



Impactos ambientais da dispersão de rejeitos de mineração em ambientes costeiros e marinhos

Lições e recomendações para avaliação de impactos *ex post*

L.E. Sánchez, F.A.R. Barbosa, M.C.W. Brito, P. May, C. Maroun, J. Renshaw, Y. Kakabadse



Sobre a UICN

A UICN é uma união de membros composta por organizações governamentais e da sociedade civil. Proporciona às organizações públicas, privadas e não-governamentais o conhecimento e as ferramentas que possibilitam a coexistência do progresso humano com o desenvolvimento econômico e a conservação da natureza.

Criada em 1948, a UICN é hoje a maior e mais diversificada rede ambiental do mundo, valendo-se dos conhecimentos, recursos e alcance de mais de 1.400 organizações associadas e cerca de 15.000 especialistas. É líder no fornecimento de dados, avaliações e análises de conservação. Seu amplo quadro de membros possibilita à UICN desempenhar o papel de incubadora e repositório confiável de melhores práticas, ferramentas e padrões internacionais.

A UICN oferece um espaço neutro para os diversos atores - incluindo governos, ONGs, cientistas, empresas, comunidades locais, organizações de povos indígenas e outros - trabalharem juntos para criar e implementar soluções para os desafios ambientais e atingir o desenvolvimento sustentável.

www.iucn.org

<https://twitter.com/IUCN/>

Impactos ambientais da dispersão de rejeitos de mineração em ambientes costeiros e marinhos

Lições e recomendações para avaliação de impactos *ex post*

L.E. Sánchez, F.A.R. Barbosa, M.C.W. Brito, P. May, C. Maroun, J. Renshaw, Y. Kakabadse

A designação de entidades geográficas neste livro e a apresentação do material não implicam a expressão de qualquer opinião por parte da UICN sobre a situação legal de qualquer país, território ou área, ou de suas autoridades, ou a delimitação de suas fronteiras ou limites.

As opiniões expressas nesta publicação não refletem, necessariamente, as opiniões da UICN.

A UICN tem o prazer de reconhecer o apoio de seus parceiros estruturais que fornecem o financiamento principal: Ministério das Relações Exteriores da Dinamarca; o Ministério das Relações Exteriores da Finlândia; o Governo da França e a Agência Francesa de Desenvolvimento (AFD); o Ministério do Meio Ambiente da República da Coreia; a Agência Norueguesa de Cooperação para o Desenvolvimento (Norad); a Agência Sueca de Cooperação Internacional para o Desenvolvimento (Sida); a Agência Suíça para o Desenvolvimento e Cooperação (SDC); e o Departamento de Estado dos Estados Unidos.

O contexto econômico, ambiental e social da bacia do Rio Doce é dinâmico e em constante mutação. O Painel do Rio Doce elaborou este estudo com as melhores informações de acesso público disponíveis no momento de sua redação e reconhece que novos estudos e informações contribuirão para nortear cada vez mais os esforços de restauração.

UICN não se responsabiliza por erros ou omissões que possam ocorrer na tradução para o português deste documento, cuja versão original é em inglês. Em caso de discrepâncias, consulte a edição original. Título da edição original: *The environmental impacts of a major mine tailings spill on coastal and marine environments: Lessons and recommendations for ex post impact assessment*. Rio Doce Panel Thematic Report No. 5. (2022). Gland, Switzerland: IUCN. <https://doi.org/10.2305/IUCN.CH.2022.11.en>

Publicado por:	UICN, Gland, Suíça
Produzido por:	UICN Enterprise and Investment Team
Direito autoral:	© 2022 IUCN, International Union for Conservation of Nature and Natural Resources © 2022 UICN, União Internacional para a Conservação da Natureza e Recursos Naturais, para a tradução em Português A reprodução desta publicação para fins educacionais ou outros fins não comerciais é permitida sem autorização prévia por escrito do titular dos direitos autorais, desde que a fonte seja plenamente reconhecida. É proibida a reprodução desta publicação para revenda ou outros fins comerciais sem autorização prévia por escrito do titular dos direitos autorais.
Citação recomendada:	Sánchez, L.E., Barbosa, F.A.R., Brito, M.C.W., May, P., Maroun, C., Renshaw, J., Kakabadse, Y. (2022). <i>Impactos ambientais da dispersão de rejeitos de mineração em ambientes costeiros e marinhos. Lições e recomendações para avaliação de impactos ex post</i> . Painel do Rio Doce – Relatório Temático N. 5. Gland, Suíça: UICN.
ISBN:	978-2-8317-2223-8 (PDF)
DOI:	https://doi.org/10.2305/IUCN.CH.2022.11.pt
Foto de capa:	3 de outubro de 2018, Fundação Renova Expedição Caminho da Reparação Vista aérea da foz do Rio Doce; Imagem: © NITRO Historias Visuais
Edição:	Eyetailk Communications - www.eyetailkcomms.com
Tradução:	Leonardo Padovani
Revisão:	Marcia Nunes
Layout:	Eyetailk Communications - www.eyetailkcomms.com

