
	perfil socioeconômico / sócio economia / PIB per capita / atividade econômica / Índice de Gini / Índice de desenvolvimento humano / coeficiente de Williamson / população / gênero / raça / etnia / idade populacional / composição etária / demografia	socioeconomic profile / socioeconomics / per capita GDP / economic activity / Gini Index / Human Development Index / Williamson Coefficient / population / gender race / ethnicity / population age / demography	perfil socioeconómico / socio economía / PIB per cápita / actividad económica / índice de Gini / Índice de Desarrollo Humano / Coeficiente de Williamson / población / género / raza / etnia / edad de la población / demografía
	habitação / distribuição espacial população / ocupação do solo / desenvolvimento / ocupação urbana / gerenciamento costeiro integrado	housing / spatial distribution / Land use / urban development (occupation) / Integrated coastal management	alojamiento / distribución espacial de la población / uso del suelo / desarrollo (ocupación) urbano / manejo costero integrado
	analfabetismo / educação / escolaridade / saúde / saneamento básico / criminalidade / cultura / recreação / esporte / mortalidade infantil / esperança de vida ao nascer	illiteracy / education / schooling / health / sanitation / criminal / culture / recreation / sport / child mortality / infant mortality / life expectancy at birth	analfabetismo / educación / enseñanza / salud / saneamiento / criminalidad / cultura / recreación / deporte / mortalidad infantil / esperanza de vida al nacer
	metal pesado / poluição / esgoto / desmatamento / assoreamento / espécies exóticas / espécie exótica invasora / sobrepesca / pesca predatória / pesca incidental / degradação ambiental / transformação da paisagem / desastre / rompimento de barragem / atividades antrópicas / perda (destruição) de habitats	heavy metal / pollution / sewage / deforestation / siltation / exotic species / invasive exotic species / invasive alien species/ alien fish / overfishing / predatory fishing / by-catch / Ambiental degradation / landscape transformation / disaster / Dam collapse / human activities/ anthropic activities / habitat loss	metal pesado / contaminación / alcantarillado / deforestación / saltación / especies exóticas / especies exóticas invasoras / sobrepesca / pesca depredadora / pesca fortuita / degradación ambiental / transformación del paisaje / ruptura de presa / actividades humanas actividades antrópica / pérdida de hábitat
	APP - Área de Preservação Permanente / mata ciliar / unidade (área) de conservação / Etnoecologia / qualidade água / mananciais / afluentes / tributários	environmental protection areas / riparian forest / protected areas / conservation unities (areas) / ethnoecology / water quality / springs / tributaries	bosque de ribera / unidades de conservación / Etnoecologia / calidad del agua / resortes / afluentes

Fonte: Jankowskt *et al.* (2021).

Considerou-se as seguintes Bases de Dados (BD) e Portais: Academic Resource Index (ResearchBib); Bioline International; CAB Direct; Directory of Open Access Journals; EBM (Ovid); Embase; Google Acadêmico (Google Scholar); Medline; Microsoft Academic Search; Online Journals Search Engine; Pubmed; RedalycAmeliCA; SciELO (Scientific, Electronic Library Online); Science Direct; Scopus; Springer; Sumários; WorldCat; e Web of Science (WoS). As fontes consultadas compreendem bases bibliográficas e indexadoras, portais e plataformas de periódicos, plataformas de editoras e motores de busca acadêmica. A definição acima se justifica pelo reconhecimento científico/acadêmico, acessibilidade facilitada (internet), ampla cobertura de publicações e periódicos de elevado impacto e relevância. O período de busca estipulado foi entre 1969 (primeiro artigo publicado utilizando a *tag* Rio Doce) e junho de 2020 (ano em que a pesquisa foi realizada). E selecionados somente artigos disponíveis gratuitamente e acesso aberto (Open Access) para *download* nos idiomas inglês, português ou espanhol (Jankowsky *et al.,* 2021).

Foram realizadas análises descritivas para identificar mudanças significativas nos parâmetros físico-químicos do rio ao longo do tempo. Incluem-se gráficos, tabelas e análise estatística para facilitar compreensão e interpretação dos resultados coletados. Ademais, dos artigos selecionados realizou-se leitura dos resumos, a fim de retirar aqueles artigos que não estavam relacionados ao assunto a ser discutido.

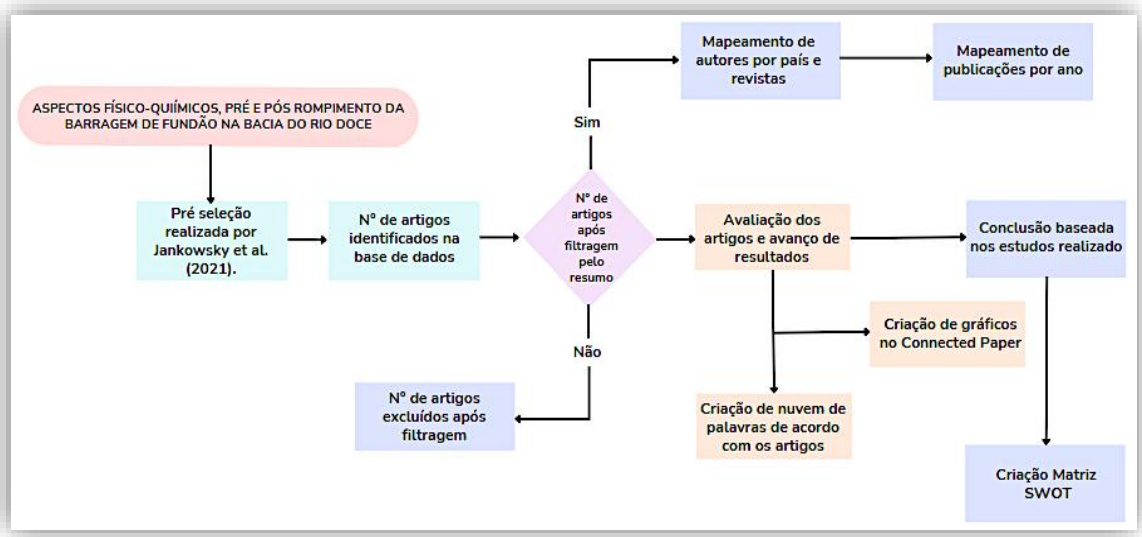
Visando examinar a diversidade de temas encontrados, utilizou-se a ferramenta *word clouding* ou “nuvem de palavras” (das *Tags* ou palavras-chave), o que representou uma lista hierarquizada com fins de classificação, em que a quantidade maior ou menor de aparições de determinado termo é dada proporcionalmente pelo tamanho da fonte (Viegas *et al.,* 2009; Lemos, 2016).A nuvem de palavras foi empregada como recurso exploratório e visual, com a finalidade de representar a recorrência dos termos presentes no corpus analisado e facilitar a identificação inicial dos temas mais frequentes, não sendo utilizada isoladamente para estabelecer relações ou inferências sobre a literatura.

No âmbito desta pesquisa, objetivou-se aprofundar a compreensão dos impactos físico-químicos associados ao rompimento da Barragem de Fundão, buscando estabelecer correlações entre produções acadêmicas e ampliar as perspectivas sobre o tema. Para alcançar esse propósito, recorreu-se à ferramenta *Connected Papers*, que desempenhou papel fundamental na identificação de

produções acadêmicas relevantes. Essa ferramenta, por meio de extensa rede de conexões (agrupamento por similaridades) entre artigos científicos, proporcionou abordagem abrangente sobre o tema de estudo. O Connected Papers foi utilizado de forma complementar e exploratória para visualizar relações de proximidade entre publicações do portfólio e auxiliar na identificação de agrupamentos de estudos relacionados tematicamente. Essa análise foi empregada como recurso de visualização da estrutura da literatura, não sendo utilizada isoladamente como critério de inclusão, exclusão ou avaliação da qualidade dos estudos.

Na última etapa de análise, os resultados sintetizados foram discutidos em torno da pergunta norteadora e dos objetivos do estudo. Essa etapa visou destacar as principais contribuições, sugerir possíveis direções para futuros estudos e identificar eventuais lacunas do conhecimento. Assim, foi elaborada uma matriz SWOT, com o intuito de avaliar as forças e fraquezas do ambiente interno, frente às oportunidades e ameaças (Fernandes, 2012) (Figura 1).

Figura 1 – Etapas do processo de seleção de artigos utilizada para a análise bibliométrica



Fonte: Autores (2023).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O desastre de Mariana, é reconhecido como uma das maiores catástrofes ambientais do país. Os impactos ambientais foram extensos e afetaram ecossistemas

aquáticos e terrestres ao longo da Bacia do Rio Doce. Perda de biodiversidade, degradação do solo e contaminação de corpos d'água foram algumas das consequências imediatas e duradouras do desastre. A poluição da água emergiu como uma das consequências mais graves, uma vez que a lama de rejeitos continha substâncias tóxicas, incluindo metais pesados (Vitória *et al.,* 2019). Essa poluição persiste ao longo do tempo, prejudicando comunidades que dependem diretamente desses recursos hídricos para suas necessidades diárias.

A tragédia também provocou uma análise crítica sobre a gestão de resíduos de mineração em escala global, como mostra no estudo de César e Carneiro (2018). A falta de regulamentação adequada e práticas de gestão deficientes foram identificadas como causas fundamentais do incidente neste trabalho.

