

# Síntese da Avaliação de Impacto Ambiental

**Unidades de Conservação**  
na Bacia do Rio Doce e  
Região Costeira-Marinha  
**Grupo 3**



Unidades de  
Conservação  
do **Grupo 3**

**Área de Proteção Especial  
(APE) Pico do Ibituruna**

**Monumento Natural (MONA)  
Pico do Ibituruna**

**Parque Natural Municipal  
(PNM) de Governador  
Valadares**

**Área de Proteção Ambiental  
Municipal (APAM) Pico do  
Ibituruna**

---

**Coordenação**



**Financiamento**



**Rio de Janeiro, 2022**

---

# Equipe técnica

## Coordenação

Rafael Loyola

## Subcoordenação

Aliny P. F. Pires

## Equipe de Consultores

Adriano Sanches Melo

Carla Grigoletto Duarte

Lúcia Fernandes Sanches

Mário Almeida Neto

## Equipe de Apoio

Aldo Caccavo

Juliana Leal

Stella Manes

# Sumário

	05	Apresentação
	06	Contextualização
O rompimento da barragem e suas consequências	07	
	08	Caracterização do Grupo de UCs
	11	Linha de base integrada
Linha de base do meio físico	12	
Linha de base do meio biótico	14	
	17	Caracterização do impacto
	22	Impactos identificados
Impactos do meio físico	22	
Impactos do meio biótico	43	
	58	Síntese dos impactos
	62	Impactos na gestão e usos das UCs
	64	Proposta de medidas de reparação e compensação
	82	Conclusão
	88	Referências
	92	Anexos

# — Apresentação

Esta publicação é o primeiro produto do projeto firmado entre a Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável (FBDS) e a Fundação Renova, visando a avaliação e o estabelecimento de estratégias de conservação para grupos de unidades de conservação (UCs) impactados pelo rompimento da Barragem de Fundão - Mariana, MG.

Após uma série de estudos que avaliaram os impactos em cada uma das UCs isoladamente, diversos pontos críticos levaram à necessidade de uma análise integrada de grupos de UCs que estivessem em uma mesma região. Nesta análise, integramos a linha de base e as medidas de reparação, atentando para que a regionalização das medidas de reparação não desconsidere demandas específicas de cada UC.

A equipe da FBDS realizou uma avaliação crítica dos relatórios produzidos no contexto do atendimento ao Termo de Transação e de Ajustamento de Conduta (TTAC). Estes relatórios visam apresentar as Avaliações de Impacto Ambiental (AIA), individualmente, para as UCs decorrentes do rompimento da Barragem de Fundão. No caso das UCs do Grupo 3, contempladas neste produto, os relatórios disponíveis foram desenvolvidos pelo Instituto Ekos Brasil.

Este estudo teve como ponto de partida a avaliação e integração das linhas de base elaboradas a partir de informações disponíveis sobre as UCs e suas regiões de inserção relativas a dados ambientais físico-químicos e dados bióticos anteriores aos efeitos provocados pela chegada do rejeito sobre os ambientes. Além dos dados disponíveis nos relatórios, foram feitas buscas complementares de modo a enriquecer a linha de base.

Os impactos ocorrendo em escala regional, ou seja, em uma ou mais UCs do grupo, foram identificados, descritos e tiveram sua significância avaliada. A determinação da significância é parte importante da definição de prioridades para a implementação das medidas reparatórias e/ou compensatórias para cada um dos impactos identificados.

Por meio desta publicação esperamos contribuir de forma simples e objetiva para um melhor entendimento dos impactos decorrentes do rompimento da Barragem de Fundão sobre as UCs do Grupo 3. Buscamos também deixar sugestões de medidas reparatórias que contribuam efetivamente para a recuperação ou compensação dos danos ambientais.

Fundação Brasileira para o Desenvolvimento  
Sustentável - FBDS



# Contextualização

---

Este relatório sintetiza e regionaliza informações sobre a linha de base e impactos físicos e bióticos causados pelo rompimento da Barragem de Fundão, em 5 de novembro de 2015, sobre quatro Unidades de Conservação (UC) localizadas no município de Governador Valadares (MG), a saber:

Área de Proteção Especial (APE) Pico do Ibituruna;

Área de Proteção Ambiental Municipal (APAM) Pico do Ibituruna;

Monumento Natural (MONA) Estadual Pico do Ibituruna;

Parque Natural Municipal (PNM) de Governador Valadares.

O relatório inclui análises dos níveis de magnitude, importância e significância de cada impacto, assim como propostas de medidas de monitoramento, reparação e compensação. O relatório tem como base o "Diagnóstico de Avaliação - Área de Proteção Especial Pico do Ibituruna - Medição 8 Final" e "Diagnóstico de Avaliação - Monumento Natural Pico do Ibituruna - Medição 8 Final", ambos realizados pelo Instituto Ekos Brasil e finalizados em junho de 2019 (Instituto Ekos 2019a, b).

Conforme recomendação do "Plano de trabalho para estudos de avaliação dos impactos gerados pelo rompimento da Barragem de Fundão nas Unidades de Conservação - Revisão 04" (Fundação RENOVA, 2018), para cada UC também foram considerados os impactos identificados em suas Zonas de Amortecimento (ZA) ou em uma área de entorno de até 3 km dos limites das UCs onde não há ZA oficialmente estabelecida. A distância de 3 km é determinada pela Resolução CONAMA nº 428 de 17/12/2010, que regulamenta os procedimentos de licenciamento ambiental de empreendimentos de significativo impacto ambiental que afetem as UCs específicas ou suas zonas de amortecimento.

Informações adicionais foram obtidas em fontes diversas para consolidação da linha de base e construção deste relatório. Os diagnósticos usados seguem, em grande parte, as recomendações que constam no "Plano de trabalho para estudos de avaliação dos impactos gerados pelo rompimento da Barragem de Fundão nas Unidades de Conservação - revisão 04" (RENOVA, 2018) e apresentam informações detalhadas sobre diversos aspectos dos impactos causadas pelo rompimento da barragem.

O maior desafio deste relatório apresentado pela Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável (FBDS) é, portanto, integrar e sintetizar em um único documento os impactos identificados e as medidas reparatórias e compensatórias propostas nos relatórios originalmente produzidos, e fornecer um quadro confiável da linha de base para o grupo de UCs. Para a efetivação de tal tarefa, foram priorizadas simplicidade e clareza na elaboração de um quadro que possa servir de base para ações pragmáticas.

Detalhes sobre os métodos poderão ser encontrados nos anexos deste relatório, em especial no documento "Metodologia de Integração da Avaliação de Impacto Ambiental das Unidades de Conservação da bacia do Rio Doce e região costeira-marinha". Além disso, detalhes sobre a linha de base e dos impactos poderão ser obtidos nos diagnósticos produzidos pelo Instituto Ekos Brasil (Instituto Ekos 2019a, b).

# O rompimento da barragem e suas consequências

## Contextualização

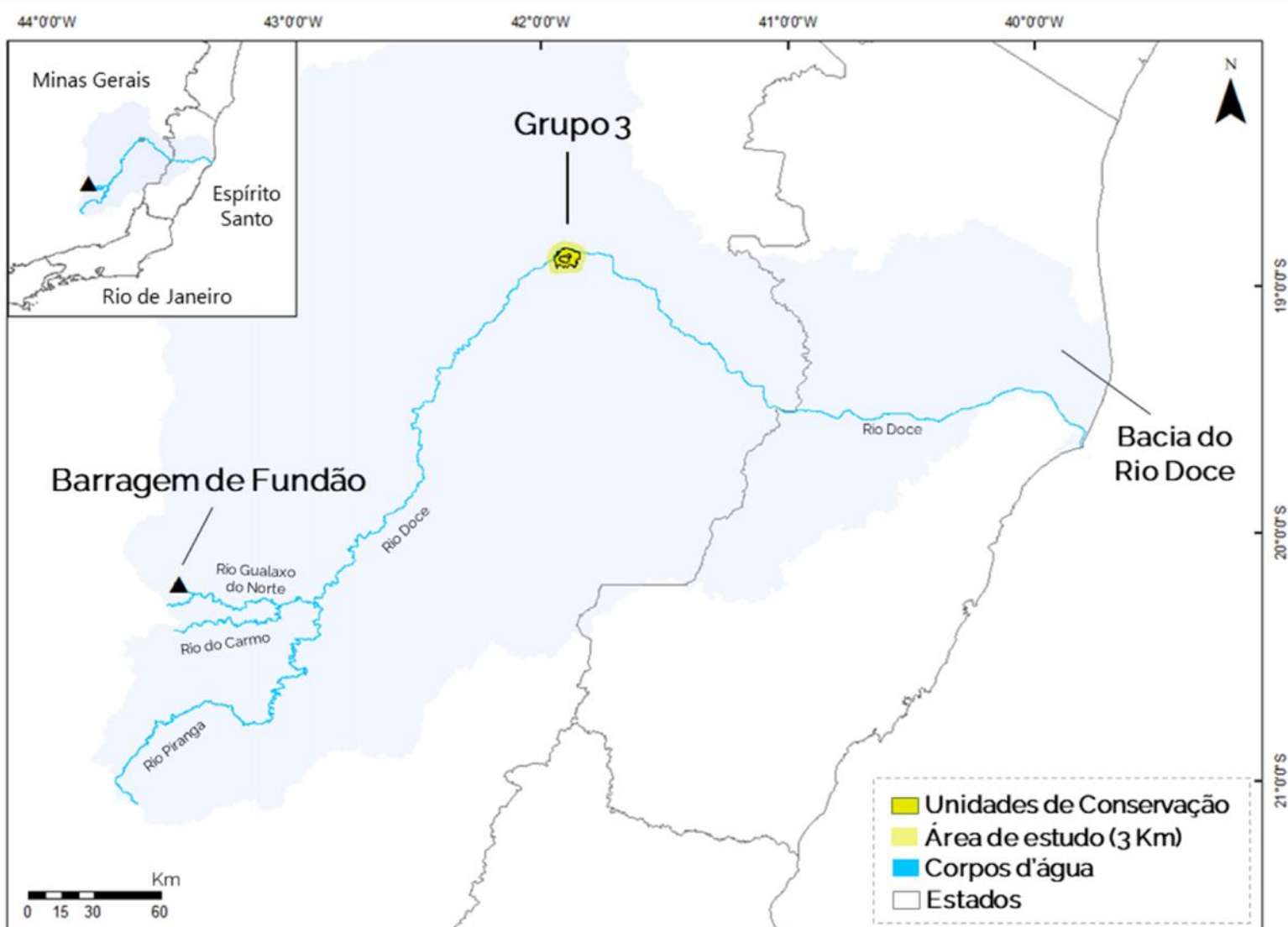
A Barragem de Fundão, localizada no município de Mariana (MG), rompeu em 5 de novembro de 2015, despejando cerca de 39,2 milhões de m<sup>3</sup> de rejeitos de mineração no Rio Gualaxo do Norte. Estes rejeitos percorreram 71 km até o Rio do Carmo e, em seguida, outros 25 km até sua foz no Rio Doce. No Rio Doce, o rejeito percorreu 16 km até o reservatório da Usina Hidrelétrica (UHE) Risoleta Neves (Candonga), onde boa parte do sedimento grosso foi retida. Os sedimentos mais finos foram levados por mais 246 km até Governador Valadares, cidade onde localizam-se as UCs avaliadas neste relatório, a uma distância de 358 km da Barragem de Fundão.

O desastre causou a morte de moradores locais e de funcionários da Barragem, além de grandes perdas materiais e ambientais, tendo sido classificado como de muito grande porte. O rejeito transbordou para as margens no percurso entre a Barragem de Fundão e o Reservatório da UHE Risoleta Neves, impactando diretamente as regiões ribeirinhas deste trecho. Além disso, antes da chegada dos rejeitos na UHE Risoleta Neves, houve descarga de água armazenada de modo a reter parte dos rejeitos. Isto causou enchente curta (e pequena se comparada a enchentes recorrentes durante o verão) que chegou em Governador Valadares no dia 8 de novembro de 2015.

A onda de rejeitos chegou no dia seguinte, quatro dias após a ruptura da Barragem de Fundão e não atingiu planícies fluviais, pois ficou, majoritariamente, contida na calha do Rio Doce.

Entretanto, em janeiro de 2016, após fortes chuvas, o Rio Doce atingiu áreas que são normalmente inundadas no período de chuvas (planícies fluviais ou várzeas) e trouxe grande quantidade de rejeitos que estavam depositados em seu leito e nos reservatórios a montante. Parte destas áreas ribeirinhas que receberam rejeitos estão dentro do PNM de Governador Valadares e da Zona de Amortecimento (3 km ao redor das UCs), que inclui as duas margens do Rio Doce no município de Governador Valadares. Estes rejeitos nas áreas de várzea formaram depósitos de cerca de 20 cm de altura após a cheia de janeiro de 2016, sendo removidos por chuvas e cheias posteriores (Instituto Ekos 2019a p. 174).

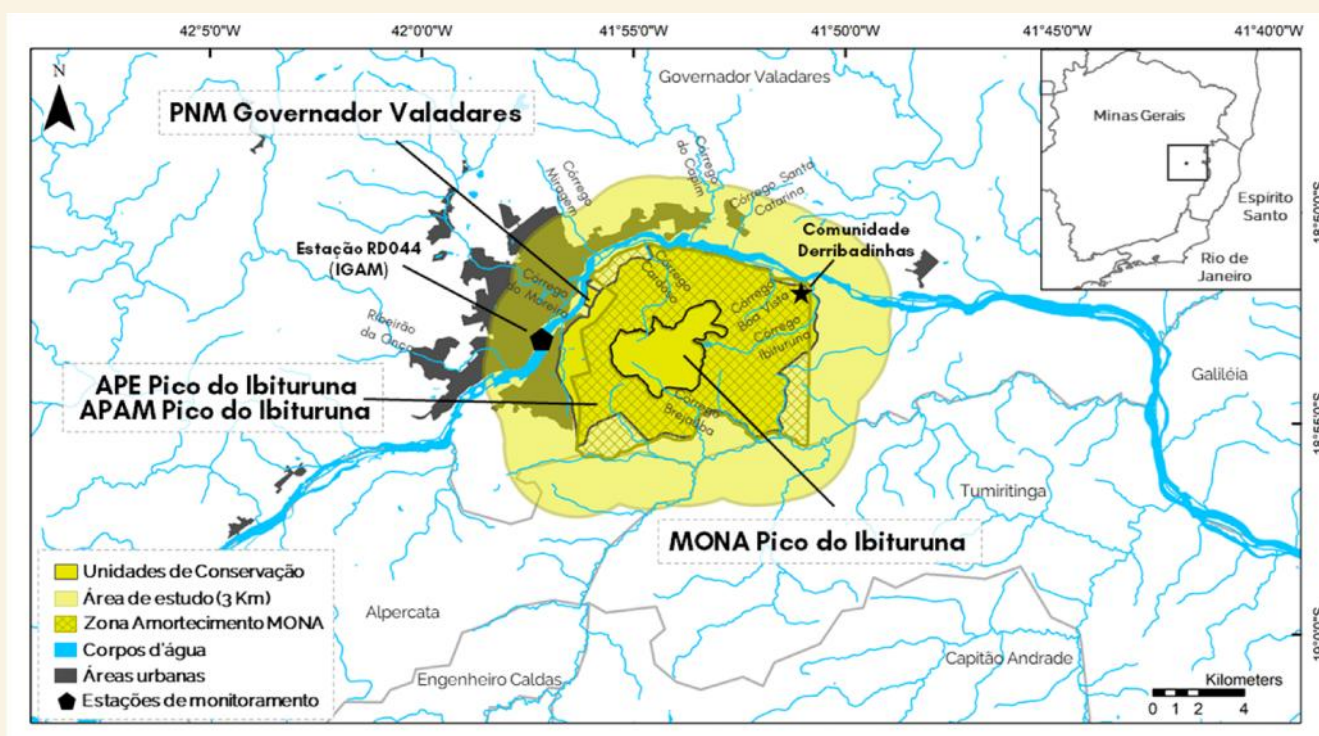
# Caracterização do Grupo de UCs



Unidades de Conservação do Grupo 3 na bacia do Rio Doce

# Caracterização do Grupo 3

A região do médio-baixo Rio Doce pertence ao domínio da Mata Atlântica. A maior parte da cobertura vegetal nativa da região está atualmente distribuída em pequenos fragmentos de floresta estacional semidecidual. O restante da paisagem é coberta por pastagens, cultivos agrícolas e outros usos antrópicos.



**Figura 1:** Mapa da Área de Estudo, definida pela área que se estende por 3 km a partir do perímetro da Área de Proteção Especial (APE) Pico do Ibituruna. A Área de Proteção Ambiental Municipal (APAM) possui a mesma área da APE. O Monumento Natural (MONA) Estadual Pico do Ibituruna está contido dentro da área da APE. O Parque Natural Municipal (PNM) de Governador Valadares situa-se entre a APE e o Rio Doce.

**Fonte:** FBDS, 2022.

A região do Pico do Ibituruna, onde estão localizadas as quatro UCs avaliadas neste relatório, é a área com maior cobertura de vegetação nativa de Governador Valadares. A área urbana da cidade está concentrada na margem esquerda do Rio Doce, com bairros na margem direita e em ilha fluvial (Fig. 1). Na margem direita, em frente à cidade, fica o Pico do Ibituruna, que atinge 1.123 m de altitude em relação ao nível do mar e 990 m em relação ao Rio Doce. O Pico é protegido pelo MONA Pico do Ibituruna, unidade de conservação estadual, com área de 1.076,2 ha totalmente inserida na APE Pico do Ibituruna.

A APE possui uma área de 6.680 ha e também é uma unidade de conservação estadual, que se estende até as áreas mais baixas, próximas à margem direita do Rio Doce. A mesma área da APE, criada em 1983, foi instituída como APA municipal (APAM) em 1992. Por simplicidade, salvo casos que sejam específicos da APAM, refere-se neste relatório apenas à APE tendo em vista que o diagnóstico, avaliação de impactos e ações sugeridas afetam de maneira similar ambas UCs. O PNM de Governador Valadares possui 40 ha e situa-se em região plana (160 m), no sopé do Pico do Ibituruna, entre a APE e a margem direita do Rio Doce (Fig. 1).

A APE Pico do Ibituruna, e o MONA Pico do Ibituruna em sua porção mais alta, se estendem desde o ápice da formação montanhosa até sua base (Fig. 1). A APE abriga pequenas propriedades rurais, algumas de subsistência e outras que fornecem produtos para a população urbana. A região também abriga diversos condomínios de casas, a maioria ocupada em finais de semana e temporadas, e também conta com algumas pousadas, bares e restaurantes. A região mais alta possui antenas de telecomunicação e atrai visitantes pelo amplo mirante e facilidades para praticantes de voo livre (parapente e asa-delta). A APE também é utilizada por praticantes de caminhadas, ciclismo, motociclismo e rapel. A Zona de Amortecimento de 3 km ao redor da APE inclui o PNM de Governador Valadares, trecho em arco do Rio Doce, zona rural e parte da zona urbana de Governador Valadares a oeste/noroeste (Fig. 1).

O PNM de Governador Valadares tem como objetivo proteger remanescentes de vegetação nativa e propiciar lazer para a população. O local era uma fazenda voltada para pecuária extensiva. Possui relevo eminentemente plano e parte significativa de sua área está sujeita a inundação periódica pelo Rio Doce segundo o Plano de Manejo do Parque Natural Municipal de Governador Valadares/MG (Alternativa Educação e Manejo Ambiental, 2011 [ver Figuras II.3.9 e II.3.11 no Plano referido]). O Parque possui, entre outros itens de infraestrutura, estacionamento, auditório para 100 pessoas, centro de exposições, trilhas, parques infantis e áreas para lanche. O Parque recebe até 2.000 visitantes em finais de semana ensolarados.

# Linha de base integrada

---

Historicamente, a bacia do Rio Doce sofreu forte desmatamento devido ao uso da terra para plantio de culturas, principalmente café. No entanto, devido à baixa produtividade, com o tempo as áreas de cultivo agrícola foram substituídas por pastagens. A vegetação original ficou restrita a fragmentos que hoje somam cerca de 39,5% da bacia do Rio Doce, em grande parte presentes em sua porção oeste (Fundação Renova, UFMG e UFV 2018). A região de Governador Valadares, no médio Rio Doce, possui proporção consideravelmente menor de vegetação nativa e muitos municípios apresentam déficit de áreas de proteção permanente (APP) no entorno (superior a 80%) dos corpos hídricos (Pires et al. 2017). Cabe ressaltar que tais estimativas foram obtidas a partir do mapeamento em resolução inédita realizado pela FBDS para toda a Mata Atlântica. Neste contexto, o Pico do Ibituruna representa o maior remanescente de Mata Atlântica em Governador Valadares.

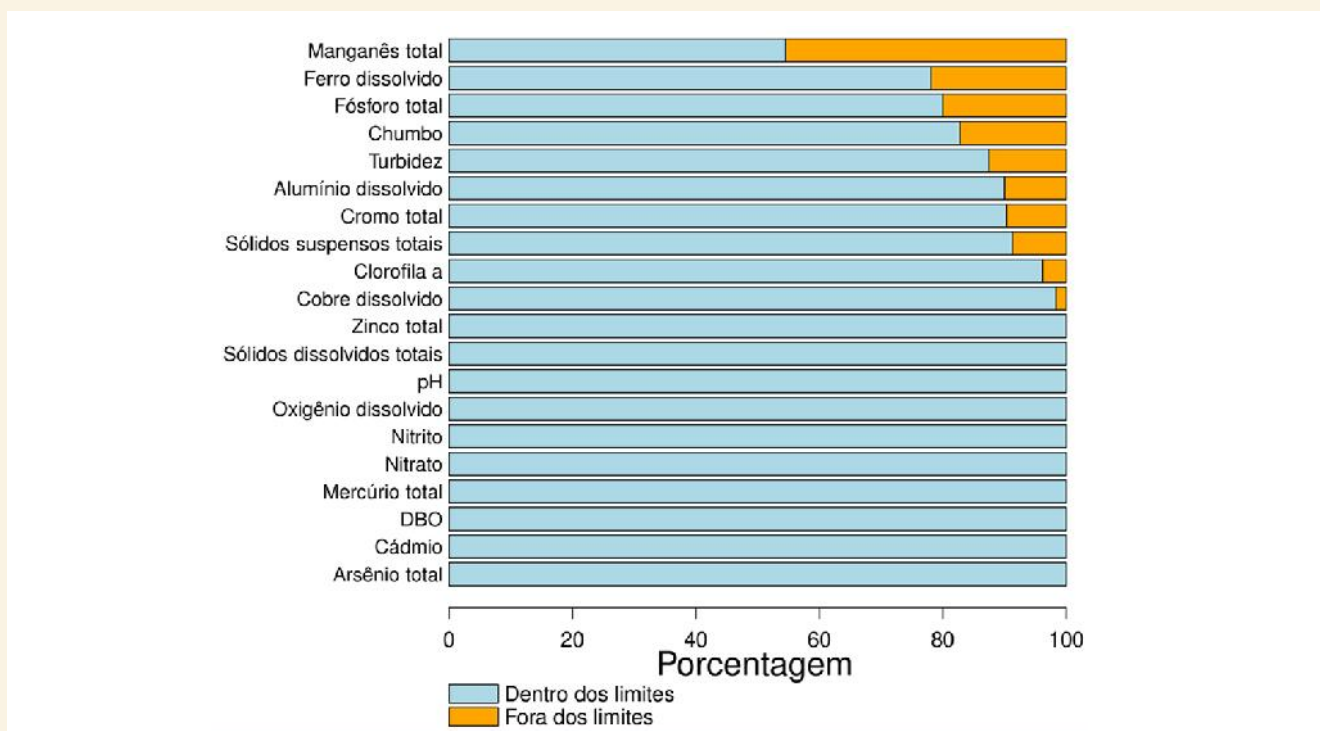
Os rejeitos despejados no Rio Doce em decorrência do rompimento da Barragem de Fundão são constituídos em grande parte por argila e areia e possuem uma alta concentração de óxidos de ferro (hematita  $[\text{Fe}_2\text{O}_3]$  e goethita  $[\text{FeO}(\text{OH})]$ ), quartzo ( $\text{SiO}_2$ ) e caulinita ( $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ ). Eles também possuem baixas concentrações de diversos metais, por exemplo, arsênio, chumbo e cromo (Tecnohidro 2019).

A criação de uma linha de base sintética para este grupo de UCs foi facilitada por estas estarem distribuídas de forma aninhada ou adjacente uma à outra. Por outro lado, a quantidade e qualidade dos dados disponíveis para estabelecer a linha de base para este conjunto de UCs é bastante variável. Existem séries históricas para um grande número de variáveis relacionadas à qualidade da água do Rio Doce, obtidas na estação de monitoramento do Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM) localizada na cidade de Governador Valadares. No entanto, há poucos registros biológicos devidamente especializados para as UCs. Além disso, os dados biológicos usados, em geral, são qualitativos e oriundos de diversas fontes, o que gera incerteza sobre os atributos dos diferentes aspectos bióticos afetados pelo rompimento da Barragem de Fundão.

## Meio Físico

A água de um rio reflete as características geológicas e usos do solo dos locais por onde passa. A bacia do Rio Doce é bastante degradada e isto se reflete em várias características de suas águas. A água do Rio Doce no trecho próximo a Governador Valadares é monitorada pelas estações RD044 (montante) e RD045 (jusante) do Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM). A estação RD044 fica dentro da Área de Estudo das UCs tratadas neste relatório. Portanto, no âmbito deste relatório utilizamos os dados públicos da estação RD044 obtidos desde 2000, com maior frequência nos últimos anos. O número de variáveis determinadas em cada amostra foi bastante variável ao longo do tempo, com tendência de maior número nas amostras dos últimos anos. As variáveis incluem descritores básicos de qualidade de água, íons (incluindo nutrientes), contaminação microbiológica e indicadores de biomassa de fitoplâncton.

As condições da água do Rio Doce antes do rompimento de Fundão podem ser avaliadas a partir da porcentagem de valores que corresponderam aos padrões de qualidade de água para rios de Classe 2 para o período 2000-2015, segundo o Diagnóstico do Instituto Ekos (Instituto Ekos 2019a, b) (Fig. 2).



**Figura 2:** Porcentagem dos valores de variáveis aquáticas do Rio Doce, na região de Governador Valadares, correspondentes aos padrões estabelecidos para rios de Classe 2 (CONAMA 357/2005, COPAM 001/2008) entre 2000 e 2015, antes da ruptura da Barragem de Fundão. **Fonte:** FBDS, 2022.

Das variáveis apresentadas na Figura 2, vale ressaltar que ferro, alumínio e manganês são elementos presentes em altas concentrações nos rejeitos de Fundão. Estes elementos apresentam alta concentração na água do Rio Doce em relação aos padrões de qualidade de água para rios de Classe 2, particularmente manganês. Estas altas concentrações refletem quantidades naturais destes elementos nos terrenos drenados pelo Rio Doce.

Estudo feito em 2017 no MONA Pico do Ibituruna revelou a existência de 83 nascentes, 12 das quais secas no momento da visita em campo (Felicori et al. 2018). Muitas destas nascentes atravessam propriedades privadas e são represadas para usos diversos (pesca esportiva, dessedentação animal, irrigação). Henriques (2009; APUD Instituto Ekos 2019a, b) estima que 15% das propriedades no Pico do Ibituruna lancem esgotos nos riachos. Não há avaliação da qualidade da água nos riachos antes do rompimento da Barragem de Fundão. A avaliação qualitativa de 10 variáveis (por exemplo, assoreamento, pisoteio por gado) feita em 2017 mostrou que cerca de 46% dos riachos apresentavam-se em situação ruim ou péssima (Felicori et al. 2018). Segundo relato feito pela equipe do Instituto Ekos por ocasião da visita às UCs em fevereiro de 2019, os riachos visitados não possuíam água em seu encontro com o Rio Doce, mesmo em época de chuvas, provavelmente devido ao grande número de represas e usos diversos da água. Os moradores da área também possuem vários poços para abastecimento doméstico. Não há relatos se esta falta de água nos riachos em sua foz com o Rio Doce já era prevalente antes do rompimento da Barragem de Fundão.

A Área de Estudo inclui trechos marginais ao Rio Doce. Parte destas áreas, mais baixas, costumam ser inundadas pelo rio (várzea) nas épocas de chuva. O Plano de Manejo do PNM Governador Valadares mostra trechos do parque que são inundados pelo rio e seus períodos de recorrência (Alternativa Educação e Manejo Ambiental 2011 [ver Figuras II.3.9 e II.3.11 daquele Plano]).

## Meio Biótico

As linhas de base do meio biótico apresentadas nos Relatórios de Impacto elaborados pelo Instituto Ekos para as UCs APE Pico do Ibituruna e MONA Pico do Ibituruna apresentam informações gerais sobre a vegetação e sobre a composição dos seguintes grupos taxonômicos: plantas vasculares (angiospermas e pteridófitas), mamíferos, aves, répteis, anfíbios e peixes.

Devido à ausência ou baixa disponibilidade de inventários florísticos e faunísticos amplos realizados nas UCs, a maior parte dos registros de ocorrência usados nos relatórios do Instituto Ekos é baseada em dados secundários compilados de repositórios de dados online não específicos como *SpeciesLink* ([splink.cria.org.br](http://splink.cria.org.br)) e *Global Biodiversity Information Facility* ([www.gbif.org](http://www.gbif.org)), assim como de banco de dados específicos para plantas terrestres (JABOT: [jabot.jbrj.gov.br](http://jabot.jbrj.gov.br)), aves (VertNet: [vertnet.org](http://vertnet.org); Wikiaves: [www.wikiaves.com.br](http://www.wikiaves.com.br)), anfíbios e répteis (herpNet: [www.herpnet.org](http://www.herpnet.org)).

Também foram usados registros das espécies presentes nos planos de manejo das unidades de conservação na bacia do Rio Doce, teses, dissertações e trabalhos de conclusão de curso de graduação, artigos científicos, coleções de museus, dados do monitoramento de ictiofauna em andamento (disponibilizados pela Fundação Renova), e observações pessoais dos especialistas que participaram dos relatórios do Instituto Ekos, incluindo observações realizadas durante a expedição de campo.

Informações sobre o grau de ameaça das plantas terrestres foram obtidas nas listas da União Internacional para a Conservação da Natureza (IUCN, 2021) para classificação de ameaça ao nível global, CNCFlora (2013) para nível de ameaça em escala nacional, e para o Estado de Minas Gerais foi usada a lista do Conselho Estadual de Política Ambiental (COPAM, 1997).

Para os mamíferos foram usadas as listas da IUCN (2021) para dados de ameaça ao nível global, a lista oficial da fauna brasileira ameaçada de extinção (ICMBio, 2018) para dados em escala nacional e a lista da Fundação Biodiversitas (Biodiversitas, 2007) para dados de Minas Gerais.

Para a herpetofauna, os relatórios do Instituto Ekos citam a lista da IUCN (2021) para os níveis de ameaça em escala global, a lista oficial da fauna brasileira ameaçada de extinção (ICMBio, 2018), e as listas da Fundação Biodiversitas (Biodiversitas, 2007) e da Lista de Espécies Ameaçadas de Extinção da Fauna do Estado de Minas Gerais elaborada pelo Conselho Estadual de Política Ambiental (COPAM, 2010).

Para os peixes, os relatórios do Instituto Ekos citam como fonte de classificação de grau de ameaça a lista da IUCN (2021), o Livro Vermelho da Fauna Brasileira Ameaçada de Extinção (ICMBio, 2018) e Lista de Espécies Ameaçadas de Extinção da Fauna do Estado de Minas Gerais (COPAM, 2010).

A quantidade e qualidade das informações sobre origem (nativa ou exótica), endemismo, raridade, sensibilidade à impactos, uso como bioindicador e importância econômica variaram bastante entre os grupos taxonômicos (Ver Anexo II em Instituto Ekos 2019a, b). Por exemplo, enquanto para as plantas terrestres há apenas algumas informações sobre o nível de ameaça das espécies, para as aves há informações sobre sensibilidade, abundância relativa, prioridade de conservação, prioridade de pesquisa e endemismo.

De acordo com relatórios produzidos pelo Instituto Ekos para a APE Pico do Ibituruna e MONA Pico do Ibituruna foram compiladas a possível presença de 299 espécies de plantas; 102 espécies de mamíferos, das quais 21 de pequenos mamíferos terrestres, 37 de mamíferos de médio e grande porte e 44 de morcegos; 69 espécies de aves; 44 espécies de peixes; 38 espécies de anfíbios e 42 espécies de répteis, das quais 13 de lagartos, uma anfisbena, 26 serpentes, um cágado e um jacaré.

Na linha de base atualizada do presente relatório os táxons não identificados até o nível específico ou aqueles com identificação incerta (ex: sp., spp., cf., aff.) foram agrupados como uma única espécie incerta dentro de cada gênero. Assim, procurou-se minimizar que a mesma espécie fosse considerada mais de uma vez na linha de base. Além disso, a possibilidade de sinonímia foi verificada para todas as espécies registradas na Área de Estudo. Como resultado, foram listadas um total de 287 espécies de plantas e 484 espécies de vertebrados.

As 287 espécies de plantas estão distribuídas em 221 gêneros e 88 famílias, entre as quais se destaca a família Fabaceae com 47 espécies do total de plantas registradas. Cerca de 19,5% das plantas (56 spp.) registradas como de ocorrência real ou potencial na Área de Estudo são consideradas endêmicas da Mata Atlântica. Quanto ao grau de ameaça, foram encontradas seis espécies de plantas (*Cedrela fissilis*, *Chionanthus subsessilis*, *Ficus cyclophylla*, *Machaerium androvillosum*, *Plathymentia foliolosa* e *Syagrus macrocarpa*) classificadas em algum grau de ameaça em escala global (IUCN, 2021), nove espécies de plantas (*Cariniana ianeirensis*, *Cedrela fissilis*, *Chionanthus subsessilis*, *Ficus cyclophylla*, *Melanoxylon brauna*, *Ocotea odorifera*, *Paratecoma peroba*, *Pitcairnia decidua* e *Syagrus macrocarpa*) em escala nacional (ICMBio, 2018), e seis espécies de plantas (*Chionanthus subsessilis*, *Melanoxylon brauna*, *Ocotea odorifera*, *Paradrypetes ilicifolia*, *Paratecoma peroba* e *Syagrus macrocarpa*) para o estado de Minas Gerais (COPAM, 1997).



