

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO**  
**INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E BIOLÓGICAS**  
**DEPARTAMENTO DE BIODIVERSIDADE, EVOLUÇÃO E MEIO AMBIENTE**

Isadora Alvarenga de Andrade

**IMPACTO DO REJEITO DE MINERAÇÃO NO RECRUTAMENTO DO  
ZOOPLÂNCTON E A IMPORTÂNCIA DA DIVULGAÇÃO CIENTÍFICA: o caso do  
rompimento da barragem de Fundão (Brasil)**

Ouro Preto - MG

2024

Isadora Alvarenga de Andrade

**IMPACTO DO REJEITO DE MINERAÇÃO NO RECRUTAMENTO DO  
ZOOPLÂNCTON E A IMPORTÂNCIA DA DIVULGAÇÃO CIENTÍFICA: o caso do  
rompimento da barragem de Fundão (Brasil)**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Biodiversidade, Evolução e Meio Ambiente do Instituto de Ciências Exatas e Biológicas da Universidade Federal de Ouro Preto, como parte dos requisitos para a obtenção do grau de Licenciatura em Ciências Biológicas.

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Eneida Maria Eskinazi Sant Anna

Coorientadora: Dr.<sup>a</sup> Leidiane Pereira Diniz

Área de concentração: Ensino de Ciências

Ouro Preto - MG

2024

## SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

A553i Andrade, Isadora Alvarenga de.

Impacto do rejeito de mineração no recrutamento do zooplâncton e a importância da divulgação científica [manuscrito]: o caso do rompimento da barragem de Fundão (Brasil). / Isadora Alvarenga de Andrade. - 2024. 37 f.: il.: color., gráf., mapa.

Orientadora: Profa. Eneida Maria Eskinazi Sant Anna.

Coorientadora: Dra. Leidiane Pereira Diniz.

Monografia (Licenciatura). Universidade Federal de Ouro Preto. Instituto de Ciências Exatas e Biológicas. Graduação em Ciências Biológicas .

1. Educação Ambiental. 2. Minas Gerais. 3. Indicadores Biológicos. 4. Zooplâncton. I. Sant Anna, Eneida Maria Eskinazi. II. Diniz, Leidiane Pereira. III. Universidade Federal de Ouro Preto. IV. Título.

CDU 502:37

Bibliotecário(a) Responsável: Renata Mara de Almeida - CRB-7 / 6328



## FOLHA DE APROVAÇÃO

**Isadora Alvarenga de Andrade**

### **Impacto do rejeito de mineração no recrutamento do zooplâncton e a importância da divulgação científica: o caso do rompimento da barragem de Fundão (Brasil)**

Monografia apresentada ao Curso de Licenciatura em Ciências Biológicas da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Licenciatura em Ciências Biológicas

Aprovada em 20 de fevereiro de 2024

#### Membros da banca

Dra Eneida Eskinazi Sant'Anna - Orientadora - (Universidade Federal de Ouro Preto)  
Dra Cristina de Oliveira Maia - (Universidade Federal de Ouro Preto)  
Dra Bianca Ramos Meira - (Universidade Federal de Ouro Preto)  
Dra Leidiane Pereira Diniz - (Universidade Federal de Ouro Preto)

Eneida Eskinazi Sant'Anna, orientador do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 20/01/2026



Documento assinado eletronicamente por **Eneida Maria Eskinazi Sant'anna, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 20/01/2026, às 13:46, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [http://sei.ufop.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **1044163** e o código CRC **CB13443E**.

## Agradecimentos

Chega ao fim de mais um ciclo, que não foi fácil e com muitos obstáculos, mas agradeço por ter tido saúde e forças para chegar até aqui, sem dúvida nunca estive sozinha.

Agradeço a UFOP pelo ensino gratuito, de qualidade e por todo suporte durante esses anos de graduação. Ao ICEB, a todos os funcionários e servidores que fazem parte da universidade.

Meu agradecimento especial ao LAECO, que tanto me ensinou e me trouxe uma nova paixão dentro da biologia. À todos(as) que fazem e fizeram parte: Edissa, Bia, Raquel, Lucas, Bruna, Yasmin, Eduarda, Larissa e Valéria. Eneida, mãezona científica, obrigada por toda força e ensinamentos. À Leidi, muito obrigada por toda paciência e sempre ter acreditado em mim, sua ajuda fez toda diferença para que eu conseguisse concluir essa etapa.

Aos professores(as) que ensinam para além da vida acadêmica e são inspirações como profissionais, em especial Cristina, Fábio, Maria Rita, Talvani e Wanderson.

Aos colegas de curso que de alguma forma estiveram comigo nesse processo, em especial Rennan, Lucas Ayres, João Victor, Paulo Vitor e toda a turma do 19.2.

Aos amigos de Ouro Preto que me acompanharam desde o início, em especial Pri, Alice, Juh, Clara, Loreena e Harlem.

Agradeço imensamente à minha família, que foi amparo e fizeram toda diferença para que eu chegasse até aqui. Meu pai Jeferson (*in memorian*) que foi em vida a pessoa que mais me incentivou a entrar na faculdade e eu sei que de onde estiver ainda é minha força para seguir aqui. Minha mãe Solange, que nunca deixou de me apoiar e sempre teve palavras sábias para me passar. Minha irmã Isabela, que é meu apoio e sempre esteve ao meu lado. À tias Aline e Flávia e aos primos, que mesmo à distância se fizeram presentes. À Frida (*in memorian*) e Amora, anjos de 4 patas, que são sinônimos de amor puro.

Essa conquista também é de vocês!

## Resumo

Alguns estudos têm indicado o uso de textos de divulgação científica como complementares aos materiais convencionais que abordam a inserção da educação ambiental de maneira transversal nas escolas, destacando sua relevância para promover mudanças de comportamento e atitudes em relação aos problemas ambientais. A temática dos impactos ambientais com ênfase na mineração apresenta a complexidade e interdisciplinaridade envolvidas nessa temática. O rompimento da barragem de Fundão, de propriedade da Samarco, em novembro de 2015, que resultou em prejuízos econômicos, ambientais e sociais, é um evento que transformou vidas e a paisagem na região de Mariana, com impactos difusos que são perceptíveis até os dias de hoje. A ausência de debate e maior conhecimento da população sobre os impactos da mineração evidencia um "silêncio pedagógico" nas escolas. Dessa forma, o objetivo central do trabalho propõe o uso da comunidade zooplancônica como ferramenta de divulgação científica e educação ambiental, especialmente diante dos impactos da mineração nos ecossistemas aquáticos. Para isso, o estudo foi dividido em duas partes. Inicialmente foi realizada uma revisão de literatura e, em seguida, utilizando dados de campo, coletados no Baixo Rio Doce, para verificar o investimento em reprodução de formas jovens de zooplâncton em áreas afetadas pelo rompimento da barragem de Fundão. O zooplâncton é apresentado como um bioindicador relevante da qualidade ambiental, sensível às alterações causadas por atividades antrópicas, como o rompimento de barragens de mineração. O desafio final destacado é a promoção de discussões e reflexões interdisciplinares sobre esses temas na sala de aula, visando sensibilizar os alunos e a comunidade em geral para a importância da preservação ambiental e conservação dos ecossistemas aquáticos

**Palavras-chave:** Educação Ambiental; Minas Gerais; Bioindicadores; Náuplios; Copepoditos.

## Sumário

<b>1.</b>	<b>Introdução.....</b>	<b>06</b>
<b>2.</b>	<b>Justificativa.....</b>	<b>10</b>
<b>3.</b>	<b>Objetivos.....</b>	<b>12</b>
	3.1. Objetivo Geral.....	12
	3.2. Objetivos específicos.....	12
<b>4.</b>	<b>Referencial teórico.....</b>	<b>13</b>
	4.1. Educação ambiental e divulgação científica.....	13
	4.2. Impactos da mineração nos ecossistemas aquáticos: zooplâncton como bioindicador da qualidade da água.....	15
<b>5.</b>	<b>Metodologia.....</b>	<b>20</b>
<b>6.</b>	<b>Artigo a ser submetido para Revista Ciência Hoje das Crianças.....</b>	<b>23</b>
<b>7.</b>	<b>Considerações finais.....</b>	<b>28</b>
<b>8.</b>	<b>Referências Bibliográficas.....</b>	<b>29</b>
<b>9.</b>	<b>Apêndice.....</b>	<b>36</b>

## 1. Introdução

A divulgação científica busca disseminar informações sobre ciências para um público específico ou que apresenta conhecimento superficial sobre um determinado tópico. A definição de divulgação científica proposta por BESSA (2015, p. 15) destaca que se trata do processo de tornar o conhecimento científico de domínio público. De acordo com o autor, a divulgação científica envolve a implementação de ações, estratégias e tarefas por parte de profissionais de comunicação e cientistas, visando informar a sociedade sobre os avanços e resultados provenientes da pesquisa científica. Assim, embora o foco destes textos seja a ciência, de acordo com muitos grupos de pesquisadores, por exemplo da Rede Global de Academias de Ciências (que reúne cerca de 100 academias de ciências ao redor do mundo), é preciso destacar o público-alvo e a faixa etária (KELLNER, s/d). O interesse de um adulto sobre determinados assuntos não é o mesmo de uma criança ou adolescente, por exemplo (KELLNER, s/d). Alguns preferem ler ou tem curiosidade sobre temas que estão fora da sua vivência, enquanto outros se interessam apenas com o que podem associar ao seu cotidiano. Por isso, considerando que as pessoas possuem interesses e realidades distintas, a estrutura desse material precisa ser organizada de forma clara, utilizando sempre uma linguagem acessível, para garantir a compreensão do leitor, dependendo do público-alvo (KELLNER, s/d).