Além disso, segundo Matos e Almeida (2020), a avaliação de riscos à saúde humana emergiu como uma preocupação crítica. A exposição a substâncias tóxicas presentes nos rejeitos de mineração pode ter impactos adversos na saúde das comunidades locais. Estudos epidemiológicos estão em andamento para monitorar a saúde a longo prazo das populações afetadas e identificar possíveis efeitos associados à exposição.

Considerando esse cenário, a partir de uma revisão bibliométrica, foram inicialmente analisados 77 artigos, previamente filtrados observando aspectos físico-químicos da Bacia do Rio Doce, considerando a metodologia utilizada, amparada pelo trabalho de Jankowsky *et al.* (2021). Reforçando que a escolha foi pautada na abordagem de temas físico-químicos relacionados à tragédia de Mariana e ao Rio Doce, abrangendo aspectos que apresentam interfaces relevantes com o rompimento da Barragem de Fundão. Posteriormente ao realizar a leitura dos resumos dos artigos verificou-se que 15 deles não tinham aderência ao proposto, sendo retirados do portfólio, resultando assim em 62 artigos. O critério de pontuação utilizado para avaliar os artigos consiste em uma fórmula matemática que busca equilibrar dois aspectos importantes: o número de citações de um artigo e sua antiguidade.

i. Número de Citações: Esta é uma medida comum da relevância e impacto de um artigo acadêmico. Um número maior de citações geralmente indica que o trabalho foi amplamente reconhecido e utilizado por outros pesquisadores na área.

ii. Fator de Suavização baseado no Tempo: O denominador da fórmula, (√{(Ano atual - Ano publicado) + 1}), atua como um fator de suavização. Aqui está o que cada parte significa:

a) Ano Atual - Ano Publicado: Esta diferença calcula a idade do artigo. Um artigo mais antigo teria uma diferença maior.

b) Raiz Quadrada (√): A raiz quadrada é aplicada para suavizar o impacto da idade do artigo. Sem esta suavização, artigos muito antigos poderiam ser desfavorecidos demais, já que o número de anos aumentaria rapidamente, reduzindo a pontuação geral do artigo. Ao aplicar a raiz quadrada, essa diferença de anos tem um impacto menos drástico.

c) +1: Este termo é adicionado para evitar a divisão por zero no caso de um artigo publicado no ano atual.

iii. Fórmula Completa: Portanto, a fórmula completa ((Número de citações) / √{(Ano atual - Ano publicado) + 1}) equilibra o número de citações com a idade do artigo. Artigos mais citados ganham uma pontuação mais alta, mas essa pontuação é ajustada para levar em conta a idade do artigo, dando assim uma chance justa a artigos mais novos.

iv. Critério de Desempate: Em caso de empates na pontuação, o número de citações é usado como critério de desempate. Isso significa que, entre dois artigos com a mesma pontuação calculada, o artigo com mais citações é considerado de maior relevância ou impacto.

Esse critério de pontuação é uma maneira eficaz de classificar artigos em um portfólio bibliométrico, pois considera tanto a relevância (medida por citações) quanto a atualidade (ajustada pela idade do artigo) dos trabalhos (Tabela 2).

Tabela 2 - 10 primeiros artigos classificados, dentro dos 62 selecionados, de acordo com pontuação utilizada

	Título	Citação	Pontos
1	Potential risks of the residue from Samarco's mine dam burst (Bento Rodrigues, Brazil)	Segura *et al.,* 2016	29
2	The Samarco mine tailing disaster: a possible time-bomb for heavy metals contamination?	Queiroz *et al.,* 2018	19
3	An assessment of natural and manmade hazard effects on the underwater light field of the Doce River continental shelf	Coimbra *et al.,* 2019	11
4	Post-catastrophe Analysis of the Fundão Tailings Dam Failure in the Doce River System, Southeast Brazil: Potentially Toxic Elements in Affected Soils	Guerra *et al.,* 2017	10
5	Late Pleistocene-Holocene evolution of the Doce River delta, southeastern Brazil: implications for the understanding of wave-influenced deltas	Rossetti *et al.,* 2015	8
6	Temporal variability in the suspended sediment load and streamflow of the Doce River	Oliveira; Quaresma, 2017	8
7	Landscape evolution during the late Quaternary at the Doce River mouth, Espírito Santo State, Southeastern Brazil	Cohen *et al.,* 2014	8
8	Verification of inflow into hydropower reservoirs using ensemble forecasts of the TIGGE database for large scale basins in Brazil	Fan *et al.,* 2015	7

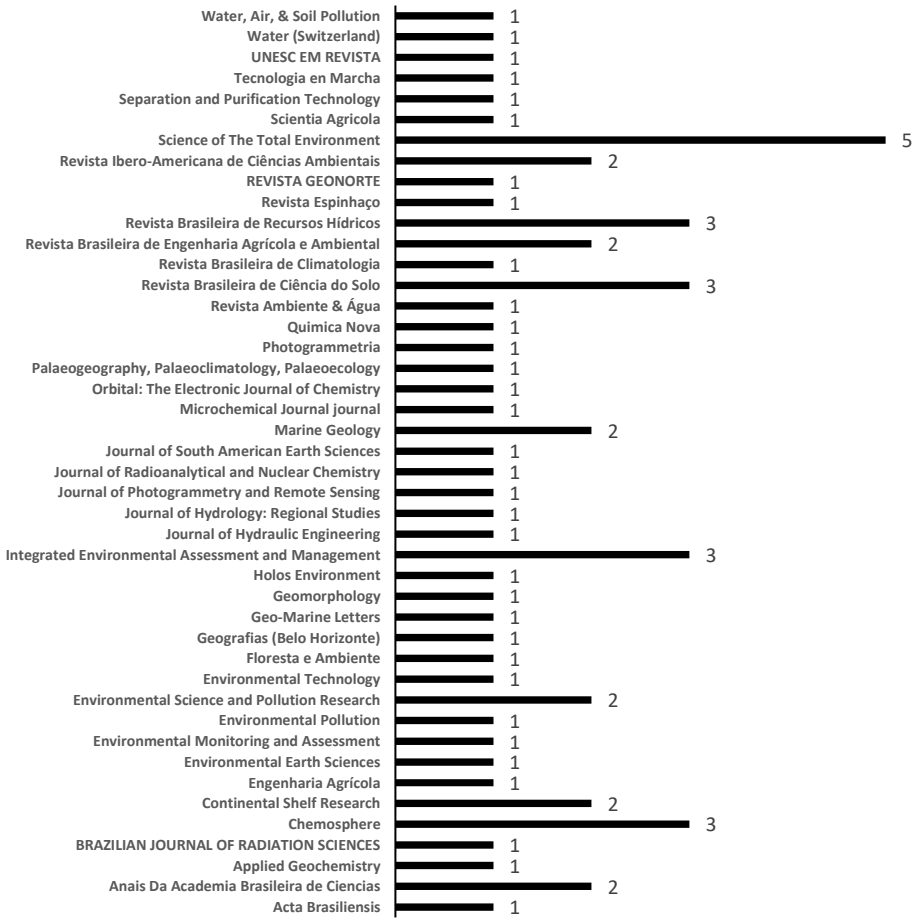
9	Remote sensing monitoring of the impact of a major mining wastewater disaster on the turbidity of the Doce River plume off the eastern Brazilian coast	Rudorff *et al.,* 2018	6
10	Long-term evolution of denudational escarpments in southeastern Brazil	Cherem *et al.,* 2012	6

Fonte: Autores (2023).

Quando verificado o ano de publicação dos artigos relacionados aos impactos físico-químicos da tragédia, tem-se que, no ano de 2019, foram publicados 25,81% dos artigos a respeito do tema, um total de 16 artigos. Se comparado o antes e depois do rompimento, 75,81% das publicações são após 2015, ou seja, após o rompimento o tema foi amplamente discutido. A queda das publicações em 2020 pode ser justificada devido à pesquisa ter sido realizada até junho de 2020.

Considerando os periódicos das publicações selecionadas (Gráfico 1), tem-se que a Revista *Science of the Total Environment* foi a com o maior número de artigos, 5 contribuições. Destaca-se que este periódico possui a classificação Qualis A1, conforme estabelecido pela Plataforma Sucupira da Capes (ano do estudo), indicando assim um reconhecimento de excelência internacional. Essa distinção atesta, não apenas a quantidade, mas também sua qualidade, reforçando sua posição de destaque e relevância no cenário acadêmico.

Gráfico 1 - Artigos publicados e classificados por Revistas científicas (Periódicos).