# Caracterização do Impacto

## Nota metodológica

Nosso objetivo com esse relatório foi produzir um documento objetivo e pragmático que seja de ampla compreensão quanto aos impactos e as ações reparadoras ou compensatórias necessárias. Tal estratégia contou com sete etapas:

**(1) Síntese de todos os impactos** listados nos relatórios de diagnóstico dos impactos produzidos para as UCS potencialmente afetadas pelo rompimento da Barragem de Fundão. Esta etapa foi necessária para padronizar os impactos e compatibilizar diferenças nas listas de impactos descritos nos relatórios do Instituto Ekos e da CEPEMAR. Estas diferenças na listagem dos impactos incluem (i) impactos avaliados por uma empresa e não avaliados pela outra, e (ii) impactos descritos de maneira específica para uma região (por ex., Rio Gualaxo do Norte), embora o mesmo tipo de impacto tenha ocorrido em outros locais.

Na padronização feita, alguns impactos que ocorrem de maneira associada foram agrupados. Por exemplo, a turbidez da água está associada a sólidos totais e, portanto, a resposta de uma pode ser em grande parte derivada da outra.

Finalmente, alguns impactos que tratavam de mais de um compartimento ecossistêmico foram separados. Como resultado do processo de padronização dos impactos, foram identificados oito impactos físicos e seis impactos bióticos para as UCs do Grupo 3 (Ver seção "Impactos Identificados e sua Significância").

Embora a presente síntese tenha sido produzida com base em um número reduzido de impactos, sempre que relevante os impactos originalmente descritos pela empresa que realizou os diagnósticos foram citados neste relatório. Isto deverá facilitar a correspondência entre os mesmos, algo útil caso se queira buscar maior detalhamento nos diagnósticos originais. O documento "Metodologia de Integração da Avaliação de Impacto Ambiental das Unidades de Conservação da bacia do Rio Doce e região costeira-marinha" traz a correspondência entre os impactos compilados para todos os grupos de UCs;

---

(2) Revisão dos procedimentos de atribuição dos níveis de magnitude e significância dos impactos e construção de um **sistema de avaliação** no qual os impactos de diferentes UCs pudessem ser tratados de forma regionalizada. Nesta revisão levou-se em conta que:

(a) Em um contexto regional no qual os impactos em várias UCs são avaliados simultaneamente, deve-se ponderar não somente se os impactos ocorreram dentro das UCs e/ou em suas zonas de amortecimento, mas também qual a proporção de UCs afetadas por cada um deles;

(b) a magnitude de cada impacto constitui o nível de alteração das condições físicas e bióticas em relação às condições anteriores ao rompimento da barragem e pode ser estimada qualitativamente como a soma dos níveis de severidade, extensão geográfica e duração de cada impacto;

(c) a importância dos componentes afetados por cada impacto independe da magnitude e deve ser analisada como um atributo que diz respeito ao valor intrínseco em termos de valor de existência dos componentes que representam o meio físico e a biota local ou ao valor instrumental para populações humanas afetadas;

(d) a significância de cada impacto é o resultado da relação entre a magnitude total de cada impacto (i.e., o nível de alteração do impacto ponderado por sua duração e extensão) e a importância dos diferentes componentes afetados por cada impacto;

(e) diferente das estimativas de magnitude e significância de impactos potenciais que ainda não ocorreram, a reversibilidade de um impacto que já ocorreu não constitui um atributo que deve compor sua magnitude total, pois tendo o impacto ocorrido não se trata mais do risco de perder definitivamente um componente físico ou biótico, mas sim de um aspecto que deve ser considerado nas medidas de reparação ou compensação a serem estabelecidas para cada impacto.

#### *Cálculo da significância*

Neste relatório, os níveis de significância dos impactos foram estimados por meio da combinação dos valores de magnitude de cada impacto e da importância dos componentes afetados. A magnitude se refere à combinação de três atributos distintos: severidade, extensão e duração. A severidade, relacionada ao tamanho do efeito observado, foi classificada em três níveis: baixa, média e alta; e a extensão, que descreve se o impacto foi observado na UC, em sua zona de amortecimento e o número de UCs afetadas por determinado impacto no grupo, foi classificada em quatro níveis distintos: baixa, média, alta e muito alta. O enquadramento da extensão em um determinado nível foi estabelecido a partir do cálculo da extensão normalizada para o grupo de UCs. A duração também contou com quatro níveis distintos, relacionados à atuação do impacto: curta, média, longa e permanente. Cada um destes atributos foi ordenado de modo que variassem de 1 a 4, sendo a magnitude resultado da soma destes três atributos.

A magnitude foi dividida em três níveis: baixa, para escores de 3 a 5; média, para escores de 6 a 9 e; alta, para escores de 10 a 12. Cada um destes níveis foi relacionado com um novo escore, representando a magnitude total do impacto, que variou entre 1 e 3.

A importância dos componentes também foi classificada nestes mesmos níveis: baixa, média e alta e seguiu a mesma hierarquização. A classificação dos componentes em cada um destes níveis de importância seguiu critérios distintos para os meios físico e biótico, e buscou representar o valor intrínseco do componente afetado, relacionado a critérios como o uso humano e a ocorrência de espécies endêmicas e ameaçadas.

Por fim, a significância é resultado da combinação entre magnitude e importância atribuídas e foi classificada em 5 níveis, de acordo com a Tabela 2.

**Tabela 2.** Interpretação dos níveis de significância dos impactos a partir dos valores em escala ordinal descritos em detalhes para todos os impactos no Anexo 1. **Fonte:** FBDS, 2022.

Níveis de magnitude	Níveis de importância do componente afetado		
	Baixa	Média	Alta
Baixa	Muito baixa	Baixa	Média
Média	Baixa	Média	Alta
Alta	Média	Alta	Muito alta

A FBDS representará os valores atribuídos a cada um dos parâmetros avaliados e a significância resultante para cada impactos através do ícone gráfico abaixo, buscando facilitar a visualização dos mesmos:



A coloração de cada atributo segue a lógica descrita no texto e na tabela apresentada, onde cores mais quentes representam níveis de maior intensidade. Cabe ressaltar que a metodologia de cálculo brevemente descrita aqui está apresentada em detalhes no documento "Metodologia de Integração da Avaliação de Impacto Ambiental das Unidades de Conservação da bacia do Rio Doce e região costeira-marinha".

**(3) Construção de mapas causais** para sintetizar os impactos detectados. Os mapas possibilitam rápida compreensão da localização dos impactos nos compartimentos ecossistêmicos e sua relação com as UCs (por exemplo, se dentro das UCs ou apenas nas Zonas de Amortecimento). Eles possibilitam um arcabouço prático para interpretação dos impactos listados. Os mapas também ilustram o resultado da avaliação de significância dos impactos.

**(4) Para os dados do meio físico, foram feitas sínteses com análise multivariada** para grupos de variáveis com bons dados quantitativos disponíveis. Os dados históricos de qualidade de água do Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM) possibilitaram comparação direta das condições pretéritas e posteriores ao rompimento da Barragem de Fundão. Um exame exploratório individual de dezenas de variáveis em relação às datas das amostras foi feito e foram selecionadas aquelas disponíveis para várias datas ao longo da série histórica. Este grupo selecionado incluiu 44 variáveis.

A síntese do comportamento destas variáveis em relação ao rompimento da Barragem de Fundão foi feita através de análise de Escalonamento Multidimensional Não-Métrico (NMDS) e correlação de seus eixos com as variáveis originais. Esta análise permite entender quais variáveis, entre o grande número de variáveis utilizadas, mais distinguem amostras antes e após o rompimento. Optamos por essa abordagem pelo grande poder de síntese e fácil interpretação gráfica dos resultados. A análise descrita neste relatório incluiu apenas dados do IGAM. A vantagem de usar apenas estes dados é a padronização do esforço de coleta e métodos analíticos laboratoriais. Entretanto, a análise foi repetida adicionando dados de Golder Associates (2017) e do Programa de Monitoramento Quali-Quantitativo Sistemático (PMQQS) da Renova (obtidos em [www.monitoramentoriodoce.org](http://www.monitoramentoriodoce.org)). Os dados de Golder Associates (2017) incluiu o período 09/11/2015 até 16/08/2017 e os do PMQQS de 21/02/2000 a 07/07/2021. As conclusões desta segunda análise foram semelhantes. Detalhes metodológicos das análises bem como os resultados da segunda análise podem ser vistos no Anexo 2.

A mesma abordagem multivariada (NMDS) foi aplicada, separadamente, para dados de granulometria e descritores químicos do sedimento. Os dados de granulometria e química do sedimento foram obtidos em Golder Associates (2017) e PMQQS. Para variáveis químicas do sedimento, obteve-se dados pré-rompimento de Golder Associates (2021) e da tese de Pacheco (2015). Os valores na tese foram determinados com metodologia distinta. Entretanto, as amostras foram reanalisadas pelo próprio autor com metodologia compatível com resoluções nacionais e disponibilizadas em Golder Associates (2021). Apresentamos análises com e sem os dados de Pacheco (2015) disponibilizados em Golder Associates (2021).

**(5) Para os dados do meio biótico, foram realizadas interpretações** dos efeitos dos impactos observados e mensurados no meio físico sobre os componentes bióticos considerando os seguintes aspectos:

- (a) as linhas de base dos diferentes componentes bióticos;
- (b) as distâncias e diferenças de elevação das UCs em relação aos locais onde os impactos físicos foram identificados e/ou até onde a ocorrência dos mesmos possa ter se propagado;
- (c) a conectividade hidrológica e terrestre entre as UCs e os locais onde os impactos físicos foram identificados;
- (d) a potencial propagação dos impactos bióticos através de bioacumulação ou bioamplificação de contaminantes, perda de habitat ou recursos, cascatas tróficas e outros efeitos diretos e indiretos entre os grupos de espécies avaliados.

**(6)** Interpretação integrada dos efeitos dos impactos físicos e bióticos sobre os diferentes compartimentos ecossistêmicos através de **diagramas causais**. O uso de diagramas permite sintetizar de maneira clara as potenciais relações causais entre o rompimento da Barragem de Fundão e os vários compartimentos avaliados. Os diagramas causais incluem a significância dos impactos.

**(7)** Síntese das propostas de **ações reparatórias e compensatórias** por meio da compilação das medidas listadas nos relatórios apresentados para cada uma das UCs, seguida de uma análise crítica sobre a pertinência das mesmas para lidar com os impactos estabelecidos.

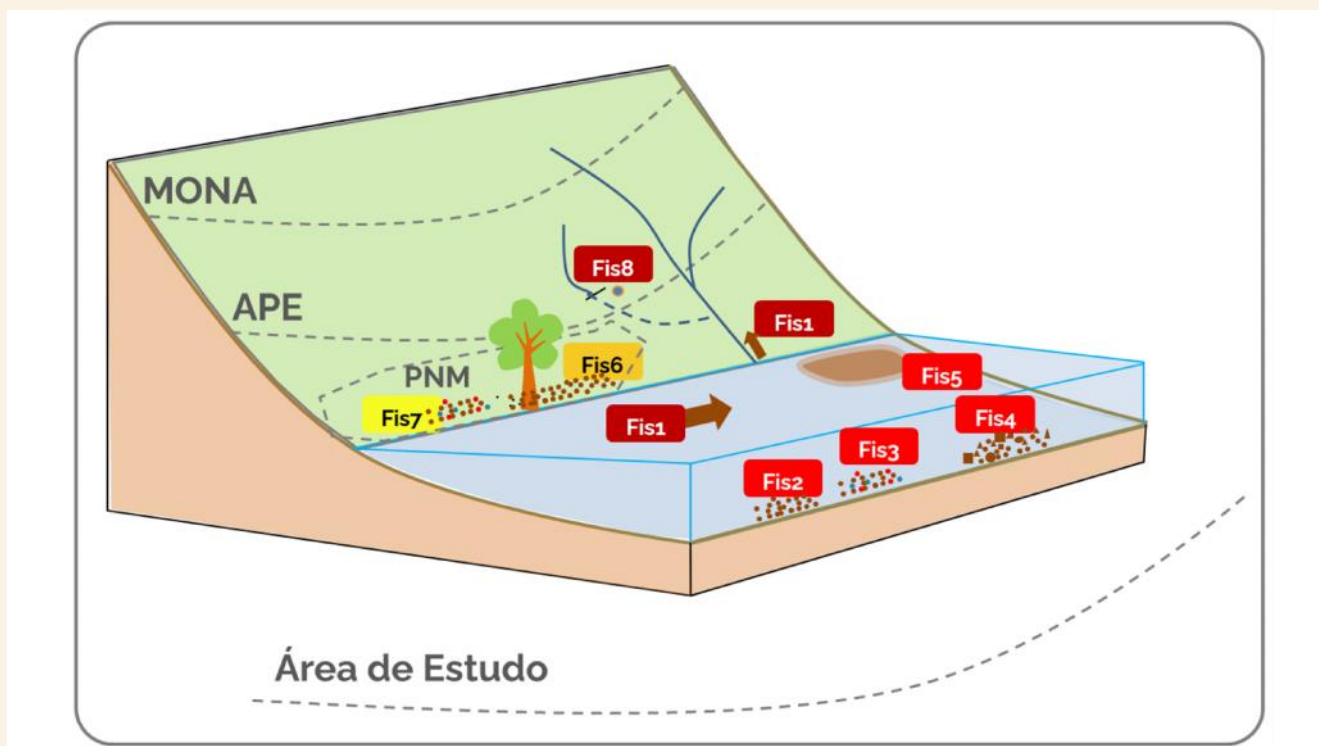
Mais detalhes sobre os métodos utilizados e brevemente descritos acima podem ser encontrados no documento "Metodologia de Integração da Avaliação de Impacto Ambiental das Unidades de Conservação da bacia do Rio Doce e região costeira-marinha".

# Impactos identificados

e sua significância

## Impactos no Meio Físico

Antes da descrição de cada impacto, é importante ter uma visão em macroescala dos compartimentos ecossistêmicos afetados (Fig. 3). O fluxo de rejeitos deteriorou a qualidade da água do Rio Doce e partes baixas de seus tributários (Fis1). A grande quantidade de material em suspensão foi depositada no leito, causando assoreamento (Fis2), contaminação (Fis3) e alteração da granulometria e demais propriedades do sedimento (Fis4). A grande quantidade de sedimento depositada também afetou a morfologia do canal (Fis5). Nos períodos chuvosos após o desastre, a água do rio ressuspendeu o sedimento depositado no leito do Rio Doce e nos reservatórios a montante e alcançou suas planícies sazonalmente alagáveis, soterrando-as (Fis6) e contaminando-as (Fis7). Finalmente, a deterioração da água do Rio Doce causou aumento no uso de água subterrânea (poços) e superficial (riachos) por populações humanas, diminuindo a vazão de seus tributários (Fis8) (Fig. 3).

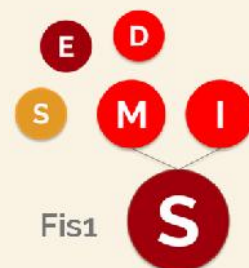


**Figura 3.** Mapa conceitual dos impactos detectados e os compartimentos ecossistêmicos afetados. Fis1 = Degradação da qualidade da água. Fis2 = Assoreamento de corpos hídricos. Fis3 = Contaminação do leito. Fis4 = Degradação da qualidade do sedimento. Fis5 = Alteração das características morfodinâmicas dos cursos d'água. Fis6 = Soterramento de planícies fluviais. Fis7 = Contaminação de planícies fluviais. Fis8 = Redução da quantidade de água dos tributários ao Rio Doce. Significância dos impactos: Amarelo = baixa; Laranja = média; Vermelho = Alta; Vermelho escuro = Muito Alta. **Fonte:** FBDS, 2022.

A relação dos impactos físicos bem como sua magnitude pode ser vista no Anexo 1 (Tabela 1). A descrição de cada um segue abaixo. Os códigos iniciados com "Fis" foram criados pela equipe da FBDS, a partir do esforço de síntese realizado. Por outro lado, os códigos iniciados com "F" referem-se aos impactos originalmente apresentados pelas empresas que realizaram a AIA de cada uma das UCs, o Instituto Ekos no caso deste grupo de UCs.



## Fis1: Degradação da qualidade da água



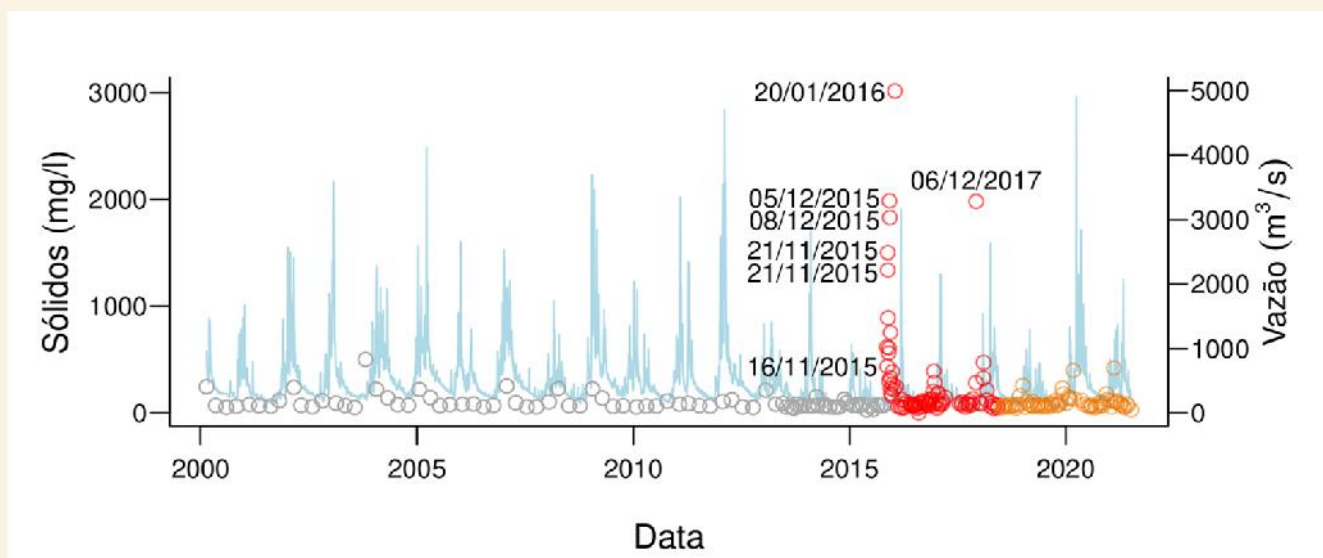
*Diminuição da qualidade da água por meio do aumento na carga suspensa, contaminação por metais, nutrientes, microorganismos e demais alterações nos parâmetros físico-químicos da água.*

F1: Degradação da qualidade da água do Rio Doce e corpos d'água marginais: aumento na carga suspensa  
 F3: Degradação da qualidade da água do Rio Doce e corpos d'água marginais: contaminação microbológica  
 F4: Degradação da qualidade da água do Rio Doce e corpos d'água marginais: demais alterações físico-química  
 F11: Degradação da qualidade da água e dos sedimentos de tributários ao Rio Doce

Este é o **impacto melhor documentado e com menor incerteza** de relação causal em relação ao rompimento da Barragem de Fundão. Sua caracterização mais detalhada aqui neste relatório é fundamental, pois é por meio da água e seus materiais transportados que acontecem os demais impactos físicos. A descrição abaixo é referente ao Rio Doce no trecho de Governador Valadares, mas se estende para regiões baixas de seus tributários incluídos na Área de Estudo.

Os sedimentos grossos de rejeito foram em grande parte depositados nos leitos e margens dos rios Gualaxo do Norte, Carmo e Doce e reservatório da UHE Risoleta Neves. Governador Valadares está a 246 km, pelo percurso de rio, a jusante do reservatório da UHE Risoleta Neves. Portanto, recebeu, num primeiro momento, sedimentos finos transportados em suspensão e dissolvidos.

A Figura 4 apresenta a série histórica de sólidos totais (suspensos + dissolvidos) bem como a vazão do Rio Doce no trecho de Governador Valadares. O padrão observado para sólidos ilustra muito bem o que aconteceu com dezenas de outros descritores da água do Rio Doce, ou seja, apresenta forte correlação estatística com estes outros descritores. Por exemplo, sólidos totais apresentou correlação de 0,91 com manganês total (representando inorgânicos) e 0,70 com fósforo total (representando íons nutrientes) (dados do IGAM). Portanto, este descritor é um indicador parcial deste impacto (análise mais abrangente é dada pela ordenação NMDS descrita abaixo).



**Figura 4.** Série histórica de concentração de sólidos totais (suspensos + dissolvidos) e vazão do Rio Doce, ambos determinados para o trecho na cidade de Governador Valadares (dentro da Área de Estudo das UCs do Grupo 3). Pontos indicam os valores de sólidos e a linha azul indica a vazão. Pontos em cinza indicam amostras obtidas antes do rompimento. Amostras em vermelho e laranja representam amostras pós-rompimento obtidas antes e após 01/07/2018, respectivamente. Valores discrepantes de sólidos são marcados com datas de ocorrência. A amostra de 16/11/2015 é a primeira obtida após o rompimento. Inclui dados do IGAM, Golder Associates (2017) e PMQSS.

**Fonte:** FBDS, 2022

O rompimento aconteceu no dia 5 de novembro de 2015. Houve pequena cheia em Governador Valadares em torno do dia 08/11/2015 decorrente de liberação de água armazenada na UHE Risoleta Neves para que se pudesse armazenar os rejeitos de Fundão. Esta liberação de água foi pequena em relação à vazão do Rio Doce em épocas de cheia e não é notada na série histórica de vazão (Fig. 4). A onda de rejeitos que chegou em Governador Valadares foi caracterizada com amostras obtidas após o dia 16/11/2015. Nota-se claro aumento súbito na concentração de sólidos neste e nos dias seguintes e, diferente de outros eventos posteriores, não foi associada a vazão muito alta.

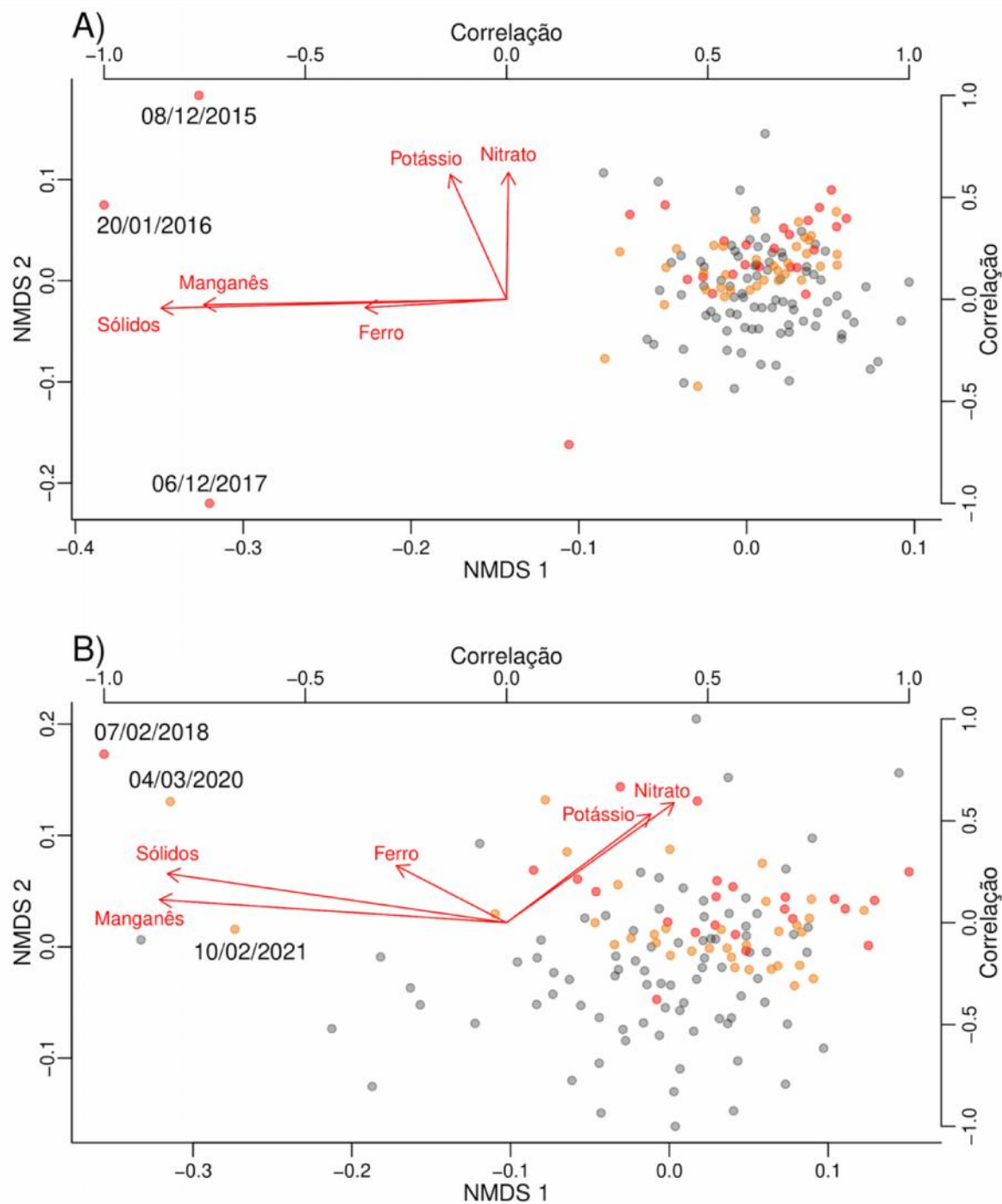
A série histórica, anterior ao impacto, não apresentou nenhum valor semelhante àqueles discrepantes observados entre 21/11/2015 e meados de janeiro de 2016. Como esperado para o clima da região nesta época do ano, houve chuvas fortes e elevação da vazão, claramente identificado como um pico em torno do dia 20/01/2016. Neste dia, foi registrado a maior concentração de sólidos totais de toda a série histórica. O terceiro maior valor de sólidos foi observado após dois anos (06/12/2017), também associado ao aumento de vazão causado pelas chuvas de verão. Desde 01/07/2018 (em laranja na Fig. 4) houve apenas dois valores altos de sólidos totais, mas dentro da amplitude da série histórica anterior ao rompimento da Barragem de Fundão.

Para uma análise mais abrangente dos descritores de água, fizemos uma ordenação NMDS com 144 amostras e 44 variáveis selecionadas obtidas entre 21/02/2000 e 03/06/2021 (Fig. 5A). Nesta figura, pontos (amostras de água) próximos tendem a ser semelhantes quanto aos valores das variáveis utilizadas na análise. Pontos distantes entre si tendem a ser bem diferentes. Pontos cinza indicam amostras pré-rompimento, vermelho aquelas pós-rompimento até 01/07/2018 e laranja aquelas obtidas recentemente.

Três amostras obtidas após o impacto (marcadas com data na Fig. 5A) foram muito discrepantes em relação à série histórica de linha de base: três daquelas com altas concentrações de sólidos totais indicadas na Figura 4. Outras amostras com muitos sólidos na Figura 4 não aparecem na Figura 5A (NMDS) pois esta última foi feita com dados do IGAM, enquanto a primeira foi feita com dados do IGAM + Golder Associates (2017) + PMQQS. As demais amostras ficaram agrupadas, com tendência de posicionamento daquelas pós-rompimento (vermelho e laranja) na porção superior do eixo 2. A ordenação também mostrou que estas amostras mais à esquerda no eixo 1, como aquelas mais discrepantes e pós-impacto, estão associadas (setas vermelhas) a grandes concentrações de sólidos totais, manganês e ferro, entre outras variáveis.

Uma análise refinada foi feita removendo-se as três amostras discrepantes (Fig. 5B). Esta nova análise mostrou maior separação das amostras obtidas antes e após o rompimento. O primeiro padrão a ser observado é o posicionamento isolado de algumas amostras discrepantes à esquerda do eixo 1. Elas incluem tanto amostras obtidas antes (cinza), logo após o rompimento (vermelho, 07/02/2018) e recentes (laranja, 04/03/2020, 10/02/2021). Houve tendência de amostras pós-rompimento se posicionarem em valores maiores do eixo 2. Nota-se que, assim como observado para a análise com todas amostras (Fig. 5A), as amostras discrepantes pós-rompimento nesta segunda análise também foram obtidas no verão (07/02/2018, 04/03/2020 e 10/02/2021), quando existe o aumento sazonal de vazão. As amostras discrepantes à esquerda, obtidas antes e após o rompimento, foram fortemente associadas a sólidos totais, ferro e manganês. Amostras pós-rompimento, com tendência de posicionamento em valores altos do eixo 2, estiveram associadas positivamente a nutrientes (por exemplo, nitrato e potássio).

As ordenações indicam que enchentes no verão ressuspendem rejeitos depositados no leito do Rio Doce, reservatórios e planícies fluviais (várzea) de trechos a montante. Ainda, este processo vem acontecendo em todos os verões desde o rompimento, ainda que em menor intensidade em períodos recentes. Finalmente, a ordenação sem amostras muito discrepantes (Fig. 5B) mostra que existe nítida tendência de maior concentração de amostras pós-rompimento em uma parte (acima no eixo 2) da região ocupada por amostras pré-rompimento (ao longo de todo eixo 2). Isto indica que a qualidade de água do Rio Doce no trecho de estudo é parcialmente distinta daquela observada antes. Para avaliação mais formal destas interpretações, foram feitas Análises Multivariadas baseadas em Distâncias usando o método PERMANOVA (Anderson 2001). O teste comparativo de amostras antes e logo após o rompimento (antes de 01/07/2018; em vermelho nas figuras) mostrou que os dois grupos são distintos ( $F_{1,104} = 8,936$ ;  $p < 0,001$ ). O teste com amostras obtidas antes do rompimento e aquelas obtidas recentemente (após 01/07/2018; em laranja nas figuras) também mostrou que as características de água são distintas nos dois períodos ( $F_{1,116} = 7,395$ ;  $p < 0,001$ ). Isto indica que a qualidade da água do Rio Doce ainda não retornou totalmente às suas características pré-rompimento.



**Figura 5.** Ordenação das amostras de água do Rio Doce obtidas no trecho de Governador Valadares em relação a variáveis físicas, químicas e microbiológicas. Pontos em cinza indicam amostras obtidas antes do rompimento. Amostras em vermelho e laranja representam, respectivamente, amostras pós-rompimento obtidas antes e após 01/07/2018. Amostras próximas indicam maior similaridade nos valores das variáveis aquáticas. Setas indicam correlação de algumas variáveis associadas com os eixos de ordenação. As escalas de correlação estão representadas nos eixos superior e a direita. Setas longas indicam forte correlação. Amostras no sentido da cabeça da seta tendem a possuir maiores valores daquela variável, enquanto aquelas em sentido contrário tendem a apresentar valores baixos. Amostras discrepantes obtidas após o rompimento são identificadas com suas datas. A) Análise com todas as amostras. B) Análise com omissão das três amostras discrepantes identificadas com datas em A). Análises feitas com dados do IGAM. **Fonte:** FBDS, 2022

É importante ressaltar que a avaliação de qualidade de água no relatório do Instituto Ekos foi feita com base nos resultados de Golder Associates (2018), que por sua vez usaram base de dados mais extensa (11 laboratórios acreditados pelo INMETRO e supervisionados pela Fundação Renova quanto a qualidade e segurança). Uma segunda ordenação NMDS foi feita incluindo dados de Golder Associates (2017) e do PMQQS. As conclusões citadas aqui, baseada nos dados do IGAM (com menor densidade de amostras no período pós-rompimento), são concordantes com esta segunda análise mais ampla e cujos resultados estão disponíveis no Anexo 2.

A interpretação de nossas análises da qualidade de água dá suporte ao relatado pelo Instituto Ekos com base em entrevistas feitas em sua expedição de campo:

“A cor amarelada/vermelha é normal nessa época do ano, porém, com o aumento das chuvas, há a remobilização de sedimentos de fundo, fazendo aumentar a turbidez e mudar a coloração da água. Na época de seca, a cor da água do Rio Doce costuma ficar bem clara, mas nos últimos dois anos ela se apresentou mais amarelada. Apenas na última estação seca (meio do ano de 2018) é que a cor da água voltou ao seu aspecto usual: claro durante o período. A areia carregada pelo rio está encobrindo a lama de rejeito, mas quando a vazão aumenta, essa areia é carregada e a lama é novamente revolvida.”

A alteração da qualidade água do Rio Doce em Governador Valadares pode ser vista de forma resumida na Tabela 3. Entre os parâmetros com valores regulatórios determinados (CONAMA 357/2005 e COPAM 1/2008), 84% (27/32) ultrapassaram os limites nas amostras obtidas no mesmo verão em que houve o rompimento de Fundão. Em relação à série histórica, 88% (43/49) dos parâmetros ultrapassaram no curto prazo (mesmo verão do rompimento da Barragem de Fundão) os valores frequentemente observados no passado. Até o verão seguinte, 73% (35/48) dos parâmetros ainda estavam distintos daqueles observados na série histórica.

Finalmente, a Figura 6 mostra a porcentagem de valores dentro e fora dos padrões de regulamentação (CONAMA 357/2005 e COPAM 1/2008) pré e pós-rompimento obtidas antes (Pós-1) e após (Pós-2) 01/07/2018. Todos os valores disponibilizados pelo IGAM foram utilizados, considerando não apenas os valores de verão, portanto, espera-se que os efeitos do rompimento da Barragem de Fundão sejam menos perceptíveis na Figura 6 do que em relação à Tabela 3. Isto, pois, conforme mostrado na análise de sólidos (Fig. 4) e NMDS (Fig. 5), a alteração da qualidade da água ocorre durante o verão, quando o sedimento é ressuspensionado. Manganês frequentemente estava fora dos limites estabelecidos antes do rompimento de Fundão e vem tendendo a melhorar nos dois períodos pós-rompimento (Fig. 6). Turbidez e sólidos suspensos tenderam a ter maior porcentagem de valores fora do padrão estabelecido logo após o rompimento de Fundão (Fig. 6, Pós-1), mas vem retornando à valores semelhantes aos observados pré-rompimento em período recente (Pós-2). Alguns poucos valores de mercúrio, DBO e cádmio ficaram fora dos limites estabelecidos no período logo após o rompimento (Fig. 6, Pós-1), mas se regularizaram em período recente. De maneira inversa, pH, oxigênio dissolvido e nitrito apresentaram alguns valores fora dos limites regulamentares apenas em período recente.