Para fins de ensino, alguns estudos têm indicado o uso de textos de divulgação científica como complementares aos materiais convencionais (FERREIRA e QUEIROZ, 2012). Ainda de acordo com os autores supracitados, é fundamental que os educadores reconheçam o potencial instrucional de textos mais próximos da leitura espontânea de seus alunos do que os conteúdos dos livros didáticos. Principalmente para uso no ensino de ciências naturais, onde se espera despertar a curiosidade. Assim, é importante reconhecer o papel vital que essas ferramentas de comunicação desempenham na democratização do acesso ao conhecimento científico e na facilitação da alfabetização científica em geral (XAVIER; GONÇALVES, 2017).

A educação ambiental não é oferecida como uma disciplina separada nas escolas, pois é considerada como uma área que deve estar presente, transversalmente, em todas as disciplinas, de acordo com a Lei nº 9.795, de 27 de abril de 1999, o Parecer CNE/CP nº 14/2012 e a Resolução CNE/CP nº 2/2012, citados no texto da Base Nacional Comum



Curricular-BNCC (BRASIL, 2018). As redes de ensino e escolas têm a responsabilidade de incorporar nos programas educacionais, em todos os níveis de ensino, tópicos relacionados à preservação do meio ambiente. Segundo BRAGATO (2018), a educação/informação traz mudanças de comportamento e atitudes em relação aos problemas ambientais. A partir dela, os estudantes podem despertar a consciência para responsabilidade ambiental. A escola assume um papel crucial no tratamento das questões sociais e ambientais contemporâneas, sendo reconhecida como um espaço privilegiado para a promoção da educação ambiental (MAFFIA, 2011). Nos anos finais do Ensino Fundamental, os alunos exploram conexões mais profundas entre ciência, natureza, tecnologia e sociedade, utilizando o conhecimento científico e tecnológico para compreender o mundo e a dinâmica da natureza (BNCC, 2018). Já no Ensino Médio, a área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias abrange biologia, física e química. Nesse contexto, a interdisciplinaridade é crucial, pois as disciplinas são mais abordadas de forma isolada. Isso demonstra claramente que nenhuma área de conhecimento específica possui a autoridade exclusiva para deliberar sobre essa questão, embora diversas áreas tenham a obrigação de contribuir. Portanto, mais do que um domínio puramente interdisciplinar, a temática de educação ambiental engloba conhecimento técnico-científico, normas e valores, aspectos estético-culturais, todos regidos por razões distintas, porém não necessariamente opostas (HOFSTATTER, 2021).

Os impactos ambientais são considerados os efeitos negativos que as ações antrópicas têm sobre o meio ambiente (LIMA *et al.*, 2023). Essas ações resultam em muitos tipos de degradação ambiental, seja no ar, na água ou até na fauna e flora (LIMA *et al.*, 2023). Ao divulgar os impactos ambientais, proporciona-se à comunidade escolar, e até mesmo a população no geral, acesso a informações relevantes e atualizadas sobre as consequências das ações humanas, como desmatamento, poluição, esgotamento de recursos, prática de mineração, entre outros. A divulgação das consequências desses impactos desempenha um papel central no processo da educação, pois fornece exemplos concretos dos danos causados e seus efeitos negativos na natureza e à espécie humana. Nesse contexto, ações de educação ambiental devem ser pautadas em questões ambientais atuais e que fazem parte do dia-a-dia da população, permitindo, assim, uma correlação do conhecimento científico com preocupações ambientais imediatas (BRAGATO, 2018). Assim, a educação ambiental e a divulgação dos impactos ambientais são inseparáveis e complementares. Diante disso, torna-se necessário abordar temas relevantes à realidade contemporânea, incorporando os conhecimentos científicos essenciais e orientando a integração dos alunos na sociedade, que

visa estimular a reflexão sobre a situação ambiental, promovendo escolhas sustentáveis para reduzir os impactos ambientais (LIMA *et al.*, 2023).

Entre os impactos ambientais atuais, podemos citar a mineração, que consiste na extração de riquezas minerais do solo e das rochas, sendo um dos pilares da economia do Brasil. No entanto, essa prática pode gerar graves danos ao meio ambiente, principalmente pelo descarte incorreto de rejeitos proveniente das fases de lavra e beneficiamento (CARDOSO; PIMENTA; ZIGANO, 2016). Esses rejeitos são compostos por restos de minerais não utilizados que passaram por processos químicos e contém composições iônicas que são nocivas aos seres vivos e ao meio ambiente (CARDOSO; PIMENTA; ZIGANO, 2016). Para o descarte desse material, muitas vezes são construídas barragens de rejeitos, porém as falhas na sua manutenção podem gerar acidentes irreversíveis. Em novembro de 2015, por exemplo, ocorreu o rompimento da barragem de Fundão, localizada em Mariana-MG, considerado um dos maiores crimes ambientais do Brasil. Com o rompimento, mais de 30 milhões de m<sup>3</sup> de rejeito atingiram a bacia hidrográfica do Rio Doce (SÁNCHEZ *et al.*, 2018; HUNZICKER, 2019; CARVALHO *et al.*, 2020) e a lama percorreu cerca de 663 km ao longo dos rios Gualaxo do Norte, Carmo, chegando à foz do Rio Doce no estado do Espírito Santo (PORTO, 2016). Além de prejuízos econômicos, ambientais e sociais, o rompimento teve sérios impactos na biodiversidade aquática, causando a perda de diversos ecossistemas, além de contaminar a água, deixando-a imprópria para consumo humano (CARVALHO *et al.*, 2020). Embora o tema dos impactos da mineração tenha sido amplamente pesquisado e discutido pela comunidade científica, uma parcela significativa da população desconhece o assunto (HUNZICKER, 2019). Ainda de acordo com a autora (2019), não se pode afirmar o desconhecimento dos professores sobre as atividades minerárias, de escolas próximas a mineradoras, por exemplo de Bento Rodrigues, atingida pelo rompimento da Barragem de Fundão. Entretanto, é evidente que haja um “silêncio pedagógico” na prática escolar sobre as questões que problematizam os danos socioambientais causados (HUNZICKER, 2019).

Diante dos inúmeros impactos ambientais, atividades de monitoramento ambiental são fundamentais. Nesse contexto, a comunidade zooplancônica se destaca pois é considerada um excelente bioindicador da qualidade ambiental, por possuírem um ciclo de vida curto e uma resposta rápida aos impactos antrópicos (PAULA, 2021; SANTOS, 2023; CARDOSO, PIMENTA e ZIGANO, 2016). Além disso, são um elo fundamental entre os produtores primários e secundários (VIANNA, 2009), fornecendo importantes informações sobre a

condição ambiental em termos de organização trófica. Segundo CORSINE e NASCIMENTO (2020), “são denominados bioindicadores organismos, quer sejam animais, plantas ou microrganismos, os quais possuem características que apresentam um nível significativo de sensibilidade às alterações ocorridas no meio em que se encontram”.

Os metais depositados naturalmente nos ecossistemas aquáticos podem ser benéficos para a biota aquática (VANDERLEI, 2022; MARQUES e AMÉRICO-PINHEIRO, 2018). Porém, em elevadas quantidades, como o caso do rompimento de uma barragem de rejeitos, podem afetar negativamente a comunidade zooplânctônica com alterações morfológicas, fisiológicas, comportamentais e reprodutivas (PAULA, 2021). Isso reflete diretamente em sua distribuição e abundância, assim como a relação com os níveis seguintes da cadeia alimentar. O zooplâncton, por exemplo, pode bioacumular metal tóxico em seu corpo e, conseqüentemente, atingir níveis seguintes da teia trófica (CARDOSO; PIMENTA; ZIGANO, 2016).

Diante desse cenário, nosso desafio como educador é defender espaços na sala de aula para discussões e reflexões sobre esse tema, que se mostram interdisciplinares, polêmicos e relevantes para a vida dos alunos e comunidade em geral (SOUZA *et al.*, 2019). Além de buscar alternativas de ensino que possibilitem a relação do ser humano com o meio em que se vive, ação fundamental para que o aluno construa uma identidade ecológica, sensibilizando não só ele mesmo, mas também o meio social em que convive. Assim, o presente estudo tem como objetivo apresentar o zooplâncton como ferramenta de difusão científica e educação ambiental, sobretudo diante dos impactos causados pela mineração nos ecossistemas aquáticos.

## 2. Justificativa

Embora a atividade minerária seja considerada uma atividade fundamental para o desenvolvimento socioeconômico, ela traz diversos impactos negativos, incluindo uma profunda alteração da paisagem, destruição de habitats, resultando, assim, em perdas da biodiversidade. Além disso, é uma atividade com amplo potencial de afetar, direta e indiretamente, a saúde humana (SOUZA; VALADARES, 2022). Durante a mineração, substâncias químicas, como metais pesados, podem ser liberadas no ambiente. Pesquisas recentes mostram que estes metais são tóxicos para os seres vivos, ficando biodisponíveis à vida aquática, terrestre e seres humanos (VANDERLEI, 2022). Esses produtos tóxicos podem se infiltrar nos corpos d'água, contaminando rios, lagos e aquíferos. Além disso, podem persistir no ambiente aquático por longos períodos e se acumular nos organismos, causando efeitos adversos na saúde e na reprodução da biota aquática (CONCEIÇÃO, 2021). Isso evidencia que existe a necessidade de se discutir sobre as leis e regulamentações ambientais, tornando a fiscalização mais rigorosa, com o objetivo de evitar danos irreversíveis.

No contexto, o rompimento da barragem de Fundão, em Mariana - MG, acarretou amplos impactos para a população humana e o meio ambiente, incluindo a perda da biodiversidade aquática do Rio Doce (CARVALHO *et al.*, 2020). Estas mudanças físicas e químicas no ecossistema aquático, tem resultado em efeitos negativos diretos na cadeia trófica, desde a comunidade planctônica até grandes mamíferos (SOUZA; VALADARES, 2022). Por conta do seu pequeno tamanho corporal e ciclo de vida curto, os organismos zooplancônicos são altamente afetados pela mudança na composição química da água (CORSINE, 2020). Além disso, esse grupo desempenha um papel crucial na dinâmica dos ecossistemas aquáticos, principalmente no fluxo de energia e na ciclagem de nutrientes, sendo o principal elo no transporte da matéria orgânica produzida pelo fitoplâncton, via fotossíntese, para os níveis tróficos superiores. As espécies herbívoras também podem consumir algas tóxicas e acumular toxinas, que podem ser transferidas para outros organismos envolvidos na cadeia, incluindo peixes, moluscos e até humanos (VIANNA, 2009). Entre as modificações ambientais que podem impactar sua história de vida, podemos destacar: a disponibilidade de alimentos, os nutrientes, a possibilidade de bioacumulação e biomagnificação de substâncias nocivas, o desequilíbrio na diversidade de espécies e as alterações físicas (CORSINE e NASCIMENTO, 2020).