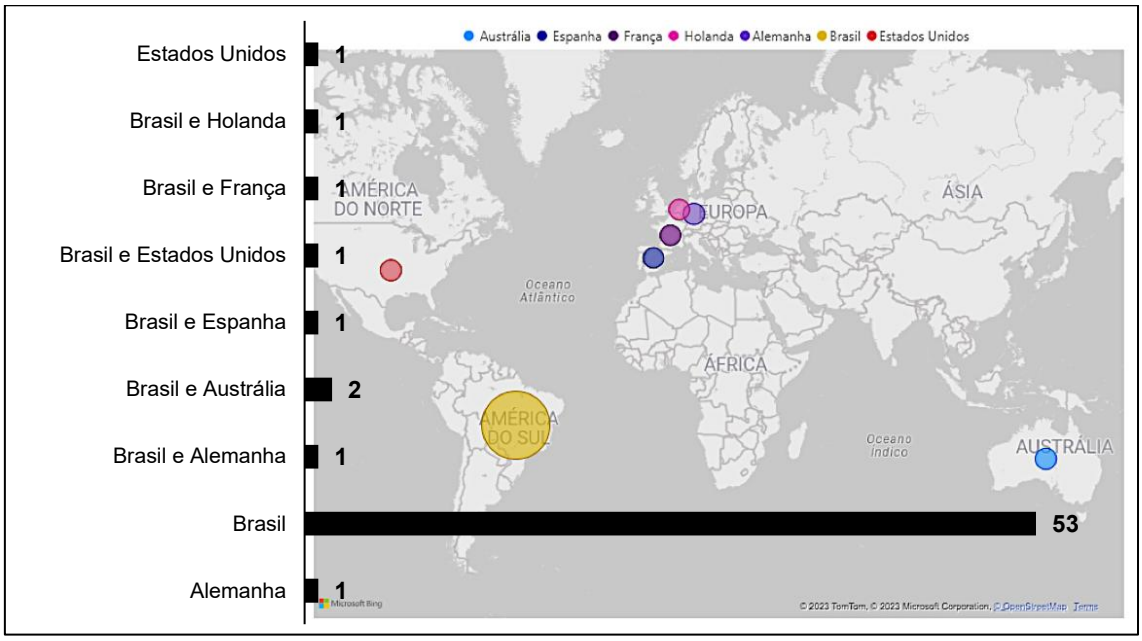
Fonte: Autores (2023).

Destaca-se que a análise também elencou revistas especializadas em Engenharia Ambiental, Química Ambiental e Geociências. Títulos notáveis, como "*Environmental Science & Technology*", "*Journal of Environmental Management*" e "*Water Research*", foram explorados nas bases de dados Scopus, WoS e ScienceDirect. Adicionalmente, o Portal de Periódicos da CAPES foi consultado para incluir contribuições relevantes de revistas científicas brasileiras, como a "Revista Brasileira de Geociências" e a "Engenharia Sanitária e Ambiental".

Este estudo abrangeu diversas universidades, Universidade Feral de Viçosa, Universidade Federal de Minas Gerais, Universidade Federal do Espírito Santo, Universidade Federal de Lavras, entre outras, com foco especial nas contribuições do Brasil para a área em questão. Destacam-se como fontes-chave de pesquisa especializadas nas implicações do rompimento de barragens e suas consequências ambientais.

Quanto à origem, os autores que mais abordam sobre o tema encontram-se predominantemente no Brasil, uma tendência que se justifica pela ocorrência do desastre estar inserida no território nacional. Os pesquisadores brasileiros desempenharam um papel proeminente nesse contexto, contribuindo significativamente com 96,77% das publicações que estão sendo analisadas (Gráfico 2). Esta concentração geográfica nas contribuições destaca o comprometimento da comunidade científica local em compreender, analisar e propor soluções para os desafios associados ao referido desastre. Essa representação expressiva também ressalta a importância de abordagens locais e expertises nacionais na produção de conhecimento relacionado ao tema em questão.

Gráfico 2 - Visualização dos artigos publicados por país.



Fonte: Autores (2023).

Destaca-se que uma disseminação de artigos sobre os aspectos físico-químicos antes e pós-rompimento da Barragem de Fundão na Bacia do Rio Doce (Gráfico 2), com colaborações entre autores brasileiros e estrangeiros, vem refletindo a magnitude e a complexidade do desastre ambiental ocorrido. A ruptura da barragem em 2015 desencadeou não apenas impactos locais, mas também despertou o interesse da comunidade científica internacional. Sendo que a colaboração de especialistas estrangeiros ampliou a perspectiva das pesquisas, permitindo a aplicação de metodologias inovadoras e a contextualização dos resultados em um cenário global.

É notório observar que o colapso da barragem de Fundão, desencadeou uma catástrofe de proporções significativas, ocasionando transformações profundas na paisagem física e nas características químicas do ecossistema circundante. Inicialmente projetada como um componente crucial no sistema de contenção de rejeitos, a barragem de Fundão transformou-se no epicentro de uma tragédia ambiental que transcendeu suas dimensões originais (Duarte, 2008).

As ramificações desse desastre abrangem não apenas a destruição de vastas áreas de vegetação natural, incluindo matas ciliares, mas também afetaram adversamente o pH do solo, propiciando o surgimento de espécies invasoras. Essas modificações, associadas ao desastre, desencadearam impactos significativos na vegetação, nas Áreas de Preservação Permanente (APP), na ictiofauna e na qualidade da água, apresentando a possibilidade de uma alteração profunda no ecossistema local (Ibama, 2015; Porto, 2016; Lacaz *et al.*, 2017; Espindola; Ferreira; Mifarreg, 2017).

Para além dos impactos ambientais, o desastre teve repercussões econômicas calamitosas, resultando na perda de empregos, danos à agricultura local e uma drástica redução no turismo na região. A mortalidade em toda a cadeia trófica, incluindo espécies ameaçadas e endêmicas, agravou ainda mais as consequências desse desastre ambiental (Freitas *et al.,* 2016). Além disso, aspectos físico-químicos, como a contaminação da água e do solo por substâncias tóxicas provenientes do desastre, contribuíram para a deterioração das condições ambientais. A presença de poluentes químicos, muitas vezes persistindo por longos períodos, intensificou os desafios na recuperação do ecossistema e na mitigação dos efeitos adversos sobre a saúde humana e a biodiversidade local. Essa interação complexa entre fatores econômicos, ecológicos e químicos destaca a magnitude e a complexidade dos impactos decorrentes desse desastre ambiental.

A avaliação de metais pesados na água na Bacia do Rio Doce após o rompimento da Barragem de Fundão é essencial para compreender a extensão da contaminação. Estudos como o de Dias *et al.* (2018) e Carvalho *et al.* (2018) lançam luz sobre os impactos desses metais nos ecossistemas aquáticos, fornecendo dados valiosos para iniciativas de monitoramento e recuperação. Segundo Dias *et al.* (2018), a presença alarmante de metais pesados (elementos traços), como Alumínio (Al), Cádmio (Cd), Chumbo (Pb), Cobre (Cu), Cromo (Cr), Ferro (Fe), Manganês (Mn), Mercúrio (Hg), Níquel (Ni) e Zinco (Zn), após o desastre, representa uma séria ameaça

tanto para a fauna aquática quanto para a saúde humana. Para águas doces Classe 2, a Resolução CONAMA nº 357/2005 estabelece como valores máximos 0,10 mg/L para Al dissolvido; 0,001 mg/L para Cd total; 0,010 mg/L para Pb total; 0,009 mg/L para Cu dissolvido; 0,050 mg/L para Cr total; 0,30 mg/L para Fe dissolvido; 0,10 mg/L para Mn total; 0,0002 mg/L para Hg total; 0,025 mg/L para Ni total; e 0,18 mg/L para Zn total (Brasil, 2005). Esses valores constituem parâmetros de referência para a avaliação da qualidade da água e permitem contextualizar as concentrações desses elementos reportadas nos estudos realizados após o rompimento.

Estudos como os de Ferreira *et al.* (2020), Santolin *et al.* (2015), Silva *et al.* (2018) e Teixeira *et al.* (2020) também concluem que a tragédia resultou em sérios impactos na qualidade da água, com elevadas concentrações de metais pesados. E ainda reforçam para a necessidade de examinar os impactos na saúde coletiva relacionados às alterações nos aspectos físico-químicos da água após o rompimento da barragem. Para efeitos de comparação, Dondoni *et al.* (2019) realizaram estudo utilizando o Índice de Qualidade da Água (IQA) antes da tragédia, a fim de avaliar a qualidade da água do Rio Doce para o consumo humano. No estudo, considerou-se 9 parâmetros, como pH, coliformes termotolerantes, DBO, nitrogênio total, fósforo total, turbidez e OD, como cruciais para avaliar a segurança e potabilidade (Figura 2).

Figura 2 - Parâmetros do IQA e respectivos pesos

Parâmetro	Unidade	Peso *w*
Coliformes termotolerantes	NMP/100mL	0,15
pH	-	0,12
Demanda bioquímica de oxigênio (DBO)	mgO_2/L	0,10
Nitrogênio total	mg/L	0,10
Fósforo total	mg/L	0,10
Diferença de temperatura	ºC	0,10
Turbidez	UNT	0,08
Sólidos totais	mg/L	0,08
Oxigênio dissolvido (OD)	mgO_2/L	0,17

Fonte: Santos *et al.* (2018).

Concluiu-se que, embora exista espaço para melhorias, a água estava classificada como boa, com um IQA variando de 65 a 68. Essa constatação sugeriu que a qualidade da água pode ser melhorada, ressaltando que o IQA constitui um indicador agregado da qualidade da água e, isoladamente, não permite concluir sobre sua potabilidade ou adequação ao consumo humano. (Figura 3).

Figura 3 - Índice de Qualidade da Água - IQ

Valor	Qualificação	Cor
79 < IQA ≤ 100	Ótima	Azul
51 < IQA ≤ 79	Boa	Verde
36 < IQA ≤ 51	Regular	Amarelo
19 < IQA ≤ 36	Ruim	Vermelho
IQA ≤ 19	Péssima	Roxo

Fonte: CETESB (2016).