Este impacto foi classificado como negativo, de ocorrência real (com base em evidências quantitativas), incidência direta e reversível, e de **alta magnitude**. Houve média severidade, pois mudou as características da água do Rio Doce e trechos baixos de seus tributários, particularmente em eventos de cheia. Sua extensão foi muito alta, pois atingiu fisicamente o PNM de Governador Valadares e as Áreas de Estudo das outras três UCs tratadas neste relatório. Sua duração é tida como longa tendo em vista que se manifesta até o presente, particularmente em eventos de cheia (Tabela 4), embora em menor intensidade (Fig. 5). A **importância também é alta**, pois é habitat de ampla diversidade de organismos aquáticos sendo usada por populações humanas para diversos fins (Tabela 4). A alta magnitude e alta importância do impacto classifica-o como de **muito alta significância** (Tabela 4).

**Tabela 3.** Porcentagem de variáveis aquáticas que ultrapassaram valores regulamentados (CONAMA 357/2005 e COPAM 1/2008) e históricos no curto prazo (mesmo verão em que ocorreu rompimento) e que ultrapassaram valores históricos no médio prazo (até o verão seguinte). Não foram computadas variáveis para as quais não se tem padrões claros, em geral por falta de dados (marcados com "?") ou por falta de valores de regulamentação (marcados como "ND") nos diagnósticos do Instituto Ekos. Valores dentro de parênteses indicam o número de variáveis avaliadas. Nem todas variáveis avaliadas possuem valores regulatórios e, por isso, número maior de variáveis foram avaliadas nas comparações com a série histórica. **Fonte:** Modificado de Ekos, 2019a.

Variáveis	Regulatório	Histórico	Histórico
	Curto prazo	Curto prazo	Médio prazo
Básicos	100 (6)	100 (13)	85 (13)
Inorgânicos	78 (18)	87 (23)	58 (22)
Macronutrientes	100 (4)	100 (4)	50 (4)
Microbiológicos	100 (1)	75 (4)	75 (4)
Orgânicos	50 (2)	67 (3)	67 (3)
Fitoplâncton	100 (1)	50 (2)	100 (2)

**Básicos:** Sólidos dissolvidos, Sólidos em suspensão, Sólidos totais, Turbidez, Condutividade, Oxigênio dissolvido, pH, Alcalinidade do bicarbonato, Alcalinidade total, Dureza de cálcio, Dureza de magnésio, Dureza total, Cor verdadeira

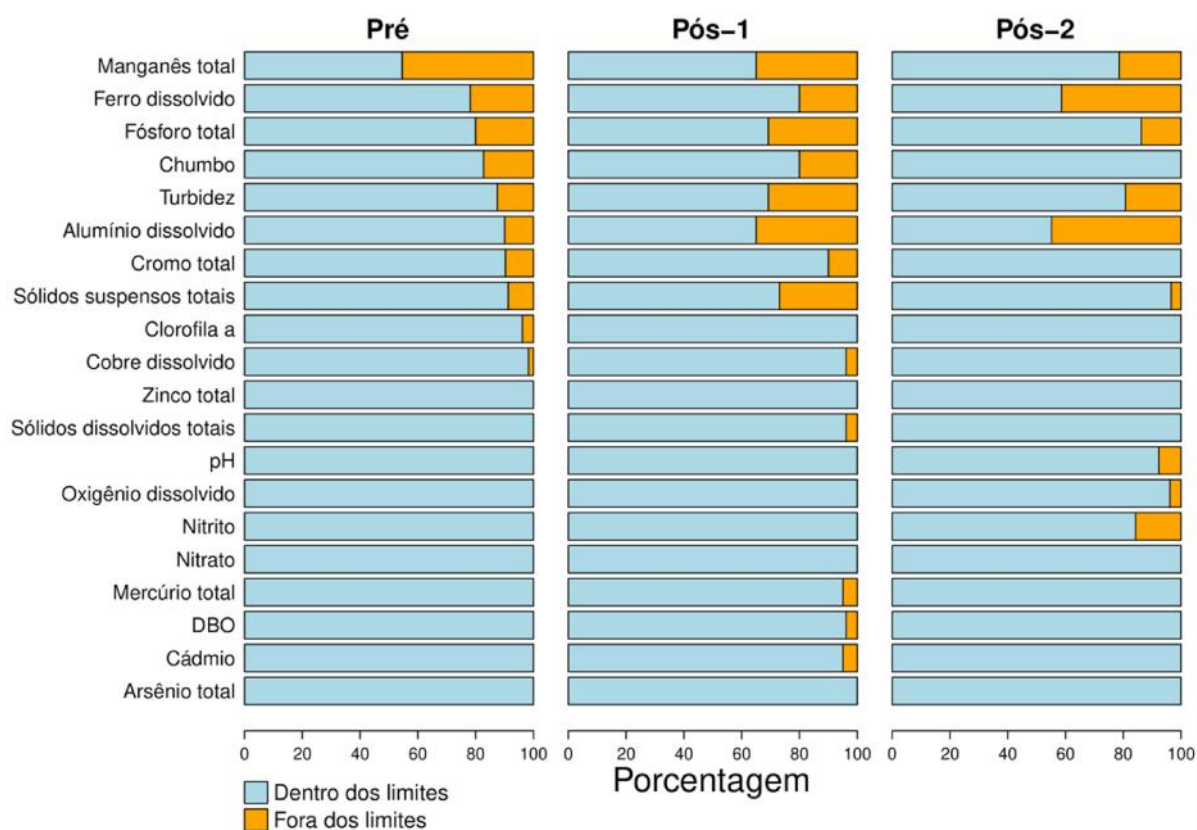
**Inorgânicos:** Alumínio dissolvido, Alumínio total, Arsênio total, Bário total, Boro dissolvido, Boro total, Cádmio total, Cálcio total, Chumbo total, Cianeto livre, Cloreto total, Cobre dissolvido, Cobre total, Cromo hexavalente, Cromo total, Cromo trivalente, Ferro dissolvido, Magnésio total, Manganês total, Mercúrio total, Níquel total, Selênio total, Sódio dissolvido, Sulfato total, Sulfeto, Zinco total

**Macronutrientes:** Fósforo total, Nitrato, Nitrito, Nitrogênio amoniacal total, Nitrogênio orgânico, Potássio dissolvido

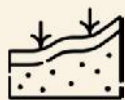
**Microbiológicos:** Coliformes termotolerantes, Coliformes totais, Escherichia coli, Streptococos fecais

**Orgânicos:** Demanda Bioquímica de Oxigênio, Demanda Química de Oxigênio, Fenóis totais

**Fitoplâncton:** Clorofila a, Feofitina a, Densidade de cianobactérias.



**Figura 6.** Porcentagem dos valores de variáveis aquáticas do Rio Doce, na região de Governador Valadares, correspondentes aos padrões estabelecidos para rios de Classe 2 (CONAMA 357/2005, COPAM 001/2008) antes e em dois períodos após a ruptura da Barragem de Fundão. O período pré-rompimento inclui dados entre 2000 e 2015, O período Pós-1 inclui dados após o rompimento e antes de 01/07/2018. O período recente (Pós-2) inclui dados desde 01/07/2018. **Fonte:** FBDS, 2022.



## Fis2: Assoreamento de corpos hídricos



*Aumento do acúmulo de sedimentos sobre o leito dos rios, nas suas respectivas zonas de confluência com tributários e nos corpos d'água marginais*

F5: Assoreamento do leito do Rio Doce, zonas de confluência com tributários e corpos d'água marginais.

O Relatório Golder Associates (2021) avaliou a deposição de rejeitos na bacia do Rio Doce (intracalha e extracalha) através de dados secundários e também dados obtidos em campo. Neste estima-se que 629,98 ha do leito estavam recobertos por sedimentos no levantamento de campo feito entre outubro de 2020 e julho de 2021. Este levantamento foi realizado no trecho de 180 km delimitado entre as UHE Baguari, localizada em Governador Valadares a montante da Área de Estudo das UCs do Grupo 3, e a UHE Mascarenhas, localizada em Baixo Guandu (ES) (T14). O volume de rejeitos neste trecho foi estimado em 642.696 m<sup>3</sup>. Estas estimativas não incluem os rejeitos retidos nos reservatórios das UHEs. Entre os vários trechos onde foram identificados depósitos de rejeitos, destaca-se aquele em frente a Governador Valadares (MG), na Área de Estudo das UCs avaliadas neste relatório (veja Figura 224 [pranchas 20-21] em Golder Associates, 2021). Vale ressaltar que o estudo de campo de Golder Associates (2021) foi feito cerca de 5 anos após a ruptura da Barragem de Fundão, portanto, a deposição de rejeitos na época deve ter sido bem maior. Em relação a esta última inferência, Golder Associates (2021) citam estudo de Rhama e Água Doce (2020) que estimaram que o montante de rejeitos presentes em 2019 representava 51,4% dos sedimentos originalmente depositados no leito do Rio Doce no trecho T14. Tendo em vista que o reservatório da UHE Baguari, a montante de Governador Valadares, possui cerca de 1.892.907 m<sup>3</sup> de rejeitos (Golder Associates, 2021), é plausível que trechos assoreados por rejeitos estarão presentes na Área de Estudo das UCs por vários anos.

Este impacto foi classificado como de ocorrência real, baseado em evidências empíricas. Ele teve natureza negativa, incidência direta, reversível, e de **média magnitude**. Ele teve baixa severidade, pois mudou parcialmente os depósitos de sedimentos no leito do Rio Doce. Sua extensão foi média, pois atingiu apenas as Zonas de Amortecimento das UCs tratadas neste relatório. Sua duração é tida como permanente tendo em vista que se manifesta até o presente, particularmente em eventos de cheia.

A **importância é alta**, pois o leito do rio é habitat de ampla diversidade de organismos bentônicos e os rejeitos depositados são ressuspensos durante cheias, o que afeta a qualidade da água. A média magnitude e alta importância do impacto classifica-o como de **alta significância**.



## Fis3: Contaminação do leito do rio



### *Aumento da contaminação do leito do Rio Doce*

F2: Degradação da qualidade da água e sedimento do Rio Doce e corpos d'água marginais: contaminação por metais

Este impacto ocorre associado ao depósito de rejeitos no leito do Rio Doce, mas é avaliado separadamente tendo em vista o potencial de maior persistência de seus efeitos. A relação causal é dada pela deposição de rejeitos e revolvimento de sedimentos já depositados no leito. A identificação do impacto é dada por diferentes evidências. A primeira é a drástica alteração de variáveis aquáticas em relação às condições pré-rompimento (Fis1). Outras três evidências são apresentadas abaixo e consistem de: i) série temporal de diversas variáveis de sedimento (dados de Golder Associates [2017] e PMQQS) obtidas desde o rompimento da Barragem de Fundão; ii) comparações de metais em amostras obtidas pré-rompimento por Pacheco (2015) e disponibilizadas por Golder Associates (2021) e pós-rompimento por Golder Associates (2017) e PMQQS; e iii) resultados de trabalhos científicos.

O IGAM não monitora características do sedimento e, portanto, não existem dados sistematizados para o período anterior ao rompimento da Barragem de Fundão. Entretanto, houve esforços de amostragem pós-rompimento e determinação analítica de diversas variáveis químicas do sedimento, disponibilizadas por Golder Associates (2017) e PMQQS. Portanto, pode-se avaliar as variáveis das amostras imediatamente após o rompimento (verão 2015/2016) com aquelas mais recentes. A expectativa foi que amostras coletadas nas primeiras estações chuvosas (verão) fossem distintas, como consequência do depósito de rejeitos e revolvimento do leito, e amostras recentes tendessem a ser mais semelhantes entre si. Para tanto, selecionamos variáveis químicas com pelo menos 4 anos de dados (16 variáveis) e fizemos uma análise NMDS com as 69 amostras disponíveis. A Figura 7A mostra a ordenação das amostras de sedimento obtidas antes de 01/07/2018 (vermelho) e aquelas obtidas desde então (laranja). Nota-se que amostras imediatamente após o rompimento de Fundão ficaram bastante espalhadas por todo espaço de ordenação. Amostras recentes foram bastante semelhantes entre si e ocuparam pequena área no espaço de ordenação das amostras obtidas imediatamente após o rompimento da Barragem de Fundão. Isto indica que amostras do sedimento obtidas recentemente deixaram de apresentar valores de variáveis químicas muito discrepantes. Extrapolando-se os resultados obtidos para condições da água (Fig. 5) para estes do sedimento, pode-se inferir que amostras recentes do sedimento podem estar retornando às condições pretéritas ao rompimento.

A análise na Figura 7A inclui um bom número de variáveis do sedimento, mas todas coletadas após o rompimento da Barragem de Fundão. Pacheco (2015) determinou a concentração de alguns metais em 14 amostras do sedimento no Rio Doce no trecho de Governador Valadares e que foram coletadas antes do rompimento da Barragem de Fundão (a tese de Pacheco foi defendida no dia 31/03/2015, mas não menciona em qual data as amostras foram obtidas). Golder Associates (2021) ressaltam que os métodos empregados por Pacheco (2015) não são compatíveis com aqueles usados por agências de monitoramento no Brasil e disponibiliza tabela com dados das amostras reanalisadas pelo autor (A. A. Pacheco) com métodos compatíveis. Selecionamos de Pacheco (2015; dados disponibilizados em Golder Associates 2021) as variáveis que foram posteriormente monitoradas por Golder Associates (2017) e PMQQS e fizemos uma análise NMDS semelhante à feita na Figura 7A. O padrão obtido com as amostras de Golder Associates (2017) e PMQQS usando este conjunto reduzido de variáveis (Fig. 7B) é muito semelhante àquele obtido com grupo maior de variáveis descritoras do sedimento (Fig. 7A). Amostras obtidas logo após a onda de rejeitos e antes de 01/07/2018 (amostras em vermelho na Fig. 7B) são variáveis e ocupam amplo espaço na ordenação, incluindo a região ocupada por amostras obtidas recentemente (desde 01/07/2018; em laranja na Fig. 7B). Amostras recentes tenderam a ser ordenadas em valores menores no eixo 2 (Fig. 7B). De maneira semelhante a estas últimas, as amostras pré-rompimento de Pacheco (2015) também tenderam a ser ordenadas (amostras em cinza na Fig. 7B) em valores menores no eixo 2, abaixo daquelas obtidas por Golder Associates (2017) e PMQQS. Isto pode indicar que amostras recentes estão tendendo a condições semelhantes àquelas presentes antes do rompimento da Barragem de Fundão.

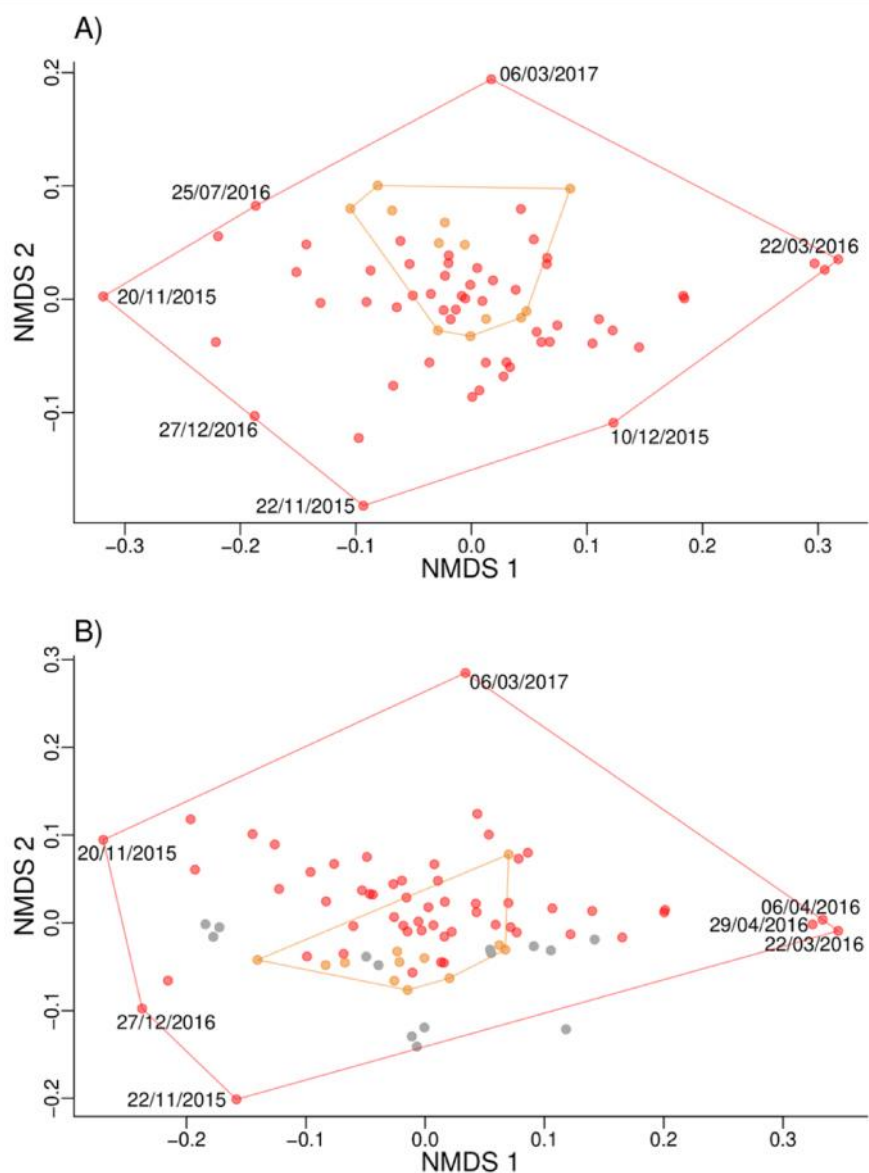
Davila et al. (2020) determinaram as concentrações de diversos metais pesados em amostras que receberam ou não rejeitos da Barragem de Fundão e também de rejeitos presentes na Barragem de Fundão. Eles encontraram que, exceto para ferro, haviam maiores valores de metais nas amostras que não receberam rejeitos. Eles explicam que isto é devido à baixa concentração de metais em itabirito, a rocha usada na mineração. Por outro lado, Duarte et al. (2021) avaliaram vários metais em amostras antes e após a deposição de rejeitos em diversos trechos do Rio Doce e encontraram que apenas cádmio e arsênio foram aumentados. Eles indicam que o aumento de cádmio tem relação direta com os rejeitos e que maiores concentrações de arsênio deve-se a maior revolvimento do fundo do Rio Doce pelos rejeitos. A origem deste elemento seria a mineração de ouro na bacia, que explora rochas ricas em arsênio. Vaneli et al. (2022) compararam amostras de sedimentos obtidas no baixo Rio Doce antes e após a deposição de rejeitos e encontraram aumento nas concentrações médias de ferro, manganês e bário. Assim como Duarte et al. (2021), Vaneli et al. (2022) argumentam que os rejeitos causaram o revolvimento do leito e disponibilizaram elementos que já estavam presentes no sedimento. Segundo estes últimos autores, este processo vem acontecendo até o presente durante a estação chuvosa. Silva et al. (2018) avaliaram amostras obtidas cerca de 7 meses antes e 6 meses após a deposição de rejeitos no Rio do Carmo, formador do Rio Doce e que recebeu rejeitos após o rompimento da Barragem de Fundão. Eles encontraram que a lama de rejeitos causou o aumento das frações disponíveis de vários elementos (arsênio, cádmio, cobalto, cromo, cobre, níquel, chumbo e zinco) presentes no sedimento, indicativo de aumento nos riscos para a biota e populações humanas.

---

Este impacto foi classificado como negativo, de ocorrência real (com base em evidências quantitativas), incidência direta e reversível, e de **média magnitude**. Ele teve média severidade, pois afetou as condições químicas do sedimento e existe potencial, ainda que de difícil detecção empírica, de persistência de contaminantes no leito do rio e transferência para a coluna d'água e outros compartimentos terrestres distantes do rio. Sua extensão foi média, pois atingiu apenas as Zonas de Amortecimento das UCs tratadas neste relatório. Sua duração é tida como permanente, tendo em vista que os contaminantes depositados tendem a persistir por tempo indeterminado (Tabela 4).

A **importância é alta**, pois o leito do rio é habitat de ampla diversidade de organismos bentônicos e os contaminantes depositados são ressuspensos durante cheias, o que afeta a qualidade da água (Tabela 4). A média magnitude e alta importância do impacto classifica-o como de **alta significância** (Tabela 4). É um impacto negativo, com ocorrência real, baseada em dados quantitativos, incidência direta e reversível.

---



**Figura 7.** Ordenação das amostras de sedimento do Rio Doce obtidas no trecho de Governador Valadares em relação a variáveis químicas. Amostras em vermelho e laranja representam, respectivamente, amostras pós-rompimento obtidas antes e após 01/07/2018. Amostras próximas indicam maior similaridade nos valores das variáveis aquáticas. A) Amostras de Golder Associates (2017) e PMQQS ordenadas segundo 16 variáveis. Amostras discrepantes são identificadas com suas datas. B) Ordenação de amostras obtidas antes da deposição de rejeito por Pacheco (2015) e aquelas obtidas após por Golder Associates (2017) e PMQQS usando alumínio, arsênio, bário, cádmio, chumbo, cobre, ferro, mercúrio, níquel e zinco. Amostras em cinza indicam aquelas obtidas por Pacheco (2015; disponibilizadas em Golder Associates 2021) antes da deposição dos rejeitos. Os polígonos unem as amostras mais externas (*convex hull*) nos dois grupos de amostras obtidas após a deposição de rejeitos (antes e depois de 01/07/2018). Análise feita com dados de Pacheco (2015; disponibilizados em Golder Associates, 2021), Golder Associates (2017) e PMQQS. **Fonte:** FBDS, 2022.



## Fis4: Degradação da qualidade do sedimento



*Comprometimento das características do sedimento do ambiente aquático, incluindo a granulometria, graus de seleção e arredondamento, assimetria, mineralogia bem como a diminuição da densidade de depósito*

F6: Degradação da morfologia da calha do Rio Doce, zonas de confluência com tributários e vales de corpos d'água marginais: alteração na granulometria dos sedimentos e na estrutura dos agregado.

As propriedades dos grãos de sedimentos derivam dos terrenos drenados na bacia. A grande quantidade de rejeito alterou as propriedades do sedimento, tais como distribuição de tamanhos, assimetria e mineralogia. Este impacto decorre da grande quantidade de material liberado no rompimento, com características distintas daquelas do sedimento produzido naturalmente na bacia de drenagem.

O IGAM não monitora características do sedimento, portanto, não existem dados sistematizados de granulometria para o período anterior ao rompimento da Barragem de Fundão. Entretanto, houve esforços de amostragem e determinação de 7 frações granulométricas do sedimento, disponibilizadas por Golder Associates (2017) e PMQQS (argila, silte, areia muito fina, areia fina, areia média, areia grossa e areia muito grossa). Apesar de não ser possível compará-las com as condições pretéritas, pode-se avaliar as condições das amostras imediatamente após o rompimento (verão 2015/2016) com aquelas mais recentes. Espera-se que amostras obtidas imediatamente após o rompimento da Barragem de Fundão sejam distintas daquelas obtidas recentemente. Especificamente, espera-se que exista maior proporção de material fino (argila) imediatamente após o rompimento tendo em vista que o material mais grosso ficou em grande parte retido a montante na UHE Risoleta Neves e, em menor grau, na UHE Baguari. Fizemos uma análise NMDS com as 69 amostras disponíveis e descritas pelas 7 frações granulométricas.

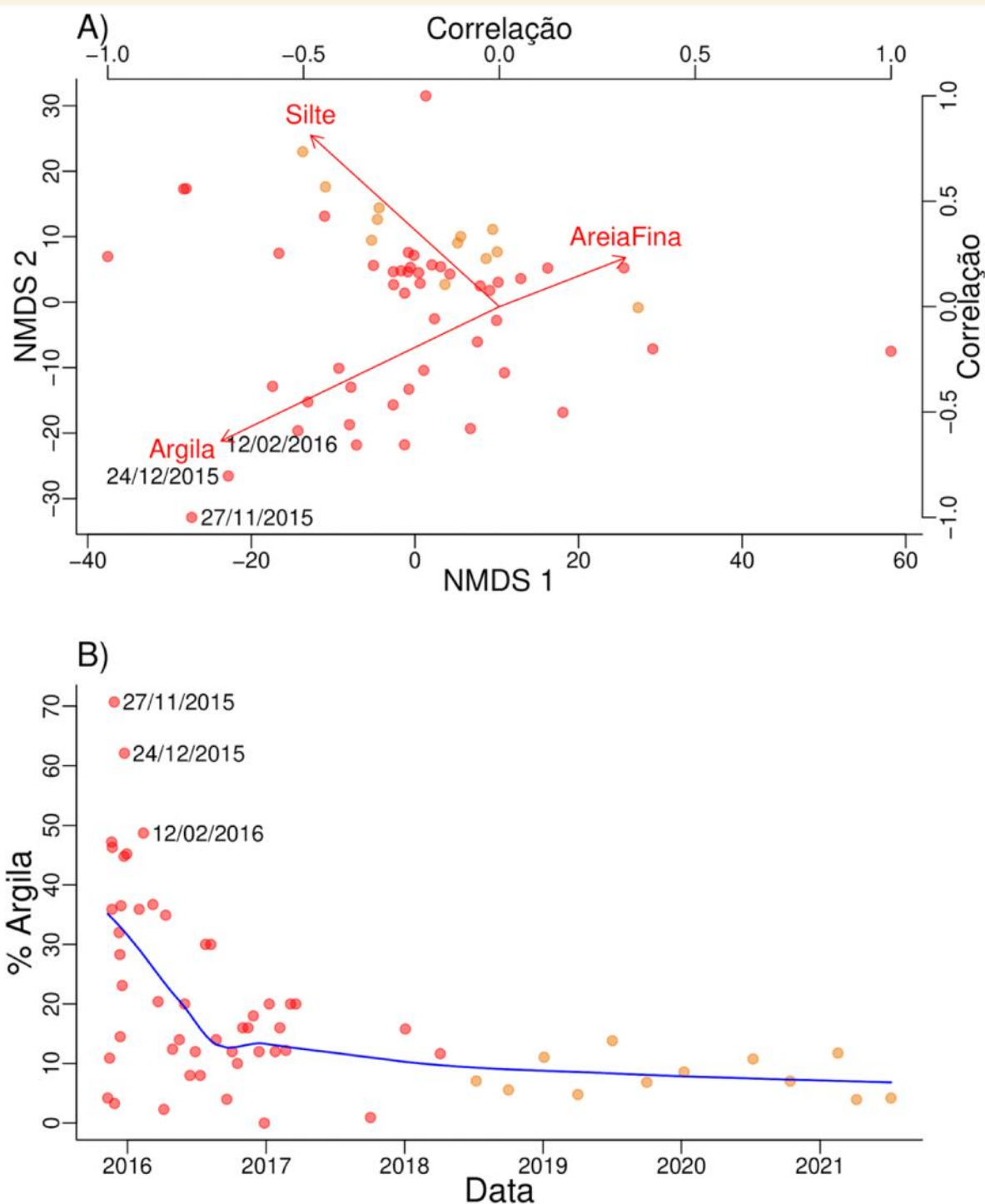
A Figura 8 mostra a ordenação das amostras de sedimento obtidas antes de 01/07/2018 (vermelho) e aquelas obtidas desde então (laranja). Nota-se que amostras imediatamente após o rompimento de Fundão ficaram bastante espalhadas por todo espaço de ordenação. Amostras à esquerda e abaixo (verão 2015/2016) foram associadas a maiores valores de argila. Amostras recentes foram mais semelhantes entre si, ordenadas na porção central do eixo 1 e superior no eixo 2. Isto indica que amostras do sedimento obtidas recentemente deixaram de apresentar valores de variáveis muito discrepantes. Isto pode ser observado pelos menores valores da fração de argila em período recente (Fig. 8). As análises de granulometria, em conjunto com os resultados obtidos para condições da água (Fig. 5) e química do sedimento (Fig. 7), indicam que amostras recentes do sedimento podem estar retornando às condições pretéritas ao rompimento.

---

É um impacto negativo, com ocorrência real, baseada em dados quantitativos, incidência direta e reversível, classificado como de **média magnitude**. Ele teve baixa severidade, pois mudou parcialmente as propriedades dos sedimentos no leito do do Rio Doce. Sua extensão foi média, pois atingiu apenas as Zonas de Amortecimento das UCs tratadas neste relatório. Sua duração é tida como permanente tendo em vista que se manifesta até o presente, particularmente em eventos de cheia.

A **importância deste impacto é alta**, pois o leito do rio é habitat de ampla diversidade de organismos bentônicos e a granulometria seleciona os organismos que são capazes de se manter no local. A média magnitude e alta importância do impacto classifica-o como de **alta significância**.

---



**Figura 8.** A) Ordenação das amostras de sedimento do Rio Doce obtidas no trecho de Governador Valadares em relação a sete frações granulométricas. Amostras próximas indicam maior similaridade nos valores das variáveis descritoras. Setas indicam correlação de algumas variáveis associadas com os eixos de ordenação. As escalas de correlação estão representadas nos eixos superior e a direita. Setas longas indicam forte correlação. Amostras no sentido da cabeça da seta tendem a possuir maiores valores daquela variável, enquanto aquelas em sentido contrário tendem a apresentar valores baixos. B) Porcentagem de argila em relação a data de coleta das amostras. A linha azul indica a tendência ponderada localmente (*Local Polynomial Regression Fitting*). Amostras em vermelho e laranja representam, respectivamente, amostras pós-rompimento obtidas antes e após 01/07/2018. Amostras discrepantes são identificadas com suas datas. Análise feita com dados de Golder Associates (2017) e PMQQS. **Fonte:** FBDS, 2022.



## Fis5: Alteração das características morfodinâmicas dos cursos d'água



*Comprometimento das características morfodinâmicas dos cursos d'água e da dinâmica fluvial, incluindo modificações da calha dos rios e das zonas de confluência dos seus tributários*

Fg: Alteração na dinâmica fluvial

Este impacto deriva da acumulação diferencial de sedimentos em trechos da calha do Rio Doce, margens e ilhas fluviais. Isto foi ocasionado pela grande quantidade de sedimentos derivados do rompimento de Fundão. Deve-se ressaltar que o leito de um rio de maior tamanho, em região aplainada, tende a se modificar após ciclos de cheia e seca. Entretanto, este processo foi alterado devido à quantidade não usual de sedimentos carregados pela água após o rompimento. Não foram detectadas (com imagens aéreas antes e depois) mudanças na morfologia de áreas emersas durante períodos de seca. Portanto, este impacto refere-se, neste grupo de UCs, à morfologia interna do canal. Golder Associates (2021) inventariaram diversos transectos e pontos de varredura (*screening*) ao longo de trecho (T14) do Rio Doce cerca de 5 anos após o rompimento da Barragem de Fundão e detectaram deposição de rejeitos em barra de sedimentos na Área de Estudo (Figura 224 [pranchas 20-21] de Golder Associates, 2021). Vale ressaltar que o estudo de campo de Golder Associates (2021) foi feito cerca de 5 anos após a ruptura da Barragem de Fundão, portanto, a deposição de rejeitos na época deve ter sido bem maior. Em relação a esta última inferência, Golder Associates (2021) citam estudo de Rhama e Água Doce (2020) que estimaram que o montante de rejeitos presentes em 2019 representava 51,4% dos sedimentos originalmente depositados no leito do Rio Doce no trecho T14. Tendo em vista que o reservatório da UHE Baguari, a montante de Governador Valadares, possui cerca de 1.892.907 m<sup>3</sup> de rejeitos (Golder Associates, 2021), é plausível que trechos assoreados por rejeitos estarão presentes na Área de Estudo das UCs por vários anos.

Este impacto foi classificado como negativo, de ocorrência real baseado em evidências qualitativas (inferência científica fundamentada em dados de sedimento), incidência indireta, reversível, e de **média magnitude**. Ele teve baixa severidade, pois mudou apenas parte da morfologia do leito do Rio Doce. Sua extensão foi média, pois atingiu apenas as Zonas de Amortecimento das UCs tratadas neste relatório. Sua duração é tida como permanente tendo em vista que os sedimentos ressuspensos em épocas de cheias recentes indicam que o leito ainda é afetado pela deposição de rejeitos. A **importância é alta**, pois o leito do rio é habitat de ampla diversidade de organismos bentônicos e a reconfiguração do leito afeta locais de maior ou menor velocidade de água. A média magnitude e alta importância do impacto classifica-o como de **alta significância**.



## Fis6: Soterramento de planícies fluviais



*Soterramento de planícies fluviais pela deposição de rejeito.*

F7: Soterramento de planícies fluviais pela deposição de lodo de rejeito

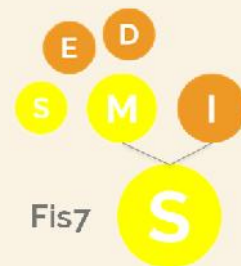
F10: Alteração no regime hídrico de planícies fluviais

Este impacto foi documentado por ocasião dos períodos de cheia do Rio Doce que sazonalmente invade áreas baixas adjacentes (planícies fluviais ou várzeas). Após a passagem da primeira cheia após o rompimento, em torno do dia 20/01/2016, as planícies ficaram recobertas por espessa camada de rejeitos (20 cm) (Instituto Ekos 2019a, b). Esta é uma região bastante dinâmica, que sofre inundações sazonais, com depósito e remoção de sedimentos naturalmente. Entretanto, os registros após a primeira cheia indicam que a deposição foi muito maior do que em cheias anteriores ao impacto. Ainda, o material depositado, derivado do rejeito, apresentava características distintas daquele normalmente depositado/removido nestas planícies. Este processo tende a ser amenizado com o passar das cheias de anos subsequentes. Especialmente, este impacto aconteceu nas margens baixas do Rio Doce na Área de Estudo, com particular relevância para o PNM Governador Valadares que se situa às margens do Rio Doce e possui fração importante de sua área composta por áreas alagáveis. Como consequência do soterramento físico, existe mudança no padrão de alagamento e drenagem (regime hídrico) destas áreas.