Diante disso, a criação de um material de divulgação científica, por meio de uma linguagem clara e acessível, que traga informações sobre os principais impactos da mineração na biodiversidade aquática, especialmente no zooplâncton, é de grande relevância. A divulgação científica dos impactos ambientais causados pela mineração ainda poderá contribuir para a construção de uma cultura de sustentabilidade, promovendo uma mudança de mentalidade onde a proteção dos ecossistemas aquáticos possa ser considerada essencial. Além disso, a divulgação científica com essa temática poderá preparar os alunos para enfrentar os desafios ambientais e contribuir para um futuro mais sustentável e equilibrado.

### **3. Objetivos**

#### **3.1 Objetivo geral**

Promover a criação de material de divulgação e gerar conscientização ambiental sobre os impactos ambientais da mineração nos ecossistemas aquáticos, bem como divulgar o uso do zooplâncton como bioindicador da qualidade da água. Para isso iremos elaborar um material de divulgação científica, tendo como alvo principal a comunidade escolar, mas também direcionado para o público em geral.

#### **3.2 Objetivos específicos**

- Elaborar um texto de divulgação científica que auxilie no ensino de ciências;
- Listar os impactos causados pela mineração nos ecossistemas aquáticos;
- Abordar a importância do zooplâncton como bioindicador da qualidade ambiental;
- Divulgar como o rompimento da barragem de Fundão tem afetado o recrutamento das formas jovens de zooplâncton no Baixo Rio Doce;
- Estimular uma nova percepção da comunidade escolar sobre os impactos causados pela mineração.

## **4. Referencial teórico**

### **4.1. Educação Ambiental e Divulgação Científica**

A educação ambiental e a divulgação científica são duas abordagens distintas, mas complementares, que visam promover o conhecimento e a conscientização em diferentes contextos. Enquanto a educação ambiental procura formar cidadãos conscientes e comprometidos com a sustentabilidade, a divulgação científica busca tornar a ciência mais acessível e compreensível para o público em geral. Ambas desempenham papéis cruciais na construção de uma sociedade informada e responsável em relação aos desafios ambientais e científicos.

De acordo com a Lei nº 9.795 de 1999, que institui a Política Nacional de Educação Ambiental, define a educação ambiental como:

Art.1.º: Entendem-se por educação ambiental os processos por meio dos quais o indivíduo e a coletividade constroem valores sociais, conhecimentos, habilidades, atitudes e competências voltadas para a conservação do meio ambiente, bem de uso comum do povo, essencial à sadia qualidade de vida e sua sustentabilidade.

Art. 2.º: A educação ambiental é um componente essencial e permanente da educação nacional, devendo estar presente, de forma articulada, em todos os níveis e modalidades do processo educativo, em caráter formal e não-formal (BRASIL, 1999).

A educação ambiental passa, então, a ser parte integral do sistema educacional nacional, de todos os níveis e formas de ensino, desde a educação infantil até o ensino superior (BRASIL, 2012). Ela concentra-se no desenvolvimento de uma compreensão holística e crítica das interações entre os seres humanos e o ambiente, buscando promover atitudes e práticas sustentáveis. Seu objetivo é formar cidadãos conscientes, responsáveis e engajados na preservação e conservação do meio ambiente. Entretanto, ao longo de sua jornada na educação básica, de forma geral, as interações do indivíduo com o conhecimento tendem a ser predominantemente acadêmicas, muitas vezes centradas na simples transmissão de informações, no processo de conhecimento acumulado por meio da memorização passiva, caracterizando o que é conhecido como Ensino Tradicional (ANDRADE, 2022). Contudo, a escola representa apenas um dos espaços nos quais a educação ambiental deve ser difundida, já que o objetivo é torná-la universal, alcançando toda a sociedade por meio de diversas formas e ambientes, como o ensino não formal, além de integrá-la à vida cotidiana por meio

do ensino informal (HOFSTATTER, 2021). SANTOS e TERÁN (2017) destacam a distinção entre os termos “formal” e “não formal” no contexto educacional, para além, ainda, da diferença entre o termo “não formal” e “informal”. Enquanto a educação formal está ligada a sistemas educacionais tradicionais, como escolas e universidades, caracterizados por currículos, grades curriculares e estruturas institucionais formais, a educação não formal refere-se a atividades educativas organizadas, porém fora dessas estruturas institucionais formais (SANTOS; TERÁN, 2017). Por outro lado, a educação informal acontece de maneira espontânea e natural na vida cotidiana, fora de ambientes educacionais intencionalmente organizados. Ela se dá por meio de interações sociais, experiências pessoais, mídia, entre outros, sem seguir um plano de ensino predefinido (SANTOS; TERÁN, 2017). Assim, “não formal” enfatiza uma educação organizada, mas fora dos sistemas educacionais convencionais, enquanto que não é tão livre ou não estruturada quanto a educação informal.

Diante disso, o conceito de Divulgação Científica assumido aqui não abrange a educação formal nas escolas, mas sim outros meios que não são obrigatórios no contexto escolar, mas que poderiam e deveriam ser promovidos por ela. Para LIMA (2016), a definição de Divulgação Científica está mais para uma ponte entre a comunidade científica e a comunidade escolar:

[...] A Divulgação Científica é uma modalidade de comunicação que pode compor e contribuir com o contexto de ensino e aprendizagem, atuando como elemento mediador entre o conhecimento, o educando e os novos sentidos produzidos [...] os suportes de DC são frequentemente utilizados em aulas de ciências nas instituições formais de ensino (LIMA, 2016).

Portanto, a Divulgação Científica assume o papel de disseminação de informações científicas de maneira clara e envolvente, estimulando o interesse e a compreensão da ciência. À medida que os esforços relacionados à educação e a divulgação científica ganharam mais destaques, com uma mudança de foco em direção ao público, surgiu tanto apoio à visão da ciência como um processo histórico e social quanto resistência a essa ideia por parte de algumas pessoas (ÁLVARO *et al.*, 2021). A primeira interação com a divulgação científica ocorre por meio do consumo desse tipo de conhecimento como uma forma cultural. A decisão sobre quem será o público-alvo é crucial para garantir que certos grupos tenham acesso a essa informação (LIMA, 2016). No entanto, a audiência não é determinada apenas pelo interesse das pessoas, mas principalmente pelos produtores de divulgação científica, que



escolhem os temas e definem o público específico que desejam alcançar (LIMA, 2016). Além disso, os vários canais e locais de divulgação devem estar cientes das interconexões significativas entre os aspectos sociais, políticos, econômicos e culturais na construção do conhecimento científico (ÁLVARO *et al.*, 2021). Seu foco principal é transmitir conhecimentos científicos, descobertas e avanços de maneira clara e envolvente, estimulando o interesse e a compreensão da ciência por parte da sociedade, promovendo a alfabetização científica. Dessa forma, assim como MASSARANI (2004) afirma, quando consideramos a mídia impressa, conhecimentos e as informações divulgadas, os artigos de divulgação científica se destacam como recursos didáticos valiosos para abordar temas relacionados à Ciência e Educação Ambiental, tanto dentro quanto fora do ambiente formal de ensino. Isso possibilita que o público em geral se familiarize com questões ambientais e busque compreender os impactos da ciência, do avanço tecnológico e seus efeitos no meio ambiente (ALMEIDA, 2022).

#### **4.2. Impactos da mineração nos ecossistemas aquáticos: zooplâncton como bioindicador da qualidade da água**

De acordo com Resolução normativa CONAMA nº 001/86 considera-se impacto ambiental:

[...] qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam:

- I - a saúde, a segurança e o bem-estar da população;
- II - as atividades sociais e econômicas;
- III - a biota;
- IV - as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente;
- V - a qualidade dos recursos ambientais.

Assim, os impactos ambientais são caracterizados como os efeitos negativos causados ao meio ambiente devido às atividades humanas, que têm o potencial de ocasionar variados tipos de degradação no solo, na vegetação e na água (LIMA *et al.*, 2023). Atualmente, é nítida a necessidade de conscientizar a população sobre a crescente escassez de recursos naturais e os impactos irreversíveis ao meio ambiente resultantes de sua exploração inadequada, sendo fundamental reconhecer a importância de utilizar os recursos de maneira sustentável (ANDRADE, 2022).

São diversas as ações humanas que geram impactos ambientais, entre elas as atividades de mineração (FARIAS e COELHO, 2002). A extração de recursos naturais não renováveis do solo caracteriza a mineração como uma atividade de grande impacto e não sustentável

(GOMES *et al.*, 2020). Segundo o Instituto Brasileiro de Mineração (IBRAM, 2016), o Brasil é o terceiro maior produtor de minério de ferro do mundo e o estado de Minas Gerais como maior contribuinte dessa produção, sendo responsável por aproximadamente 53% da produção nacional de minerais metálicos e 29% de outros tipos de minério (GOMES *et al.*, 2020). Embora essa atividade ofereça benefícios socioeconômicos que podem impulsionar o desenvolvimento, como crescimento demográfico, oportunidades de emprego, aumento de renda e fornecer matéria prima para diversos produtos utilizados pela sociedade moderna (ANDRADE, 2022; SOUZA, 2019), é fundamental considerar e avaliar cuidadosamente os riscos de impactos socioambientais associados à exploração descontrolada de mineral.