Considerando a classificação adotada pelo Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM), esses valores estão inseridos na faixa de qualidade “Média”, correspondente a valores de IQA superiores a 50 e iguais ou inferiores a 70 (IGAM, 2012).

No entanto, após o rompimento da Barragem, Costa *et al.* (2018) realizaram uma análise abrangente dos parâmetros de qualidade da água, analisando o Rio do Carmo, afluente do Rio Doce. Ao examinar pontos de monitoramento específicos, RD009 (montante do ponto de deságue do rio Gualaxo do Norte) e RD071 (jusante do ponto de deságue do rio Gualaxo do Norte, impactado diretamente pelos rejeitos), o estudo revelou alterações nos parâmetros inorgânicos.

Antes do desastre, nenhum dos elementos, como cianeto livre, cloreto total, cobre, cromo e ferro dissolvido, ultrapassava os limites da Resolução CONAMA 357 nos pontos de monitoramento. No entanto, após o rompimento, houve aumentos expressivos, superando os limites em várias leituras. Ressalta-se que, antes do desastre, amostras fora dos padrões já eram observadas nos dois pontos de monitoramento. Já em relação a outros parâmetros, como clorofila “a”, cor verdadeira, DBO, fenóis totais, óleos e graxas, OD, pH *in loco*, SDT e turbidez, houve aumento nas concentrações nos pontos de monitoramento após o rompimento, ultrapassando os limites permitidos. Foesch *et al.* (2020) e Silva *et al.* (2018) também basearam estudos após o rompimento avaliando a qualidade da água considerando a Resolução 357 do CONAMA.

No que tange a saúde coletiva e, consequentemente, qualidade da água, Gabriel *et al.* (2020) destacam em sua pesquisa as conexões entre a qualidade da água na Bacia do Rio Doce e os riscos à saúde das comunidades afetadas. O estudo apoia o fechamento de pescarias e a necessidade de monitoramento da saúde pública

nas áreas afetadas, além de apoiar outros estudos que sugerem contaminação crônica por metais do estuário do Rio Doce.

Outros autores também estudam sobre as alterações da qualidade da água após o rompimento, como Fortunato *et al.* (2020), Francini-Filho *et al.* (2019), Thebit-Almeida *et al.* (2018) e Carmo *et al.* (2020), abordando assuntos como transformações dos compostos de nitrogênio em trechos finais do Rio Piracicaba, observação de imagens de satélite para avaliar o comportamento espectral da água do Rio Doce e poluição radiológica causada pela tragédia, respectivamente, onde ambos indicaram alterações no final de suas conclusões.

Examinar estudos que investigam os impactos diretos nos organismos aquáticos em relação aos aspectos físico-químicos alterados na Bacia do Rio Doce após o rompimento da barragem é essencial para a conservação da biodiversidade aquática. Bottino *et al.* (2017) examinaram o impacto dos resíduos no metabolismo de plantas aquáticas, conduzindo experimentos de crescimento com duas espécies em condições controladas. Ambas as plantas apresentaram as maiores taxas de crescimento na condição contaminada, embora a biomassa tenha aumentado apenas a curto prazo (aproximadamente 20 dias). A condição de controle, sem água impactada, favoreceu o aumento constante da biomassa ao longo do tempo e o desenvolvimento de brotações vegetativas com altas taxas diárias. A turbidez da água teve uma queda acentuada em 48 horas e não afetou o crescimento das plantas na condição contaminada. No entanto, a contaminação impactou a produtividade das plantas a longo prazo, influenciando o desenvolvimento da biomassa.

Por exemplo, o estudo de Coelho *et al.* (2020) avaliou a presença de elementos potencialmente tóxicos em plantas e solo, destacando riscos na cadeia alimentar. As áreas afetadas pelo rompimento da barragem de Fundão exibiram maiores concentrações de Fe, Mn, Cu e Cr, com menores teores de Zn em solo e plantas, especialmente em *Brachiaria decumbens.* Embora sem contaminação por Pb, Cd e As, os aumentos nos elementos indicam possíveis riscos ao crescimento vegetal e à cadeia alimentar via biomagnificação. Diferentemente de Albino e Suguio (2010) que enfatizaram os impactos de curto prazo do rompimento na biodiversidade marinha, especialmente nos recifes do Banco de Abrolhos, destacando a necessidade de monitoramento de longo prazo.

Já a análise da relação entre sedimentos e qualidade da água na Bacia do Rio Doce após o rompimento da barragem é de suma importância. Autores como Grilo *et*

al. (2018) investigaram mudanças nos padrões de floculação de sedimentos após a tragédia, revelando alterações na composição, tamanho e liquidação dos sedimentos, tanto na barragem quanto na plataforma continental, indicando impactos significativos nos processos sedimentares após o rompimento da barragem. Reis *et al.* (2020) fornecem informações sobre a composição sedimentar do rio Gualaxo do Norte, destacando alterações após o desastre de Fundão. Já Reis *et al.* (2017) aprofundam a investigação ao analisar metais e metaloides em sedimentos de fundo da Bacia do rio Matipó, afluente do Rio Doce. Concluindo que, embora os níveis de metais ultrapassem os limites legais, a presença destes revela influências tanto naturais quanto antropogênicas, destacando valores médios de 464,7 mg kg^{-1} para cobre (Cu) e 287,7 mg kg^{-1} para zinco (Zn).

Análises sobre a relação entre sedimentos e qualidade da água foram feitas por Valeriano *et al.* (2019) e Sokoloski *et al.* (2019) evidenciando danos ambientais significativos. Sylvio *et al.* (2018), por exemplo, enfocam na preocupação com o aumento da carga de sedimentos nos rios afetados pelo rompimento. O desastre provocou impactos socioeconômicos e ambientais, incluindo o transporte de sedimentos até o oceano Atlântico (Rudorff *et al.*, 2018).

Por sua vez, Almeida *et al.* (2018) investigaram a caracterização química, física e absortiva de amostras coletadas na região de Paracatu de Baixo, afetada pelo desmoronamento da barragem. O estudo aponta que os resíduos de mineração da barragem do Fundo em Paracatu de Baixo apresentam características não perigosas, compostas principalmente por minerais como caulinita, goethita e quartzo.

Importante mencionar que é crucial não limitar apenas aos estudos sobre a água, sendo que a atenção deve se estender também ao solo. Autores como Guerra *et al.* (2017) e Queiroz *et al.* (2018) realizaram avaliações da contaminação dos solos afetados por resíduos, ressaltando a importância de abordar integralmente os impactos ambientais. Como diversos outros autores, que também estudaram características gerais da erosão do solo e relevo do Rio Doce. Cita-se, Rossetti *et al.* (2015), Cherem *et al.* (2012), Souza *et al.* (2016), Pflug (1969) e Oliveira e Quaresma (2017) que mergulham na caracterização das condições de vento, contribuindo para o desenvolvimento e conhecimento da região para o aprimoramento de melhorias.

O rompimento da barragem de Fundão na Bacia do Rio Doce gerou extensos estudos sobre seus impactos, com enfoque no sensoriamento remoto e suas aplicações. Fagundes *et al.* (2019) destacam a eficácia do sensoriamento remoto na

melhoria dos modelos de sedimentos, e Palu e Julien (2019) enfatizam a importância da calibração. Já Louzada *et al.* (2018), Mello *et al.* (2012), Jesus *et al.* (2020), Bittencourt *et al.* (2007), Elesbon *et al.* (2014), Souza Fraga (2019) *et al.* (2019), Fan *et al.* (2015), Cupolillo *et al.* (2008), Gil *et al.* (2014), Oliveira e Quaresma (2017) e D'Agostini *et al.* (2019) realçam a importância do planejamento ambiental e territorial.

Pensando em como reduzir os impactos causados pela tragédia, diversos estudos foram elaborados, proporcionando uma visão abrangente dos impactos ambientais e da qualidade da água na região afetada e formas de mitigação. Quaresma *et al.* (2020) concluem que compreender o comportamento do rio é crucial para planos de manejo eficazes, detectando condições extremas e mitigando impactos. Por exemplo, estudos realizados antes do rompimento contribuem para a elaboração de estratégia para redução do impacto da tragédia. Rodrigues *et al.* (2014) empregaram quimiometria à ionização por eletropulverização (ESI) positiva e negativa. O uso da abordagem quimiométrica mostrou-se uma forma promissora de otimizar a determinação simultânea de vinte e um contaminantes de interesse emergente em matrizes aquosas por LC-IT-TOF-HRMS usando ESI.

Cohen *et al.* (2014) buscaram melhorar a reconstrução da evolução da paisagem na planície do delta do Rio Doce, aproximando-se da interação entre processos sedimentares, dinâmica da vegetação e flutuações do nível do mar durante o Pleistoceno e Holoceno. E Lins *et al.* (2012) destacaram a existência da necessidade de monitoramento diante da crescente urbanização na sub-bacia do rio.

Considerando o pós-desastre, autores ampliaram estudos sobre a redução dos impactos gerados, como Souza Fraga *et al.* (2019), que desenvolveram metodologia para à alocação eficiente de estações de monitoramento em bacias hidrográficas. Essa abordagem demonstrou ser viável para o cálculo do balanço hídrico e pode ser aplicada de forma repetida na atualização dos mapas de águas subterrâneas da Bacia do Rio Doce. Esses mapas exercem papel decisivo ao orientar programas de planejamento do uso da terra, com intuito de preservar os recursos hídricos. Ademais, os mapas de recarga de água subterrânea de aquíferos não confinados têm o potencial de guiar o planejamento regional do uso da terra e água, contribuindo assim para a proteção dos recursos hídricos subterrâneos na Bacia do Rio Doce.