Este impacto foi classificado como negativo, de ocorrência real (baseado em evidências qualitativas), incidência direta, reversível, e de **média magnitude**. Ele teve baixa severidade, pois atinge áreas sazonalmente impactadas naturalmente por cheias que possuem fauna e flora parcialmente adaptadas a eventos de deposição e remoção de sedimentos. Sua extensão foi média, pois atingiu somente as Zonas de Amortecimento das UCs tratadas neste relatório. Sua duração é tida como permanente tendo em vista que se manifesta até o presente (Tabela 4). A **importância é média**, pois estas planícies recebem (naturalmente) sedimentos durante cheias, portanto, são locais sujeitos a perturbações naturais frequentes. Por outro lado, são locais importantes para reter sedimentos e contaminantes de partes altas da bacia, além de serem intensamente utilizadas pelas populações humanas para atividades recreacionais (Tabela 4). A média magnitude e média importância do impacto classifica-o como de **média significância** (Tabela 4).



## Fis7: Contaminação de planícies fluviais



*Aumento da contaminação das planícies de inundação.*

F8: Contaminação de planícies fluviais pela deposição de lodo de rejeito.

Este impacto ocorre associado ao soterramento de planícies, mas é avaliado separadamente tendo em vista o potencial de maior persistência de seus efeitos. A relação causal é dada pela deposição de sedimento (o que foi constatado), a drástica alteração de variáveis aquáticas (Fis1; Fig. 5) e química do sedimento no leito do rio (Fis3; Fig. 7), incluindo substâncias abundantes no rejeito ou revolvidas do leito.

Este impacto foi classificado como negativo, de ocorrência potencial, incidência direta, reversível, e de **baixa magnitude**. Ele teve baixa severidade, pois existe potencial, ainda que de difícil detecção empírica, de persistência de contaminantes na planície fluvial e transferência para outros compartimentos terrestres distantes do rio. Sua extensão foi média, pois somente atingiu as Zona de Amortecimento das UCs tratadas neste relatório. Sua duração é tida como média, tendo em vista que os contaminantes depositados tendem a ser removidos em cheias futuras, embora parte possa ser transferida por animais a outros compartimentos terrestres. A **importância é média**, pois estas planícies recebem (naturalmente) sedimentos durante cheias e, portanto, são locais sujeitos a perturbações naturais frequentes. Por outro lado, são locais importantes para reter sedimentos e contaminantes de partes altas da bacia, além de serem intensamente utilizadas pelas populações humanas para atividades recreacionais. A baixa magnitude e média importância do impacto classifica-o como de **baixa significância**.



## Fis8: Redução da quantidade da água dos tributários ao Rio Doce



*Redução da quantidade da água dos tributários ao Rio Doce devido à maior captação de água nestes ambientes frente ao risco de desabastecimento após o desastre.*

F12: Redução da quantidade de água dos tributários ao Rio Doce = redução da quantidade de água dos tributários ao Rio Doce devido pelo aumento de captação frente ao risco de desabastecimento de água.

A Área de estudo inclui diversos riachos, a maioria temporários. Felicori et al. (2018) identificaram 83 nascentes na área. Entre os principais riachos, destacam-se os Córregos Cardoso, Ibituruna e Brejaúba (Fig. 1). Neste último existe uma comunidade (150 pessoas, 40 casas) que produz hortaliças comercializadas em Governador Valadares (Ekos 2019a, b). O abastecimento da comunidade é feito por mangueiras a partir do Córrego Brejaúba. Na face norte do Pico do Ibituruna localiza-se a comunidade Derribadinha que produz alimentos e animais para consumo e comercialização. A comunidade fica nas margens do Rio Doce (Fig. 1) e foi fortemente impactada pela lama de rejeitos que extravasou do Rio Doce nas enchentes de janeiro de 2016. Os rejeitos afetaram diretamente locais de lazer, plantio e tanque para criação de peixes (Ekos 2019a, b). Na ocasião da visita da equipe do Instituto Ekos, em fevereiro de 2019, a população de Derribadinhas ainda desconfiava da qualidade da água do Rio Doce. Segundo relatos da população, a deterioração súbita da qualidade da água do Rio Doce, e posterior incerteza sobre sua volta à normalidade, fez com que moradores ribeirinhos (urbanos e rurais) deixassem de usar suas águas. Ainda, poços próximos ao Rio Doce foram abandonados. Como consequência, houve maior pressão de exploração de água superficial (riachos) e subterrânea, esta última obtida em poços perfurados em terrenos mais altos. Este impacto aconteceu tanto dentro da APE quanto na Zona de Amortecimento das UCs.

Este impacto foi classificado como negativo, de ocorrência potencial, incidência indireta, reversível, e de **alta magnitude**. Ele teve média severidade, pois atingiu riachos que já eram fortemente impactados por atividades humanas. Sua extensão foi muito alta, pois atingiu tanto áreas baixas (PNM Governador Valadares e Áreas de Estudo das demais UCs) quanto altas (APE, APAM e MONA) tratadas neste relatório. Sua duração é tida como longa tendo em vista que o maior uso de água dos riachos e de novos poços deverá se estender por vários anos. A **importância é alta**, pois é habitat de ampla diversidade de organismos aquáticos e suas águas são usadas intensamente por populações humanas. A alta magnitude e alta importância do impacto classifica-o como de **muito alta significância**.

**Tabela 4:** Caracterização geral dos impactos do meio físicos e seus atributos de magnitude e significância para cada impacto. As siglas utilizadas para a caracterização dos impactos são as mesmas descritas no documento "Metodologia de Integração para a Avaliação de Impacto Ambiental". **Fonte:** FBDS 2022

Identificação		Caracterização				Atributos da magnitude			Atributos da significância		Significância
Nº	Impacto	Natureza	Ocorrência	Incidência	Reversibilidade	Severidade	Extensão	Duração	Magnitude	Importância	
<b>Fis1</b>	Degradação da qualidade da água	Neg	RT	D	Rev	Média	Muito Alta	TL	Alta	Alta	<b>Muito alta</b>
<b>Fis2</b>	Assoreamento de corpos hídricos	Neg	RL	D	Rev	Baixa	Média	Per	Média	Alta	<b>Alta</b>
<b>Fis3</b>	Contaminação do leito do rio	Neg	RT	D	Rev	Média	Média	Per	Média	Alta	<b>Alta</b>
<b>Fis4</b>	Degradação da qualidade do sedimento	Neg	RT	D	Rev	Baixa	Média	Per	Média	Alta	<b>Alta</b>
<b>Fis5</b>	Alteração das características morfológicas dos cursos d'água	Neg	RL	D	Rev	Baixa	Média	Per	Média	Alta	<b>Alta</b>
<b>Fis6</b>	Soterramento de planícies fluviais	Neg	RL	D	Rev	Baixa	Média	Per	Média	Média	<b>Média</b>
<b>Fis7</b>	Contaminação de planícies fluviais	Neg	P	D	Rev	Baixa	Média	TM	Baixa	Média	<b>Baixa</b>
<b>Fis8</b>	Redução da quantidade da água dos tributários ao Rio Doce	Neg	P	I	Rev	Média	Muito alta	TL	Alta	Alta	<b>Muito alta</b>

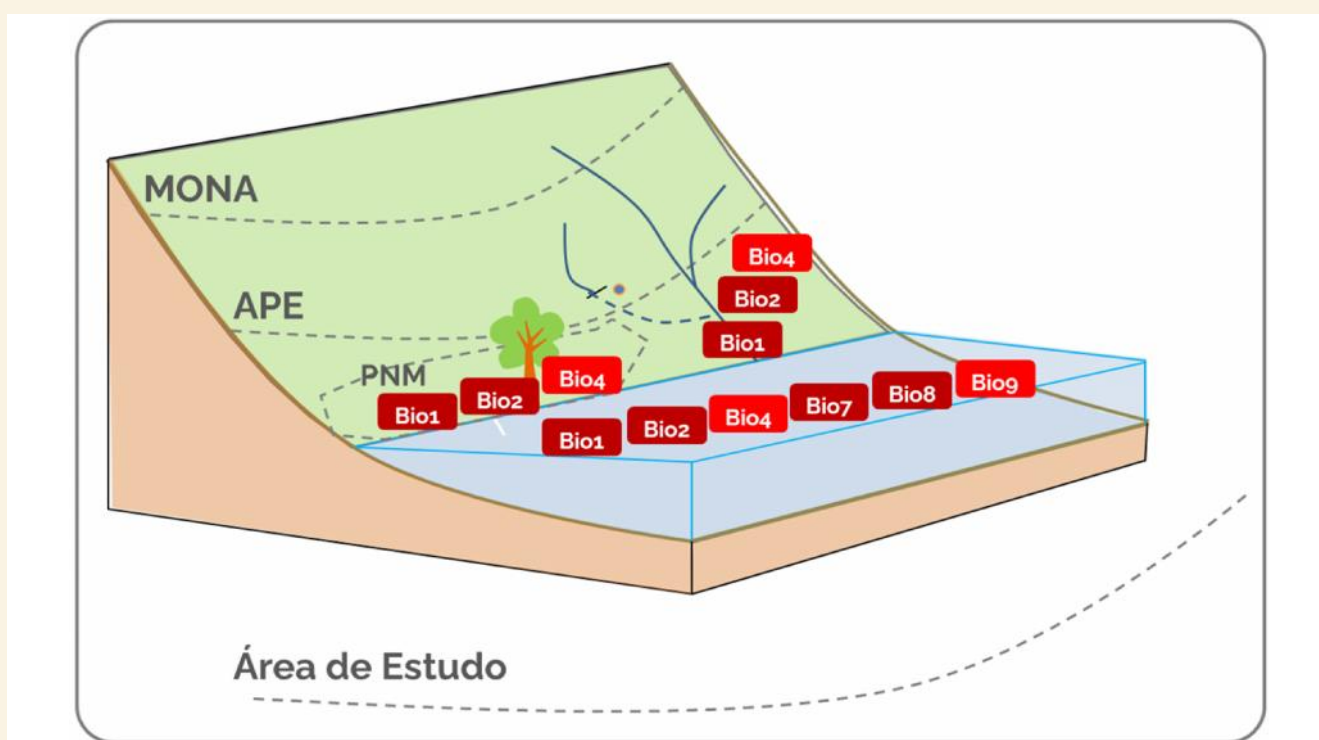
# Impactos identificados

e sua significância

## Impactos no Meio Biótico

Diferentemente do meio físico, para o qual a disponibilidade de séries históricas de variáveis aquáticas permitiu avaliar de modo o nível de alteração causado pelo rompimento da Barragem de Fundão por meio de intervalos de confiança ou análises de tendências, para o meio biótico a carência de informações referentes aos diferentes componentes impactados pelo rompimento da Barragem de Fundão demandou, de modo geral, análises empírico-qualitativas e abordagens lógicas fundamentadas na teoria ecológica.

Para tanto, foi levado em conta a distância dos componentes bióticos (recursos, habitats, populações) em relação às áreas afetadas pelos rejeitos e contaminantes e a possibilidade de propagação dos impactos ao longo do tempo por meio de efeitos ou interações indiretas entre as espécies. No caso das UCs de Governador Valadares, boa parte dos impactos ficou restrita à calha do Rio Doce, partes baixas de tributários e áreas terrestres marginais ao Rio Doce (Fig. 9).



**Figura 9:** Mapa conceitual dos impactos bióticos detectados e os ambientes afetados. Bio1 = Mortandade direta e/ou indireta. Bio2 = Contaminação da biota. Bio4 = Empobrecimento ou redução dos recursos alimentares. Bio7 = Perda e/ou degradação de habitats. Bio8 = Redução da originalidade biótica. Bio9 = Redução da biodiversidade local. Significância dos impactos: Vermelho = Alta; Vermelho escuro = Muito Alta. **Fonte:** FBDS, 2022.

Os impactos mais severos em habitats terrestres ocorreram em janeiro de 2016, dois meses após o rompimento da Barragem de Fundão, devido ao início das chuvas mais fortes que provocaram a primeira cheia pós-rompimento. Como consequência, houve grande acúmulo de lama em alguns ambientes terrestres adjacentes ao Rio Doce.

Os diagnósticos do Instituto Ekos (Ekos 2019a, b) relatam que o gestor do Parque Municipal de Governador Valadares apontou que vales, ilhas e planícies foram inundados pela cheia e que, após a redução do nível do Rio Doce, estas áreas foram encobertas por uma camada de sedimentos finos que alcançava cerca 20 cm de altura na qual "afundava-se o pé". Estas áreas terrestres afetadas também incluem a Área de Estudo correspondente às UCs APE Pico do Ibituruna e APAM Pico do Ibituruna.

Em decorrência deste acúmulo de lama, houve mortandade de líquens epifíticos e plantas de pequeno porte. Devido às chuvas e cheias do Rio Doce que se sucederam, parte considerável dos sedimentos finos depositados em ambientes terrestres foram gradativamente sendo removidos. No relatório produzido para a APE Pico do Ibituruna (Instituto Ekos 2019a) é relatado que "pode ter ocorrido mortalidade de macrófitas e herbáceas logo após a passagem da lama de rejeitos" na Zona de Amortecimento da UC e na calha do Rio Doce. No entanto, é bastante provável que parte desses sedimentos finos e dos contaminantes tenham sido, e talvez ainda estejam sendo, incorporados no solo, afetando boa parte da micro, meso e macrobiota deste compartimento, atingindo indiretamente outros grupos de animais, vegetais e de microorganismos que compõem os ecossistemas locais. De fato, exemplos de contaminação do solo e da biota do solo têm sido reportados em diversos estudos recentes (e.g., Guerra et al. 2017; Queiroz et al. 2018; Batista et al. 2020; Buch et al. 2020).

Embora os ambientes terrestres, principalmente as áreas de planície fluvial, tenham sido afetados diretamente pelos impactos físicos e, conseqüentemente, bióticos causados pelo rompimento da Barragem de Fundão, os principais impactos ocorreram no próprio Rio Doce e em ambientes aquáticos conectados, como seus tributários. Segundo os diagnósticos do Instituto Ekos (Ekos 2019a, b) os técnicos do Instituto Estadual de Florestas (IEF/MG) relataram que a chegada do rejeito provocou uma devastação na calha do Rio Doce e uma enorme mortandade de peixes.

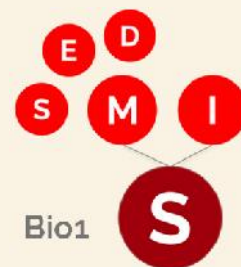
Membros da Associação dos Pescadores e Amigos do Rio Doce (APARD) apontam que observaram o curso do Rio Doce desde Governador Valadares até a foz do Rio Doce no distrito de Regência, em Linhares (ES) e relatam que observaram grande mortandade de capivaras, cágados e, principalmente, de peixes. Obviamente, estes relatos apontam para o que é material e que, portanto, parece mais evidente. No entanto, não há nenhuma razão teórica para pressupor que a parte menos visível da biota aquática e semiaquática (por ex. invertebrados e microbiota) do Rio Doce não tenha sofrido altos níveis de mortandade e conseqüente reduções populacionais muito superiores ao que seria esperado na ausência do rompimento da Barragem de Fundão. De fato, é bem provável que algumas populações tenham sofrido extinções locais (temporárias ou permanentes) em decorrência das alterações físicas, químicas e biológicas nas águas do Rio Doce.

Ainda que diversos componentes do meio biótico do PNM de Governador Valadares tenham sido diretamente afetados pelos impactos tanto em seus habitats terrestres quanto em sua zona de contato com o Rio Doce, os impactos diretos sobre o meio biótico nas UCs APE Pico do Ibituruna e MONA Pico do Ibituruna muito provavelmente ficaram restritos às áreas mais próximas do Rio e à Zona de Amortecimentos destas UCs. Por sua vez, devido à distância e diferença de altitude do MONA Pico do Ibituruna em relação ao Rio Doce, não parece crível que a biota terrestre no interior desta UC tenha sido diretamente afetada pelos rejeitos. Mesmo considerando a área dentro do que seria a Zona de Amortecimento para o MONA Pico do Ibituruna (i.e., a parte mais periférica da APE Pico do Ibituruna), os impactos no meio biótico muito provavelmente decorrem, em sua maioria, de efeitos indiretos relacionados às espécies com maior área de vida ou cujas populações dependem de recursos localizados nas áreas mais impactadas pela deposição de rejeitos e contaminantes.

A descrição dos impactos bióticos e suas correspondências com os impactos originalmente descritos nos Diagnósticos do Instituto Ekos (Ekos, 2019a, b) seguem abaixo. No Anexo 1 são apresentados os níveis de sua magnitude, importância e significância para cada impacto biótico. Os códigos iniciados com "Bio" correspondem aos impactos bióticos padronizados e criados pela equipe da FBDS, enquanto os impactos iniciados com "B" foram criados pelas empresas que fizeram os relatórios de diagnóstico individualizados por UCs, o Instituto Ekos no caso deste grupo de UCs.



### Bio1: Mortandade direta e/ou indireta



*Mortalidade de indivíduos da fauna (peixes, anfíbios, répteis, aves e/ou mamíferos) ou flora (vegetação terrestre e/ou aquática) devido a: ação física da água, rejeitos e/ou detritos (arrasto ou soterramento), degradação ou contaminação.*

B1 (avifauna) - Aumento de mortalidade e redução dos tamanhos populacionais: mortalidade de aves aquáticas e semiaquáticas, destruição de ninhos e ovos, mortalidade de filhotes.

B1 (herpetofauna) - Aumento da mortalidade e redução dos tamanhos populacionais: mortalidade de anfíbios e de crocodilianos.

B1 (ictiofauna) - Aumento da mortalidade e redução dos tamanhos populacionais: mortalidade de peixes afetando a dinâmica e estrutura da ictiofauna local

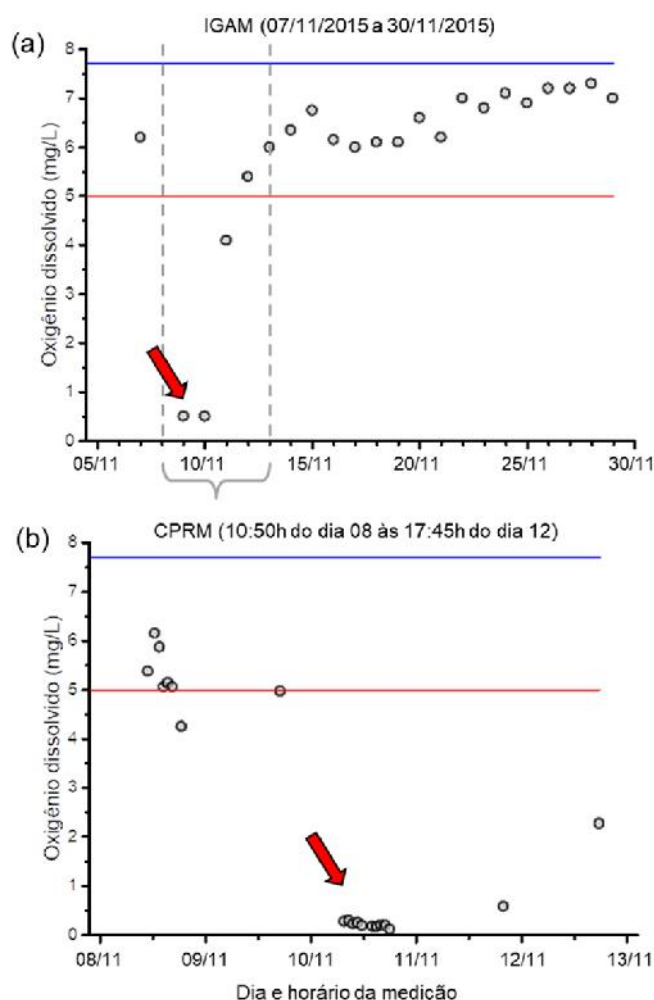
B1 (vegetação) - Aumento de mortalidade e redução dos tamanhos populacionais: impacto sobre o banco de macrófitas no Rio Doce.

Este foi um dos impactos bióticos mais evidentes logo após o rompimento da Barragem de Fundão, afetando principalmente a biota aquática e semiaquática. A mortandade de peixes e outros organismos aquáticos foi amplamente registrada pela imprensa e moradores de Governador Valadares nos primeiros dias após a chegada da onda de rejeitos (Tabela 5). Laudos técnicos de expedições realizadas nas primeiras semanas após o rompimento também atestaram a mortandade de peixes e outros organismos aquáticos nos trechos à montante e à jusante de Governador Valadares (IBAMA, 2015; SEMAD, 2016).

**Tabela 5:** Reportagens e registros de moradores da mortandade de peixes e outros organismos aquáticos no município de Governador Valadares nos primeiros após a chegada da lama de rejeitos da barragem no município.

Data	Exemplos
08/11/2015	Título: Rejeitos de mineradora matam peixes do Rio Doce Fonte: Aconteceu no Vale (Portal de Notícias) Link para reportagem: <a href="https://aconteceunovale.com.br/portal/?p=72377">https://aconteceunovale.com.br/portal/?p=72377</a> Link para vídeo: <a href="https://www.facebook.com/watch/?v=457070561139064">https://www.facebook.com/watch/?v=457070561139064</a>
10/11/2015	Título: Onda de lama avança pelo município de Tumiritinga (MG) em direção ao ES Fonte: Jornal Século Diário Link para reportagem: <a href="https://www.seculodiario.com.br/meio-ambiente/onda-de-lama-avanca-pelo-municipio-de-tumiritinga-mg-em-direcao-ao-es">https://www.seculodiario.com.br/meio-ambiente/onda-de-lama-avanca-pelo-municipio-de-tumiritinga-mg-em-direcao-ao-es</a>
10/11/2015	Título: 'Já chorei demais vendo a morte dos peixes', diz pescador do Rio Doce" Fonte: Portal G1 (Vales de Minas Gerais) Link para reportagem: <a href="https://g1.globo.com/mg/vales-mg/noticia/2015/11/ja-chorei-demais-vendo-morte-dos-peixes-diz-pescador-do-rio-doce.html">https://g1.globo.com/mg/vales-mg/noticia/2015/11/ja-chorei-demais-vendo-morte-dos-peixes-diz-pescador-do-rio-doce.html</a>
10/11/2015	Vídeo de moradora local divulgado no YouTube Link para vídeo: <a href="https://youtu.be/Br-nhvoUi7k">https://youtu.be/Br-nhvoUi7k</a>
11/11/2015	Vídeos de moradora local divulgado no YouTube Link para vídeo 1: <a href="https://youtube/OhB7fSMTuOA">https://youtube/OhB7fSMTuOA</a> ; <a href="https://youtu.be/D_3lB9yv_y0">https://youtu.be/D_3lB9yv_y0</a>
21/11/2015	Título: Começa salvamento de peixes que sobreviveram à lama em Governador Valadares Fonte: MG Inter TV 1ª Edição - Vales MG Link para reportagem: <a href="https://globoplay.globo.com/v/4624474/?s=0s">https://globoplay.globo.com/v/4624474/?s=0s</a>
23/11/2015	Título: Afluente do Rio Doce recebe peixes resgatados Fonte: Jornal da Alterosa Link para reportagem: <a href="https://youtu.be/hxdWcuJ-YbY">https://youtu.be/hxdWcuJ-YbY</a>
24/11/2015	Vídeo de morador local divulgado no YouTube Link para vídeo: <a href="https://youtu.be/rinkodiHRP0">https://youtu.be/rinkodiHRP0</a>
26/11/2015	Título: Lama, lágrimas e morte: a jornada de fotógrafo no rio Doce Fonte: BBC News Brasil Link: <a href="https://www.bbc.com/portuguese/noticias/2015/11/151125_fotografo_riodoce_tg">https://www.bbc.com/portuguese/noticias/2015/11/151125_fotografo_riodoce_tg</a>

Entre as causas mais prováveis da alta mortalidade de peixes no trecho do Rio Doce localizado em Governador Valadares, destaca-se a redução da concentração de oxigênio dissolvido. As medições realizadas pelo IGAM (2018) e pela CPRM (2015) mostram que a concentração de oxigênio dissolvido atingiu níveis 45 vezes abaixo do mínimo de 5 mg/L regulamentado pelo CONAMA para rios de classe 2 entre os dias 10 e 11 de novembro de 2015 (Fig. 10). A combinação crítica de um período de quase quatro dias com concentrações abaixo de 5 mg/L com um intervalo de hipóxia severa ( $OD < 0,5$  mg/L) associados aos danos físicos e estresses fisiológicos e comportamentais resultantes das elevadas cargas de sólidos e contaminantes e dos alto níveis de turbidez certamente causaram a morte de uma fração expressiva da biota aquática na região, especialmente dos organismos menos tolerantes a qualquer uma dessas fontes de estresse. Vale ressaltar ainda que diversas espécies de peixes estavam em período reprodutivo no mês de novembro, implicando assim em mortalidade de ovos e imaturos.

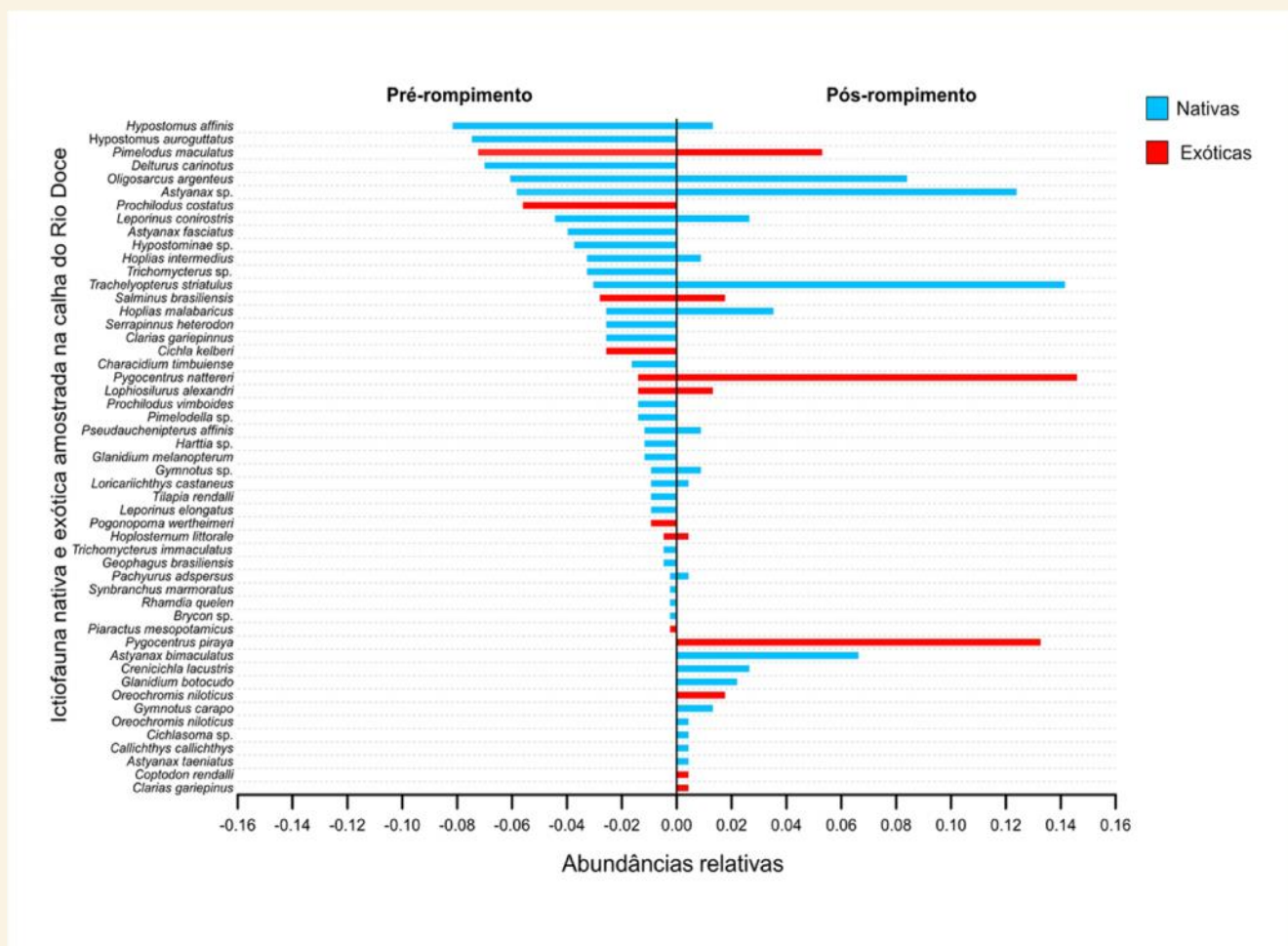


**Figura 10:** Níveis de oxigênio dissolvido (mg/L) no trecho do Rio Doce dentro da área de estudo no mês de novembro de 2015. (a) 48 medições de oxigênio dissolvido realizadas pelo IGAM entre os dias 07 e 30 de novembro de 2015 (IGAM, 2018). (b) 20 medições de oxigênio dissolvido realizadas pela CPRM CPRM (2015) entre a manhã do dia 08/11/15 e a tarde do dia 12/11/15. A linha superior em azul indica o valor médio da série histórica de acordo com o IGAM, enquanto a linha vermelha indica o limite inferior determinado pelo CONAMA para rios de classe 2. **Fonte:** FBDS, 2022.

Tendo em vista que este impacto no ambiente aquático ocorreu de modo pronunciado ao longo das primeiras semanas após o rompimento da barragem, é provável que sua principal causa foi a *Degradação da qualidade da água* (Fis1); mais especificamente a redução na concentração de oxigênio, aumento da turbidez com o aumento da carga suspensa, a contaminação por metais e os efeitos fisiológicos das alterações físico-químicas da água. O *Assoreamento de corpos hídricos* (Fis2) e a *Degradação da qualidade do sedimento* (Fis4) são outros dois impactos físicos que certamente contribuíram para a mortandade da biota aquática na região. Quanto à biota terrestre, houve soterramento pontual por lama em áreas do PNM de Governador Valadares e em pontos isolados do município na ZA das UCs. No entanto, estes impactos sobre a biota terrestre ficaram restritos às margens do Rio Doce e às áreas baixas suscetíveis a inundações nos períodos de cheia.

Este impacto foi classificado como de **alta magnitude**. Ele apresentou alta severidade, pois causou enorme mortandade na biota aquática e também alguma mortandade pontual da biota terrestre. Sua extensão também foi classificada como alta, pois atingiu as Zonas de Amortecimento de todas as UCs e também atingiu a área do PNM de Governador Valadares. A duração deste impacto foi interpretada como longa, pois, dado o nível de mortandade da biota aquática e a contaminação ainda presente nestes ambientes, seguramente levará mais que 10 anos desde o rompimento para as abundâncias populacionais das espécies da biota aquática voltem aos valores pré-rompimento. Conforme pode ser avaliado na Figura 11, a composição e as abundâncias relativas de peixes amostrados na calha do Rio Doce em locais próximos às UCs do Grupo 3 nos monitoramentos pós-rompimento são bastante distintas quando comparadas às amostragens pré-rompimento (Silva et al. 2012).

**A importância dos componentes afetados é alta**, pois potencialmente inclui espécies ameaçadas da biota aquática, como o peixe andirá (*Henochilus wheatlandii*), espécies endêmicas de peixes (ex. o cará *Australoheros ipatinguensis* e o lambari-bocarra *Oligosarcus solitarius*) e de anfíbios, assim como ao menos 20 espécies de peixes importantes para a pesca, implicando em redução da oferta de pescado na região e redução da probabilidade de recomposição de espécies ameaçadas e endêmicas. Dado que o impacto foi classificado como de alta magnitude e alta importância, ele representa um impacto considerado de **muito alta significância**. Trata-se de um impacto negativo, de ocorrência real (baseado em evidências qualitativas), incidência direta/indireta e reversível/irreversível.



**Figura 11:** Abundâncias relativas de espécies nativas e exóticas de peixes amostradas na calha do Rio Doce em locais próximos às UCs do Grupo 3 antes (Silva et al., 2012) e após (Santos et al., 2017; Fundação Renova, 2019) o rompimento da Barragem de Fundão. As abundâncias relativas das espécies foram calculadas usando as abundâncias totais separadas para as amostragens pré- e pós-rompimento.

Fonte: FBDS, 2022.



## Bio2: Contaminação da biota



*Contaminação da biota por rejeitos da Barragem de Fundão, incluindo a bioacumulação e bioamplificação de metais, a contaminação dos recursos alimentares, os danos à saúde dos organismos contaminados, a transferência e bioamplificação de contaminantes do ambiente aquático para o terrestre devido ao consumo de recursos aquáticos e movimentação dos animais, a contaminação de manchas de habitats aquáticos no ambiente terrestre, como bromélias e poças, e a deposição direta ou indireta de rejeito sobre o solo e a vegetação terrestre.*

B11 - Contaminação e bioamplificação de contaminantes em animais e plantas.

Embora bastante provável, este impacto carecia de evidências experimentais nos relatórios do Instituto Ekos. No entanto, estudos experimentais e observacionais recentes sobre os contaminantes liberados pelo rompimento da Barragem de Fundão têm demonstrado elevadas concentrações de metais e outros contaminantes (ex. As, Fe, Mn, Se, Zn) na ictiofauna (e.g., Gomes et al., 2019; LACTEC 2019; Ferreira et al., 2020; Gabriel et al., 2020; Passos et al., 2020; Weber et al., 2020), incluindo espécies de peixes que ocorrem na região de Governador Valadares. Tendo em vista os altos níveis de manganês e outros contaminantes registrados nas águas do Rio Doce em Governador Valadares, supõem-se que as contaminações reportadas não sejam casos isolados, e que outras contaminações tenham ocorrido e estejam ocorrendo na fauna aquática do Rio Doce e seus tributários que receberam maior carga de metais. A contaminação da fauna aquática pode atingir parte da fauna terrestre que se alimenta de organismos aquáticos e, indiretamente, outros organismos terrestres através das cadeias tróficas, promovendo inclusive a bioamplificação dos contaminantes.