Os impactos ambientais negativos da mineração podem ser identificados desde a fase de planejamento até o final da operação (SILVA e ANDRADE, 2017). Por exemplo, a extração de minério de ferro, que envolve processos físicos e químicos para comercialização, gera resíduos como rejeitos e, se produzidos em grande escala e gerenciados inadequadamente, podem causar sérios problemas ambientais (CELESTINO, 2019). O crescimento populacional e a demanda por recursos naturais provocaram um incremento global nas operações de mineração, ocasionando um aumento significativo na produção de efluentes líquidos e resíduos, que não podem ser descartados diretamente no ambiente, tendo então como alternativa o seu armazenamento em barragens (GUIMARÃES *et al.*, 2022). Dessa forma, à medida que a exploração de minerais avança, a questão das barragens de rejeitos tem recebido considerável destaque, devido ao seu potencial prejudicial em casos de falhas (CARDOSO; PIMENTA; ZIGANO, 2016). Podemos mencionar como exemplos, os incidentes decorrentes do rompimento de barragens ocorridos em Minas Gerais. Em janeiro de 2024, completaram cinco anos do rompimento da barragem Córrego do Feijão, localizada em Brumadinho-MG, onde aproximadamente 11,7 milhões de m<sup>3</sup> de rejeitos percorreram uma extensão de 8,5 km antes de atingir o rio Paraopeba, estendendo-se por mais de 300km ao longo dele em direção ao rio São Francisco, resultando em impactos significativos no ecossistema (PORSANI; JESUS; STAGARI, 2019). Em função da presença da lama, o rio Paraopeba foi declarado como “morto” devido à grande perda de peixes e plantas aquáticas, causada pela diminuição do oxigênio na água (SOUZA, 2019). O rompimento ainda devastou as instalações administrativas da empresa responsável pela barragem, resultando na perda de vidas de centenas de colaboradores, enquanto também causava a destruição de residências, vegetação e animais (GOMES, 2020).

O rompimento da barragem de Fundão, de propriedade da empresa SAMARCO, em novembro de 2015, localizada no município de Mariana-MG, também causou grandes impactos, sendo considerado como de maior magnitude devido ao volume de rejeitos liberados, distância percorrida pela lama e os prejuízos estimados (HUNZICKER, 2019). A barragem do Fundão armazenava 55 milhões de m<sup>3</sup> de rejeitos gerados pela atividade de beneficiamento de minério de ferro, mais de 30 milhões de m<sup>3</sup> desse material foram liberados no ambiente durante o rompimento da barragem, sendo gradualmente transportado ao longo da calha do Rio Doce (HUNZICKER, 2019; CARVALHO *et al.*, 2020). Além de resultar na devastação do distrito de Bento Rodrigues, o desastre causou impactos da lama ao longo de aproximadamente 850 km do rio Doce, alcançando o oceano Atlântico no estado do Espírito Santo, que acarretou implicações profundas nos aspectos físicos, bióticos e socioeconômicos da bacia, destacando-se a perda da biodiversidade aquática e a interrupção das atividades econômicas realizadas às margens do rio Doce pela população local (CARVALHO *et al.*, 2020). Essas mudanças ainda tiveram impactos diretos na cadeia trófica, abrangendo desde a comunidade planctônica até os mamíferos (SOUZA, 2019).

Além das alterações físicas e químicas, como aumento da turbidez, pH, condutividade e presença de material particulado, entre outros fatores, a lama resultante da extração de minério de ferro, continha uma concentração significativa de metais potencialmente tóxicos, como Pb, Zn, Cd, Cr, Cu, Ni, Ba, V e As (VANDERLEI, 2022). Esses metais foram transportados para os ecossistemas aquáticos ao longo da rota da lama, causando grande preocupação, pois, ao contrário de compostos químicos orgânicos, esses metais não são biologicamente ou quimicamente degradáveis, o que implica em seu acúmulo no ambiente e, conseqüentemente, nos seres vivos (VANDERLEI, 2022). O ecossistema leva anos para se recuperar, de uma situação dessa magnitude, isso quando é possível recuperar, e algumas espécies podem ser extintas, levantando a questão de como as gerações futuras podem ser afetadas (SILVA; RANGEL, 2019). A partir disso, a comunidade científica iniciou esforços para compreender de maneira mais específica a magnitude do impacto gerado (VANDERLEI, 2022) por meio do estudo e monitoramento da comunidade zooplânctônica, por exemplo. Pesquisas indicaram que abordagens que possam antecipar a qualidade da água em situações de contaminação por rejeitos seriam cruciais como uma ferramenta estratégica para orientar a tomada de decisão das partes envolvidas no planejamento de respostas emergenciais (GUIMARÃES *et al.*, 2022).

O rompimento da barragem do Fundão impactou negativamente a produção primária, influenciada tanto pela presença concentrada de metais pesados na água durante o período de alta vazão no Rio Doce, quanto pelo aumento de sedimentos em suspensão que reduz a entrada de luz, contribuindo para a morte dos produtores primários. Além disso, uma porção dessa lama, mesmo após anos do rompimento, continua causando impactos, pois a lama remanescente no rio ainda prejudica a qualidade da água, devido a esses elementos persistirem no ambiente aquático por longos períodos e se acumular nos organismos, causando efeitos adversos na saúde e na reprodução da fauna aquática (VIEIRA *et al.*, 2021).

Dentre esses organismos, podemos citar os organismos zooplancônico, desempenhando um papel crucial como principal elo na transferência de energia entre os produtores, originada pela fotossíntese do fitoplâncton, para os diversos níveis das cadeias tróficas aquáticas, como peixes e diversos invertebrados (VIANNA e DUARTE, 2009; PERBICHE-NEVES, PORTINHO e JÚNIOR, 2012). Dessa forma, sua presença é fundamental para evitar um possível colapso nas cadeias tróficas aquáticas (PERBICHE-NEVES, PORTINHO e JÚNIOR, 2012). Os organismos zooplancônico estão entre os grupos mais diversos nos ecossistemas aquáticos continentais e podem responder rapidamente às mudanças ambientais, além de possuírem um ciclo de vida curto. Portanto, são reconhecidos excelentes bioindicadores (CORSINE e NASCIMENTO, 2020). A presença em níveis elevados de metais pode inibir processos cruciais, como reprodução, crescimento e biomassa das comunidades zooplancônicas (PAULA, 2021). Isso impacta diretamente a dinâmica populacional, a riqueza e a diversidade dessas comunidades (PAULA, 2021). Além disso, estudos destacam que a longo prazo (impacto crônico), efeitos significativos no equilíbrio energético podem ocorrer, especialmente nos estágios iniciais de desenvolvimento (CONCEIÇÃO, 2021).

Um aspecto importante a ser considerado sobre os zooplânctons está nos investimentos em reprodução. Em sua maioria, os organismos zooplancônicos se reproduzem por partenogênese, com fêmeas gerando ovos diplóides assexuadamente, o que torna uma estratégia reprodutiva, pois permite que eles se multipliquem rapidamente e se adaptem às mudanças no meio ambiente (REIS, 2015). É frequente também que em certas espécies ocorra o desenvolvimento e surgimento de mecanismos de resistência, por exemplo pelos ovos em estado de dormência dos grupos cladóceros e rotíferos, encontrados nos sedimentos aquáticos que, além de sua função protetora, esses ovos facilitam a ampla dispersão das espécies, pois podem manter sua viabilidade por vários anos até o ambiente estar em

condições favoráveis para sua eclosão (VIANNA e DUARTE, 2009; REIS, 2015). Em contrapartida, o grupo dos copépodes possuem reprodução exclusivamente sexuada, resultando no desenvolvimento por meio de 12 fases distintas da vida, onde as primeiras 6 fases são conhecidas como "náuplios", seguidas por 5 fases de "copepoditos", e o estágio final é o de adulto (UNIT, 2004). Os náuplios são minúsculos e frequentemente muito numerosos, não se assemelhando à forma final do corpo, conforme avançam para os estágios de copepoditos, os organismos começam a adquirir semelhanças com a forma adulta (UNIT, 2004). Outro ponto é que a predominância de organismos de menor porte pode estar associada às elevadas taxas de reprodução, as quais podem ocorrer tanto por motivos naturais quanto pela exposição dos organismos a condições extremas, como em áreas impactadas, por exemplo (CONCEIÇÃO, 2021).

Nesse cenário, o monitoramento de um bioindicador consiste em observar características preestabelecidas e as análises das reações da comunidade zooplanctônica, incluindo alterações na distribuição espacial e densidade, assim como suas respostas às alterações ambientais, desempenha um papel crucial na compreensão do funcionamento do ecossistema (CORSINE e NASCIMENTO, 2020; REIS, 2015). Dessa forma, observamos que a interferência humana no ambiente afeta indiretamente o zooplâncton por meio de influências sociais e econômicas (PERBICHE-NEVES, PORTINHO e JÚNIOR, 2012).

## **5. Metodologia**

### **Revisão de literatura**

A metodologia foi dividida em duas partes. Inicialmente com uma revisão de literatura e, em seguida, utilizando dados de campo, coletados no Baixo Rio Doce, para verificar o investimento em reprodução de formas jovens de zooplâncton em áreas afetadas pelo rompimento da barragem de Fundão.

Foi realizada uma pesquisa bibliográfica na literatura científica por meio da plataforma “Google Acadêmico”, onde foram identificados artigos em diversas plataformas sobre a temática ambiental e os conceitos relacionados, tendo por finalidade abordar o conhecimento do tema da divulgação científica e educação ambiental, zooplâncton como bioindicador da qualidade da água e os impactos da mineração nos ambientes aquáticos (com ênfase no rompimento da barragem de Fundão - MG). Posteriormente, os textos selecionados passaram por uma adaptação visando tornar o conteúdo mais didático, acessível e compreensível. Esses dados foram utilizados para escrever um artigo de divulgação científica para a revista *Ciência Hoje das Crianças*.