De Oliveira Serrano *et al.* (2020) abordaram a correlação entre qualidade e quantidade de água nas sub-bacias Piracicaba e Piranga. O estudo é importante, pois sua metodologia pode ser usada por órgãos ambientais para identificar práticas

eficazes para minimizar e controlar a poluição em diferentes locais das bacias. Já Freire *et al.* (2019) investigaram a possibilidade de aproveitamento dos resíduos depositados para a construção civil. Amostras dessa pilha foram coletadas e caracterizadas, revelando uma composição majoritária de 80% de quartzo, 11% de hematita, 8% de goetita e 1% de argila (principalmente caulinita), além de matéria orgânica. No contexto geoquímico, Guevara *et al.* (2018) propõe Valores de referência de Qualidade do Solo na Bacia do Rio Doce após o rompimento.

No estudo de Maia *et al.* (2019) sintetizaram e estudaram as nanopartículas Cys-d-FeOOH, funcionalizadas com L-cistina, para adsorção de Hg (II), revelando uma capacidade superior (217 mg g^{-1} a pH 7) em comparação com d-FeOOH. A funcionalização ajustou o ponto de carga zero, melhorando a adsorção de mercúrio próximo ao pH neutro. Os filtros com essas nanopartículas demonstraram alta eficiência na purificação de água contaminada por mercúrio de um rio brasileiro, atendendo aos padrões legais.

Diferentemente, Faustino *et al.* (2019) otimizaram o processo de Flotação por Ar Dissolvido (DAF) para tratar limos de minério de ferro, alcançando reduções significativas na turbidez (90% a 99,6%) por meio de eficientes coagulações, floculação e flotação. No entanto, parte dos flocos sedimentou, sugerindo a influência de processos de sedimentação além da flotação.

Além das observações elencadas, foi possível construir uma nuvem de palavras-chave em que é possível ver o destaque ao “desastre de Mariana”, “impactos ambientais”, “poluição da água”, “gestão de resíduos de mineração” e “avaliação de riscos à saúde” (Figura 4).

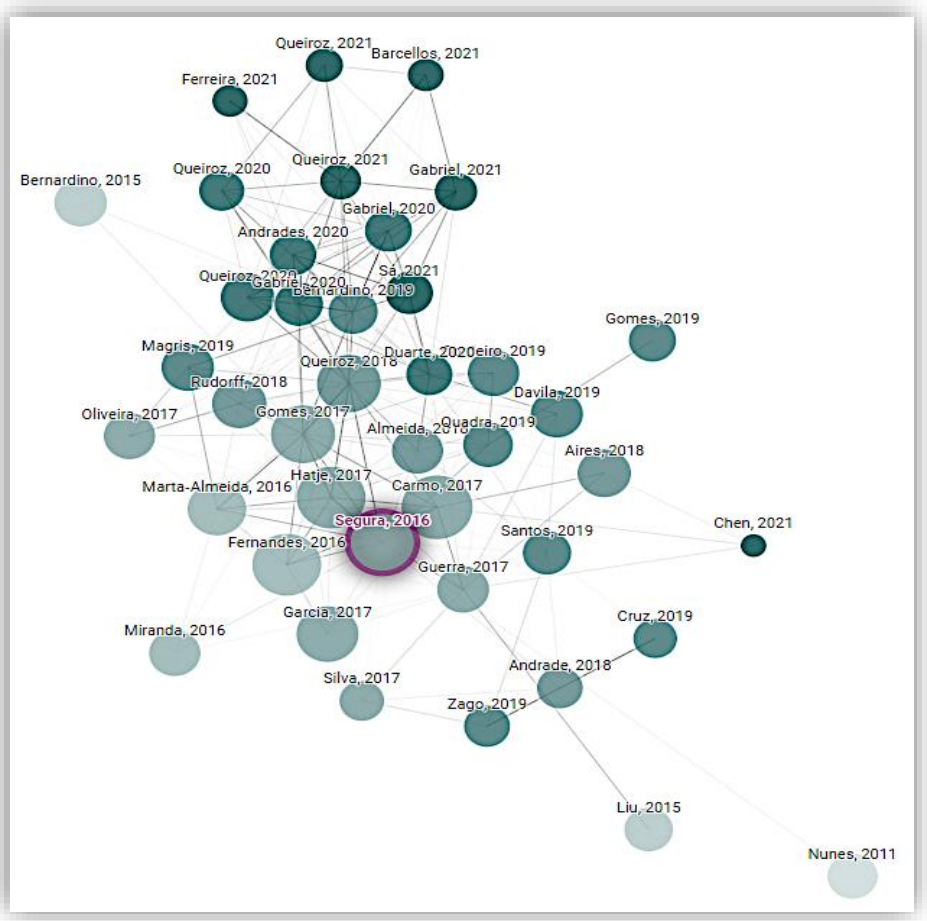
Figura 4 - Nuvem de palavras elaborada com as palavras-chave utilizadas nos 62 artigos selecionados



Fonte: Autores (2023).

Também, ao buscar elucidar as interconexões associadas ao artigo de Segura *et al.* (2016), estudo essa como maior pontuação apurada, foi possível visualização e compreensão das diversas interações entre estudos, fornecendo uma base sólida para a análise crítica do panorama acadêmico sobre o tema em foco. A abordagem colaborativa e interdisciplinar promovida pela ferramenta *Connected Papers* ressalta a importância de uma análise para avançar no conhecimento científico e proporcionar ideias valiosas para futuras investigações (Figura 5).

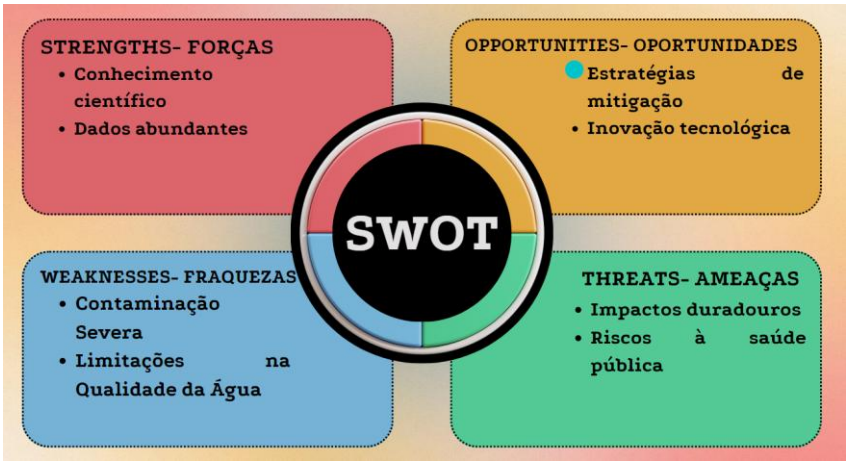
Figura 5 - Rede de conexões dos artigos acadêmicos relacionados ao tema



Fonte: Autores (2023). Utilizando a ferramenta Connected Papers.

Por fim, foi possível elaborar uma matriz SWOT, onde destaca-se as forças, fraquezas, oportunidades e ameaças dos aspectos físico-químicos, antes e após o rompimento da barragem de Fundão na Bacia do Rio Doce (Figura 6). Sendo que cada um dos tópicos que compõem a análise SWOT são discutidos na Tabela 3.

Figura 6 - Matriz SWOT elaborada a partir da análise dos 62 artigos interligados ao tema do trabalho



Fonte: Autores (2023)

Tabela 3 - Discursão sobre os tópicos: Força; Fraqueza; Oportunidades; e Ameaças

Conhecimento científico	A presença de diversos estudos (Dias *et al.*, Carvalho *et al.*, Segura *et al. e* Ferreira *et al.*) fornecem base sólida de conhecimento sobre a contaminação por metais pesados na Bacia do Rio Doce
Dados abundantes	Estudos, (Costa *et al.*, Foesch *et al.* e Gabriel *et al.),* fornecem dados detalhados sobre os impactos na qualidade da água, saúde pública e ecossistemas aquáticos
Contaminação severa	A presença alarmante de metais pesados representa uma séria ameaça para a fauna aquática e a saúde humana, indicando uma situação preocupante e de difícil reversão
Limitações na qualidade da água	Dondoni *et al.* (Pré desastre), indicaram que a água era "boa" para consumo humano, mas análises Pós rompimento apontaram aumentos significativos em vários parâmetros, indicando degradação substancial de sua qualidade
Estratégias de mitigação	Estudos (Quaresma *et al.*, Souza Fraga *et al.*, Oliveira Serrano *et al.* e Freire *et al.* contribuem com oportunidades para o desenvolvimento de estratégias eficazes de mitigação e recuperação ambiental
Inovação tecnológica	Pesquisas sobre nanopartículas (Maia *et al.*) e processos de tratamento da água (Faustino *et al.*) oportunizam sugestões voltadas para o desenvolvimento de tecnologias inovadoras na gestão ambiental
Impactos duradouros	O presente estudo constatou que os impactos ambientais podem persistir por décadas, representando ameaça contínua à fauna e flora locais, demandando ações imediatas e de longo prazo
Riscos à saúde pública	A conexão entre a qualidade da água e riscos à saúde, (Gabriel *et al.*), indica ameaças significativas à saúde das comunidades afetadas

Fonte: Autores (2023).