Este impacto foi classificado como de **alta magnitude**. Ele foi classificado como tendo causado média severidade, pois ainda não se sabe ao certo qual a incidência e os efeitos da contaminação sobre a fauna e flora do Rio Doce. Sua extensão foi classificada como muito alta, pois afetou, potencialmente, tanto as Zonas de Amortecimento quanto às áreas da maior parte das UCs. A duração deste impacto foi interpretada como longa devido ao potencial efeito de bioamplificação deste impacto. A **importância é alta**, pois potencialmente inclui espécies aquáticas e semiaquáticas e parte da biota terrestre que tem organismos aquáticos como um recurso trófico de suas cadeias alimentares. Portanto, além de incluir as espécies aquáticas ameaçadas, endêmicas e de importância econômica, o componente ameaçado potencialmente inclui espécies terrestres ameaçadas e/ou endêmicas. Além disso, a potencial contaminação de peixes e outros organismos implica em risco à saúde humana e danos à economia. Tendo sido o impacto classificado como de alta magnitude e alta importância, ele representa um impacto com **muito alta significância**. É um impacto negativo, de ocorrência real [ex: resultados em LACTEC (2019) para o trecho de Governador Valadares], incidência direta (biota aquática e parte da biota terrestre em locais atingidos pela lama de rejeitos) e indireta (biota terrestre via cadeia trófica) e reversível/irreversível.



## Bio4: Empobrecimento ou redução dos recursos alimentares



*Redução na quantidade e variabilidade de recursos alimentares para os animais devido à mortalidade e declínio populacional de plantas aquáticas e/ou terrestres e/ou animais predados ou consumidos por necrófagos.*

B5 (avifauna) - Alterações na cadeia trófica relacionadas aos ambientes aquáticos: desestruturação das cadeias tróficas através da mortalidade de peixes e invertebrados afetando as assembleias de aves.

B5 (herpetofauna) - Alterações na cadeia trófica relacionadas aos ambientes aquáticos: alterações na herpetofauna decorrentes de impactos sobre as comunidades de insetos aquáticos das quais se alimentam.

B5 (ictiofauna) - Alterações na cadeia trófica relacionadas aos ambientes aquáticos: perda de recursos alimentares disponíveis para a ictiofauna, resultando em aumento da competição por recursos alimentares e alterações na assembleia de peixes.

No contexto das UCs avaliadas, este impacto decorre principalmente da redução nas abundâncias das populações das espécies aquáticas na calha do Rio Doce. Porém, o foco do impacto não é a mortalidade, um impacto categorizado e avaliado acima (Bio1), mas sim a redução na diversidade e quantidade de alimento para a fauna das UCs e entorno. Trata-se de um impacto biótico bastante difícil de ser dimensionado, mas tendo em vista que a fauna descrita para as UCs é composta em sua maior parte por organismos terrestres é provável que este impacto não tenha afetado diretamente este componente.

Este impacto foi classificado como de **média magnitude**. O nível de severidade estimado para o impacto foi baixo, pois é provável que grande parte da biota das UCs não tenha sofrido reduções populacionais decorrentes do empobrecimento ou redução dos recursos alimentares nos ambientes aquáticos. Sua extensão foi classificada como muito alta, pois potencialmente afetou, ainda que com baixa severidade, tanto as Zonas de Amortecimento quanto às áreas da maior parte das UCs. A duração deste impacto foi interpretada como longa, pois é improvável que as espécies da biota aquática retomem suas abundâncias originais em menos de 10 anos após o rompimento da barragem. A **importância dos componentes afetados é alta**, pois potencialmente inclui boa parte da biota aquática e semiaquática, inclusive espécies ameaçadas como o andirá (*Henochilus wheatlandii*), diversas espécies endêmicas de peixes [ex. o cará (*Australoheros ipatinguensis*) e o lambari-bocarra (*Oligosarcus solitarius*)] e de anfíbios, e pelo menos 20 espécies de peixes importantes para a pesca. Tendo sido o impacto classificado como de média magnitude e alta importância, ele representa um impacto com **alta significância**. É um impacto negativo, de ocorrência real (baseado em evidências qualitativas), incidência indireta e reversível.



## Bio7: Perda e/ou degradação de habitats



*Redução da disponibilidade de habitats e/ou intensa degradação das condições naturais e/ou recursos necessários para as espécies terrestres, aquáticas e semiaquáticas de áreas continentais, costeiras ou marinhas; como consequência ocorre redução populacional e/ou degradação migração para habitats antropizados ou naturais.*

B2 (avifauna) - Perda de habitat através de destruição: soterramento de micro-habitats utilizados para nidificação e forrageamento pelas aves, como praias e bancos de macrófitas.

B2 (ictiofauna) - Perda de habitat através de destruição: soterramento de recursos alimentares, vegetação das margens do Rio Doce, poços, corredeiras. Formação de bancos de areia diminuindo a profundidade da água.

B3 (avifauna) - Perda de habitat por degradação: degradação de micro-habitats utilizados para nidificação e forrageamento pelas aves, tais como praias e bancos de macrófitas.

B3 (herpetofauna) - Perda de habitat por degradação: degradação da qualidade da água e assoreamento do leito do Rio Doce, bem como das zonas de confluência com tributários e corpos d'água marginais, impactando a herpetofauna aquática.

B3 (ictiofauna) - Perda de habitat por degradação: aumento da turbidez prejudicando espécies de peixes visualmente orientadas e diminuindo a incidência de luz e a produtividade primária.

B4 (ictiofauna) - Perda de conectividade na calha do Rio Doce e áreas adjacentes: interrupção do fluxo dos tributários tendo como causa o aumento do número de barramentos e o assoreamento causado pela degradação ambiental.

A perda e/ou degradação de habitats ocorreu basicamente para as espécies aquáticas e semiaquáticas. A degradação dos habitats de espécies aquáticas e semiaquáticas foi causada principalmente pela *Degradação da qualidade da água* (Fis1). Por sua vez, o *Assoreamento de corpos hídricos* (Fis2), a *Degradação da qualidade do sedimento* (Fis4) e a *Alteração das características morfodinâmicas dos cursos d'água* (Fis5) promoveram perda de habitats e microhabitats usados por espécies aquáticas e semiaquáticas.

Embora a degradação do habitat aquático tenha sido especialmente crítica nas primeiras semanas após o rompimento, os efeitos físicos da onda de rejeitos, da ressuspensão de sedimentos da calha e do assoreamento resultante da deposição de rejeitos certamente causaram a destruição de áreas de reprodução e de áreas de alimentação de larvas e juvenis que atuam como "berçários" da fauna aquática. Além disso, houve também a mortandade de macrófitas, as quais são usadas como micro-habitats para nidificação e forrageamento de diversos grupos da fauna aquática e semiaquática.

Este impacto foi classificado como negativo, de ocorrência real (baseada em evidências quantitativas das análises de qualidade de água e alterações dos sedimentos), incidência tanto direta quanto indireta, reversível, e de **alta magnitude** (Tabela 6). O nível de severidade estimado para o impacto foi alto, pois toda a calha do Rio Doce e uma parte considerável de seus tributários foram extremamente degradados a ponto de implicar na perda de habitat viável para a maior parte da biota aquática. Sua extensão foi classificada como muito alta, pois potencialmente afeta tanto as Zonas de Amortecimento, quanto as áreas da maior parte das UCs de Governador Valadares. A duração deste impacto foi interpretada como longa, pois é improvável que as propriedades físico-químicas, morfodinâmicas e sedimentológicas do Rio Doce e tributários assim como os micro-habitats físicos e bióticos que existiam voltem ao estágio anterior ao rompimento em menos de 10 anos (Tabela 6).

A **importância dos componentes afetados é alta**, pois potencialmente inclui boa parte da biota aquática e semiaquática, inclusive espécies ameaçadas como o andirá (*Hemichilus wheatlandii*), diversas espécies endêmicas de peixes [ex. o cará (*Australoheros ipatinguensis*) e o lambari-bocarra (*Oligosarcus solitarius*)] e de anfíbios, e pelo menos 20 espécies de peixes importantes para a pesca, comprometendo as chances de retorno de espécies raras e ameaçadas (Tabela 6). Tendo sido o impacto classificado como de alta magnitude e alta importância, ele representa um impacto com **significância muito alta** (Tabela 6).



## Bio8: Redução da originalidade biótica



*Aumento da riqueza e/ou abundância relativa de espécies exóticas/invasoras ou redução na abundância e/ou riqueza de espécies nativas raras, endêmicas ou em categorias de extinção, reduzindo a diferença composicional e a originalidade da biota da região em relação a biotas de ambientes antropizados.*

B7 (ictiofauna) - Aumento na riqueza e abundância relativa de espécies introduzidas em ambientes aquáticos: o deslocamento de espécies para áreas menos impactadas causa o aumento da competição, predação e doenças, que atingem menos as espécies mais resistentes, como a maior parte das espécies introduzidas.

A mortalidade da biota aquática reduziu os tamanhos populacionais e provavelmente promoveu a extinção local (ainda que temporária) de espécies nativas endêmicas, principalmente das espécies que vivem e/ou forrageiam no fundo dos rios, onde houve deposição de rejeitos. Muitas espécies exóticas só conseguem invadir e se estabelecer após perturbações fortes, quando a fauna de competidores ou predadores nativos é reduzida.

Além disso, devido à degradação dos ambientes aquáticos naturais, houve a necessidade de uso de açudes para a estocagem de peixes e um incentivo à piscicultura, atividades que utilizam peixes exóticos e alóctones. Entre as espécies exóticas usadas na piscicultura, destacam-se predadores generalistas que competem com predadores nativos e reduzem os tamanhos populacionais de suas presas.

A redução da originalidade biótica é evidenciada pela comparação da composição da ictiofauna pré- e pós-rompimento da Barragem de Fundão. Houve um aumento significativo na proporção de espécies exóticas (de 18,3% para 36,4%) após o rompimento da barragem (Qui-quadrado = 4,25;  $p = 0,0392$ ; Tabela 6). A avaliação das proporções relativas das espécies nativas e exóticas apresentadas na Figura 11 reforça a interpretação de redução da riqueza da ictiofauna associada à substituição de peixes nativas por exóticas. Estes efeitos podem ser temporários, mas certamente dependerão em alguma medida de programas de controle de espécies exóticas e revitalização do Rio Doce e de seus afluentes para que as espécies aquáticas mais sensíveis à degradação e aos predadores exóticos possam retornar à seus habitats na Área de Estudo. Por exemplo, o andirá (*Henochilus wheatlandii*) e o lambari-cachorro (*Oligosarcus solitarius*) são exemplos de espécies da ictiofauna amostradas em levantamento pré-impacto que ainda não foram registradas nos monitoramentos pós-impacto.

**Tabela 6.** Tabela de contingência da riqueza de peixes nativos e exóticos amostrados ou compilados para sítios próximos às UCs do Grupo 3 de acordo com (Vieira, 2009; Silva et al., 2012; LACTEC, 2017; Santos et al., 2017; Ekos, 2019a, b; Fundação Renova, 2019) o rompimento da Barragem de Fundão. Para fins de padronização e comparação, as espécies com identificação incerta ("cf.") foram agrupadas com as suas espécies correspondentes. Já as morfoespécies não identificadas ("aff.", "gr.", "sp.") foram agrupadas como uma única morfoespécie ("sp.") quando nenhuma outra espécie do gênero foi amostrada ou desconsideradas caso alguma espécie do gênero tenha sido amostrada no período.

**Fonte:** FBDS, 2022

Espécies de peixes	Pré-rompimento	Pós-rompimento
Nativas	57	20
Exóticas	13	12
Totais	70	32

Este impacto foi classificado como negativo, de ocorrência real (baseado em evidências quantitativas), incidência indireta, reversível e de **alta magnitude**. A severidade deste impacto foi considerada alta, pois houve drástica redução populacional e potencialmente a extinção local de diversas espécies endêmicas de peixes e outros organismos aquáticos. Sua extensão foi classificada como muito alta, pois potencialmente afeta tanto as Zonas de Amortecimento quanto as áreas da maior parte das UCs de Governador Valadares. A duração deste impacto foi interpretada como permanente, pois o provável aumento nas abundâncias de peixes predadores exóticos é um processo praticamente irreversível sem algum tipo de manejo de alto custo, dificultando o restabelecimento das espécies nativas e endêmicas, principalmente daquelas mais sensíveis aos impactos físicos nos ambientes aquáticos. **A importância dos componentes afetados é alta**, pois diz respeito à extinção local de espécies, incluindo espécies ameaçadas, raras e/ou endêmicas como o andirá (*Hemichilus wheatlandii*) e o lambari-bocarra (*Oligosarcus solitarius*), assim como ao menos 20 espécies importantes para a pesca (Tabela 6). Tendo sido o impacto classificado como de alta magnitude e alta importância, ele representa um impacto com **significância muito alta**.



## Biog: Redução da biodiversidade local



*Redução no número de espécies nativas devido à declínios populacionais extremos ou mesmo a extinção permanente de espécies na escala local.*

B6 (ictiofauna) - Alterações na composição da assembleia ou comunidades aquáticas: a perda de recursos alimentares e de ambientes especiais, bem como a introdução de espécies provenientes de outras regiões atuam reduzindo a diversidade taxonômica e funcional das assembleias de peixes.

Assim como os demais impactos bióticos, a redução da biodiversidade local ocorreu basicamente na calha do Rio Doce e nas áreas mais baixas dos tributários e atingiu boa parte da biota aquática, principalmente as espécies que vivem e/ou se alimentam no fundo dos rios, onde houve deposição de sedimentos dos rejeitos. Uma análise comparativa das listas de espécies nativas da ictiofauna em levantamentos realizados antes (últimos 20 anos; Silva et al., 2012; Ekos, 2019a, b) e após o rompimento da barragem (LACTEC, 2017; Santos et al., 2017; Fundação Renova, 2019) revela uma redução (ainda que temporária) de 57 para 20 dos registros de espécies nativas de peixes na região de Governador Valadares. Por outro lado, 13 espécies exóticas da ictiofauna foram amostradas em levantamentos pré-rompimento, ao passo em que 12 espécies de peixes exóticos já foram registrados nos levantamentos pós-rompimento. A discrepância nos efeitos encontrados para as espécies nativas e exóticas explica o aumento na proporção de peixes exóticos após o rompimento (Tabela 6). Além da possível perda (ainda que temporária) de algumas espécies da ictiofauna, considerando a composição total (pré- e pós-rompimento) de peixes, houve uma redução a proporção de gêneros (de 93% para 42% de um total de 43) e famílias (de 95% para 50% para um total de 20). Efeitos semelhantes são esperados para outros grupos de espécies aquáticas, principalmente para os organismos bentônicos.

Este impacto foi classificado como de **magnitude média** (Tabela 7). A severidade deste impacto foi considerada baixa, pois se restringe aos ambientes aquáticos, onde houve enorme mortandade de organismos. No entanto, como a mortandade já foi considerada como um impacto biótico específico e ainda não se tem uma dimensão da proporção da biota extinta localmente, é mais seguro supor que até um quarto das espécies foram extintas localmente, garantido a classificação neste nível de severidade. A extensão deste impacto foi classificada como média, pois potencialmente afeta somente as Zonas de Amortecimento das UCs de Governador Valadares. A duração deste impacto foi classificada como permanente, pois as espécies localmente extintas só retornarão após algum tipo de manejo de alta complexidade e custo. A **importância dos componentes afetados é alta**, pois diz respeito à potencial extinção local de espécies, incluindo espécies ameaçadas, raras e/ou endêmicas como o andirá (*Hemichilus wheatlandii*) e o lambari-bocarra (*Oligosarcus solitarius*), assim como ao menos 20 espécies importantes para a pesca (Tabela 6). Tendo sido o impacto classificado como de média magnitude e alta importância, ele representa um impacto com **significância alta**. O impacto é negativo, de ocorrência real (baseado em evidências qualitativas), incidência indireta e reversível.

**Tabela 7:** Caracterização geral dos impactos do meio biótico e seus atributos de magnitude e significância para cada impacto. As siglas utilizadas para a caracterização dos impactos são as mesmas descritas no documento "Metodologia de Integração para a Avaliação de Impacto Ambiental". **Fonte:** FBDS 2022.

Identificação		Caracterização				Atributos da magnitude			Atributos da significância		Significância
Nº	Impacto	Natureza	Ocorrência	Incidência	Reversibilidade	Severidade	Extensão	Duração	Magnitude	Importância	
<b>Bio1</b>	Mortandade direta e/ou indireta	Neg	RL	D/I	Irre/Rev	Alta	Alta	TL	Alta	Alta	<b>Muito Alta</b>
<b>Bio2</b>	Contaminação da biota	Neg	RL	D/I	Irre/Rev	Média	Muito Alta	TL	Alta	Alta	<b>Muito Alta</b>
<b>Bio4</b>	Empobrecimento ou redução dos recursos alimentares	Neg	RL	I	Irre/Rev	Baixa	Muito Alta	TL	Média	Alta	<b>Alta</b>
<b>Bio7</b>	Perda e/ou degradação de habitats	Neg	RT	D/I	Irre/Rev	Alta	Muito Alta	TL	Alta	Alta	<b>Muito Alta</b>
<b>Bio8</b>	Redução da originalidade biótica	Neg	RT	I	Rev	Alta	Muito Alta	Per	Alta	Alta	<b>Muito Alta</b>
<b>Bio9</b>	Redução da biodiversidade local	Neg	RL	I	Irre	Baixa	Média	Per	Média	Alta	<b>Alta</b>

---

# Síntese dos Impactos

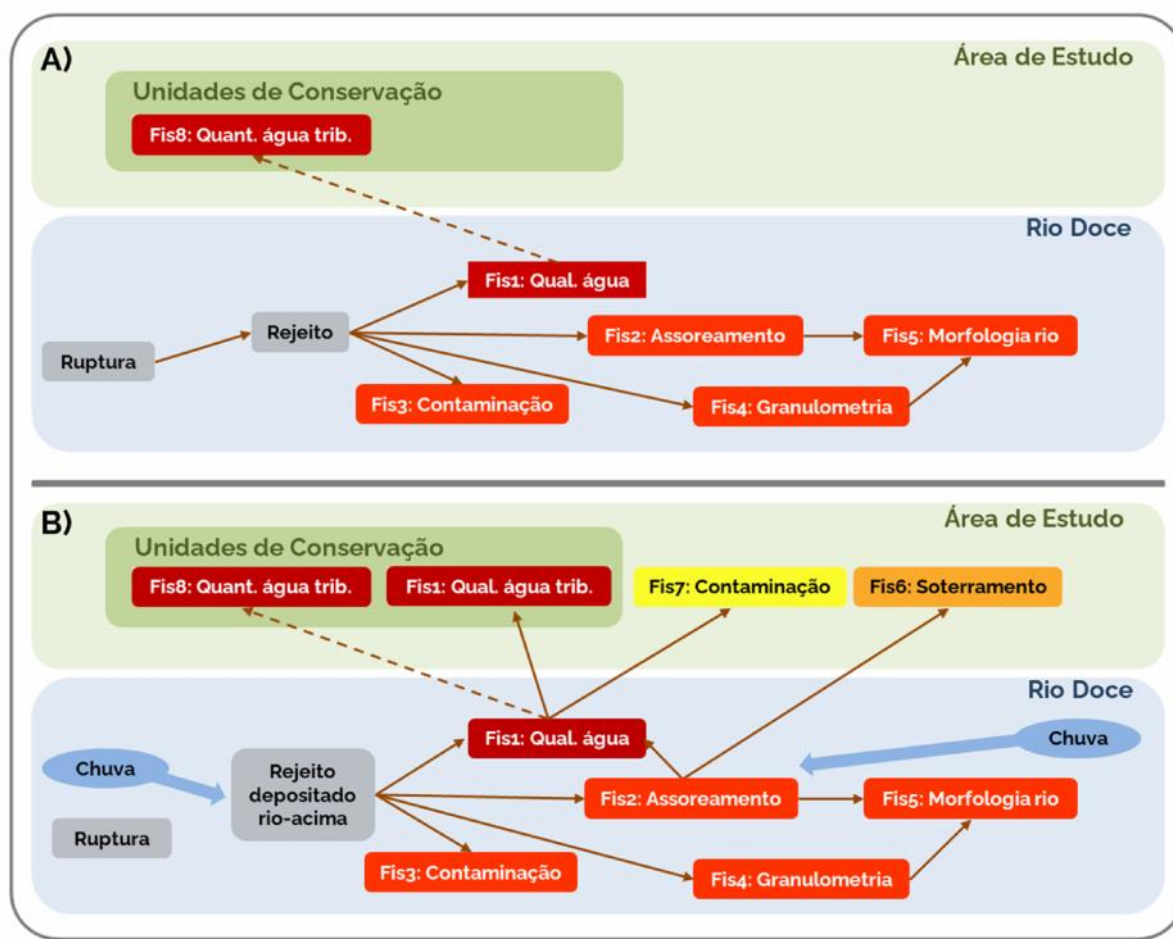
## Impactos no Meio Físico

A maior parte dos sedimentos grossos contidos nos rejeitos de Fundão ficou retida na UHE Risoleta Neves e, em menor quantidade, na UHE Baguari. Parte da água armazenada na UHE Risoleta Neves foi liberada para acomodar os rejeitos que estavam chegando. Esta liberação de água causou pequena enchente, mas não o suficiente para inundar a planície de inundação. As frações finas do sedimento foram transportadas pela água e chegaram em Governador Valadares em 08-09/11/2015, mas não afetaram a planície fluvial (Fig. 12A). Neste primeiro momento, os rejeitos em transporte degradaram a qualidade da água do Rio Doce (Fis1). Os rejeitos trazidos causaram assoreamento (Fis2), contaminação (Fis3) e mudança nas propriedades dos sedimentos (Fis4) no leito do Rio. A grande quantidade de rejeitos depositados também afetou a morfologia submersa do canal (Fis5). Como consequência indireta, a população deixou de usar a água do Rio e passou a usar água de tributários e furar novos poços em terrenos mais altos, causando a diminuição da quantidade de água nos riachos que drenam as UCs deste grupo (Fis8) (Fig. 12A).

Todos os rios naturais estão sujeitos a enchentes. Estas podem acontecer de maneira rápida em riachos pequenos e tendem a serem lentas e longas em rios maiores. Represas tendem a interromper este ciclo. Apesar de haver represas a montante de Governador Valadares, ciclos de secas e enchentes são bem claros na Área de Estudo (Fig. 1). Durante cheias o fluxo de água torna-se mais turbulento o que revolve o leito do canal. Ainda, o aumento da vazão faz com que o rio aumente sua competência para transportar partículas maiores. Nestes momentos de cheias (Fig. 12B), os rejeitos e contaminantes depositados rio acima e na Área de Estudo (na forma de leito assoreado) são ressuspensos e voltam a degradar a qualidade da água (Fis1). Com águas mais altas, o rio tende a avançar sobre tributários, levando consigo os rejeitos e degradando trechos baixos destes tributários (Fis1). O maior uso de águas superficiais e subterrâneas pela população é intensificado, diminuindo a quantidade de água nos tributários que drenam as UCs (Fis8). Os sedimentos em transporte causam assoreamento (Fis2), contaminação (Fis3) e mudança nas propriedades dos sedimentos (Fis4) no leito do Rio. A grande quantidade de sedimentos depositados também afeta a morfologia submersa do canal (Fis5). Estas águas altas também transbordam para as planícies fluviais, onde encontram obstáculos (vegetação), diminuem sua velocidade e depositam sedimentos (Fis6) e contaminantes (Fis7). Este processo de ressuspensão de sedimentos aconteceu de forma bastante intensa nas primeiras cheias após o rompimento (08/12/2015, 20/01/2016, 06/12/2017; Fig. 5A e 12A) e vem acontecendo, em menor grau, desde então (Fig. 5B e 12B).

---

# Síntese dos Impactos



**Figura 12:** Síntese das relações causais entre o rompimento da Barragem de Fundão e a significância dos impactos detectados nas UCS e trechos terrestres e aquáticos (Rio Doce e tributários) da Área de Estudo. A) Não houve transbordamento de água para as planícies fluviais logo após a chegada de rejeitos em Governador Valadares e os impactos ficaram restritos ao canal do Rio, além de maior uso de água superficial e subterrânea pela população. B) Em eventos de cheia, os rejeitos e contaminantes depositados rio-acima e na Área de Estudo são ressuspensos, reintensificando os impactos no canal do Rio. Nestes momentos de cheia, a água do Rio avança sobre riachos tributários e planícies fluviais, degradando sua qualidade e causando contaminação e soterramento. Fis1 = Degradação da qualidade da água. Fis2 = Assoreamento de corpos hídricos. Fis3 = Contaminação do leito. Fis4 = Degradação da qualidade do sedimento. Fis5 = Alteração das características morfodinâmicas dos cursos d'água. Fis6 = Soterramento de planícies fluviais. Fis7 = Contaminação de planícies fluviais. Fis8 = Redução da quantidade de água dos tributários ao Rio Doce. Significância dos impactos: Amarelo = baixa; Laranja = média; Vermelho = Alta; Vermelho escuro = Muito Alta. Setas tracejadas e contínuas indicam impactos indiretos e diretos, respectivamente. **Fonte:** FBDS, 2022.

---

# Síntese dos Impactos

## Impactos no Meio Biótico

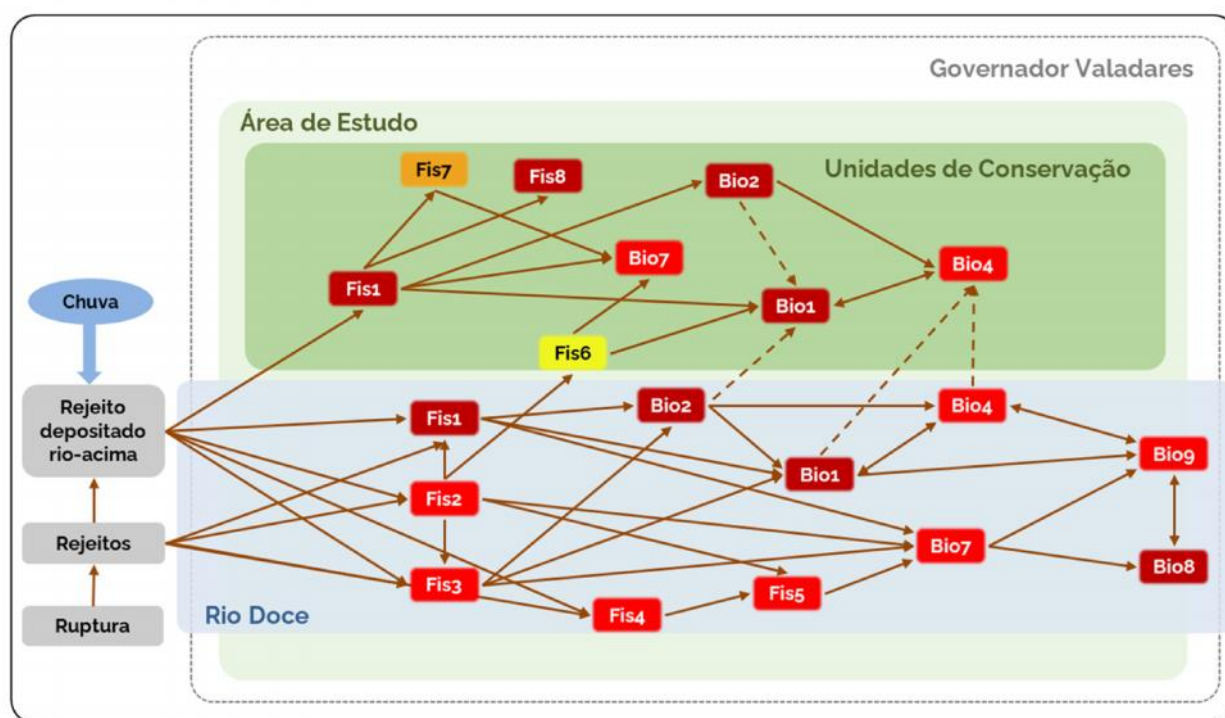
O rompimento da Barragem de Fundão em 5 de novembro de 2015 causou, e tem causado, diversos impactos nos componentes bióticos das UCs de Governador Valadares, principalmente nos ambientes aquáticos localizados no entorno (ZA) das UCs (Fig. 12).

No dia 08/11/2015, teve início a passagem de massa de água com elevada turbidez devido à alta concentração de frações finas do sedimento dos rejeitos. No dia 10/11/2015 a turbidez da água já alcançava valores cerca de 2.000 vezes superiores à média dos dias anteriores, enquanto a concentração de oxigênio dissolvido reduziu a valores cerca de 30 vezes inferiores aos registrados nos dias anteriores. Em decorrência das chuvas, houve cheia e ressuspensão dos sedimentos em 2016 e 2017, com destaque para os meses de janeiro de 2016 e dezembro de 2017. Estas alterações foram, muito provavelmente, a principal causa de mortandade da biota aquática na Área de Estudo. As outras causas de mortandade incluem: o impacto físico da força de arraste das cheias com grande concentração de sólidos totais, a contaminação devido às altas concentrações de metais; a perda de habitats, micro-habitats e recursos alimentares. A mortandade de organismos terrestres na Área de Estudo parece ter ficado restrita às áreas baixas próximas à calha do Rio Doce (Fig. 13) e devem ter ocorrido principalmente nos períodos de cheia devido ao soterramento, à ação física da água com rejeitos, à desidratação por falta de água para dessedentação, e à deposição de sedimentos e contaminação do solo, das plantas e de animais. No entanto, efeitos indiretos importantes sobre a biota terrestre também podem ter ocorrido principalmente devido à perda de recursos alimentares e redução na oferta de água.

Como consequência da mortandade generalizada nos ambientes aquáticos na área da calha do Rio Doce e da perda e degradação duradouras de habitats e recursos usados principalmente por espécies aquáticas e semiaquáticas, é bastante provável que tenha ocorrido extinção local, ainda que temporária, de várias espécies de peixes e de outros grupos de organismos aquáticos. Ou seja, a redução da biodiversidade local de espécies aquáticas e semiaquáticas devido aos impactos causados pelo rompimento da Barragem de Fundão na Zona de Amortecimento das UCs avaliadas é uma realidade cuja magnitude não pode ser dimensionada com segurança (Fig. 13). Tendo em vista que as espécies endêmicas e raras geralmente apresentam nichos ecológicos mais restritos e tendem a ser mais sensíveis a alterações nas condições e recursos, é quase certo que a extinção atingiu várias espécies de distribuição restrita à região do baixo-médio Rio Doce ou à Mata Atlântica, causando assim uma redução na originalidade biótica da biota aquática da região.

---

# Síntese dos Impactos



**Figura 13:** Síntese das relações causais entre o rompimento da Barragem de Fundão, os impactos físicos e bióticos detectados nas UCs e trechos terrestres e aquáticos (Rio Doce e tributários) na Área de Estudo. Enunciado reduzido foi suprimido nesta figura para facilitar a visualização das setas, demonstrando a complexa rede de efeitos existentes entre os diferentes impactos observados. Fis1 = Degradação da qualidade da água. Fis2 = Assoreamento de corpos hídricos. Fis3 = Contaminação do leito. Fis4 = Degradação da qualidade do sedimento. Fis5 = Alteração das características morfodinâmicas dos cursos d'água. Fis6 = Soterramento de planícies fluviais. Fis7 = Contaminação de planícies fluviais. Fis8 = Redução da quantidade de água dos tributários do Rio Doce. Bio1 = Mortandade direta e/ou indireta. Bio2 = Contaminação da biota. Bio4 = Empobrecimento ou redução dos recursos alimentares. Bio7 = Perda e/ou degradação de habitats. Bio8 = Redução da originalidade biótica. Bio9 = Redução da biodiversidade local. Significância dos impactos: Amarelo = baixa; Laranja = média; Vermelho = Alta; Vermelho escuro = Muito Alta. Setas tracejadas e contínuas indicam impactos indiretos e diretos, respectivamente. **Fonte:** FBDS, 2022.

---

# Impactos na Gestão e Usos das UCs

O impacto do rompimento da Barragem de Fundão no meio socioeconômico das UCs foi especialmente importante para aspectos relacionados ao seu uso e gestão. A maior parte destas informações não estão disponíveis em bases de dados abertas e devido ao caráter deste tipo de impacto, a validação junto aos gestores das UCs e atores sociais é parte fundamental do processo de avaliação destes impactos.

Desta forma, a estratégia da FBDS compreende, a partir da análise preliminar dos relatórios que subsidiaram a análise realizada para os meios físico e biótico, estabelecer perguntas que permitam coletar informações sobre o uso e gestão das UCs. As perguntas orientadoras que fundamentaram o desenvolvimento deste trabalho incluem temas relacionados à gestão, atividades e usos nas UCs. Além disso, o detalhamento das medidas reparatórias e compensatórias também depende de informações relacionadas ao contexto institucional das UCs e seu grau de implementação e atuação.

Estas informações serão coletadas durante a reunião devolutiva e consolidadas durante o encontro. O relatório final incluirá a análise realizada, bem como os demais aspectos coletados durante devolutiva, a fim de garantir a celeridade do processo. Cabe ressaltar que essas informações, nem sempre estão disponíveis ou atualizadas nos relatórios utilizados como base para o esforço da FBDS e, uma vez que consultas, visitas de campo ou levantamento de dados primários não são parte do escopo da avaliação realizada pela FBDS, elaboramos o questionário abaixo que será direcionado aos gestores das UCs. As questões estão apresentadas no Quadro 1.

Para todas as perguntas propostas no Quadro 1 serão solicitadas as fontes que subsidiaram as respostas apresentadas. Este aspecto garantirá que a equipe da FBDS identifique o tipo de evidência que caracteriza cada um dos impactos levantados e seu potencial de estabelecer a relação de causalidade com o rompimento da Barragem de Fundão.