### **Estudo de campo**

O estudo de campo foi realizado na bacia hidrográfica do Baixo Rio Doce sudeste do Brasil (estado do Espírito Santo), sendo cinco trechos lóticos do Rio Doce (Ea0, E0, E21, E26, E26F), dois rios tributários (E2, E17), três lagos profundos (E18, E19 e E20), quatro rasos (E23, E24, E25 e E27) e dois reservatórios (ERA, ERM) (Figura I). Esses ambientes estão situados em torno de áreas agrícolas e urbanas (SALINAS *et al.*, 2020). Além disso, a bacia do Baixo Rio Doce foi afetada por mais de 30 milhões de m<sup>3</sup> de rejeitos de mineração de ferro provenientes do rompimento da barragem de Fundão, em novembro de 2015 (HATJE *et al.*, 2017; SÁNCHEZ *et al.*, 2018), que causou múltiplos impactos no rio principal e nos ecossistemas de água doce adjacentes. Embora a região já sofresse os impactos decorrentes da mineração (HATJE *et al.*, 2017), após o rompimento da barragem, as concentrações de metais aumentaram acima dos limites do Conselho Nacional do Meio Ambiente (DUARTE *et al.*, 2021).

I.

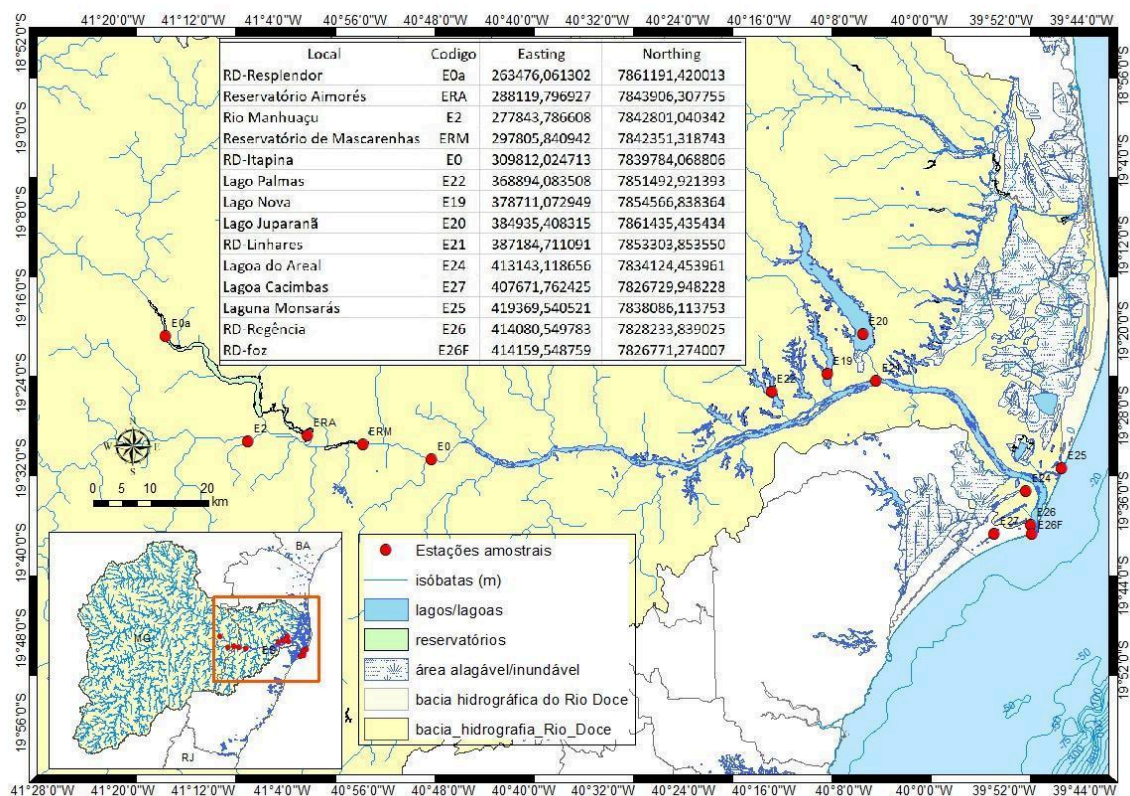


Figura I. Mapa da área de estudo, com destaque para os pontos amostrados, que foram considerados.

Fonte do mapa: PMBA/UFES/FEST.

## Coleta do material biológico

Os dados bióticos utilizados foram obtidos pelo Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática Área Ambiental I - Porção Capixaba do Rio Doce e Região Marinha e Costeira Adjacente (PMBA/UFES/FEST). Toda metodologia de coleta foi estabelecida conforme protocolo de amostragem definido pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA-MMA) para monitoramento dos ambientes afetados pelo rompimento da barragem de Fundão. O zooplâncton foi obtido entre setembro de 2018 a março de 2023 na superfície da zona limnética dos ambientes. No período seco (abril a setembro) a amostragem foi realizada de forma bimestral, enquanto no período chuvoso (outubro a março) de forma mensal.

O zooplâncton foi coletado através de uma rede de plâncton com abertura de malha de 68  $\mu\text{m}$ , sendo filtrados 50 L de água em cada estação amostral. Todas as amostras foram preservadas em solução de formaldeído tamponado a 4%. Três alíquotas de cada amostra foram analisadas (pelo menos 100 indivíduos por alíquota) em câmara de Sedgwick-Rafter de 1 mL em microscópio óptico.

### **Análise em laboratório**

Em laboratório, a identificação e a contagem do zooplâncton dulcícola foram realizadas por meio de sub-amostras de 1 mL em câmaras de Sedgwick-Rafter e microscópio óptico (Zeiss/Stemi 508) com câmera acoplada (Axiocam 105). A quantidade de sub-amostras realizadas variou de acordo com a quantidade de indivíduos registrados em cada amostra. Para amostras com muitos indivíduos ( $> 100$  ind.), como lagos e lagoas, foram quantificadas três sub-amostras (de 1 mL cada), enquanto que para ambientes com poucos organismos, como rios e reservatórios, seis sub-amostras foram analisadas. Para calcular a densidade do zooplâncton ( $\text{ind.L}^{-1}$ ), o número total de organismos quantificados na amostra foi multiplicado pelo fator de diluição utilizado na contagem e dividido pelo volume de água filtrado no momento da coleta (50 L). Para a estimativa do recrutamento, foi considerada a densidade de copépodes nos estágios de náuplio e copepodito ( $\text{ind.L}^{-1}$ ).

### **Análise dos dados**

As tendências temporais na densidade dos jovens foram testadas usando modelos aditivos de efeitos mistos generalizados (GAMM; função "gam4"). A curva com a tendência temporal do recrutamento ao longo do tempo foi obtida pelo método de suavização LOESS (Locally-Weighted Scatterplot Smoother) (função "plotGAMM"). A análise considerou um nível de significância menor que 0,05 e foi realizada no programa R (R Core Team, 2023).



## **6. Artigo a ser submetido para Revista Ciência Hoje das Crianças**

### **Reproduzir para não sucumbir: estratégias de invertebrados aquáticos para sobreviver nas águas impactadas por mineração\***

Muitas ações antrópicas, ou seja, ações causadas pelos seres humanos, podem causar grandes impactos ambientais. A atividade minerária é uma dessas ações antrópicas e os organismos precisam desenvolver estratégias para sobreviver em condições difíceis. O investimento em reprodução pode ser uma dessas estratégias, você sabia? .

A mineração industrial é a extração de riquezas minerais do solo e das rochas. É como cavar a terra para achar pedras preciosas, como o ouro, mas de uma forma muito mais intensa. Sendo uma atividade industrial de grande porte, a mineração causa impactos significativos no meio ambiente, de várias maneiras.

Quanto mais intensas as atividades da mineração, mais recursos são retirados da natureza. Esse aumento na extração de recursos naturais leva à produção de muitos tipos de resíduos, como metais pesados e produtos químicos tóxicos, que são liberados nas águas e causam danos nos ecossistemas. Além disso, a grande transformação da paisagem originada pelas atividades minerárias também representa um impacto de grande magnitude, afetando ecossistemas aquáticos e terrestres, e até mesmo as cidades localizadas próximas aos empreendimentos minerários.

O rompimento da barragem de Fundão, em 2015, localizada em Mariana-MG é considerado um dos maiores desastres ambientais do Brasil. A liberação súbita de uma imensa quantidade de rejeito de mineração de ferro contendo substâncias tóxicas atingiu todo o Rio Doce. A lama de rejeito percorreu muitos quilômetros até o encontro do rio Doce com o mar, já no estado do Espírito Santo.

O impacto derivado do rompimento da barragem afetou drasticamente a água e toda a biodiversidade aquática do Rio Doce. Desde pequenos organismos, menores que a cabeça de um alfinete, até os grandes peixes foram afetados pela profunda modificação do ecossistema aquático. A água mudou, ficou turva, com muitos resíduos tóxicos, e sem alimento. Como essa mudança afetou os organismos? Como sobreviver em condições tão limitantes?

Entre os organismos aquáticos pequeninhos, encontramos o zooplâncton, que constitui a base da cadeia alimentar aquática, e são o principal alimento das larvas de peixes e outros organismos. Estudando o zooplâncton, podemos aprender como os organismos desenvolvem estratégias para sobreviver em ambientes tão impactados.

Vamos aprender um pouco mais sobre esses organismos microscópicos?

## **Zooplâncton**

Apesar de serem tão pequenos, esses organismos têm muito a nos dizer e são fundamentais para o equilíbrio dos ecossistemas aquáticos. O zooplâncton é considerado como um dos grupos mais importantes da cadeia alimentar nos ecossistemas aquáticos, pois alimentam-se do fitoplâncton (que são as plantas microscópicas da água) e também servem de alimento para os peixes, fazendo com que os nutrientes sejam transferidos para os níveis mais altos da cadeia alimentar.

Podem ser encontrados nos oceanos, nos lagos, em rios e até mesmo em ambientes menores, como poças d'água. São conhecidos por viverem “ao sabor das ondas” uma vez que possuem capacidade de locomoção reduzida, fazendo com que sejam, frequentemente, levados pelo movimento das águas. Mesmo assim, esses pequenos animais podem migrar vários metros diariamente para, entre outras razões, fugir de predadores e buscar melhores condições de sobrevivência.