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise bibliométrica dos estudos sobre os impactos do rompimento da barragem de Fundão na Bacia do Rio Doce, possibilitou extrair considerações cruciais acerca da gravidade e complexidade desse desastre ambiental. As conclusões derivadas dessas pesquisas, embora variadas em abordagem e enfoque, convergiram

para um quadro alarmante de degradação ambiental e riscos à saúde pública na região afetada.

Os estudos destacaram, de maneira consistente, os efeitos da presença de metais pesados na água, sedimentos e organismos aquáticos. Elementos como alumínio, cádmio, chumbo, cobre, cromo, ferro, manganês, mercúrio, níquel e zinco foram identificados em concentrações elevadas, apresentando preocupações com possíveis riscos à fauna aquática e à saúde humana. A bioacumulação desses metais em peixes ao longo da Bacia do Rio Doce ressalta preocupações significativas em relação à segurança alimentar.

A análise abrangente também revelou que os impactos do desastre vão além da contaminação direta. Mudanças nos padrões de floculação de sedimentos, alterações na composição e liquidação dos sedimentos, assim como os efeitos na qualidade da água, evidenciam impactos significativos nos processos sedimentares e hidrológicos. Além disso, a contaminação de plantas aquáticas e os riscos associados à cadeia alimentar sublinham a complexidade das ramificações ambientais.

É crucial notar que, mesmo antes do desastre, a região já apresentava níveis preocupantes de alguns metais em solos e sedimentos, indicando influências antropogênicas prévias. Portanto, o rompimento da barragem pode ter intensificado uma situação já delicada como os riscos à saúde e ao meio ambiente.

Alguns dos estudos empregaram sensoriamento propiciando valiosas contribuições para a compreensão da extensão geográfica dos impactos, destacando a eficácia dessa abordagem no monitoramento após o desastre. Além disso, as análises sobre o comportamento espectral da água, juntamente com simulações de transformações de compostos químicos, forneceram *insights* fundamentais para avaliar os desdobramentos ao longo do tempo.

Ao considerar as conclusões sobre a qualidade da água, os estudos indicaram que, embora a água do Rio Doce antes do acidente tenha mantido uma classificação geral de “boa”, há espaço para melhorias. A aplicação de índices de qualidade da água e análises específicas de parâmetros inorgânicos após o desastre destacaram a necessidade contínua de monitoramento e aprimoramento da gestão hídrica na região.

Além de evidenciar tendências e lacunas da produção científica, os resultados sistematizados podem subsidiar estratégias de monitoramento e gestão ambiental, contribuindo para a definição de prioridades de acompanhamento e para processos

de tomada de decisão relacionados à recuperação e conservação da Bacia do Rio Doce.

Em termos de estratégias de mitigação, estudos recentes sugerem abordagens promissoras, como a utilização de nanopartículas para adsorção de mercúrio, otimização de processos de tratamento de água e propostas para a utilização eficiente de resíduos depositados. No entanto, a implementação prática dessas estratégias e o acompanhamento contínuo de sua eficácia são imperativos para reverter, ao menos parcialmente, os danos causados.

Diante do exposto, os desdobramentos do rompimento da barragem de Fundão na Bacia do Rio Doce transcendem os limites geográficos e temporais do evento. A integração de diversas disciplinas e abordagens metodológicas nos estudos destaca a necessidade premente de uma resposta multidisciplinar para lidar com os impactos ambientais e sociais de tamanha magnitude. A continuidade da pesquisa e a implementação de medidas eficazes de mitigação são cruciais para promover a recuperação sustentável da região afetada.

4 REFERÊNCIAS

ALBINO, J.; SUGUIO, K. Sedimentation processes and beach morphodynamics active at the Doce River mouth, Espírito Santo State, Brazil. **Anais Da Academia Brasileira de Ciencias,** v. 82, n. 4, p. 1031-1044, 2010. DOI: https://doi.org/10.1590/S0001-37652010000400023.

ALMEIDA, C. A. *et al.* Characterization and evaluation of sorption potential of the iron mine waste after Samarco dam disaster in Doce River basin - Brazil. **Chemosphere,** v. 209, 2018. DOI: https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.06.071.

BITTENCOURT, A. C. S. P. *et al.* Past and current sediment dispersion pattern estimates through numerical modeling of wave climate: An example of the Holocene delta of the Doce River, Espírito Santo, Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 79, n. 2, p. 333-341, 2007. DOI: https://doi.org/10.1590/S0001-37652007000200014.

BOTTINO, F. *et al.* Influence of the residue from an iron mining dam in the growth of two macrophyte species. **Chemosphere**, v. 186, 2017. DOI: https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.08.030.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e

padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. *Diário Oficial da União*: seção 1, Brasília, DF, n. 53, p. 58-63, 18 mar. 2005.

CARMO, R. F. *et al.* Radiometric signature as an indicator of radiological pollution on Rio Doce after the disaster in tailings dam. **Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry**, v. 323, n. 2, p. 741-747, 2020. DOI: https://doi.org/10.1007/s10967-019-07009-3.

CARVALHO, G. O. *et al.* Metals and arsenic in water supply for riverine communities affected by the largest environmental disaster in Brazil: The dam collapse on Doce river. **Orbital,** v. 10, n. 4 Special Issue, p. 299-307, 2018. DOI: https://doi.org/10.17807/orbital.v10i4.1081.

CBH-DOCE - Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Doce. **A Bacia**. 2016. Disponível em: http://www.cbhdoce.org.br/institucional/a-bacia. Acesso em: 21 out. 2023.

CÉSAR, P. S. M.; CARNEIRO, R. A gestão ambiental em Minas Gerais e o rompimento da barragem de rejeitos do Fundão em Mariana/MG. **Revista do Direito Público**, v. 13, n. 2, p. 230-266, 2018. DOI: https://doi.org/10.5433/1980-511X.2018v13n2p230.

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Qualidade das Águas Interiores no Estado de São Paulo**, 2016. Disponível em: http://31ornal.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/12/2013/11/Cetesb_QualidadeAguasInteriores_2017_02-06_VF.pdfhttp://32ornal.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/12/2013/11/Cetesb_QualidadeAguasInteriores_2017_02-06. Acesso em: 22 set. 2023.

CHEREM, L. F. S. *et al.* Long-term evolution of denudational escarpments in southeastern Brazil. **Geomorphology,** v. 173-174, p. 118-127, 2012. DOI: https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2012.06.002.

CONNECTED PAPERS. Disponível em: https://www.connectedpapers.com/main/2e0a49bfc71f60524e610867d0ac3d0c3095af8b/graph?utm_source=share_popup&utm_medium=copy_link&utm_campaign=share_graph. Acesso em: 15 de nov. de 2023.

COELHO, D. G. *et al.* Evaluation of metals in soil and tissues of economic-interest plants grown in sites affected by the Fundão Dam failure in Mariana, Brazil. **Integrated Environmental Assessment and Management**, 2020. DOI: https://doi.org/10.1002/ieam.4253.

Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES). Coleta QUALIS. **Lista Consulta Geral de Periódicos.** Disponível em: https://sucupira.capes.gov.br/sucupira/public/consultas/coleta/veiculoPublicacaoQualis/listaConsultaGeralPeriodicos.jsf. Acesso em: 26 out. 2023.

COSTA, A. S. V.; VASCONCELLOS, C. D. O.; BRAVIN, T. C. Análise das alterações dos parâmetros de qualidade da água do Rio Do Carmo, afluente do Rio Doce, após

rompimento da barragem de Fundão, em Mariana-MG. **Holos**, v. 18, n. 2, p. 160-176, 2018. DOI: https://doi.org/10.14295/holos.v18i2.12280.

CUPOLILLO, F.; ABREU, M. L. De.; VIANELLO, R. L. Climatologia da Bacia do Rio Doce e sua Relação com a Topografia Local. **Geografias**, v. 4, n. 1, p. 45-60, 2008. Disponível em: http://www.cantacantos.com.br/revista/index.php/geografias/article/view/71/0\. Acesso em: 17 de out. de 2023.

DIAS, C. A. *et al.* Impactos do rompimento da barragem de Mariana na qualidade da água do Rio Doce. **Revista Espinhaço**, v. 7, n. 1, p. 21-35, 2018. Disponível em: http://www.revistaespinhaco.com/index.php/33ornal/article/view/203\. Acesso em: 14 de out. de 2023.

D'AGOSTINI, D. P. *et al.* Morphology and sedimentology of the shelf-upper slope transition in the Abrolhos continental shelf (east Brazilian margin). **Geo-Marine Letters**, v. 39, n. 2, p. 117-134, 2019. DOI: https://doi.org/10.1007/s00367-019-00562-6.

DONDONI, E.; LIMA, G. B. Avaliação da qualidade da água do Rio Doce para fins de abastecimento humano por meio do IQA na cidade de Colatina – ES. **UNESC em Revista,** v. 2, n. 2, p. 1-17, 2019. Disponível em: http://revista.unesc.br/ojs/index.php/revistaunesc/article/view/100\. Acesso em: 22 de out. de 2023.http://revista.unesc.br/ojs/index.php/revistaunesc/article/view/100/

DUARTE, A. P. **Classificação das barragens de contenção de rejeitos de mineração e de resíduos industriais no estado de Minas Gerais em relação ao potencial de risco**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Minas Gerais, 2008. 130p. Defendida em 22 de ago. de 2008. Disponível em: https://repositorio.ufmg.br/items/681cf8e0-505a-4dcc-be8f-63218312e47e. Acesso em: 2 de jun. de 2026.