---

**Quadro 1.** Questionário sobre impactos na gestão, atividades e usos nas UCs, a ser direcionado aos gestores das UCs na bacia do rio Doce e região costeiro-marinha afetada pelo rompimento da Barragem de Fundão. **Fonte:** FBDS, 2022.

### **A. Sobre a UC:**

1. Apresente brevemente informações sobre
  - a. Atual estrutura física
  - b. Equipe
  - c. Sinalização interna na UC
2. Quais os projetos de pesquisa concluídos e em andamento na UC?
3. A UC possui Plano de Manejo? Se sim, está atualizado/em implantação? Se não, está previsto ou em elaboração?
4. A UC possui viveiro de mudas?

### **B. Sobre impactos potenciais/certos do rompimento da Barragem de Fundão sobre a UC e área de entorno**

5. Foram observados impactos sobre a visitação? Há registros/estimativas da visitação antes e depois do rompimento da Barragem de Fundão?
6. Houve necessidade de alteração/cancelamento de projetos de pesquisa?
7. Houve necessidade de alteração/cancelamento de programas de manejo?
8. Houve necessidade de alteração/cancelamento de projetos de exploração de recursos na UC, se aplicável?
9. Você considera que houve comprometimento da imagem da UC enquanto mantenedora dos serviços ambientais, turísticos e de conservação da biodiversidade?
10. Qual a sua percepção sobre o grau de comprometimento do rio (e de seus afluentes afetados) e/ou região costeira/área marinha como fonte de recursos para as comunidades inseridas na UC ou em seu entorno?
11. Quais os tipos de pressão sobre as UCs foram intensificadas após o evento? Houve forte incremento das invasões humanas na UC?

### **C. Sobre medidas de reparação e compensação para a UC e entorno**

12. Quais ações de apoio à comunidade podem diminuir as pressões observadas na UC? (completar com 'decorrentes do rompimento')
13. Quais ações você entende serem adequadas para reparação e compensação dos impactos do rompimento da Barragem de Fundão percebidos sobre a UC e entorno?

---

# Proposta de medidas de reparação e compensação

Esta seção apresenta a revisão das medidas reparatórias e compensatórias propostas nos Diagnósticos de Avaliação de Impactos Ambientais da APE Pico do Ibituruna e MONA Pico do Ibituruna, conforme documentos produzidos pelo Instituto Ekos (Instituto Ekos 2019a, b) e extrapoladas para a APAM Pico do Ibituruna e PNM Governador Valadares devido à sobreposição territorial destas UCs, de modo a produzir uma análise integrada para o Grupo 3.

É apresentada uma breve descrição do conteúdo trazido pelos relatórios e, na sequência, uma análise crítica das medidas reparatórias e compensatórias propostas. Esta avaliação traz uma análise da pertinência das medidas propostas, conforme demanda do Plano de Trabalho mencionado na apresentação deste relatório e Nota Técnica nº 10/2021/CTBio/DIBIO/ICMBio.

Por fim, são feitas propostas de complementação das medidas para o mosaico de UCs do Grupo 3. Detalhamentos sobre a metodologia da elaboração destas etapas podem ser encontradas no documento "Metodologia de Integração da Avaliação de Impacto Ambiental das Unidades de Conservação da bacia do Rio Doce e região costeira-marinho".

Neste documento também pode ser encontrada uma análise crítica quanto aos conceitos adotados na proposição das medidas de reparação e compensação e uma proposta de critérios a serem adotados na elaboração do Plano de Ação.

## Descrição da coleta de dados

Originalmente, as medidas propostas nos diagnósticos realizados para as UCs do Grupo 3 (Instituto Ekos 2019a, b) e relacionadas aos impactos nos meios físico e biótico somam 19 e estão distribuídas em quatro projetos, como mostra o Quadro 2. Para cada medida foi atribuído um código (M1, M2,...M19) apenas para facilitar a menção a elas, e a codificação foi por ordem alfabética. Entre parênteses, está apresentado o nome do programa ao qual a medida foi associada.

---

**Quadro 2.** Projetos e medidas propostos para os impactos sobre os meios físico e biótico nas UCs do Grupo 3. **Fonte:** Modificado de Ekos 2019.

- M1** - Análise de risco da condução extensiva de dragagem aos locais propícios à retenção/acúmulo de sedimentos (Melhoria da Qualidade e Quantidade da Água Pela Segurança Hídrica)
- M2** - Apoio (financeiro, logístico e suprimentos) ao IGAM e demais órgãos responsáveis, no controle da implantação de barramentos e incentivo a remoção das unidades existentes (Melhoria da Qualidade e Quantidade da Água Pela Segurança Hídrica)
- M3** - Controle da introdução de espécies exóticas de peixes no Rio Doce, tributário e corpos d'água da UC e ZA, através de programa de conscientização, incentivo de pesca direcionada e fiscalização<sup>1</sup> (Manejo de Fauna e Vegetação)
- M4** - Diagnóstico sobre a estrutura e qualidade dos solos na planície fluvial (Requalificação sustentável dos vales e Planícies fluviais para a população)
- M5** - Estabilização das margens (Rio Doce e tributários) utilizando preferencialmente técnicas de bioengenharia (Requalificação sustentável dos vales e Planícies fluviais para a população)
- M6** - Expansão das atividades de abastecimento e saneamento ambiental, relativas aos Programas 31 e 32 da Fundação Renova, para a área de estudo (Melhoria da Qualidade e Quantidade da Água Pela Segurança Hídrica)
- M7** - Expansão do programa de monitoramento da ictiofauna para os tributários do Rio Doce (Manejo de Fauna e Vegetação)
- M8** - Incentivo ao plantio de agrofloresta e manejo de recursos florestais (Recuperação, Manejo e Conectividade das Florestas)
- M9** - Indicação de áreas prioritárias e implantação de conectividade entre fragmentos florestais (Recuperação, Manejo e Conectividade das Florestas)
- M10** - Instalação de sistemas de captação de água mais eficientes (cisternas, água de reúso, etc) em locais estratégicos (Melhoria da Qualidade e Quantidade da Água Pela Segurança Hídrica)
- M11** - Introdução de elementos estruturantes naturais ou artificiais com o objetivo de garantir a heterogeneidade necessária para a recuperação e manutenção de meso e micro-habitats aquáticos<sup>1</sup> (Manejo de Fauna e Vegetação)
- M12** - Manejo e apoio no uso sustentável dos solos na planície de inundação e ilhas fluviais (Requalificação sustentável dos vales e Planícies fluviais para a população)
- M13** - Monitoramento da estabilidade das encostas, vales e margens fluviais, assim como da regeneração natural da vegetação (Requalificação sustentável dos vales e Planícies fluviais para a população)
- M14** - Monitoramento de parâmetros quali-quantitativos das águas e dos sedimentos de rios tributários do Rio Doce e zonas de confluência na UC e ZA através das metodologias e critérios já estabelecidos pelo PMQQS (Melhoria da Qualidade e Quantidade da Água Pela Segurança Hídrica)
- M15** - Monitoramento dos solos da planície fluvial (Requalificação sustentável dos vales e Planícies fluviais para a população)
- M16** - Monitoramento quali-quantitativo sobre o comportamento das águas subterrâneas (vazão, metais, condutividade, pH) através de coletas de água de poços e nascentes em locais estratégicos (Melhoria da Qualidade e Quantidade da Água Pela Segurança Hídrica)
- M17** - Pesquisa sobre status taxonômico e distribuição de espécies de anfíbios potencialmente novas para a ciência (Manejo de Fauna e Vegetação)
- M18** - Pesquisas para avaliar a necessidade e viabilidade de programas de reintrodução de espécies sensíveis e endêmicas de peixes (Manejo de Fauna e Vegetação)
- M19** - Plano de recuperação de APPs, com plantio de espécies chave como o palmito juçara (Recuperação, Manejo e Conectividade das Florestas)

1 - Para o MONA Pico do Ibituruna, os enunciados destas medidas foram simplificados, sendo "Controle da introdução de espécies exóticas de peixes no Rio Doce através de programa de pesca e fiscalização" e "Introdução de elementos estruturantes naturais ou artificiais para surgimento de novos habitats (peixes)."

Estas medidas sugeridas podem ser classificadas em: 49% de reparação, 24% de monitoramento, 17% de novos estudos e 10% de compensação. A classificação das medidas pode ser vista na descrição a seguir na seção *Análise da pertinência das medidas propostas* e também na Figura 14.

Das 19 medidas apresentadas no Quadro 2, há sete que demandam **ações integradas entre os meios físico, biótico e socioeconômico**, pela própria natureza dos temas destas medidas. Trata-se das medidas M6, M8, M9, M10, M12, M16, M19, que estão relacionadas a abastecimento de água e coleta e tratamento de esgotos domésticos, revegetação e plantio de agrofloresta, e usos do solo na planície fluvial. Estas estão associadas também a impactos sobre o meio socioeconômico, mas que, no entanto, aqui foram avaliadas com foco no seu potencial para mitigar/reparar dos impactos sobre os meios físico e biótico aqui avaliados. As medidas propostas nos relatórios das UCs do Grupo 3 relacionadas exclusivamente aos impactos sobre o meio socioeconômico não foram explicitamente citadas no Quadro 2, uma vez que o componente socioeconômico não foi alvo desta avaliação neste momento e serão incorporados a partir das reuniões devolutivas. As medidas foram: *Divulgação de dados sobre contaminação e da qualidade das águas ao longo das margens do Rio Doce e ações da Fundação Renova, Capacitação ao cultivo de palmito nativo, Curso de empreendedorismo e associativismo/cooperativismo vinculado ao uso público da UC, Implantação de roteiros ecoturísticos adequados a cada UC, Capacitação de monitores em técnicas de interpretação ambiental e redução de impactos da visitação, e Educação ambiental com a comunidade*. No entanto, ressalta-se a importância destas medidas no estabelecimento de estratégias integradas para lidar com os impactos do rompimento da Barragem de Fundão para as UCs do Grupo 3.

## Análise da pertinência das medidas propostas

Nesta seção realizamos uma breve análise das medidas apresentadas nos Diagnósticos das UCs do Grupo 3 quanto à sua pertinência.

Os Diagnósticos analisados apresentaram 19 medidas distintas. A associação entre os novos enunciados de impactos às medidas resultaram num total de 62 combinações impacto-medida, que correspondem ao número de ligações apresentadas na Figura 14.

As medidas são apresentadas à luz de cada um dos impactos e a prioridade definida nos relatórios do Instituto Ekos é apresentada entre parênteses.

As propostas de reparação apresentadas neste documento seguem sempre que possível a noção apresentada pela hierarquia de mitigação (Sánchez, 2020), que estabelece a ordem prioritária (mostrada entre parêntesis) para implementar ações de mitigação quando se trata de intervenções planejadas. A hierarquia de mitigação dá preferência a medidas para evitar os impactos, o que não é aplicável no contexto deste estudo (com exceção das ações focadas na remoção do rejeito sedimentado na calha do Rio Doce e tributários, que poderiam evitar nova disponibilização de compostos potencialmente contaminantes na água e planície fluvial). Os demais passos são minimizar, recuperar e compensar os impactos, quando não há possibilidade de implementar outras medidas. No contexto do rompimento de barragens deve-se considerar todas as opções de minimização dos efeitos do impacto e de recuperação do ambiente biofísico. Entretanto, para impactos irreversíveis e impactos residuais, quando não há possibilidade de recuperação, restam apenas medidas de compensação.



### **Fis1: Degradação da qualidade da água**

#### **Monitoramento**

M14 - Monitoramento de parâmetros quali-quantitativos das águas e dos sedimentos de rios tributários do Rio Doce e zonas de confluência na UC e ZA através das metodologias e critérios já estabelecidos pelo PMQQS (média)

M15 - Monitoramento dos solos da planície fluvial (média)

M16 - Monitoramento quali-quantitativo sobre o comportamento das águas subterrâneas (vazão, metais, condutividade, pH) através de coletas de água de poços e nascentes em locais estratégicos (alta)

#### **Reparação**

M5 - Estabilização das margens (Rio Doce e tributários), utilizando preferencialmente técnicas de bioengenharia (média)

M6 - Expansão das atividades de abastecimento e saneamento ambiental, relativas aos Programas 31 e 32 da Fundação Renova, para a área de estudo (alta)

M9 - Indicação de áreas prioritárias e implantação de conectividade entre fragmentos florestais (alta)

M10 - Instalação de sistemas de captação de água mais eficientes (cisternas, água de reuso, etc) em locais estratégicos (alta)

M18 - Plano de recuperação de APPs, com plantio de espécies chave como o palmito juçara (alta)

A recuperação das APPs (M18) é certamente uma medida muito relevante para redução da significância do impacto Fis1. A recuperação de APPs de nascentes e a revegetação para implantação da conectividade entre fragmentos de vegetação (M9) certamente contribui para aumento da qualidade ambiental na sub-bacia hidrográfica e influencia a melhoria da qualidade da água.

Sobre a estabilização das margens, M5 é uma medida que visa conter processos erosivos, no entanto não há informações suficientes nos Diagnósticos das UCs do Grupo 3 sobre a erosão fluvial para afirmar que esta medida seja pertinente.

M6 e M10 são ações que devem ser pensadas junto aos órgãos responsáveis pelo saneamento básico. M6 pode ser considerada de reparação no caso do abastecimento de água, pois houve supressão de mananciais; ações de saneamento também podem ser consideradas de reparação para o caso de propriedades em que as fossas sépticas foram colapsadas e ainda permanecem com este problema. Na descrição desta medida, no entanto, menciona-se como objetivo 'promover redução da carga de matéria orgânica e outros efluentes que possam estar sendo lançados no sistema fluvial do Rio Doce'; neste caso, seria mais adequado considerar que esta é uma medida de compensação, decorrente de impactos residuais não reparados sobre a qualidade da água, pois visa melhoria da qualidade da água mas por meio de ações que não tem relação direta com os impactos do rompimento da Barragem de Fundão.

M10 é uma medida de reparação para um impacto socioeconômico decorrente da degradação da qualidade da água, relacionado à perda do Rio Doce como manancial para captação. Seria mais interessante que esta medida estivesse associada a outro impacto, socioeconômico, que explicitamente abordasse a perda de fontes de captação e que apresentasse caracterização mais detalhada da situação atual de captação de água nas propriedades da área de estudo, com descrição e avaliação de atributos específicas.

M14 é uma medida que auxilia na compreensão da qualidade ambiental da região, e auxilia a mensurar a efetividade das medidas M18 e M9.

M15 tem como prerrogativa atender ao anseio da população local (conforme descrição da medida), portanto seria adequado ser ampliada para incluir ações educativas e de comunicação, bem como integrada às medidas M4 e M12 não associadas inicialmente a este impacto (M4 - Diagnóstico sobre a estrutura e qualidade dos solos na planície fluvial; M12 - Manejo e apoio no uso sustentável dos solos na planície de inundação e ilhas fluviais).

Sobre o monitoramento do comportamento de águas subterrâneas, M16 o objetivo desta medida é coletar dados e informações que possibilitarão estudos de tendências sobre o comportamento e qualidade dos aquíferos e das áreas de recarga, consubstanciando o planejamento e gestão do território da UC e Zona de Amortecimento. Consideramos que esta medida pode ter seu enunciado alterado para que indique que trata de um estudo de caracterização do comportamento das águas subterrâneas. A medida pode ser desenvolvida em parceria com o IGAM, órgão responsável pela outorga.

## Fis2: Assoreamento de corpos hídricos



### Estudos

M1 - Análise de risco da condução extensiva de dragagem aos locais propícios à retenção/acúmulo de sedimentos (baixa)

M4 - Diagnóstico sobre a estrutura e qualidade dos solos na planície fluvial (média)

### Monitoramento

M14 - Monitoramento de parâmetros quali-quantitativos das águas e dos sedimentos de rios tributários do Rio Doce e zonas de confluência na UC e ZA através das metodologias e critérios já estabelecidos pelo PMQQS (média)

### Reparação

M5 - Estabilização das margens (Rio Doce e tributários) utilizando preferencialmente técnicas de bioengenharia (média)

M19 - Plano de recuperação de APPs, com plantio de espécies chave como o palmito juçara (alta)

O assoreamento foi apontado como severo no período imediato após o rompimento da barragem e sua significância vem sendo atenuada naturalmente ao longo do tempo. O Plano de Manejo de Rejeitos para a área de estudo, trechos 13 e 14, (Golder Associates, 2021), conclui que a melhor opção de manejo para a região é o acompanhamento da recuperação natural, que supera a opção de remoção mecânica do rejeito na calha. Desta forma, entendemos que esta medida já foi avaliada, e não deve ser explorada novamente em estudos futuros.

M14 inclui a estratigrafia dos sedimentos e permitiria compreender melhor a situação atual quanto ao assoreamento com rejeitos no Rio Doce e tributários nesta área de interesse.

Como já mencionado para o Fis1, as medidas relacionadas às planícies fluviais podem ser integradas. O diagnóstico dos solos (M4, proposto para este impacto), pode ser associado ao manejo (M14) e ao monitoramento (M15). Recomendamos que estas medidas sejam integradas e que seu objetivo seja reformulado para que vise orientar autoridades locais, gestores dos parques (em especial do PNM) e proprietários rurais na ZA as sobre fragilidades/potencialidades de usos sustentáveis nas planícies fluviais.

M19 é importante para reduzir a carga de sedimentos provenientes de processos erosivos naturais/antrópicos. M5 também poderia contribuir, mas como mencionado, não há informações sobre a taxa atual de erosão fluvial que justifique a pertinência desta medida.

### Fis3: Contaminação do leito do rio



#### Monitoramento

M14 - Monitoramento de parâmetros quali-quantitativos das águas e dos sedimentos de rios tributários do Rio Doce e zonas de confluência na UC e ZA através das metodologias e critérios já estabelecidos pelo PMQQS (média)

O monitoramento da água e do sedimento no Rio Doce e tributários/zonas de confluência é fundamental para que se possa qualificar a contaminação do leito ocorrida na região do Grupo 3. Se os resultados indicarem que a contaminação tem implicações significativas para a biota aquática, medidas para remediação da área poderão ser indicadas.

### Fis4: Degradação da qualidade do sedimento



#### Estudo

M4 - Diagnóstico sobre a estrutura e qualidade dos solos na planície fluvial (média)

#### Monitoramento

M13 - Monitoramento da estabilidade das encostas, vales e margens fluviais, assim como da regeneração natural da vegetação (média)

M14 - Monitoramento de parâmetros quali-quantitativos das águas e dos sedimentos de rios tributários do Rio Doce e zonas de confluência na UC e ZA através das metodologias e critérios já estabelecidos pelo PMQQS

#### Reparação

M5 - Estabilização das margens (Rio Doce e tributários) utilizando preferencialmente técnicas de bioengenharia (média)

M4, M13 e M14 podem contribuir para a compreensão mais detalhada do contexto do estudo.

M5 pode contribuir para a redução da erosão das margens, no entanto, não há informações suficientes sobre a intensidade em que este processo está ocorrendo que justifique a pertinência desta medida.

M19 não está associada a este impacto mas também contribuiria para a redução da significância do impacto, uma vez que atua para melhorar a qualidade ambiental da região, reduzindo o carreamento de sedimentos e a poluição difusa que pode alcançar os sedimentos do leito do Rio Doce.

## Fis5: Alteração das características morfodinâmicas dos cursos d'água



### Estudo

M1 - Análise de risco da condução extensiva de dragagem aos locais propícios à retenção/acúmulo de sedimentos (baixa)

### Monitoramento

M14 - Monitoramento de parâmetros quali-quantitativos das águas e dos sedimentos de rios tributários do Rio Doce e zonas de confluência na UC e ZA através das metodologias e critérios já estabelecidos pelo PMQQS

As medidas propostas para este impacto buscam ampliar a caracterização deste impacto, por meio de estudo de análise de risco para realização de dragagem e monitoramento. A medida M1 foi descartada no contexto do Programa 23 - Manejo de Rejeitos, e a opção atual para a área é de realizar o acompanhamento da recuperação natural, que inclui campanhas de monitoramento de transectos, da qualidade da água e sedimentos, de estudos e condições hidrossedimentológicas intracalha, abrangendo e extrapolando ações do PMQQS (previstas na M14) (Golder Associates, 2021).

## Fis6: Soterramento de planícies fluviais



### Estudo

M4 - Diagnóstico sobre a estrutura e qualidade dos solos na planície fluvial (média)

### Monitoramento

M13 - Monitoramento da estabilidade das encostas, vales e margens fluviais, assim como da regeneração natural da vegetação (média)

M15 - Monitoramento dos solos da planície fluvial (média)

### Reparação

M5 - Estabilização das margens (Rio Doce e tributários) utilizando preferencialmente técnicas de bioengenharia (média)

M12 - Manejo e apoio no uso sustentável dos solos na planície de inundação e ilhas fluviais (média)

M19 - Plano de recuperação de APPs, com plantio de espécies chave como o palmito juçara (alta)

O Plano de Manejo de Rejeitos para a área em estudo prevê que em áreas fora de APP seja feito o condicionamento do solo, com "realização de práticas agrícolas, sob análise de solo e recomendações agronômicas, a serem definidas no âmbito do PG 17 - Retomada das atividades agropecuárias", e que em áreas de APP seja feito acompanhamento da recuperação natural, ressaltando que "não são previstas ações de manejo adicionais, considerando que não houve supressão ou arraste da vegetação" (Golder Associates, 2021, p29). Tendo estas diretrizes mais recentes em vista, entendemos que estão contempladas as medidas M4, M12, M15 e M19. Entendemos que ações de educação/comunicação farão parte das ações de condicionamento do solo. Quanto à M13 e M5, entendemos que não são medidas adequadas para este trecho da bacia, pois não se identifica problemas de estabilidade das margens que justifiquem ações de contenção e monitoramento.



### Fis7: Contaminação de planícies fluviais

#### Reparação

M12 - Manejo e apoio no uso sustentável dos solos na planície de inundação e ilhas fluviais (média)

Como já mencionado antes, o Plano de Manejo de Rejeitos prevê condicionamento do solo em áreas fora de APP, compatível com a proposta da medida M12, além do acompanhamento da recuperação natural em área de APP (Golder Associates, 2021). Para a área de estudo não foram identificadas áreas contaminadas que demandem ações de monitoramento ou remediação.

### Fis8: Redução da quantidade da água dos tributários ao Rio Doce



#### Reparação

M9 - Indicação de áreas prioritárias e implantação de conectividade entre fragmentos florestais (alta)

M10 - Instalação de sistemas de captação de água mais eficientes (cisternas, água de reuso, etc) em locais estratégicos (alta)

M19 - Plano de recuperação de APPs, com plantio de espécies chave como o palmito juçara (alta)

As medidas propostas são pertinentes e suficientes. A recuperação das APPs de nascentes (M19) e a revegetação para incremento da conectividade (M9) são medidas que devem contribuir para o aumento da produção de água na sub-bacia. A instalação de sistemas de captação de água (M10) aumenta a segurança hídrica nas áreas das comunidades afetadas e pode auxiliar na gestão da captação de águas subterrâneas nesta área, importante pois muitos moradores iniciaram a captação sem outorga em poços após o rompimento da barragem ter inviabilizado a captação no rio Doce.

## Bio1: Mortandade direta e/ou indireta



### Estudo

M18 - Pesquisas para avaliar a necessidade e viabilidade de programas de reintrodução de espécies sensíveis e endêmicas de peixes (média)

### Reparação

M3 - Controle da introdução de espécies exóticas de peixes no Rio Doce, tributário e corpos d'água da UC e ZA, através de programa de conscientização, incentivo de pesca direcionada e fiscalização (alta)

M8 - Incentivo ao plantio de agrofloresta e manejo de recursos florestais (média)

M9 - Indicação de áreas prioritárias e implantação de conectividade entre fragmentos florestais (alta)

### Compensação

M2 - Apoio (financeiro, logístico e suprimentos) ao IGAM e demais órgãos responsáveis, no controle da implantação de barramentos e incentivo a remoção das unidades existentes (média)

Consideramos que as medidas são pertinentes, sendo que M18, se viável, desenvolvida e aplicada através do Plano de Ação, poderá acelerar a restauração.

M3 é uma medida importante para aumentar as chances de retorno e viabilidade das populações de espécies nativas. Além disso, seria importante evitar a introdução de espécies exóticas e alóctones que ainda não ocorrem na região.

M8, M9 e M2 são medidas de aprimoramento, que visam elevar a qualidade ambiental na região, e são essenciais para garantir a viabilidade das populações.

## Bio2: Contaminação da biota



### Estudo

M17 - Pesquisa sobre status taxonômico e distribuição de espécies de anfíbios potencialmente novas para a ciência (baixa)

### Monitoramento

M7 - Expansão do programa de monitoramento da ictiofauna para os tributários do Rio Doce (alta)

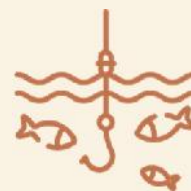
M14 - Monitoramento de parâmetros quali-quantitativos das águas e dos sedimentos de rios tributários do Rio Doce e zonas de confluência na UC e ZA através das metodologias e critérios já estabelecidos pelo PMQQS (média)

As medidas M7 e M14 permitem acompanhar o progresso no restabelecimento e aprimoramento da qualidade ambiental da região.

M17 é uma medida que busca avançar em estudos sobre três espécies de anfíbios que não puderam ser identificadas até o nível específico (*Bokermannohyla gr. circumdata*, *Crossodactylus sp.*, *Leptodactylus aff. spixi*) durante o diagnóstico da herpetofauna realizado pelo Instituto Ekos Brasil. A primeira foi identificada a partir da literatura e as outras duas são provenientes de registros de espécimes no MZUFV. Por serem potencialmente novos táxons, não se tem informações sobre seu habitat, distribuição geográfica e status de conservação. Esta ação pode ser desenvolvida em parceria com agências de fomento à pesquisa, e no Plano de Ação, poderá ser considerada entre as opções de medidas compensatórias.

A contaminação da biota, incluindo a bioacumulação e a bioamplificação de metais em espécies da fauna e da flora, não conta com medidas corretivas diretas que sejam conhecidas e eficazes. Dessa forma, a estratégia a ser adotada é buscar elevar a qualidade ambiental da região, buscando formas de acelerar a redução da presença/concentração de metais e metalóides na água, no sedimento e em planícies fluviais. Assim, medidas adicionais de remediação de áreas contaminadas podem ser exploradas no Plano de Ação.

## Bio4: Empobrecimento ou redução dos recursos alimentares



### Estudo

M17 - Pesquisa sobre status taxonômico e distribuição de espécies de anfíbios potencialmente novas para a ciência (baixa)

M18 - Pesquisas para avaliar a necessidade e viabilidade de programas de reintrodução de espécies sensíveis e endêmicas de peixes (média)

### Monitoramento

M7 - Expansão do programa de monitoramento da ictiofauna para os tributários do Rio Doce (alta)

### Reparação

M3 - Controle da introdução de espécies exóticas de peixes no Rio Doce, tributário e corpos d'água da UC e ZA, através de programa de conscientização, incentivo de pesca direcionada e fiscalização (alta)

M9 - Indicação de áreas prioritárias e implantação de conectividade entre fragmentos florestais (alta)

M11 - Introdução de elementos estruturantes naturais ou artificiais com o objetivo de garantir a heterogeneidade necessária para a recuperação e manutenção de meso e micro-habitats aquáticos (média)

M19 - Plano de recuperação de APPs, com plantio de espécies chave como o palmito juçara (alta)

### Compensação

M2 - Apoio (financeiro, logístico e suprimentos) ao IGAM e demais órgãos responsáveis, no controle da implantação de barramentos e incentivo a remoção das unidades existentes (média)

As medidas para reduzir a significância do impacto Bio4 estão alinhadas à necessidade de dar suporte e acelerar o processo gradual de recuperação dos ambientes aquáticos (M18, M3, M9, M11 e M19).

O monitoramento da ictiofauna e o apoio ao monitoramento do IGAM (M7 e M2) permitem acompanhar a qualidade ambiental da região e o progresso da reparação da área de forma abrangente. A remoção de barramentos existentes deve levar em conta os riscos de contaminação recorrente no caso das espécies mais sensíveis.

M17 é uma medida que busca avançar em estudos sobre três espécies de anfíbios que não puderam ser identificadas até o nível específico (*Bokermannohyla gr. circumdata*, *Crossodactylus sp.*, *Leptodactylus aff. spixi*) durante o diagnóstico da herpetofauna realizado pelo Instituto Ekos Brasil. A primeira foi identificada a partir da literatura e as outras duas são provenientes de registros de espécimes no MZUFV. Por serem potencialmente novos táxons, não se tem informações sobre seu habitat, distribuição geográfica e status de conservação. Esta ação pode ser desenvolvida em parceria com agências de fomento à pesquisa, e no Plano de Ação, poderá ser considerada entre as opções de medidas compensatórias.

Para este impacto, como complemento das medidas M17 e M7, pode ser previsto o levantamento taxonômico e estimativa de tamanhos populacionais de vertebrados aquáticos e semiaquáticos, e avaliação de espécies potencialmente novas para a ciência, bem como o levantamento taxonômico e estimativa de tamanhos populacionais das macrófitas aquáticas e também o controle de espécies exóticas de macrófitas.



## Bio7: Perda e/ou degradação de habitats

### Estudo

M1 - Análise de risco da condução extensiva de dragagem aos locais propícios à retenção/acúmulo de sedimentos (baixa)

### Monitoramento

M7 - Expansão do programa de monitoramento da ictiofauna para os tributários do Rio Doce (alta)

### Reparação

M8 - Incentivo ao plantio de agrofloresta e manejo de recursos florestais (média)

M9 - Indicação de áreas prioritárias e implantação de conectividade entre fragmentos florestais (alta)

M11 - Introdução de elementos estruturantes naturais ou artificiais com o objetivo de garantir a heterogeneidade necessária para a recuperação e manutenção de meso e micro-habitats aquáticos (média)

M19 - Plano de recuperação de APPs, com plantio de espécies chave como o palmito juçara (alta)

### Compensação

M2 - Apoio (financeiro, logístico e suprimentos) ao IGAM e demais órgãos responsáveis, no controle da implantação de barramentos e incentivo a remoção das unidades existentes (média)

As medidas propostas para o impacto Bio7 são compatíveis com a necessidade de restauração ecológica da área de estudo e criação de habitats (M8, M9, M11, M19). M8 precisa ser validada junto às comunidades locais, dado que o diagnóstico traz informações sobre a baixa produção agrícola no município de Governador Valadares, sendo que parte das propriedades na UC possuem apenas casas de veraneio. O monitoramento da ictiofauna e o apoio ao monitoramento do IGAM (M7 e M2) permitem acompanhar a qualidade ambiental da região e o progresso da reparação da área de forma abrangente. M1, como já mencionado, foi descartada no Plano de Manejo de Rejeitos para o trecho da área em estudo.



## Bio8: Redução da originalidade biótica

### Estudo

M18 - Pesquisas para avaliar a necessidade e viabilidade de programas de reintrodução de espécies sensíveis e endêmicas de peixes (média)

### Monitoramento

M7 - Expansão do programa de monitoramento da ictiofauna para os tributários do Rio Doce (alta)

M14 - Monitoramento de parâmetros quali-quantitativos das águas e dos sedimentos de rios tributários do Rio Doce e zonas de confluência na UC e ZA através das metodologias e critérios já estabelecidos pelo PMQQS (média)

### Reparação

M3 - Controle da introdução de espécies exóticas de peixes no Rio Doce, tributário e corpos d'água da UC e ZA, através de programa de conscientização, incentivo de pesca direcionada e fiscalização (alta)

M6 - Expansão das atividades de abastecimento e saneamento ambiental, relativas aos Programas 31 e 32 da Fundação Renova, para a área de estudo (alta)

A recuperação da originalidade biótica também deve contar com medidas abrangentes de restauração ecológica, presentes nas propostas apresentadas (M18 e M3). M7 é importante para o acompanhamento das respostas das medidas implantadas.

M6 e M14 não estão diretamente relacionados ao impacto Bio8. No entanto, sua implementação e continuidade permitem acompanhar o restabelecimento da qualidade ambiental que influencia diretamente na mitigação do impacto Bio8.

## Biog: Redução da biodiversidade local



### Estudo

M18 - Pesquisas para avaliar a necessidade e viabilidade de programas de reintrodução de espécies sensíveis e endêmicas de peixes (média)

### Monitoramento

M7 - Expansão do programa de monitoramento da ictiofauna para os tributários do Rio Doce (alta)

### Reparação

M3 - Controle da introdução de espécies exóticas de peixes no Rio Doce, tributário e corpos d'água da UC e ZA, através de programa de conscientização, incentivo de pesca direcionada e fiscalização (alta)

### Compensação

M2 - Apoio (financeiro, logístico e suprimentos) ao IGAM e demais órgãos responsáveis, no controle da implantação de barramentos e incentivo a remoção das unidades existentes (média)

As quatro medidas propostas são pertinentes para este impacto que se relaciona fundamentalmente com a biota aquática. O monitoramento (M7) também é adequado e importante para o acompanhamento de indicadores de qualidade ambiental, bem como a remoção dos barramentos (M2) é importante para ampliação de habitats.