Outra característica muito interessante observada nesses organismos se refere às suas estratégias reprodutivas. A reprodução desses organismos é principalmente partenogenética. Mas o que quer dizer isso? Quer dizer que os organismos zooplanctônicos, em sua grande maioria, podem fazer cópias de si mesmo através da reprodução assexuada. Nesse processo de reprodução não acontece a mistura das células sexuais, chamadas de gametas. Na partenogênese, os filhotes serão idênticos às mães. A fêmea “guarda” os ovos em uma espécie de incubadora debaixo da sua carapaça, onde esses ovos crescem até estarem prontos para se tornarem filhotes. Quando filhotes, continuam crescendo nessa incubadora até virarem pequenas versões de adulto, e aí sim são liberados na água junto com a carapaça da mãe.

É como fazer um clone de si mesmo! Isso é mais ou menos o que o zooplâncton faz e essa habilidade mágica permite que eles se multipliquem rapidamente e se adaptem às mudanças no meio ambiente.

A reprodução partenogenética pode desempenhar um papel fundamental na sobrevivência do zooplâncton: por exemplo, uma única fêmea pode recolonizar um novo ambiente ou um ambiente muito impactado, dando origem a uma nova população. Além disso, a reprodução partenogenética garante que haverá sempre novos indivíduos sendo

adicionados à população, uma vez que apenas as fêmeas originarão seus descendentes, garantindo que as populações se estabeleçam e permaneçam no ambiente aquático.

Um aspecto importante para o processo reprodutivo é o alimento. Ou seja, para que as fêmeas produzam seus ovos partenogenéticos elas precisam estar bem alimentadas e nutridas. Se o zooplâncton reduz suas taxas reprodutivas, podemos também inferir sobre as condições do ambiente em termos de oferta de alimento. Desta forma, o estudo dos aspectos reprodutivos do zooplâncton pode fornecer muitas informações importantes sobre a saúde do ecossistema aquático, e essas informações podem ser utilizadas como indicadoras da condição ambiental.

### **Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática do Rio Doce**

Diversas pesquisas vêm sendo feitas usando o zooplâncton para avaliar a condição ambiental dos ecossistemas aquáticos. Aqui vou te apresentar um exemplo de um projeto que tem analisado as águas do Rio Doce em busca de informações sobre a condição ambiental após o rompimento da barragem de Fundão. Há cinco anos o Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática realiza o monitoramento da biodiversidade aquática do baixo Rio Doce, que engloba lagos, lagoas, reservatórios e uma parte do rio no Espírito Santo. Essa pesquisa tem sido essencial para acompanhar os efeitos da passagem da onda de rejeito de mineração de ferro na qualidade da água e biodiversidade do Baixo Rio Doce.

Ao estudar o zooplâncton na área afetada pela passagem do rejeito, temos observado um aumento na quantidade de formas jovens em alguns ambientes impactados pelo rejeito da mineração. Esses são indícios de que as condições atuais desses ambientes têm permitido ao zooplâncton encontrar condições satisfatórias para sua reprodução e permanência, contribuindo para a recuperação da biodiversidade aquática.

### **Conclusão**

Entender a dinâmica e a variação do zooplâncton é importante pois esses organismos são ferramentas valiosas na identificação e compreensão dos impactos naturais ou mesmo aqueles causados pela ação humana. Assim, se engana quem pensa que alterações em criaturas tão pequenas não resultem em consequências tão grandes para toda vida aquática. Se olharmos mais de perto, veremos que eles são minúsculos, mas poderosos!

II.

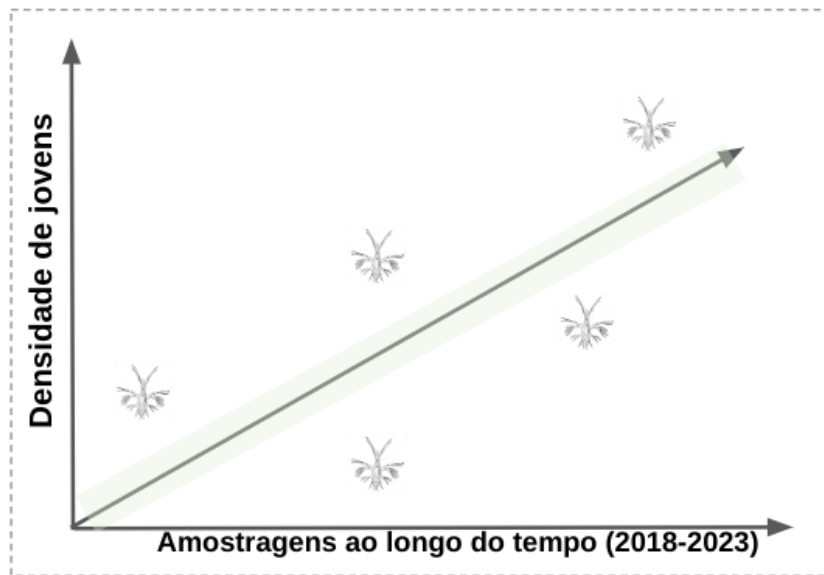


Figura II. Gráfico mostrando a abundância de zooplâncton aumentando ao longo do tempo.

III.

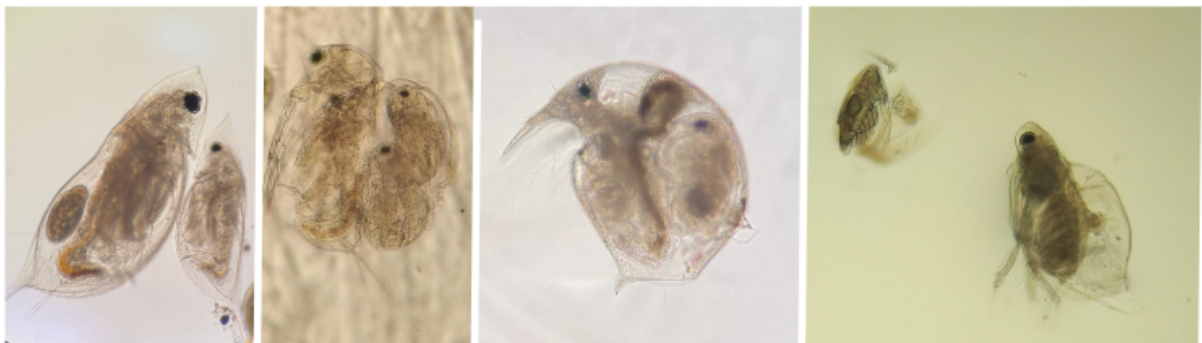


Figura III. Crustáceo da ordem Cladocera, conhecidos como "pulga d'água" (devido a forma como nada), com seus embriões acoplados na carapaça.

Fotos: Isadora Alvarenga e Leidiane Diniz.

#### IV.

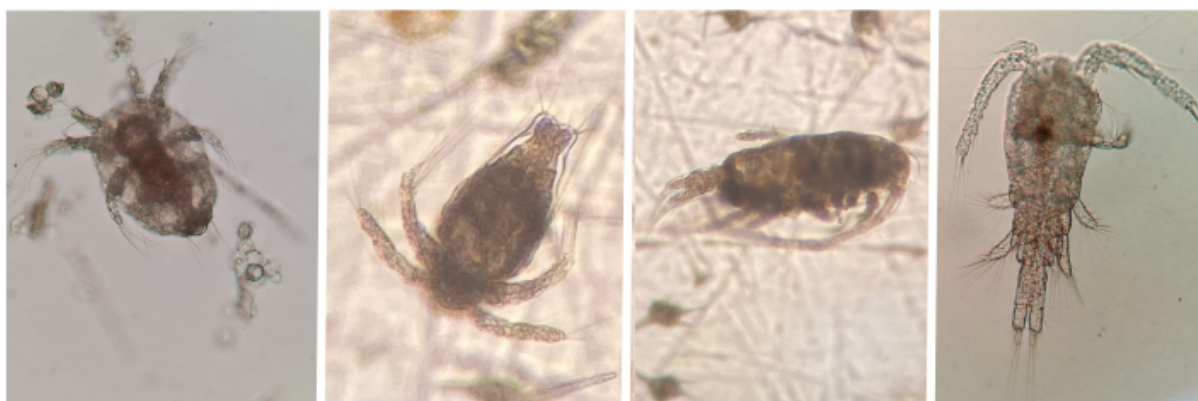


Figura IV. Formas jovens da ordem Copépodes chamadas de náuplios e copepoditos.

Fotos: Isadora Alvarenga de Andrade

---

\*Artigo a ser submetido para publicação na revista *Ciência Hoje das Crianças* (<https://chc.org.br/>).

## **7. Considerações finais**

O trabalho desenvolvido, por meio da análise bibliográfica de todos os estudos obtidos ao pesquisar os termos nas bases de dados, proporcionou reflexões sobre a temática dos impactos da mineração, que é alvo de pesquisas desde anos atrás e que se intensificam com o passar do tempo. Porém, apesar da importância e urgência desse tópico, raramente a mineração é explorada em profundidade nas aulas para alunos do ensino fundamental e médio, especialmente nos conteúdos de Ciências/Biologia. Além disso, é de conhecimento que o ser humano vive em uma época de crise hídrica, pois, os cursos d'água têm sido utilizados como receptores de diversos tipos de rejeitos. Nesse ponto, reforçamos também a temática dos organismos zooplancônicos como ferramenta para estudos desses impactos, pois possuem papel fundamental na dinâmica dos ecossistemas aquáticos, entretanto, também é pouco ou nada abordado na literatura utilizada no ensino. Assim, abordar essa temática em sala de aula, apesar da dificuldade em achar as palavras certas, é crucial para fornecer aos alunos informações melhores sobre esse assunto, que é considerado próximo da realidade da sociedade.