ELESBON, A. A. A. *et al.* Proposta metodológica para projeto de redes hidrométricas: Parte II - Exclusão, rearranjo e inclusão de estações. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 10, p. 1023-1030, 2014. DOI: https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v18n10p1023-1030.

ESPINDOLA, H. S.; FERREIRA, N. M.; MIFARREG, I. E. G. Território da mineração: uma contribuição teórica. **Revista Brasileira de Geografia**, v. 62, n. 2, p. 67-93, 2017. Disponível em: https://rbg.ibge.gov.br/index.php/rbg/article/view/132\. Acesso em: 20 set. 2023.

FAGUNDES, H. de O.; FAN, F. M.; PAIVA, R. C. D. Automatic calibration of a large-scale sediment model using suspended sediment concentration, water quality, and remote sensing data. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 24, p. 1-18, 2019. DOI: https://doi.org/10.1590/2318-0331.241920180127.

FERNANDES, D. R. Uma visão sobre a análise da matriz SWOT como ferramenta para elaboração da estratégia. **UNOPAR Científica Ciências Jurídicas e Empresariais**, v. 13, n. 2, p. 57-68, 2012. DOI: https://doi.org/10.17921/2448-2129.2012v13n2p%25p.

FAN, F. M.; SCHWANENBERG, D.; COLLISCHONN, W.; WEERTS, A. Verification of inflow into hydropower reservoirs using ensemble forecasts of the TIGGE database for large scale basins in Brazil. **Journal of Hydrology:** Regional Studies, v. 4, p. 196-227, 2015. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2015.05.012.

FAUSTINO, L. M. *et al.* Removal of iron ore slimes from a highly turbid water by DAF. **Environmental Technology**, v. 40, n. 26, p. 3444-3455, 2019. DOI: https://doi.org/10.1080/09593330.2018.1477840.

FERREIRA, F. F. *et al.* Impacts of the Samarco tailing dam collapse on metals and arsenic concentration in freshwater fish muscle from Doce River, southeastern Brazil. **Integrated Environmental Assessment and Management**, 2020. DOI: https://doi.org/10.1002/ieam.4289.

FOESCH, M. D. S. *et al.* River Water Contamination Resulting from the Mariana Disaster, Brazil. **Floresta e Ambiente**, v. 27, n. 4, p. 1-10, 2020. DOI: https://doi.org/10.1590/2179-8087.013218.

FONGARO, G. *et al.* Mineral Waste Containing High Levels of Iron from an Environmental Disaster (Bento Rodrigues, Mariana, Brazil) is Associated with Higher Titers of Enteric Viruses. **Food and Environmental Virology**, v. 11, p. 178-183, 2019. DOI: https://doi.org/10.1007/s12560-019-09373-5.

FORTUNATO, T. C. da S. *et al.* Behavior simulation of nitrogen compounds in rivers with uncertainty analysis. **Revista Ambiente e Água**, v. 15, n. 3, p. 1-15, 2020. DOI: https://doi.org/10.4136/1980-993X.

FRANCINI-FILHO, R. B. *et al.* Remote sensing, isotopic composition and metagenomics analyses revealed Doce River ore plume reached the southern Abrolhos Bank Reefs. **Science of the Total Environment**, v. 697, 2019. DOI: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134038.

FREIRE, C. B. *et al.* Radioactivity assessment of the waste deposited in Candonga's lake after the Fundão dam's collapse. **Brazilian Journal of Radiation Sciences**, v. 7, n. 3, p. 1-13, 2019. DOI: https://doi.org/10.15392/bjrs.v7i3.850.

FREITAS, C. M. de.; SILVA, M. A. da.; MENEZES, F. C. de. O desastre na barragem de mineração da Samarco – fratura exposta dos limites do Brasil na redução de risco de desastres. **Ciência e Cultura**, v. 68, n. 3, p. 25-30, 2016. DOI: https://doi.org/10.21800/2317-66602016000300010.

GABRIEL, F. A. *et al.* Ecological Risks of Metal and Metalloid Contamination in the Rio Doce Estuary. **Integrated Environmental Assessment and Management**, n. 00. p. 1-6. 2020. DOI: https://doi.org/10.1002/ieam.4250.

GUERRA, M. B. B. *et al.* Post-catastrophe Analysis of the Fundão Tailings Dam failure in the Doce River system, Southeast Brazil: potentially toxic elements in affected soils. ***Water Air Soil Pollut****,* v. 228, n. 252, 2017. DOI: https://doi.org/10.1007/s11270-017-3430-5.

GUEVARA, Y. Z. C. *et al.* Reference values of soil quality for the Rio Doce Basin. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 42, p. 1-16, 2018. DOI: https://doi.org/10.1590/18069657rbcs20170231.

GIL, A. P.; BRITO, J. F. G.; COELHO, A. L. N. Contribuições geomorfológicas para o planejamento de áreas suscetíveis a inundação - Baixo curso do Rio Doce, Linhares - ES. **Revista Geonorte**, v. 10, n. 10, p. 192-198, 2014. Disponível em: https://www.sinageo.org.br/2014/trabalhos/9/9-340-1333.html. Acesso em: 30 de set. de 2023.

GRILO, C. F. *et al.* Changes in flocculation patterns of cohesive sediments after an iron ore mining dam failure. **Marine Geology**, v. 400, p. 1-11, 2018. DOI: https://doi.org/10.1016/j.margeo.2018.03.004.

IBAMA. **Laudo Técnico Preliminar**. 2015. Disponível em: https://am37.files.wordpress.com/2016/01/laudo-preliminar-do-ibama-sobre-mariana.pdf. Acesso em: 12 set. 2023.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS (IGAM). Índice de Qualidade das Águas – IQA. Belo Horizonte: IGAM, 2012. Disponível em: https://igam.mg.gov.br/w/indice-de-qualidade-das-aguas-iqa. Acesso em: 17 set. 2026.

JANKOWSKY, M. *et al.* Peixes e pesca na Bacia do Rio Doce, uma análise bibliométrica. **Brazilian Journal of Production Engineering**, Edição Especial, p. 1-27, 2021. DOI: https://doi.org/10.47456/bjpe.v6i8.33769.

JESUS, E. T. de. *et al.* Meteorological and hydrological drought from 1987 to 2017 in Doce River Basin, Southeastern Brazil. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 25, p. 1-10, 2020. DOI: https://doi.org/10.1590/2318-0331.252020190181.

LACAZ, F. A. C.; PORTO, M. F. S.; PINHEIRO, T. M. M. Tragédias brasileiras contemporâneas: o caso do rompimento da barragem de rejeitos de Fundão/Samarco. **Revista Brasileira de Saúde Ocupacional**, v. 42, n. 9, p. 1-12, 2017. DOI: https://doi.org/10.1590/2317-6369000016016.

LEMOS, L. M. P. Nuvem de tags como ferramenta de análise de conteúdo: uma experiência com as cenas estendidas da telenovela Passione na internet. **Lumina,** v. 10, n. 1, p. 1-18, 2016. DOI: https://doi.org/10.34019/1981-4070.2016.v10.21192.

LINS, R. *et al.* Integração de um Modelo Hidrológico a um SIG para Avaliação da Qualidade da Água na Bacia do Rio Doce. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 17, n. 4, p. 171-181, 2012. DOI: https://doi.org/10.21168/rbrh.v17n4.p171-181.

LOUZADA, F. L. R. D. O.; XAVIER, A. C.; PEZZOPANE, J. E. M. Climatological water balance with data estimated by tropical rainfall measuring mission for the Doce River Basin. **Engenharia Agricola**, v. 38, n. 3, p. 376-386, 2018. DOI: https://doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v38n3p376-386/2018.

MAIA, L. F. O. *et al.* Simple synthesis and characterization of L-Cystine functionalized d-FeOOH for highly efficient Hg(II) removal from contaminated water

and mining waste. **Europe PMC**, v. 215, p. 422-431, 2019. DOI: https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.10.072.

MATOS, M. E. N.; ALMEIDA, M. R. R. Gerenciamento de risco no licenciamento ambiental: o caso do rompimento da barragem de Fundão. **Revista de Gestão Social e Ambiental**, [S.l.], v. 9, n. 4, p. 442-463, 2020. DOI: https://doi.org/10.19177/rgsa.v9e42020442-463.

MELLO, C. R. de *et al.* Distribuição espacial da precipitação e da erosividade da chuva mensal e anual no estado do Espírito Santo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 1878-1891, 2012. DOI: https://doi.org/10.1590/S0100-06832012000600022.

OLIVEIRA, K. S. S.; QUARESMA, V. da S. Temporal variability in the suspended sediment load and streamflow of the Doce River. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 78, p. 101-115, 2017. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jsames.2017.06.009.

OLIVEIRA SERRANO, L. *et al.* A new approach to use load duration curves to evaluate water quality: a study in the Doce River Basin, Brazil. **Water** (Switzerland), v. 12, n. 3, p. 1-21, 2020. DOI: https://doi.org/10.3390/w12030811.