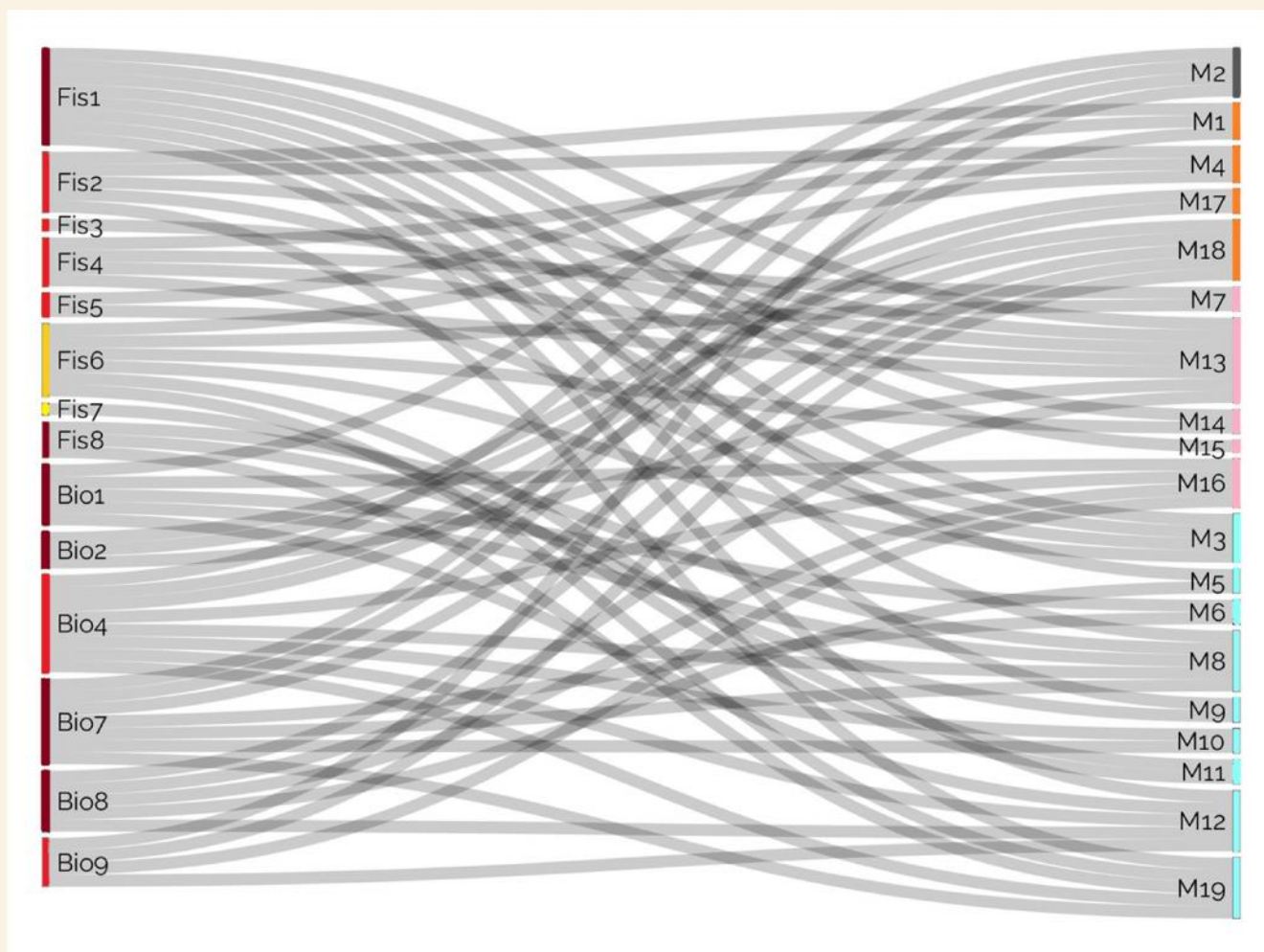
Medidas adicionais para recuperação de áreas degradadas ou enriquecimento podem ser exploradas no Plano de Ação.

## Padrões na relação entre impactos e medidas

A Figura 14 permite a identificação de que os impactos com mais medidas associadas são Fis1, Fis6, Bio4 e Bio7. Quanto às medidas, as mais frequentes são o monitoramento da água e do sedimento (M14), a indicação e implantação de áreas prioritárias para a conectividade entre fragmentos florestais (M9), e recuperação de APPs (M19), pesquisas para reintrodução de espécies da ictiofauna (M18) e monitoramento da ictiofauna nos tributários (M7). A única medida classificada como compensatória está ligada apenas a impactos do meio biótico, pois trata da remoção de barramentos nos tributários por meio de apoio ao IGAM. Considerando que os impactos sobre o meio físico provavelmente também terão impactos residuais após implantação de medidas de reparação, é provável que novas medidas de compensação sejam necessárias. Da mesma forma, outros impactos do meio biótico também podem receber novas medidas de compensação, a depender dos impactos residuais.

Através da análise da Figura 14 é possível ainda identificar que todos os impactos foram relacionados a alguma medida de monitoramento ou a novos estudos, sendo a única exceção o Fis3, ligado à M12 mas que neste relatório recomendamos que seja associada às outras medidas relacionadas aos solos da planície fluvial, M4 e M15 que também são medidas relacionadas à realização de estudos e monitoramento, respectivamente.

As medidas de reparação, que representam metade do total de medidas propostas, estão ligadas também a quase todos os impactos, sendo as exceções Fis3 e Bio2, que tratam da contaminação do leito do rio e da biota, e Fis5, sobre alteração das características morfodinâmicas dos cursos d'água.



**Figura 14:** Síntese da relação entre os impactos listados para o meio físico e biótico para as UCs do Grupo 3 afetadas pelo rompimento da Barragem de Fundão e as medidas propostas para lidar com os mesmos, identificadas nos diagnósticos de AIA para as mesmas. As cores dos impactos representam a significância atribuída a cada um deles, já as cores das medidas estão associadas ao tipo de ação proposta. A descrição completa e pertinência das medidas propostas pode ser acessada no texto principal, bem como nos documentos acessórios que acompanham este relatório. Fis1 = Degradação da qualidade da água. Fis2 = Assoreamento de corpos hídricos. Fis3 = Contaminação do leito. Fis4 = Degradação da qualidade do sedimento. Fis5 = Alteração das características morfodinâmicas dos cursos d'água. Fis6 = Soterramento de planícies fluviais. Fis7 = Contaminação de planícies fluviais. Fis8 = Redução da quantidade de água dos tributários ao Rio Doce. Bio1 = Mortandade direta e/ou indireta. Bio2 = Contaminação da biota. Bio4 = Empobrecimento ou redução dos recursos alimentares. Bio7 = Perda e/ou degradação de habitats. Bio8 = Redução da originalidade biótica. Bio9 = Redução da biodiversidade local. Significância dos impactos: Amarelo = baixa; Laranja = média; Vermelho = Alta; Vermelho escuro = Muito Alta. Tipos de medidas: Cinza = compensação; Laranja = estudo; Rosa = monitoramento; Azul = reparação. **Fonte:** FBDS, 2022.

## Considerações sobre as medidas propostas

Da análise apresentada na seção anterior, podemos ainda acrescentar três pontos a serem observados quando da elaboração do Plano de Ação.

O primeiro, é que as medidas de reparação e compensação apresentadas nos relatórios da APE e do MONA Pico do Ibituruna se aplicam também à APAM Pico do Ibituruna, dada a coincidência nos limites geográficos destas UCs. O PNM de Governador Valadares, no entanto, deve receber tratamento diferenciado das demais em impactos que afetaram a planície fluvial, uma vez que esta UC conta com atividades de educação ambiental, área de recreação e turismo ecológico às margens do Rio Doce. Será necessário avaliar junto aos gestores da UC medidas cabíveis e necessárias passados mais de seis anos do rompimento da barragem.

O segundo ponto é que as medidas de reparação e compensação foram apresentadas de forma inicial nos relatórios do Grupo 3, sem detalhamentos sobre técnicas a serem adotadas, sem indicação da área em que seriam implementadas, e geralmente sem indicação de período. Nesse sentido, a análise de pertinência realizada por esta equipe é apenas inicial; somente após o detalhamento das medidas é que será viável realizar uma análise mais robusta da pertinência das medidas propostas.

Por fim, neste documento apresentamos uma análise das medidas que foram propostas nos relatórios das UCs do Grupo 3 sem avançar na análises do potencial de integração com outras ações em andamento, coordenadas ou não pela Fundação Renova. No entanto, em levantamento preliminar, é possível notar alinhamento com ações dos programas já em andamento da Fundação Renova, em especial 26 - Programa de recuperação de APPs e áreas de recargas hídricas e 27 - Programa de recuperação de nascentes, recentemente revisados; 23 - Manejo de rejeitos; 28 - Conservação da Biodiversidade; 29 - Recuperação da fauna silvestre; 30 - Fauna e flora terrestre (também em revisão) e 38 - Monitoramento da bacia do Rio Doce. Há também o *Plano de Ação para Conservação da Biodiversidade Terrestre do Rio Doce* e o *Plano de Ação para Recuperação e Conservação da Fauna Aquática da Bacia do Rio Doce*. Todas estas ações, e eventualmente outras em desenvolvimento pelo governo estadual, comitê de bacias devem ser consideradas quando forem feitas as propostas detalhadas de ações reparatórias e compensatórias para a região do Grupo 3. Em especial, convém destacar que deve ser considerado não apenas a incidência direta destas ações especificamente sobre a área do mosaico de UCs do Grupo 3, mas também os resultados esperados nesta área decorrentes de ações executadas à montante na bacia do rio Doce para medidas relacionadas à qualidade da água, e regionalmente para ações relacionadas à biodiversidade.

Sobre os programas 26 e 27, a indicação de áreas para recuperação de APPs ripárias, de topo de morro, de declividade e de nascentes foi para toda a bacia do rio Doce, porém, há um *recorte de priorização* que tem foco em critérios de segurança hídrica; e o escalonamento plurianual é exclusivamente direcionado exclusivamente às sub-bacias deste *recorte de priorização* (UFV; UFMG, 2019). Em análise preliminar dos mapas, é possível notar pequena sobreposição da área do mosaico de UCs do Grupo 3.

Analisando-se preliminarmente os mapas, contudo, é possível notar que na área do mosaico das UCs do Grupo 3 é significativa a porção da área de que foi indicada como alta ou muito alta na priorização para *plantio total sem fins econômicos*; bem como a área de muito alta ou média *priorização para condução da regeneração natural*, e alta na priorização para *plantio total com fins econômicos*. Esses mapas podem ser adotados como base para dar suporte ao detalhamento das medidas recuperação de apps, incentivo ao plantio de agrofloresta e manejo de recursos florestais, e indicação de áreas prioritárias e implantação de conectividade entre fragmentos florestais (medidas M19, M8 e M9).

Acrescentamos, ainda, algumas sugestões a serem avaliadas no contexto da elaboração do Plano de Ação Integrado para a Biodiversidade. Trata-se de medidas compensatórias que podem ser propostas como ações de resposta a impactos residuais, e que podem contribuir para o fortalecimento da gestão das UCs em médio e longo prazo:

- (1) Desenvolvimento de mecanismos para suporte e fortalecimento da gestão das UCs, que podem incluir o desenvolvimento de estratégias para captação de recursos e gestão financeira (ICMBio, 2018; IPÊ, 2019; Instituto Semeia, 2021);
- (2) Medidas para o fortalecimento das ações integradas entre UCs, incluindo a construção/ampliação/manutenção de sistemas de informação para os mosaicos ou para a bacia e que incluam os resultados das ações de monitoramento da biodiversidade (Brito et al. 2021);
- (3) Apoio na regularização fundiária das UCs (ICMBio, 2018; IPÊ, 2019);
- (4) Organização da gestão da pesquisa científica, avançando na organização de prioridades regionais e no financiamento destas pesquisas (IPÊ, 2019; ICMBio, IPÊ, 2014);

Sobre a priorização das medidas, consideramos que é ideal que seja feita como parte do Plano de Ação, reunindo a análise crítica das medidas presentes neste relatório e novas medidas, que devem considerar as sugestões dos gestores das UCs. Também será possível agregar informações importantes sobre os objetivos das UCs, sua capacidade de gestão e estrutura, ações institucionais em curso e prioridades, capacidade para acompanhar a execução das medidas propostas e eventual necessidade de apoio para sua execução, pontos que foram demandados na Nota Técnica nº 10/2021/CIBio/DIBIO/ICMBio e sobre os quais ainda é preciso novo esforço de coleta de dados para adequada caracterização e atualização. As medidas serão caracterizadas tomando como base as diretrizes que constam na Tabela 9 do documento "Metodologia de Integração da Avaliação de Impacto Ambiental das Unidades de Conservação da bacia do Rio Doce e região costeira-marinha".

---

# Conclusão

As sínteses produzidas para os meios físico e biótico, e ilustradas nas Figuras 3, 9, 12 e 13 indicam que o impacto no ambiente aquático foi bastante severo e ainda se manifesta em períodos de cheia. Esse resultado está fortemente baseado em dados empíricos de qualidade de água disponíveis para períodos antes e após o rompimento da Barragem de Fundão e de química do sedimento e granulometria obtidos após o rompimento.

Os demais impactos físicos decorrem direta ou indiretamente da degradação da qualidade da água, química do sedimento e granulometria. Embora a evidência empírica para estes outros impactos não seja tão forte quanto aquela para a qualidade de água e sedimentos, soma-se a esta evidência a alta plausibilidade causal com o rompimento da Barragem de Fundão (Figs. 12 e 13).

As evidências de impactos bióticos são esparsas e decorrem da falta de estudos quantitativos padronizados feitos antes do rompimento. Embora a base de dados elaborada para construção de linha de base seja extensa, ela é derivada de dados secundários coletados na região em diferentes contextos (por ex. quando a região ainda tinha bastante vegetação nativa), com diferentes métodos e propósitos (por ex., estudos ecológicos e taxonômicos). Tal heterogeneidade impede a aplicação de métodos quantitativos objetivos, tal como feito para qualidade de água do Rio Doce.

Apesar da impossibilidade de se ter uma linha de base fortemente baseada em dados empíricos e quantitativos, os impactos nos habitats físicos decorrentes do rompimento da Barragem de Fundão nos permitiram estimar quais e quão severamente foram afetados os componentes bióticos.

Apesar das restrições apontadas acima, as evidências sobre os impactos físicos são fortes e nos permitem concluir que os impactos não só foram severos mas ainda se manifestam em menor intensidade. Como consequência direta, os habitats da fauna e flora aquática e semiaquática foram degradados. Salvo casos particulares, degradação de habitat, principalmente quando persistente, é o maior impacto que pode acontecer num ecossistema tendo em vista que afeta todas espécies presentes, incluindo aquelas pouco visíveis mas com importante função ecológica (por ex., cupins e formigas no ambiente terrestre e larvas de insetos em ambiente aquático). As evidências empíricas reunidas e também os processos ecológicos causais, entretanto, não nos permite uma inferência robusta sobre impactos muito severos na biota terrestre. É bastante provável que tenham ocorrido, mas sua intensidade e a extensão geográfica afetada a partir do Rio Doce é difícil, senão impossível, estimar sem dados quantitativos padronizados obtidos antes do rompimento.

Os Diagnósticos utilizados (Instituto Ekos 2019a, b) e este relatório tiveram como diretriz geral as perguntas norteadoras apresentadas na Tabela 8. Portanto, além das sínteses feitas para os meios físico e biótico, concluímos este relatório com uma lista de respostas sintéticas às perguntas norteadoras, que ajudam a sumarizar os impactos detectados.

---

**Tabela 8:** Perguntas norteadoras apresentadas para estudos que buscam realizar a Avaliação de Impacto Ambiental e respostas àquelas que são pertinentes ao escopo deste relatório. **Fonte:** FBDS, 2022.

Perguntas	Resposta
a) Com a chegada da lama de rejeitos no Rio Doce, litoral do ES e litoral sul da Bahia, qual área da UC foi atingida?	Área do PNM Governador Valadares e Zonas de Amortecimento da APE Pico do Ibituruna, APAM Pico do Ibituruna e MONA Pico do Ibituruna.
b) Com a chegada da lama de rejeitos na UC, qual componente ou compartimento dos meios físicos e/ou biótico foi afetado?	Meio físico - Leito do Rio Doce (assoreamento e mudança da granulometria e morfologia do leito), planície fluvial (deposição de sedimentos e contaminação) e tributários (redução da quantidade de água pelo maior uso por populações humanas). Meio biótico - Praticamente toda a biota aquática e semiaquática no Rio Doce e nas áreas baixas dos tributários próximas à calha do Rio Doce foi diretamente impactada com a chegada da lama de rejeitos. A biota terrestre foi diretamente impactada em pequenas áreas devido ao efeito das cheias, que ocasionou soterramento e contaminação nas áreas adjacentes ao Rio Doce.
c) Quais evidências apontam que a lama foi depositada ou interferiu no ambiente?	Análises da série histórica de qualidade da água do Rio Doce mostram que o sedimento depositado ainda é ressuspenso durante períodos de cheio, a partir de dados analisados até o ano de 2020. Houve registro visual da deposição de lama em planícies fluviais, em especial na área do PNM de Governador Valadares e Zonas de Amortecimento das demais UCs.
d) A presença da lama nas áreas atingidas causou alguma alteração física, biológica ou de utilização socioeconômica dos seus recursos?	Deposição de rejeito no leito e demais alterações da qualidade da água causaram mortandade generalizada da fauna aquática e semiaquática. Deposição de rejeitos na planície fluvial causou mortandade de fauna e flora. Populações humanas deixaram de usar água do Rio Doce bem como poços perfurados em sua proximidade, passando a perfurar poços em regiões mais altas.
e) Quais espécies foram afetadas, e como o foram (quais aspectos do ciclo biológico) pela incidência da lama de rejeitos, de sua pluma ou em decorrência de alterações das características físicas e químicas dos ambientes e meios?	Praticamente todas as populações de espécies aquáticas e semi aquáticas na calha do Rio Doce e nas áreas mais baixas dos córregos tributários do Rio Doce foram diretamente afetadas. Entre as espécies terrestres, foram diretamente afetadas plantas, animais, líquens arbóricolas e a fauna de invertebrados de solo nas áreas do PNM de Governador Valadares afetadas pela inundação e que causaram deposição de sedimentos. Além disso, várias espécies terrestres podem ter sido afetadas devido à contaminação e redução de recursos alimentares.

**Tabela 8** (Continuação): Perguntas norteadoras apresentadas para estudos que buscam realizar a Avaliação de Impacto Ambiental e respostas àquelas que são pertinentes ao escopo deste relatório.

Fonte: FBDS 2022

Perguntas	Resposta
f) As atividades e projetos desenvolvidos na UC sofreram alguma alteração após a chegada da lama de rejeitos (ex.: mortandade de animais, modificação nas propriedades físico-químicas da água, deposição da lama de rejeitos, diminuição da visitação, necessidade de alteração de projeto de pesquisa, manejo ou exploração de recursos, ou cancelamento do mesmo)?	Não há informações disponíveis sobre os impactos nos projetos desenvolvidos nas UCs. Porém, é esperado que mesmo temporariamente algumas atividades foram interrompidas e outras prejudicadas pelos impactos nos meios físicos e bióticos levantados.
g) Quais áreas (mapeamento das mesmas com geração de dados georreferenciados) no interior da UC e em sua zona de amortecimento foram diretamente afetadas pela lama?	Trechos alagáveis (planície fluvial) do PNM de Governador Valadares e outras na Zona de Amortecimento das UCs. Não há mapeamento disponível detalhado para este impacto nas UCs do Grupo 3.
h) Nas áreas em que a lama ficou depositada, quais as alterações físicas, químicas e biológicas observadas?	Os rejeitos foram depositados no leito do Rio Doce e nas planícies alagáveis. Análises da série histórica de qualidade de água feita neste relatório mostram que ainda existe ressuspensão do sedimento durante períodos de cheia. A primeira cheia após o rompimento da Barragem de Fundão causou deposição de cerca de 20 cm de rejeitos nas planícies inundáveis, embora boa parte deste material tenha sido removido em cheias subsequentes.
i) Quais as técnicas recomendadas para recuperação ou restauração das áreas afetadas?	É possível considerar que todas as medidas propostas são importantes para a recuperação ou restauração das áreas afetadas, e cada uma deve se atentar às técnicas adequadas para garantir a sua eficácia. Algumas das técnicas/medidas são a restauração da mata ciliar com espécies nativas, e estabilização das margens (Rio Doce e tributários), utilizando preferencialmente técnicas de bioengenharia; adição de elementos estruturadores de habitat, como troncos ou até estruturas antrópicas (como as utilizadas na construção de recifes artificiais) nas margens em alguns pontos do rio.
j) Haja vista que a recuperação de APPs pode ser uma estratégia para otimizar processos de recarga, redução de assoreamento e aumento de habitats para as populações aquáticas afetadas, quais áreas de APP nas UCs afetadas e em suas zonas de amortecimento poderiam ser recuperadas (mapeamento georreferenciado)?	A recuperação de APPs está prevista como medida ampla, a ser adotada em toda a bacia, para além dos limites geográficos das Unidades de Conservação e Zonas de Amortecimento.

**Tabela 8** (Continuação): Perguntas norteadoras apresentadas para estudos que buscam realizar a Avaliação de Impacto Ambiental e respostas àquelas que são pertinentes ao escopo deste relatório.  
**Fonte:** FBDS 2022

Perguntas	Resposta
k) Com o rompimento da barragem, houve aumento no isolamento de populações de mamíferos nas diferentes margens do rio Doce?	Tendo em vista que somente em pequenos trechos de planícies alagáveis da Área de Estudo, incluindo área do PNM de Governador Valadares, houve extravasamento e deposição de lama e contaminantes em ambiente terrestre, é pouco provável que o rompimento da barragem tenha levado a um aumento no isolamento da maior parte dos mamíferos conhecidos para a região. Este efeito de isolamento seria esperado entre os mamíferos semiaquáticos, mais especificamente a capivara ( <i>Hydrochoerus hydrochaeris</i> ) e a lontra ( <i>Lontra longicaudis</i> ), pois a ariranha ( <i>Pteronura brasiliensis</i> ) encontra-se provavelmente extinta na região. Ainda assim, parece pouco provável que tenha ocorrido um aumento no isolamento das populações destes dois mamíferos, pois a ocorrência dos mesmos na região parece estar bem delimitada dentro das áreas das UCs, as quais praticamente não foram diretamente afetadas pela deposição de sedimentos e contaminação.
l) Quais atividades na sub-bacia em que está localizada a UC concorrem para o agravamento dos impactos do rompimento da barragem (ex: erosão, geração efluentes líquidos, desmatamento, etc.)?	Muitas áreas degradadas e vegetação ciliar reduzida, que causam maior entrada de sedimentos no Rio Doce durante os períodos de chuvas. Uso intenso da água de tributários (muitas represas e outros usos) faz com que estes não produzam descarga de água no Rio Doce em boa parte do ano (mesmo em períodos chuvosos).
m) Com relação à alteração da qualidade da água, quais parâmetros foram alterados pelo rompimento da barragem?	Houve alteração de curto prazo (mesmo verão do rompimento da Barragem de Fundão) de 43 das 55 variáveis avaliadas na série histórica (78%) e disponíveis para Governador Valadares. Até o verão seguinte, 35 das 55 (64%) variáveis avaliadas foram alteradas em relação aos seus valores pré-rompimento. A tabulação por categoria de variável pode ser encontrada na Tabela 3 deste relatório. A listagem das variáveis pode ser encontrada na Tabela 51 do Instituto Ekos (2019a ou 2019b).
n) Qual o impacto da alteração da qualidade da água e substrato do rio Doce (e demais corpos d'água afetados) em termos limnológicos?	A análise de série histórica mostra que o sedimento depositado no leito do Rio Doce é ressuspendido durante cheias, ainda que em menor intensidade durante anos recentes. Nestes eventos, a qualidade é deteriorada pelo aumento de sólidos totais e diversas substâncias (por ex. ferro, manganês e nitrato).

**Tabela 8** (Continuação): Perguntas norteadoras apresentadas para estudos que buscam realizar a Avaliação de Impacto Ambiental e respostas àquelas que são pertinentes ao escopo deste relatório.  
**Fonte:** FBDS 2022

Perguntas	Resposta
o) Quais impactos (identificáveis e potenciais) do aumento da turbidez e demais alterações na qualidade da água do rio Doce (e demais corpos de água) na riqueza, diversidade e dominância das espécies aquáticas de invertebrados e vertebrados (destaque para peixes, anfíbios e crustáceos de água doce)?	Devido à enorme mortandade de organismos aquáticos decorrente do rompimento barragem, é bastante provável que várias espécies de invertebrados e vertebrados aquáticos e semiaquáticos mais sensíveis às alterações ocorridas e/ou que já apresentavam tamanhos populacionais pequenos anteriormente ao rompimento da barragem tenham sido localmente extintas ou tenham sofrido declínios populacionais severos que comprometem a viabilidade populacional destas espécies em face das alterações ainda presentes nos ambientes aquáticos. Portanto, é possível dizer que deve ter havido redução na riqueza e diversidade das espécies aquáticas. Quanto à dominância nas comunidades aquáticas, esta é uma variável que em grande parte está associada à riqueza e demais medidas de diversidade. Sendo assim, é provável que tenha ocorrido aumento na dominância para alguns grupos de invertebrados e vertebrados aquáticos e semiaquáticos.
p) Qual o impacto da alteração da qualidade da água e substrato do rio Doce (e demais corpos d'água afetados) na distribuição de espécies da ictiofauna e herpetofauna ocorrentes nas UCs afetadas (destaque para as espécies raras, ameaçadas, endêmicas e "de piracema")?	Além da mortandade, o impacto potencial provável de curto prazo causado pelas alterações mais severas na qualidade da água e substrato do Rio Doce e demais corpos d'água afetados foi a movimentação de indivíduos para áreas de córregos tributários menos ou poças d'água menos ou até mesmo não afetadas pelos sedimentos e contaminantes dos rejeitos do rompimento. Além disso, em alguns casos houve bloqueio de confluências de tributários com o Rio Doce, ocasionando potenciais isolamentos pontuais. Porém, os impactos de médio e longo sobre a distribuição de espécies são bastante difíceis de serem previstos e dependerão do processo de recuperação da qualidade das águas, dos substratos e dos habitats e recursos associados. Somente com programas de monitoramento da fauna aquática e semiaquática na região, incluindo estudos populacionais e genéticos, estes impactos poderão ser melhor avaliados.
q) Considerando que espécies sensíveis são mais afetadas nos casos de alterações drásticas do ambiente, o controle de espécies de peixes exóticas invasoras poderia minimizar o impacto sobre as espécies de peixes nativas?	Provavelmente sim. Porém, é preciso avaliar a eficácia e a relação custo-benefício das ações de controle de espécies exóticas, pois em muitos casos a erradicação das espécies exóticas e seu controle é temporário demandaria ações frequentes e de alto custo. Nesse sentido, ações como o incentivo à pesca de espécies exóticas aliado à manutenção da proibição da pesca de espécies nativas selecionadas podem produzir efeitos desejáveis deste tipo de medida.
r) Com relação aos aspectos acima elencados, no caso de espécies afetadas, quais aspectos do seu ciclo biológico foram afetados?	No caso da biota aquática, incluindo vertebrados, invertebrados e algas, o efeito combinado da ação física lama de rejeitos com as alterações na qualidade das águas, dos sedimentos e dos substratos, provavelmente todos os aspectos do ciclo de vida (reprodução, crescimento, área de vida, movimentação e uso de habitats) da maior parte das espécies foram afetados nos primeiros meses após o rompimento da barragem. Uma avaliação dos efeitos atuais e futuros dependerá do processo de restauração da qualidade da água, dos recursos e dos habitats e microhabitats que existiam.

**Tabela 8** (Continuação): Perguntas norteadoras apresentadas para estudos que buscam realizar a Avaliação de Impacto Ambiental e respostas àquelas que são pertinentes ao escopo deste relatório.

Fonte: FBDS 2022

Perguntas	Resposta
s) Nas áreas de deposição foi observada alteração da comunidade florística ou indícios de intoxicação ou déficit nutricional nas plantas, principalmente nas plântulas e no extrato herbáceo?	As macrófitas foram o grupo de plantas mais afetado pela ação dos rejeitos e contaminantes da Barragem de Fundão. Além disso, pontualmente ocorreu deposição de sedimentos em ambiente terrestre do PNM de Governador Valadares, o qual provavelmente causou estresse fisiológico e talvez algum nível de contaminação que precisa ser investigado. No entanto, se houve alteração composicional na comunidade florística, isto se restringiu às macrófitas.
t) Houve diminuição da visitação, necessidade de alteração de projeto de pesquisa, manejo ou exploração de recursos, ou cancelamento do mesmo na UC?	<i>Esta questão será respondida após consulta aos gestores das UCs</i>
u) Quais os impactos do rompimento da barragem no número de visitantes?	<i>Esta questão será respondida após consulta aos gestores das UCs</i>
v) Houve comprometimento da imagem da UC enquanto mantenedora dos serviços ambientais, turísticos e de conservação da biodiversidade?	Não há informação precisa disponível para esta pergunta. Porém o impacto observado para o PNM de Governador Valadares após as cheias de verão que causou o extravasamento do Rio Doce e deposição de rejeitos em sua área, sugere um comprometimento de algumas atividades realizadas pela UC, incluindo seu papel como mantenedora de serviços ambientais. <i>Esta resposta será complementada após consulta aos gestores das UCs</i>
w) Qual o grau de comprometimento do rio (e de seus afluentes afetados), da região costeira e área marinha como fonte de recursos para as comunidades inseridas nas UCs ou em seu entorno?	Houve a suspensão da pesca no Rio Doce. Atividades recreacionais no Rio Doce, incluindo aquelas na margem do PNM Governador Valadares, foram comprometidas. Populações dentro das outras UCs ou suas ZAs foram afetadas pelo impedimento de uso da água do Rio Doce e poços marginais, causando perfuração de novos poços em trechos mais altos. <i>Esta resposta será complementada após consulta aos gestores das UCs</i>
x) Quais os tipos de pressão sobre as UCs foram intensificadas após o evento?	<i>Esta questão será respondida após consulta aos gestores das UCs</i>
y) Quais ações de apoio à comunidade podem diminuir as pressões observadas na UC?	<i>Esta questão será respondida após consulta aos gestores das UCs</i>
z) Com o rompimento da barragem houve forte incremento das invasões humanas na UC?	<i>Esta questão será respondida após consulta aos gestores das UCs</i>

# Referências

- Alternativa Educação e Manejo Ambiental. 2011. **Plano de Manejo do Parque Natural Municipal de Governador Valadares/MG**, Encarte II: Diagnóstico. [https://www.valadares.mg.gov.br/abrir\\_arquivo.aspx/Plano\\_de\\_manejo\\_encarte\\_II\\_Diagnostico?cdLocal=2&arquivo=%7B73ADAB22-EBDE-CC00-5D38-DEB0E08AE4E2%7D.pdf](https://www.valadares.mg.gov.br/abrir_arquivo.aspx/Plano_de_manejo_encarte_II_Diagnostico?cdLocal=2&arquivo=%7B73ADAB22-EBDE-CC00-5D38-DEB0E08AE4E2%7D.pdf)
- Anderson, M.J. 2001. **A new method for non-parametric multivariate analysis of variance**. *Austral Ecology*, 26, 32–46.
- Batista, E.R., Carneiro, J.J., Pinto, F.A., Santos, J.V., Carneiro, M.A.C. 2020. **Environmental drivers of shifts on microbial traits in sites disturbed by a large-scale tailing dam collapse**. *Science of the Total Environment*, 738, 139453.
- Biodiversitas. 2007. **Revisão das listas das espécies da Flora e Fauna Ameaçadas de Extinção do Estado de Minas Gerais**.
- Brito, M.C.W., Barbosa, F.A.R., May, P., Maroun, C., Renshaw, J., Sánchez, L.E., Kakabadse, Y. 2021. **Abordagens fonte-mar e de paisagem: Integração da qualidade da água e conservação da biodiversidade na restauração da bacia do Rio Doce**. Relatório Temático n.º 3 do Painel do Rio Doce. Gland, Suíça: IUCN. <https://doi.org/10.2305/IUCN.CH.2021.07.pt>
- Buch, A.C., Sauter, K.D., Marques, E.D., Silva-Filho, E.V. 2020 **Ecotoxicological assessment after the world's largest tailing dam collapse (Fundão dam, Mariana, Brazil): effects on oribatid mites**. *Environ Geochem Health*, 42, 3735-3595.
- CNCFlora. 2013. **Livro Vermelho da Flora do Brasil**. Martinelli, G., Moraes, M.A. Org. 1. ed. Rio de Janeiro: Andrea Jakobsson: Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro, 1100, p. 30.
- CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução Conama nº 357** de 17 de março de 2005.
- COPAM - Conselho Estadual de Política Ambiental. 1997. **Lista de Espécies Ameaçadas de Extinção da Flora do Estado de Minas Gerais**. Deliberação COPAM nº 85, de 21 de outubro de 1997.
- COPAM - Conselho Estadual de Política Ambiental. 2008. **Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 01** de 05 de maio de 2008.
- COPAM - Conselho Estadual de Política Ambiental. 2010. **Lista de Espécies Ameaçadas de Extinção da Fauna do Estado de Minas Gerais**. Deliberação Normativa COPAM Nº 147, DE 30 de Abril de 2010.
- CPRM – Serviço Geológico do Brasil 2015. **Monitoramento Especial da Bacia do Rio Doce - RELATÓRIO 01: Acompanhamento da onda de cheia. Primeira Campanha de Campo**.
- Davila, R.B., Fontes, M.P.F., Pacheco, A.A., & Ferreira, M.S. 2020. **Heavy metals in iron ore tailings and floodplain soils affected by the Samarco dam collapse in Brazil**. *Science of the Total Environment*, 709, 136151.