Diante disso, fica explícito que é fundamental que a educação ambiental faça parte do cotidiano das crianças e adolescentes, devendo ocorrer não apenas nos conteúdos específicos de disciplinas, mas também nas experiências vivenciadas pelos alunos dentro e fora do ambiente escolar. Buscar alternativas de materiais didáticos que possibilitem a relação do ser humano com o meio em que se vive é fundamental para que o aluno construa uma identidade ecológica sensibilizando não só o sujeito, mas também o meio social em que convive.

Assim, espera-se que o texto publicado na revista *Ciência Hoje das Crianças* possa ser útil para educadores interessados em material didático que ao abordar um tema controverso sobre os impactos da mineração, especialmente em ambientes aquáticos, se tornou uma narrativa atual e de relevância global, especialmente após o rompimento da barragem de Fundão. Sendo um meio eficaz para informar, trabalhar e conscientizar sobre temas do meio ambiente e a poluição das águas.

## 8. Referências bibliográficas

ALMEIDA, Laiane Moraes de et al. **Textos de divulgação Científica como recurso didático para a Educação Ambiental nos anos iniciais do ensino fundamental**. 2022.

ÁLVARO, M., Massarani, L., Ramalho e Silva, M., Andreani Valadares, P. and Marandino, M. (2021). **Uma análise dos artigos acadêmicos latino-americanos sobre Divulgação científica e controvérsias** *JCOMAL* 4(02), A01.

ANDRADE, Bruna Martinele Barros. **Investigando as percepções de professores de Ciências e áreas afins quanto à utilização de diferentes abordagens pedagógicas e o trabalho envolvendo a temática Mineração nas salas de aulas**. 2022. 80 p. Dissertação (Mestrado Profissional em Educação em Ciências, Matemática e Tecnologia) – Programa de Pós-graduação em Educação em Ciências, Matemática e Tecnologia, Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, 2022.

ARAÚJO, Sérgio Wilson; TEIXEIRA, Dr<sup>a</sup> Flaviana Tavares Vieira. **Educação Ambiental e Tecnologias: Ensino e Aprendizado sobre Biomonitoramento e sua importância para a preservação das águas por meio de Vídeo Educacional–Relato de Experiências**.

BESSA, Eduardo. **O que é divulgação científica?**. B N, p. 15, 2015.

BRAGATO, Mirele et al. **A água e a saúde no meio rural. Educação ambiental nas escolas**. Expressa Extensão, v. 23, n. 1, p. 74-82, 2018.

BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular (BNCC). Educação é a base**. Brasília. 2018. P. 19. Disponível em: [http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/BNCC\\_EI\\_EF\\_110518-versaofinal\\_site.pdf](http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/BNCC_EI_EF_110518-versaofinal_site.pdf). Acesso em: 23 dez. 2023.

CARDOZO, Fernando Alves Cantini; PIMENTA, Matheus Montes; ZINGANO, André Cezar. **Métodos construtivos de barragens de rejeitos de mineração–uma revisão**. Holos, v. 8, p. 77-85, 2016.

CARVALHO, Anna Maria Pessoa de. **Ensino e aprendizagem de ciências: referenciais teóricos e dados empíricos das sequências de ensino investigativas- (SEI). O uno e o diverso na educação.** Tradução . Uberlândia: MG: EDUFU, 2011. . . Acesso em: 04 jan. 2024.

CARVALHO, R. M. de, Gomes, V. A. do P., Jankowsky, M., & Freitas, R. R. de. (2021). **Estudos ambientais da bacia do rio Doce no contexto pré e pós-rompimento da barragem de rejeitos de mineração.** *Brazilian Journal of Production Engineering*, 6(8), 63–84. <https://doi.org/10.47456/bjpe.v6i8.33947>

CELESTINO, Marcelo Silva. **Uma sequência didática investigativa sobre impactos da mineração : uma proposta com enfoque CTSA e da Teoria Ator-Rede.** 2019. 84 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências) - Instituto de Ciências Exatas e Biológicas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2019.

CONCEIÇÃO, L. R. **Estrutura da comunidade zooplanctônica na região costeira adjacente à foz do Rio Doce: cenário após o rompimento da Barragem de Fundão - MG.** 2021.

CORSINI, Fábio dos Santos; NASCIMENTO, Ariane Flávia. **Introdução ao uso de zooplâncton como bioindicador.** Ciências Ambientais: Recursos Hídricos, p. 184, 2020.

COSTA, Clayton Angelo Silva et al. **Percepção de professores e alunos sobre os impactos ambientais associados à mineração.** *Pesquisa em Educação Ambiental*, v. 15, n. 2, p. 114-134, 2020.

DE SOUZA SANTOS, Gleice et al. Do metals differentiate zooplankton communities in shallow and deep lakes affected by mining tailings? The case of the Fundão dam failure (Brazil). *Science of The Total Environment*, v. 806, p. 150493, 2022.

DUARTE, E. B., NEVES, M. A., de OLIVEIRA, F. B., MARTINS, M. E., de OLIVEIRA, C. H. R., BURAK, D. L., ... & RANGEL, C. V. G. T. (2021). **Trace metals in Rio Doce sediments before and after the collapse of the Fundão iron ore tailing dam, Southeastern Brazil.** *Chemosphere*, 262, 127879.

FARIAS, C. E. G.; COELHO, J. M. **Mineração e meio ambiente no Brasil, PNUD-Contrato 2002/001604. Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. Ciência, Tecnologia e Inovação. CGEE, 2002.**



FERREIRA, Luciana Nobre de Abreu; QUEIROZ, Salete Linhares. **Textos de divulgação científica no ensino de ciências: uma revisão.** Alexandria: revista de educação em ciência e tecnologia, v. 5, n. 1, p. 3-31, 2012.

GOMES, F. B. R.; FAGUNDES, P. B. S. de S.; CASTRO, S. R.; RIBEIRO, C. B. de M. **Avaliação de impactos ambientais do desastre de Brumadinho-MG pela proposição de valores de referência.** Revista Mineira de Recursos Hídricos, Belo Horizonte, v. 1, n. 1, 2019. DOI: 10.59824/rmrh.v1i1.185. Disponível em: <https://periodicos.meioambiente.mg.gov.br/NM/article/view/185>. Acesso em: 24 jan. 2024.

GUIMARÃES, Roberta N. et al. History of tailings dam failure: Impacts on access to safe water and influence on the legislative framework. **Science of The Total Environment**, v. 852, p. 158536, 2022.

HATJE, V., PEDREIRA, R. M., de REZENDE, C. E., SCHETTINI, C. A. F., de SOUZA, G. C., MARIN, D. C., & HACKSPACHER, P. C. (2017). **The environmental impacts of one of the largest tailing dam failures worldwide.** Scientific reports, 7(1), 10706.

HOFSTATTER, Lakshmi Juliane Vallim; MACHADO, Cristiane Brito. **Ambientalização curricular e seu marco legal no Ensino Médio (BNCC): Avanços e Retrocessos.** Ambientalização curricular no ensino médio profissional: experiências e possibilidades, 2021.

HUNZICKER, Adriane Cristina de Melo. **O rompimento da barragem de Fundão: repercussões nos saberes e práticas dos professores da escola de Bento Rodrigues.** 2019. Disponível em: <http://hdl.handle.net/1843/32938>. Acesso em : 10/07/2023

IEIRA, D. C. .; GIANASI, L. M.; MARSHALL, J.; PERKINS, P. E.; OLIVEIRA, B. J. de. **Mineração, desastres, formação crítica: casos no Brasil e no Canadá.** Revista da UFMG, Belo Horizonte, v. 27, n. 3, p. 296–321, 2021. DOI: 10.35699/2316-770X.2020.21466. Disponível em: <https://periodicos.ufmg.br/index.php/revistadaufmg/article/view/21466>. Acesso em: 24 jan. 2024.

KELLNER, A. **Divulgação científica: para quem e por quem?** Revista Ciência Hoje. s/n. s/d. Disponível em <https://cienciahoje.org.br/coluna/divulgacao-cientifica-para-quem-e-por-quem/>. Acesso em 20/06/23

LACERDA, Sírleis Rodrigues et al. **Estratégia educacional ambiental para comunidade escolar de Crato, CE: Discutindo sobre cianobactérias e a eutrofização dos corpos hídricos**. Revista de Extensão da URCA, v. 1, n. 1, p. 271–277-271–277, 2021.

LIMA, Guilherme da Silva. **O professor e a divulgação científica: apropriação e uso em situações formais de ensino**. 2016. Tese (Doutorado em Educação) - Faculdade de Educação, University of São Paulo, São Paulo, 2016. doi:10.11606/T.48.2016.tde-16082016-093959. Acesso em: 2023-12-23.

LIMA, R. V. de ., BRITO , M. D. O. ., SANTOS, L. S. R. dos ., SOUZA , J. do A. de, SOUSA, M. de N. da S. ., & LIMA, S. do S. A. . (2023). **Impactos ambientais e o ensino de biologia para a prática social**. *Rebena - Revista Brasileira De Ensino E Aprendizagem*, 5, 107–120. Recuperado de <https://rebena.emnuvens.com.br/revista/article/view/79>

Litchman, E., Ohman, M. D., & Kiørboe, T. (2013). **Trait-based approaches to zooplankton communities**. *Journal of plankton research*, 35(3), 473-484.

MAFFIA, Angela Maria de Carvalho. **Impactos ambientais decorrentes da mineração de Bauxita e proposição de estratégias de formação docente no entorno do parque estadual da serra do brigadeiro**. 2011.

MARQUES, Márjori Brenda Leite; AMÉRICO-PINHEIRO, Juliana Heloisa Pinê. **Efeitos ecotoxicológicos de metais aos organismos aquáticos**. *Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista*, v. 14, n. 4, 2018.

MASSARANI, L.; MOREIRA, I. C. **Divulgación de la ciencia: perspectivas históricas y dilemas permanentes**. *Quark*, p. 30-35, 2004.

PAULA, Tayenne Luna Tomé de. **Diversidade taxonômica e funcional do zooplâncton no Baixo Rio Doce (ES, Brasil): uma avaliação após o maior acidente com rejeito de mineração de ferro do Brasil**. 2021. 66 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia de Biomas Tropicais) - Instituto de Ciências Exatas e Biológicas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2021.