PALU, M. C.; JULIEN, P. Y. Modeling the Sediment Load of the Doce River after the Fundão Tailings Dam Collapse, Brazil. **Journal of Hydraulic Engineering**, v. 145, n. 5, 2019. DOI: https://doi.org/10.1061/(ASCE)HY.1943-7900.0001582.

PFLUG, R. Quaternary lakes of eastern Brazil**. Photogrammetria**, v. 24, n. 1, p. 29-35, 1969. DOI: https://doi.org/10.1016/0031-8663(69)90029-5.

PORTO, M. F. S. A tragédia da mineração e do desenvolvimento no Brasil: desafio para a saúde coletiva. **Cad. Saúde Pública**, v. 32, n. 2, p. 1-3, 2016. [Online]. DOI: https://doi.org/10.1590/0102-311X00211015.

QUARESMA, V. S. *et al.* The effects of a tailing dam failure on the sedimentation of the eastern Brazilian inner shelf. **Continental Shelf Research**, v. 205, p. 104172, 2020. DOI: https://doi.org/10.1016/j.csr.2020.104172.

QUEIROZ, H. M. *et al.* The Samarco mine tailing disaster: A possible time-bomb for heavy metals contamination? **Science of The Total Environment**, v. 637-638, p. 498-506, 2018. DOI: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.04.370.

REIS, D. A. *et al.* Influence of environmental and anthropogenic factors at the bottom sediments in a Doce River tributary in Brazil. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 24, n. 8, p. 7456-7467, 2017. DOI: https://doi.org/10.1007/s11356-017-8443-5.

REIS, D. A. *et al.* Geochemical evaluation of bottom sediments affected by historic mining and the rupture of the Fundão dam, Brazil. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 27, p. 4365-4375, 2020. DOI: https://doi.org/10.1007/s11356-019-07119-1.

RODRIGUES, K. L. T. *et al.* Chemometric approach to optimize the operational parameters of ESI for the determination of contaminants of emerging concern in aqueous matrices by LC-IT-TOF-HRMS. **Microchemical Journal**, v. 117, p. 242-249, 2014. DOI: https://doi.org/10.1016/j.microc.2014.06.017.

ROSSETTI, D. de F. *et al.* Late Pleistocene-Holocene evolution of the Doce River delta, southeastern Brazil: implications for the understanding of wave-influenced deltas. **Marine Geology**, v. 367, p. 171-190, 2015. DOI: https://doi.org/10.1016/j.margeo.2015.05.012.

RUDORFF, N. *et al.* Remote sensing monitoring of the impact of a major mining wastewater disaster on the turbidity of the Doce River plume off the eastern Brazilian coast. ISPRS **Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 145, p. 349-361, 2018. DOI: https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2018.02.013.

SANTOLIN, C. V. A. *et al.* Distribution and environmental impact evaluation of metals in sediments from the Doce River Basin, Brazil. **Environmental Earth Sciences**, v. 74, n. 2, p. 1235-1248, 2015. DOI: https://doi.org/10.1007/s12665-015-4115-2.

SANTOS, R. C. L. *et al.* Ligação de índices para avaliação de qualidade da água da Bacia Costeira do Sapucaia em Sergipe. **Eng Saint Ambient**, v. 23, n. 1, p. 33-46, 2018. DOI: https://doi.org/10.1590/S1413-41522017159832.

SILVA, C. V. V. *et al.* Physical-chemical monitoring of the Linhares (ES) and São Mateus (ES) aquatic ecosystem after the breaking of the Fundão Dam, Mariana, Minas Gerais. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 9, n. 5, p. 1-11, 2018. DOI: https://doi.org/10.6008/cbpc2179-6858.2018.005.0001.

SOUZA, E. *et al.* Pedotransfer functions to estimate bulk density from soil properties and. **Scientia Agricola,** v. 73, n. 6, p. 525-534, 2016. DOI: https://doi.org/10.1590/0103-9016-2015-0485.

SOUZA FRAGA, M. *et al.* Methodological proposal for the allocation of water quality monitoring stations using strategic decision analysis. **Environmental Monitoring and Assessment,** v. 191, n. 12, 2019. DOI: https://doi.org/10.1007/s10661-019-7974-2.

SOKOLOSKI, L. J. F. *et al.* Estudo da vulnerabilidade natural da sub-bacia do Rio Piracicaba/MG utilizando Sistemas de Informações Geográficas (SIG). **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais,** v. 10, n. 2, p. 211-222, 2019. DOI: https://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2019.002.0018.

SYLVIO, A. *et al.* Análise das alterações dos parâmetros de qualidade da água do Rio Do Carmo, afluente do Rio doce, após rompimento da barragem de fundão, em Mariana-MG. **Holos Environment**, v. 18, n. 2, p. 160-176, 2018. DOI: https://doi.org/10.14295/holos.v18i2.12280.

TEIXEIRA, M. C. *et al.* (2020). Arsenic contamination assessment in Brazil - Past, present and future concerns: A historical and critical review. **Science of the Total Environment**, 730, 138217. DOI: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138217.

TEIXEIRA, R. O. S. A lama e suas marcas: neoextrativismo e seus efeitos em um contexto de desastre. **Revista Perfiles Económicos**, n. 5, 77-103. DOI: https://doi.org/10.22370/rpe.2018.5.1237.2018.

THEBIT-ALMEIDA, L.; BERNARDES-SILVA, F.; SOUZA-FRA-, M. DE; BALIEIRO-RIBEIRO, R.; ALVES-RAMOS, M. C. Análise do comportamento espectral da água do Rio Doce Brasil, mediante o rompimento da barragem de sedimentos da empresa SAMARCO. 2019. **Tecnología En Marcha**, n. 32, 36-42. DOI: https://doi.org/10.18845/tm.v32i7.4257.

VALERIANO, C. de M. *et al.* Sm–Nd and Sr isotope fingerprinting of iron mining tailing deposits spilled from the failed SAMARCO Fundão dam 2015 accident at Mariana, SE-Brazil. **Applied Geochemistry**, n. 106(April), 34-44, 2019. DOI: https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2019.04.

VIEGAS, F. B.; WATTENBERG, M; FEINBERG, J. Participatory visualization with wordle. ***EEE Transactions on Visualization and Computer Graphics***, v. 15, n. 6, p. 1137-1144, 2009. DOI: https://doi.org/10.1109/TVCG.2009.171.

VITÓRIA, F. C. da. *et al.* Desastre ambiental da barragem de Fundão, Mariana, MG - Análise de impactos socioambientais. **Revista Internacional de Ciências**, v. 9, n. 3, 2019. DOI: https://doi.org/10.12957/ric.2019.40296

Biografia do(s) autor(es)

Andréia Santos dos Anjos
Graduada em Engenharia Química pelo Centro Universitário Norte do Espírito Santo (CEUNES), São Mateus, campus da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES).

Raphaela Martins de Carvalho
Graduada em Ciências Biológicas (Licenciatura e Bacharelado) pela Universidade de São Paulo (USP), especialista em Gerenciamento Ambiental pela ESALQ/USP e Mestra em Ciências pelo Programa de Pós-Graduação em Sustentabilidade da USP, com concentração em Gestão Ambiental. Possui experiência em licenciamento ambiental, avaliação de impactos ambientais, sustentabilidade e educação ambiental. Atua na área de gestão ambiental, com experiência na análise de estudos ambientais e licenciamento de empreendimentos de infraestrutura.

Vanielle Aparecida do Patrocinio Gomes
Engenheira de Produção e Mestra em Energia pela Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), com especializações em Direito Público com Ênfase em Gestão Pública e em Geração e Uso de Energia. Doutoranda em Engenharia pelo Programa de Pós-Graduação em Energia da UFES. Possui experiência em gestão de projetos, caracterização socioeconômica e ambiental, análise multicritério (AHP), atividade pesqueira e eficiência energética. Desenvolve pesquisas relacionadas à valorização energética de resíduos, processos termoquímicos e pirólise catalítica de biomassa.

Mayra Jankowsky
Graduada em Ciências Biológicas, Mestra e Doutora em Ecologia e Recursos Naturais pela Universidade Federal de São Carlos (UFSCar). Realizou pesquisas de pós-doutorado no

Instituto de Pesca e na Universidade NOVA de Lisboa. Pesquisadora vinculada ao Instituto de Pesca de São Paulo, com atuação em sistemas socioecológicos costeiros, pesca artesanal, ecologia humana, vulnerabilidade socioambiental, justiça ambiental e governança de recursos naturais. Desenvolve estudos sobre comunidades pesqueiras, conflitos socioambientais e gestão participativa dos recursos pesqueiros.

Rodrigo Randow de Freitas
Graduado em Administração de Empresas, especialista em Educação e Gestão Ambiental, Mestre em Aquacultura pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) e Doutor em Aquacultura pela Universidade Federal do Rio Grande (FURG). Realizou pós-doutorado na Universidade Federal do Espírito Santo (UFES). É Professor do curso de Engenharia de Produção da UFES, campus São Mateus. Possui experiência em gestão ambiental, gerenciamento costeiro, análise de cadeias produtivas, gestão de processos e produtos e planejamento estratégico.



Artigo recebido em: 08/02/2024 e aceito para publicação em: 27/10/2026
DOI: https://doi.org/10.14488/1676-1901.v26i4.5163