- Duarte, E.B., Neves, M.A., Oliveira, F.B., Martins, M.E., Oliveira, C.H.R., Burak, D.L., Orlando, M.T.D. & Rangel, C.V.G.T. 2021. **Trace metals in Rio Doce sediments before and after the collapse of the Fundao iron ore tailing dam, Southeastern Brazil.** *Chemosphere*, 262, 127879.
- Felicori, T.C., Oliveira, S.N.P., Santos, S.N.S., Soares, J.S. & Carvalho, C.B. 2018. **Mapeamento e diagnóstico ambiental das nascentes do Monumento Natural Estadual Pico da Ibituruna.** XIV Simpósio Ítalo-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. 18-20 junho 2018, Foz do Iguaçu. ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. <https://www.ifmg.edu.br/governadorvaladares/noticias/estudo-sobre-nascentes-do-pico-da-ibituruna-e-apresentado-em-evento-binacional/artigo-nascente-ibituruna-no-xiv-sibesa.pdf>
- Ferreira, F.F., Freitas, M.B.D., Szinwelski, N., Vicente, N., Medeiros, L.C.C., Schaefer, C.E.G.R., et al. 2020. **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*, 16, 622-630.
- Fundação Renova 2019. **Relatório Técnico – RT-ECV-422/18.** Programa de monitoramento da ictiofauna do Rio Doce nos Estados de Minas Gerais e Espírito Santo – Atendimento a Notificação IBAMA No. 678311/2015.
- Fundação Renova, UFMG & UFV. 2018. **Metodologia de Priorização. Definição de critérios de priorização de áreas para recuperação ambiental na Bacia do Rio Doce.** Produto 3.2.
- Gabriel, F.A., Silva, A.G., Queiroz, H.M., Ferreira, T.O., Hauser-Davis, R.A., Bernardino, A.F. 2020. **Ecological risks of metal and metalloid contamination in the Rio Doce estuary.** *Integrated Environmental Assessment and Management*, 16, 655-660.
- Golder Associates . 2017. **Avaliação dos Resultados de Qualidade de Água e Sedimento do Rio Doce.** Relatório Técnico RT-046\_159-515-2282\_00-B. Atualização de Julho de 2017.
- Golder Associates . 2018. **Avaliação dos Resultados de Qualidade de Água e Sedimento do Rio Doce.** Relatório Técnico RT-055\_159-515-2282\_01-J. Atualização de Fevereiro de 2018.
- Golder Associates . 2021. **Atualização do Volume 10: Aplicação do Plano de Manejo de Rejeitos no Trecho 13 e 14.** Relatório Técnico RT-001\_209-535-7807\_02. Novembro de 2021.
- Gomes, L.C., Gomes, A.R.C., Miranda, T.O., Pereira, T.M., Merçon, J., Davel, V.C., et al. (2019) **Genotoxicity effects on *Geophagus brasiliensis* fish exposed to Doce River water after the environmental disaster in the city of Mariana, MG, Brazil.** *Brazilian Journal of Biology*, 79, 659-664.
- Guerra, M.B.B., Teaney, B.T., Mount, B.J., Asunskis, D.J., Jordan, B.T., Barker, R.J., Santos, E.E., Schaefer, C.E.G.R. 2017 **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*, 228, 252.
- IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. 2015. **Laudo Técnico Preliminar Impactos ambientais decorrentes do desastre envolvendo o rompimento da barragem de Fundão, em Mariana, Minas Gerais.** Novembro de 2015.

- ICMBio - Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. 2018. **Boas Práticas na Gestão de Unidades de Conservação**. Edição 03. Brasília: ICMBio, MMA.
- ICMBio - Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. 2018. **Livro Vermelho da Fauna Brasileira Ameaçada de Extinção**. Brasília: ICMBio. 4162 p.
- ICMBio - Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade; IPÊ - Instituto de Pesquisas Ecológicas. 2014. **Práticas Inovadoras na Gestão de Áreas Protegidas**. Edição 01. Brasília: ICMBio, IPÊ.
- IGAM - Instituto Mineiro de Gestão das Águas. 2018. **Tabela - Resultados do Monitoramento Especial do Rio Doce**. [http://www.igam.mg.gov.br/component/content/article /16-duvidas/2493--tabelas-de-resultados](http://www.igam.mg.gov.br/component/content/article/16-duvidas/2493--tabelas-de-resultados).
- Instituto Ekos. 2019a. **Diagnóstico de Avaliação – Área de Proteção Especial Pico do Ibituruna – Medição 8 Final**. Identificação e proposição de medidas reparatórias para eventuais impactos decorrentes do rompimento da Barragem de Fundão nas Unidades de Conservação – Pacote 2.
- Instituto Ekos. 2019b. **Diagnóstico de Avaliação – Monumento Natural Pico do Ibituruna – Medição 8 Final**. Identificação e proposição de medidas reparatórias para eventuais impactos decorrentes do rompimento da Barragem de Fundão nas Unidades de Conservação – Pacote 2.
- Instituto Semeia. **Parques como vetores de desenvolvimento para o Brasil: Ecoturismo e potencial econômico do patrimônio natural brasileiro**. São Paulo, 2021. IPÊ (Instituto de Pesquisas Ecológicas). 2019. **Diálogos da Conservação: Boas Práticas na Gestão de Unidades de Conservação**. Nazaré Paulista: Ipê.
- IUCN. 2021. **The IUCN Red List of Threatened Species**. Version 2021-2. <http://www.iucnredlist.org>.
- LACTEC. 2019. **Parecer técnico contaminação e comprometimento dos estoques pesqueiros**. PARECER/LACTEC-MA Nº 24/2019.
- Pacheco, A.A. 2015. **Avaliação da contaminação em solos e sedimentos da bacia hidrográfica do Rio Doce por metais pesados e sua relação com o fundo geoquímico natural**. Tese de Doutorado. Programa de Pós-graduação em Solos e Nutrição de Plantas, Universidade Federal de Viçosa.
- Passos, L.S., Gnocchi, K.G., Pereira, T.M., et al. 2020. **Is the Doce River elutriate or its water toxic to *Astyanax lacustris* (Teleostei: Characidae) three years after the Samarco mining dam collapse?** Science of the Total Environment, 736, 139644.
- Pires, A.P.F., Rezende, C.L., Assad, E.D., Loyola, R., Scarano, F.R. 2017. **Forest restoration can increase the Rio Doce watershed resilience**. Perspectives in Ecology and Conservation, 15, 187-193.
- Queiroz, H.M., Nóbrega, G.N., Ferreira, T.O., Almeida, L.S., Romero, T.B., Santaella, S.T., Bernardino, A.F., Otero, X.L. 2018. **The Samarco mine tailing disaster: a possible time-bomb for heavy metals contamination?** Science of the Total Environment, 637-638, 498–506.

- Rhama e Água Doce. 2020. **Estudos dos processos fluviais e de sedimentos a jusante da Barragem de Fundão, no Rio Doce**. Produto 2. Setembro 2020.
- Sánchez, L.E. 2020. **Avaliação de impacto ambiental: conceitos e métodos**. 3a. ed. São Paulo: Oficina de Textos.
- Santos J.A.D., Ferreira, F.F. & Pinho, F.M. 2017. **Primeiro levantamento de ictiofauna da bacia do rio Doce após o rompimento da barragem de rejeito da Samarco, em Mariana-MG. Relatório**. Universidade Federal de Viçosa. Viçosa.
- SEMAD - Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. 2016. **Mortandade de peixes na Bacia do Rio Doce após rompimento da barragem da Samarco no distrito de Bento Rodrigues (Mariana/MG), em 05/11/2015**. Relatório Técnico DEAMB/SEMAD/SISEMA Nº 011/2016. Ref. DO1-DOC-05112015.
- Silva, L.G.M., Nogueira, L.B., Maia, B.P., Resende, L.G. 2012. **Fish passage post-construction issues: analysis of distribution, attraction and passage efficiency metrics at the Baguari Dam fish ladder to approach the problem**. Neotropical Ichthyology, 10, 751-762.
- Silva, D.C., Bellato, C.R., Marques Neto, J.O. & Fontes, M.P.F. 2018. **Trace elements in river waters and sediments before and after a mining dam breach (Bento Rodrigues, Brazil)**. Química Nova, 41, 857-866.
- Tecnohidro. 2019. **Relatório de avaliação de risco a saúde humana**. Metodologia Ministério da Saúde. Mariana - MG. MG.AR.ATSDR.1902/306-02.
- UFV, UFMG. 2019. **Escalonamento das áreas para recuperação ambiental: Cronograma anual e detalhamento da proposta técnica de escalonamento da recuperação ambiental da Bacia do Rio Doce**. Produto 4.0. [Viçosa, Belo Horizonte.
- Vaneli, B.P., Araújo, E.M.S., Oliveira, D.B-H., Spagnol, I.T. & Teixeira, E.C. 2022. **Conceptual model to analyze the effects caused by technological disaster on the physical-chemical state of the lower Doce River waters, Brazil**. Science of the Total Environment, 809, 152168.
- Vieira, F. 2009. **Distribuição, impactos ambientais e conservação da fauna de peixes da bacia do rio Doce**. MGBiota, 2, 5-22.
- Weber, A.A., Sales, S.F., Faria, F.S., Melo, R.M.C., Bazzoli, N., Rizzo, E. 2020. **Effects of metal contamination on liver in two fish species from a highly impacted neotropical river: A case study of the Fundão dam, Brazil**. Ecotoxicology and Environmental Safety, 190, 1110165.

# Anexos

## Anexo 1

### Cálculo das medidas de significância dos impactos observados para o meio físico e biótico

Abaixo são apresentadas as tabelas que apresentam os valores atribuídos a cada um dos componentes que formam a magnitude dos impactos, a importância dos componentes e a significância final dos mesmos. A descrição detalhada da metodologia utilizada para a atribuição de cada um destes valores está presente no documento "Metodologia de Integração da Avaliação de Impacto Ambiental das Unidades de Conservação da bacia do Rio Doce e região costeira-marinha".

**Tabela 1.** Determinação da magnitude dos impactos no meio físico identificados para as unidades de conservação do Grupo 3. As siglas utilizadas para a caracterização dos impactos são as mesmas descritas no documento "Metodologia de Integração para a Avaliação de Impacto Ambiental". **Fonte:** FBDS 2022.

Identificação		Níveis dos atributos da magnitude dos impactos			Magnitude	
Nº	Impacto	Severidade (S)	Extensão (E)	Duração (D)	S + E + D	Interpretação
Fis1	Degradação da qualidade da água	3	4	3	10	Alta
Fis2	Assoreamento de corpos hídricos	1	2	4	7	Média
Fis3	Contaminação do leito do rio	3	2	4	9	Média
Fis4	Degradação da qualidade do sedimento	1	2	4	7	Média
Fis5	Alteração das características morfodinâmicas dos cursos d'água	1	2	4	7	Média
Fis6	Soterramento de planícies fluviais	1	2	4	7	Média
Fis7	Contaminação de planícies fluviais	1	2	2	5	Baixa
Fis8	Redução da quantidade da água dos tributários ao Rio Doce	3	4	3	10	Alta

**Tabela 2.** Determinação e justificativa dos níveis de importância dos componentes afetados pelos impactos no meio físico identificados. **Fonte:** FBDS 2022.

Identificação		Componentes afetados	Importância	
Nº	Impacto		Nível	Justificativa
Fis1	Degradação da qualidade da água	Água superficial	Alta	Habitat de ampla diversidade de organismos aquáticos. Água é usada de diversas formas por populações humanas, incluindo recreacionais.
Fis8	Redução da quantidade da água dos tributários ao Rio Doce			
Fis2	Assoreamento de corpos hídricos	Sedimento/ Leito do rio	Alta	Habitat de ampla diversidade de organismos bentônicos. Possui relação direta com propriedades da água, incluindo ressuspensão durante cheias, e com dinâmica interna do leito do rio.
Fis3	Contaminação do leito do rio			
Fis4	Degradação da qualidade do sedimento			
Fis5	Alteração das características morfodinâmicas dos cursos d'água			
Fis6	Soterramento de planícies fluviais	Planície fluvial	Média	Recebe sedimentos e material dissolvido durante cheias. Local importante para reter sedimentos e contaminantes de partes altas da bacia hidrográfica. Intenso uso recreacional (ex. balneários).
Fis7	Contaminação de planícies fluviais			

**Tabela 3.** Determinação da significância dos impactos no meio físico identificados de acordo com a magnitude dos impactos e a importância do componente afetado. **Fonte:** FBDS 2022.

Identificação		Magnitude (M)	Importância (I)	Significância	
Nº	Impacto			(M x I)	Interpretação
Fis1	Degradação da qualidade da água	3	3	9	Muito Alta
Fis2	Assoreamento de corpos hídricos	2	3	6	Alta
Fis3	Contaminação do leito do rio	3	3	9	Muito Alta
Fis4	Degradação da qualidade do sedimento	2	3	6	Alta
Fis5	Alteração das características morfodinâmicas dos cursos d'água	2	3	6	Alta
Fis6	Soterramento de planícies fluviais	2	2	4	Média
Fis7	Contaminação de planícies fluviais	1	2	2	Baixa
Fis8	Redução da quantidade da água dos tributários ao Rio Doce	3	3	9	Muito Alta

**Tabela 4.** Determinação da magnitude dos impactos no meio biótico identificados para as unidades de conservação do Grupo 3. **Fonte:** FBDS 2022.

Identificação		Níveis dos atributos da magnitude dos impactos			Magnitude	
Nº	Impacto	Severidade (S)	Extensão (E)	Duração (D)	S + E + D	Interpretação
Bio1	Mortandade direta e/ou indireta	4	3	3	10	Alta
Bio2	Contaminação da biota	3	4	3	10	Alta
Bio4	Empobrecimento ou redução dos recursos alimentares	1	4	3	8	Média
Bio7	Perda e/ou degradação de habitats	4	4	3	11	Alta
Bio8	Redução da originalidade biótica	4	4	4	12	Alta
Bio9	Redução da biodiversidade local	1	2	4	7	Média

**Tabela 5.** Determinação e justificativa dos níveis de importância dos componentes afetados pelos impactos no meio biótico identificados. **Fonte:** FBDS 2022

Identificação		Componentes afetados	Importância	
Nº	Impacto		Nível	Justificativa
Bio1	Mortandade direta e/ou indireta	Biota aquática e semiaquática: peixes, anfíbios, aves, mamíferos e crocodilianos, macrófitas.  Biota terrestres: plantas e líquens.	3	O componente afetado inclui boa parte da biota aquática e semiaquática, inclusive espécies ameaçadas como o andirá ( <i>Hemichilus wheatlandii</i> ), diversas espécies endêmicas de peixes [ex. o cará ( <i>Australoheros ipatinguensis</i> ) e o lambari-bocarra ( <i>Oligosarcus solitarius</i> )] e de anfíbios, e pelo menos 20 espécies de peixes importantes para a pesca.
Bio2	Contaminação da biota	Biota aquática e semiaquática: peixes, anfíbios, aves, mamíferos e crocodilianos, macrófitas.  Biota terrestre que tem organismos aquáticos como um recurso trófico de suas cadeias alimentares	3	O componente afetado inclui espécies aquáticas e semiaquáticas e parte da biota terrestre que tem organismos aquáticos como um recurso trófico de suas cadeias alimentares. Portanto, além de incluir as espécies aquáticas ameaçadas, endêmicas e de importância econômica, o componente ameaçado potencialmente inclui espécies terrestres ameaçadas e/ou endêmicas.
Bio4	Empobrecimento ou redução dos recursos alimentares	Biota aquática e semiaquática: peixes, anfíbios, aves e crocodilianos.	3	O componente afetado inclui boa parte da biota aquática e semiaquática, inclusive espécies ameaçadas como o andirá ( <i>Hemichilus wheatlandii</i> ), diversas espécies endêmicas de peixes [ex. o cará ( <i>Australoheros ipatinguensis</i> ) e o lambari-bocarra ( <i>Oligosarcus solitarius</i> )] e de anfíbios, e pelo menos 20 espécies de peixes importantes para a pesca.
Bio7	Perda e/ou degradação de habitats			
Bio8	Redução da originalidade biótica	Biota aquática e semiaquática: peixes.	3	O componente afetado inclui espécies ameaçadas como o andirá ( <i>Hemichilus wheatlandii</i> ), espécies endêmicas [ex. o cará ( <i>Australoheros ipatinguensis</i> ) e o lambari-bocarra ( <i>Oligosarcus solitarius</i> )], e pelo menos 20 espécies importantes para a pesca.
Bio9	Redução da biodiversidade local			

**Tabela 6.** Determinação da significância dos impactos no meio físico identificados de acordo com a magnitude dos impactos e a importância do componente afetado. **Fonte:** FBDS 2022.

Identificação		Magnitude (M)	Importância (I)	Significância	
Nº	Impacto			(M x I)	Interpretação
Bio1	Mortandade direta e/ou indireta	3	3	9	Muito alta
Bio2	Contaminação da biota	3	3	9	Muito alta
Bio4	Empobrecimento ou redução dos recursos alimentares	2	3	6	Alta
Bio7	Perda e/ou degradação de habitats	3	3	9	Muito alta
Bio8	Redução da originalidade biótica	3	3	9	Muito alta
Bio9	Redução da biodiversidade local	2	3	6	Alta

## Anexo 2

### Detalhamento das análises de ordenação das variáveis aquáticas e do sedimento do Rio Doce

Foram feitas duas análises dos dados de variáveis de água do Rio Doce, duas de variáveis químicas do sedimento e uma de granulometria do sedimento. A primeira análise de água incluiu apenas dados do Instituto de Gestão das Águas (IGAM), estação RD044, em Governador Valadares. A segunda análise de água incluiu os dados do IGAM, do monitoramento compilado e usado por Golder Associates (Golder Associates 2017) e do Programa de Monitoramento Quali-Quantitativo Sistemático (PMQQS). As análises de sedimentos (química e granulométrica) foram feitas com dados de Golder Associates (2017) e PMQQS (IGAM não possui dados de sedimentos). Uma análise adicional de química de sedimentos foi feita com dados pré-rompimento de Pacheco (2015; dados disponibilizados em Golder Associates 2021). As metodologias das análises são apresentadas abaixo. Os resultados são apresentados no corpo do relatório com exceção daquela referente a água e feita com dados do IGAM+Golder Associates+PMQQS, que são apresentados abaixo.

#### Água: Dados do IGAM (RD044)

O conjunto original inclui 144 amostras e 64 variáveis. Quatro amostras tinham medidas de apenas 1 ou 4 variáveis e foram removidas. Das 64 variáveis, 13 foram descartadas pois possuíam poucos registros ou nenhum registro antes do rompimento da Barragem de Fundão. Das 51 restantes, 4 eram bastante redundantes com outras e foram removidas (Alcalinidade de bicarbonato, Dureza de cálcio, Dureza de magnésio e Sólidos suspensos). Finalmente, 3 não possuíam qualquer relação com o rompimento e foram removidas (Temperatura da água e do ar e Precipitação). Retivemos 144 amostras e 44 variáveis. Oitenta e três amostras foram obtidas antes e 61 após a chegada de rejeitos em Governador Valadares (MG).

Foram utilizadas 44 variáveis na análise:

Alcalinidade total, Alumínio dissolvido, Arsênio total, Bário total, Cádmi total, Cálcio total, Chumbo total, Cianeto livre, Cloreto total, Clorofila, Cobre dissolvido, Coliformes totais, Condutividade elétrica, Cor, Cromo total, Demanda bioquímica de oxigênio, Densidade de cianobactérias, Demanda química de oxigênio, Dureza total, Escherichia coli, Estreptococos totais, Fenóis totais, Feofitina, Ferro dissolvido, Fósforo total, Magnésio total, Manganês total, Mercúrio total, Níquel total, Nitrato, Nitrito, Nitrogênio amoniacal, Nitrogênio orgânico, Oxigênio dissolvido, pH, Potássio dissolvido, Sódio dissolvido, Sólidos dissolvidos totais, Sólidos totais, Substâncias tensoativas, Sulfato total, Sulfetos totais, Turbidez e Zinco total.

Os limites de quantificação de algumas variáveis mudaram com o passar do tempo, refletindo, geralmente, técnicas mais refinadas. Inicialmente, tentou-se padronizar estes valores, anotados como abaixo do limite de quantificação, para o maior valor de quantificação disponível. Entretanto, tal procedimento fez com que amostras de épocas com nível mais refinado (menor limite de quantificação) tivessem seus valores aumentados. Portanto, optou-se por designar zero a valores abaixo de qualquer limite de quantificação da variável.

O próximo passo foi obter dissimilaridades para cada par de amostras. Um problema visto nos dados é a grande variabilidade no número de variáveis analisadas em cada amostra. Ainda, as variáveis estão em diferentes unidades de medida. Para contornar este problema, optou-se pelo índice de dissimilaridade de Gower que desconsidera valores ausentes e padroniza as variáveis de modo que cada uma tenha o mesmo peso, independente de sua amplitude de variação.

Finalmente, as amostras foram ordenadas, a partir da matriz de dissimilaridade de Gower, com Escalonamento Multidimensional Não-Métrico (NMDS) com dois eixos. Para facilitar a interpretação, as amostras foram identificadas com cores distintas: cinza para antes do rompimento, vermelho para após o rompimento até 01/07/2018 e laranja para as amostras mais recentes. Setas indicando variáveis mais correlacionadas com os eixos de ordenação foram adicionadas para auxiliar a interpretação.

### **Água: Dados do IGAM (RD044) + Golder Associates (GovernadorValadares\_MG\_Jusante) + PMQQS (RDO08)**

A compilação original continha 305 amostras e 444 variáveis. Selecionamos variáveis que estivessem no conjunto do IGAM, tendo em vista que ele é o único a incluir amostras pré-rompimento (retivemos 64 variáveis). Em seguida removemos 19 amostras que não possuíam registros das variáveis selecionadas. Das 286 amostras retidas, detectamos 28 amostras repetidas em relação a estação de coleta, data e hora. Conciliamos as repetições, tirando médias quando mais de um valor estava disponível por local/data/hora ou usando o único valor disponível no par/grupo quando aplicável. Isto resultou na retenção de 258 amostras. Onze amostras continham menos de 13 variáveis e foram removidas, restando 247 amostras para análise, 144 do IGAM (21/02/2000 a 03/06/2021), 57 da Golder Associates (14/11/2015 a 11/07/2017) e 46 do PMQQS (07/08/2017 a 07/07/2021).

Das 64 variáveis retidas inicialmente, 4 foram fortemente correlacionadas com outras e excluídas (Alcalinidade de bicarbonato, Dureza de cálcio, Dureza de magnésio, Sólidos suspensos totais). Outras três foram descartadas por não apresentarem qualquer relação teórica com o impacto (Temperatura da água e do ar e Precipitação). Das 57 restantes, 9 continham poucos dados (a maioria sem dados antes do rompimento da Barragem de Fundão) e foram removidas. Restaram 48 variáveis que foram usadas na análise:

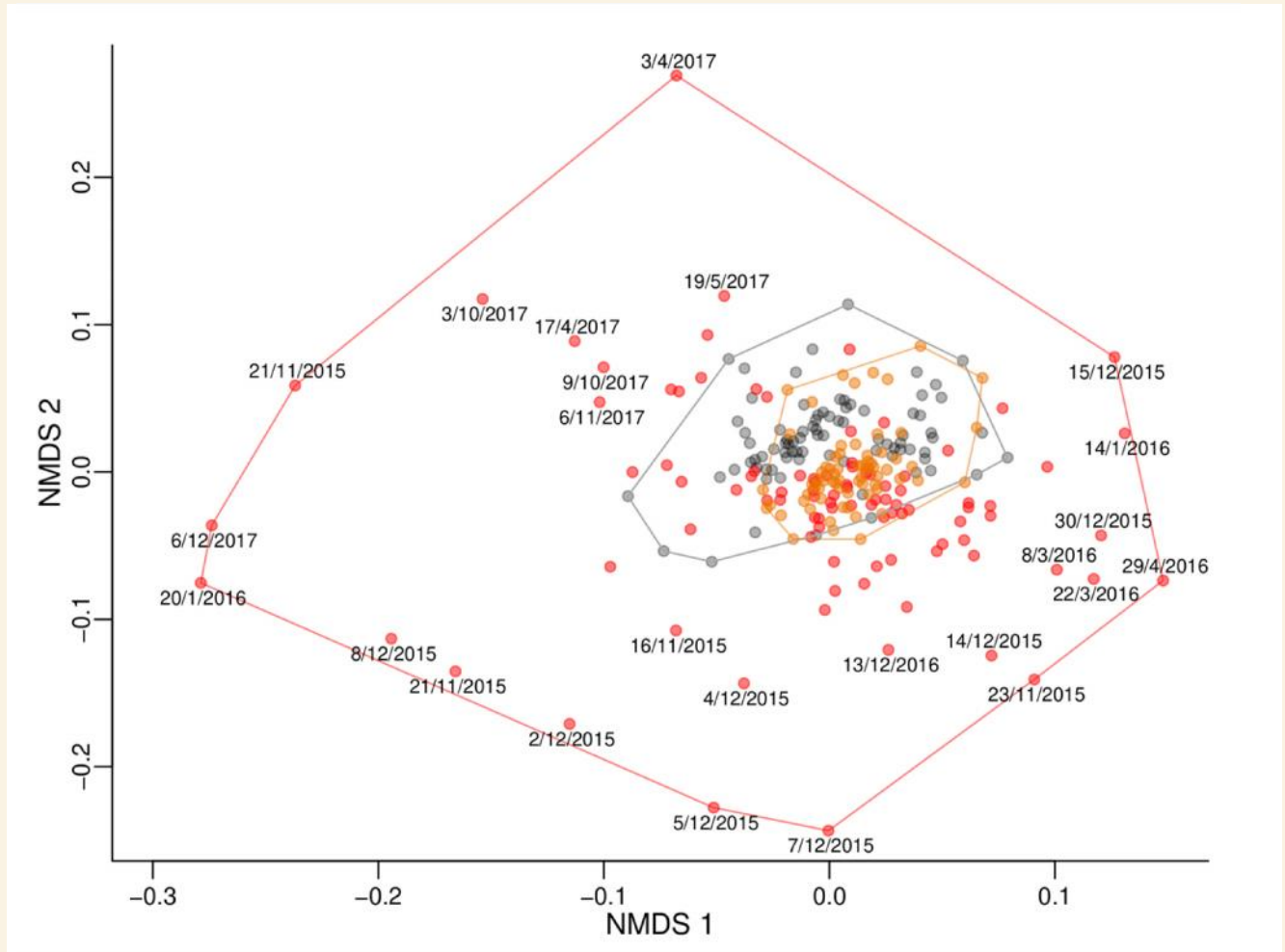
Alcalinidade total, Alumínio dissolvido, Arsênio total, Bário total, Boro dissolvido, Boro total, Cádmio total, Cálcio total, Chumbo total, Cianeto livre, Cloreto total, Clorofila, Cobre dissolvido, Cobre total, Coliformes totais, Condutividade, Cor, Cromo total, DBO, Densidade de cianobactérias, DQO, Dureza total, Escherichia coli, Streptococcus fecais, Fenóis totais, Feofitina, Ferro dissolvido, Fósforo total, Magnésio total, Manganês total, Mercúrio total, Níquel total, Nitrato, Nitrito, Nitrogênio amoniacal, Nitrogênio orgânico, Oxigênio dissolvido, pH, Potássio dissolvido, Selênio total, Sódio dissolvido, Sólidos dissolvidos totais, Sólidos totais, Substâncias tensoativas, Sulfato total, Sulfetos totais, Turbidez, Zinco total.

As variáveis foram determinadas por diferentes laboratórios e eles possuem valores de quantificação distintos. Inicialmente, tentou-se padronizar estes valores, anotados como abaixo do limite de quantificação, para o maior valor de quantificação disponível. Entretanto, tal procedimento fez com que amostras de laboratórios/épocas com nível mais refinado (menor limite de quantificação) tivessem seus valores aumentados. Portanto, optou-se por designar zero a valores abaixo de qualquer limite de quantificação da variável.

O próximo passo foi obter dissimilaridades para cada par de amostras. Um problema visto nos dados é a grande quantidade de valores não quantificados. Ainda, as variáveis estão em diferentes unidades de medida. Para contornar este problema, optou-se pelo índice de dissimilaridade de Gower que desconsidera valores ausentes e padroniza as variáveis de modo que cada uma tenha o mesmo peso, independente de sua amplitude.

Finalmente, foi feita uma análise de ordenação do tipo Escalonamento Multidimensional Não-Métrico (NMDS), com dois eixos, da matriz de dissimilaridade de Gower. Para facilitar a interpretação, as amostras foram identificadas com cores distintas: cinza para antes do rompimento, vermelho para após o rompimento até 01/07/2018 e laranja para as amostras mais recentes. Cada um destes grupos de amostras foi circundado por polígono convexo (*convex hull*) de modo a facilitar a visualização da amplitude de variação das amostras nos dois eixos de ordenação.

A ordenação das amostras obtidas nos 2,5 anos após a chegada dos rejeitos da Barragem de Fundão em Governador Valadares (MG) (entre 10/11/2015 e 01/07/2018, em vermelho na Fig. 1) mostrou forte discrepância (dissimilaridade) em relação àquelas obtidas antes do rompimento (em cinza na Fig. 1). A maioria destas amostras discrepantes foram obtidas imediatamente após a chegada dos rejeitos (entre novembro de 2015 e janeiro de 2016). Outras amostras discrepantes foram observadas nos dois verões seguintes (2016/2017 e 2017/2018). A área ocupada por amostras obtidas recentemente (após 01/07/2018, polígono em laranja na Fig. 1) se sobrepõe àquela antes da chegada de rejeitos em Governador Valadares (polígono em cinza na Fig. 1). Entretanto, pode-se notar claramente que amostras obtidas recentemente (laranja) e também aquelas nos 2,5 anos após a chegada dos rejeitos (vermelho) tendem a serem ordenadas em valores menores no eixo 2 quando comparadas àquelas obtidas antes (em cinza, Fig. 1). Para avaliação mais formal destas interpretações, foram feitas Análises Multivariadas baseadas em Distâncias usando o método PERMANOVA (Anderson 2001). O teste comparativo de amostras antes e logo após o rompimento (antes de 01/07/2018; em vermelho nas figuras) mostrou que os dois grupos são distintos ( $F_{1,176} = 3,060$ ;  $p = 0,024$ ). O teste com amostras obtidas antes do rompimento e aquelas obtidas recentemente (após 01/07/2018; em laranja nas figuras) também mostrou que as características de água são distintas nos dois períodos ( $F_{1,150} = 14,197$ ;  $p < 0,001$ ). Isto indica que a qualidade da água do Rio Doce ainda não havia retornado totalmente às suas características pré-rompimento. Esta diferenciação parcial do posicionamento dos grupos de amostras e os resultados dos testes indicam que os efeitos dos impactos causados pelos rejeitos da Barragem de Fundão na qualidade da água do Rio Doce ainda estão se manifestando, embora em intensidade bem menor.



**Figura 1.** Ordenação por Escalonamento Não-Métrico Multidimensional (NMDS) em dois eixos usando dissimilaridade de Gower para 247 amostras descritas por 48 variáveis de água do Rio Doce. Os dados foram obtidos do Instituto de Gestão das Águas (IGAM, estação RD044), Golder Associates 2017 (estação Governador Valadares a jusante) e Programa de Monitoramento Quali-Quantitativo Sistemático (PMQQS, estação RDO08). Amostras em cinza indicam aquelas obtidas pelo IGAM antes da chegada de rejeitos em Governador Valadares (08-09 de novembro de 2015). Amostras em vermelho indicam aquelas obtidas após o rompimento e antes de 01/07/2018. Amostras em laranja indicam aquelas obtidas após 01/07/2018. Cada polígono delimita a menor área ocupada por cada conjunto de amostras. Amostras discrepantes estão marcadas com sua data de ocorrência. **Fonte:** FBDS 2022.

### **Sedimento: Dados Golder Associates (GovernadorValadares\_MG\_Jusante) + PMQQS (RDOo8)**

Selecionamos variáveis com pelo menos 4 anos de amostragem. Isto permitiu comparar amostras obtidas imediatamente após o rompimento (verão 2015/2016) com aquelas obtidas recentemente. Os dados de química do sedimento e granulometria foram analisados separadamente.

Inicialmente, os dados foram avaliados quanto aos limites de quantificação e duplicação de amostras. Os limites de quantificação de algumas variáveis mudaram com o passar do tempo, refletindo, geralmente, técnicas mais refinadas. Inicialmente, tentou-se padronizar estes valores, anotados como abaixo do limite de quantificação, para o maior valor de quantificação disponível. Entretanto, tal procedimento fez com que amostras de épocas com nível mais refinado (menor limite de quantificação) tivessem seus valores aumentados. Portanto, optou-se por designar zero a valores abaixo de qualquer limite de quantificação da variável. Em seguida, foram selecionadas amostras obtidas na mesma data e hora. Estas amostras repetidas foram conciliadas i) tirando a média quando mais de um valor estava disponível ou ii) usando o único valor do par (ou grupo) e amostras.

O conjunto de variáveis granulométricas incluiu 59 amostras e 7 frações:

Argila, Silte, Areia muito fina, Areia fina, Areia média, Areia grossa e Areia muito grossa.

O conjunto de dados químicos do sedimento obtidas por pelo menos 4 anos incluiu 69 amostras e 17 variáveis. Uma variável não apresentou variação e foi removida (selênio). Variáveis utilizadas na análise química:

Alumínio, Arsênio, Bário, Boro, Cádmio, COT, Chumbo, Cobre, Ferro, Manganês, Mercúrio, Níquel, Nitrogênio total Kjeldahl, ph, Potencial redox e Zinco.

O próximo passo foi obter dissimilaridades para cada par de amostras nos três conjuntos de dados. Um problema visto nos dados é a grande variabilidade no número de variáveis químicas analisadas em cada amostra. Ainda, as variáveis estão em diferentes unidades de medida. Para contornar este problema, optou-se pelo índice de dissimilaridade de Gower que desconsidera valores ausentes e padroniza as variáveis de modo que cada uma tenha o mesmo peso, independente de sua amplitude de variação. Os dados de granulometria não apresentam estes problemas e foram analisados com distância Euclidiana.

Finalmente, as amostras foram ordenadas, a partir das matrizes de dissimilaridade de Gower (químicos) e distância Euclidiana (granulometria), com Escalonamento Multidimensional Não-Métrico (NMDS) com dois eixos. Para facilitar a interpretação, as amostras foram identificadas com cores distintas: vermelho para após o rompimento até 01/07/2018, laranja para as amostras mais recentes. Setas indicando variáveis correlacionadas com os eixos de ordenação foram adicionadas na ordenação de granulometria para auxiliar a interpretação.

---

### **Sedimento: Dados Golder Associates (GovernadorValadares\_MG\_Jusante) + PMQQS (RDO08) + Pacheco (2015)**

Fizemos análise de química do sedimento adicional em que foram incluídos os dados pré-rompimento de Pacheco (2015; dados disponibilizados em Golder Associates 2021). A metodologia foi a mesma descrita para análise feita apenas com Golder Associates (2017) e PMQQS. As amostras de Pacheco estão em cinza na ordenação. Foram usadas variáveis presentes em Golder Associates (2017), PMQQS e Pacheco (2015):

Alumínio, Arsênio, Bário, Cádmio, Chumbo, Cobre, Ferro, Mercúrio, Níquel e Zinco

---