PERBICHE-NEVES, Gilmar; PORTINHO, Jorge Laço; JÚNIOR, Moacyr Serafim. **Zooplâncton**. *Estudos de Biologia*, v. 34, n. 83, 2012.

PESTANA, Inácio Abreu et al. **Let's talk about mercury contamination in the Amazon (again): The case of the floating gold miners' village on the Madeira River.** The Extractive Industries and Society, v. 11, p. 101122, 2022.

PORSANI, J. L.; JESUS, F. A. N.; STANGARI, M. C. **GPR survey on an iron mining area after the collapse of the tailings dam I at the Córrego do Feijão Mine in Brumadinho - MG, Brazil.** Remote Sensing, Basel, v. 11, n. 7, p. 860, 2019.

PORTO, Marcelo Firpo de Souza. **A tragédia da mineração e do desenvolvimento no Brasil: desafios para a saúde coletiva.** Cadernos de Saúde Pública 32, e00211015, 2016

REIS, Karin de Paula. **Estrutura da comunidade zooplancônica em lagos de grande altitude com ênfase nas alterações das populações de Bosmina freyi (Cladocera, Bosminidae) (ocorrência de macho e ovos de resistência).** 2015. 94 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) - Universidade Federal de Alfenas, 2015.

REZENDE, V. L. **A mineração em Minas Gerais: uma análise de sua expansão e os impactos ambientais e sociais causados por décadas de exploração** - Sociedade & Natureza, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1982-451320160304>. Acesso em 24 jan. 2014.

SALINAS, J. B. G., Eggerth, M. K. P., Miller, M. E., Meza, R. R. B., Chacaltana, J. T. A., Acuna, J. R., & Barroso, G. F. (2020). **Wetland Mapping With Multitemporal Sentinel Radar Remote Sensing In The Southeast Region Of Brazil**, 669–674.

SÁNCHEZ, L. E. et al. (2018) **Impacts of the Fundão Dam failure A pathway to sustainable and resilient mitigation RIO DOCE PANEL THEMATIC REPORT NO. 1.** 1st ed. IUCN (ed). Gland.

SANTOS, Saulo; TERÁN, Augusto. **O uso da expressão espaços não formais no ensino de ciências.** Revista Areté| Revista Amazônica de Ensino de Ciências, v. 6, n. 11, p. 01-15, 2017.

SANTOS, Sofia Moura. **O plâncton como ferramenta de difusão científica e ambiental - uma breve revisão.** 2023. 34 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciências Biológicas) - Departamento de Biologia, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2023.

SILVA, Daniele Cristina; RANGEL, Tauã Lima Verdan. **Impactos ambientais causados pela mineração**. III Seminário “Ensino, Pesquisa & Cidadania em convergência”: Pesquisa no Campo do Direito (Tomo I)”, v. 4, p. 43, 2023.

SILVA, Marina Lima; ANDRADE, Márcia Cristiane Kravetz. **Os impactos ambientais da atividade mineradora**. Meio Ambiente e Sustentabilidade, v. 11, n. 6, 2017.

SILVA, M. Z. T. **Zooplâncton como bioindicador da qualidade ambiental em dois estuários brasileiros: um levantamento bibliográfico**. 2020

SOARES, Rafael Bento da Silva. **A importância da divulgação científica**. In: BESSA, Eduardo; FRANÇA Cecília; ARNT Ana de Medeiros (Orgs). Divulgação Científica para professores. Tangara da Serra: Ideias. 2015.

SOUZA, Bruna Costa et al. **A temática mineração em sala de aula: apropriação dos três momentos pedagógicos para uma abordagem CTS no ensino de ciências**. 2019.

SOUZA, Bruna Costa; VALADARES, Juarez Melgaço. **O ensino de ciências a partir da temática Mineração: uma proposta com enfoque CTS e três momentos pedagógicos** **Artigo Original**. Ciência & Educação, v. 28, p. 1-16, 2022.

SOUZA, B. C.; VALADARES, J. M. **Sequência didática: abordagem da temática mineração em sala de aula**. Disponível em: <https://promestre.fae.ufmg.br/wp-content/uploads/2018/11/Produto-Educacional-BRUNA-COSTA.pdf>. Acesso em: 26 de junho de 2023.

UNIT, Cooperative Freshwater Ecology. **Practical guide to identifying freshwater crustacean zooplankton**. 2004.

VANDERLEI, Marina Reghini. **Contaminação aquática por rejeito de mineração: o caso do desastre ambiental de Mariana (MG)**. 2022. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) - Escola de Engenharia de São Carlos, University of São Paulo, São Carlos, 2022. doi:10.11606/T.18.2022.tde-30112022-145535. Acesso em: 2023-07-13.

VIANNA, Tânia Marisa de Bôer; DUARTE, Anette Kümmel. **Estudando o zooplâncton: uma abordagem para ensino**. 2009.

VIEIRA, Daniela Campolina. **Mineração e controvérsias sociocientíficas de forte impacto local na formação continuada de professores.** 2021. Disponível em: <http://hdl.handle.net/1843/44897>. Acesso em: 24 jan. 2024.

XAVIER, Jhonatan; GONÇALVES, Carolina. **A relação entre a divulgação científica e a escola.** Revista Areté| Revista Amazônica de Ensino de Ciências, v. 7, n. 14, p. 182-189, 2017.

## 9. Apêndice

### Flutuações da abundância e biomassa de jovens no Baixo Rio Doce

A tendência temporal na abundância e a biomassa das formas jovens de zooplâncton (ind.L-1) não flutuaram de forma significativa ao longo do tempo para nenhum dos ambientes da calha fluvial: Rio Doce (abundância:  $F=1,51$ ;  $P = 0,221$ / biomassa:  $F= 2,40$ ;  $P = 0,087$ ), Rio Manhuaçu (abundância:  $F = 7,38$ ;  $P = 0,115$  / biomassa:  $F = 3,78$ ;  $P = 0,177$  ) e Rio Guandu (abundância:  $F = 0,74$ ;  $P = 0,333$  / biomassa:  $F = 1,16$ ,  $P = 0,255$ ). A abundância e a biomassa nos lagos (abundância:  $F = 2,98$ ,  $P = 0,0496$ / biomassa:  $F= 2,39$ ,  $P = 0,093$ ) e reservatórios (abundância:  $F = 2,45$ ;  $P = 0,103$  / biomassa:  $F = 2,07$ ;  $P = 0,124$ ) também não exibiram tendências temporais claras. Apenas as lagoas exibiram uma tendência de aumento na abundância ( $F = 11,05$ ;  $P = 0,001$ ) e a biomassa ( $F = 11,14$ ;  $P = 0,001$ ) dos jovens ao longo do tempo. Embora o zooplâncton possa apresentar várias demandas conflitantes “trade-offs” ao longo de sua história de vida, uma das vantagens de investir em reprodução e alcançar o recrutamento, é conseguir manter populações estáveis mesmo diante das variações ambientais (Litchman et al., 2013). Assim, esse aumento no incremento de jovens indica que as vias tróficas que estruturam a comunidade zooplanctônica mostram sinais de estabilidade, pelo menos para lagoas, propiciando a reprodução e reduzindo a vulnerabilidade da comunidade diante de impactos ou alterações ambientais.

V.

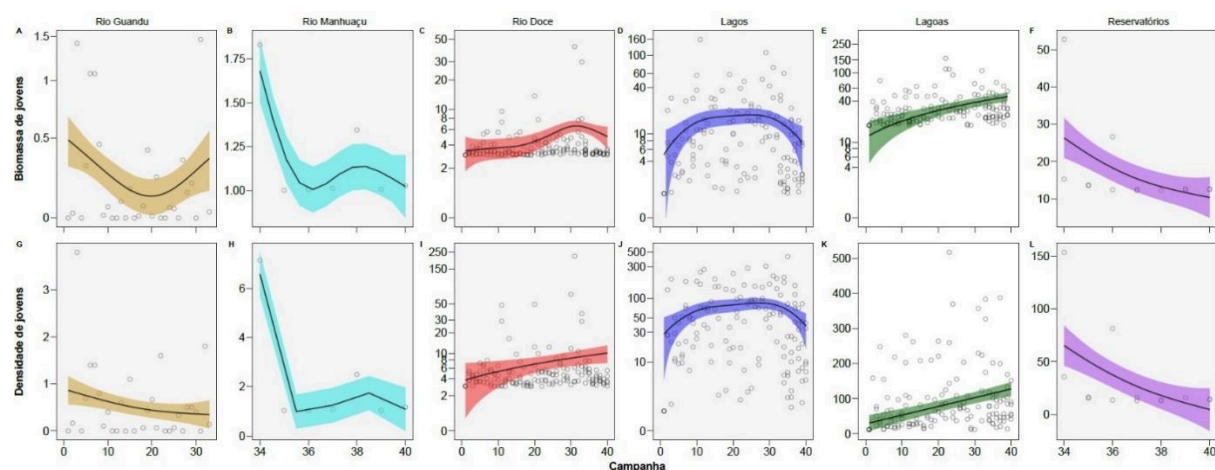


Figura V. Curvas de suavização obtidas com modelos GAMM, mostrando flutuações temporais na abundância (ind.L-1) e biomassa de formas jovens do zooplâncton (náuplios e copepoditos) ao longo dos anos de monitoramento no baixo Rio Doce, considerando o Rio Guandu, Rio Manhuaçu, Rio Doce, lagos, lagoas e reservatórios. As linhas sombreadas indicam o intervalo de confiança dos dados  $\pm 95\%$ . Em cinza (A, B, C, D, F, G, H, I, J e L) os modelos que não foram significativos. Amarelo – Rio Guandu; azul claro – Rio Manhuaçu; vermelho – Rio Doce; azul – lagos; verde – lagoas; roxo - reservatórios. Período amostral: outubro de 2018 a março de 2023.