Índice

Lista de quadros e figuras	IV
Lista de siglas	V
Agradecimentos	VI
Apresentação	VII
Prefácio	VIII
Sumário Executivo	IX
1. Introdução	1
2. Objetivo e propósito	3
3. Contexto do estudo	4
4. Breve cronologia das ações de monitoramento ambiental e avaliação de impactos nas áreas costeiras e marinhas	6
5. Breve descrição dos estudos na região costeira e marinha	10
5.1 Avaliações de impactos em estudos de monitoramento	10
5.2 Literatura acadêmica	11
5.3 Outras fontes	14
5.4 Discussão	15
6. Avaliação dos impactos ambientais de desastres	17
7. Abordagem sob medida para avaliar os impactos dos rejeitos nos ambientes costeiro e marinho	20
7.1 Fundamentos	21
7.2 Identificação e caracterização de impactos	23
7.3 Avaliação da significância dos impactos	32
7.3.1 Fundamentos	32
7.3.2 Um procedimento	33
8. Rumo a um plano de ação para as áreas costeiras e marinhas afetadas	36
9. Recomendações	38
Referências	40

Lista de quadros e figuras

Figura 1	Região do Baixo Rio Doce e zona costeira adjacente	2
Figura 2	Fluxograma de classificação do grau de confiança na associação entre um impacto ambiental e a fonte da perturbação	28
Quadro 1	Principais documentos para o monitoramento de ambientes estuarinos, costeiros e marinhos	9
Quadro 2	Alguns estudos publicados sobre os impactos dos rejeitos no estuário do Rio Doce	11
Quadro 3	Alguns estudos sobre o impacto dos rejeitos nos ambientes costeiro e marinho	12
Quadro 4	Dados, informação e conhecimentos no escopo da avaliação de impactos e gestão ambiental	22
Quadro 5	Quadro sinóptico de impacto (com exemplos)	31
Quadro 6	Chave para identificar a severidade de um impacto	34
Quadro 7	Chave para determinar a significância de um impacto	35

Lista de siglas

AIA	Avaliação de Impacto Ambiental
CIF	Comitê Interfederativo
CT	Câmaras Técnicas
CT-Bio	Câmara Técnica de Conservação e Biodiversidade
CEPAL	Comissão Econômica da ONU para a América Latina e o Caribe
ES	Espírito Santo
FBDS	Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável
FEST	Fundação Espírito-Santense de Tecnologia
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Renováveis
ICMM	Conselho Internacional de Mineração e Metais
IEMA	Instituto de Meio Ambiente e Recursos Hídricos
ISO	Organização Internacional de Padronização
MG	Minas Gerais
NOAA	Administração Nacional Oceânica e Atmosférica
NRDA	Avaliação de Danos aos Recursos Naturais
HAP	Hidrocarbonetos Aromáticos Policíclicos
PMBA	Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática
RRDM	Rede Rio Doce Mar
TTAC	Termo de Transação e Ajustamento de Conduta
UICN	União Internacional para a Conservação da Natureza

Agradecimentos

O Painel do Rio Doce agradece às seguintes instituições e a seus representantes que forneceram informações importantes e compartilharam suas opiniões sobre avaliações de impacto e biodiversidade:

- Equipes técnicas da Fundação Renova, especialmente das áreas de Biodiversidade, Gestão de Rejeitos e Curadoria de Impacto, cujos membros participaram intensamente das oficinas e forneceram informações e comentários.
- Representantes do Comitê Técnico e do Conselho Consultivo da Fundação Renova.
- Especialistas da Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável (FBDS).
- Representantes da Câmara Técnica para a Conservação da Biodiversidade do Comitê Interfederativo.

Também agradecemos aos dois revisores externos e anônimos cujo trabalho foi essencial para a elaboração deste relatório.

O Painel agradece à equipe de geoprocessamento da Fundação Renova pelo apoio à produção do mapa e à equipe de comunicação por autorizar a utilização de imagens e outros materiais de comunicação no relatório.

Finalmente, agradecemos à equipe da UICN pelo apoio técnico contínuo ao Painel e, em particular, pelo trabalho árduo na produção deste relatório, especialmente a Bárbara Souza, Gustavo Caixeta, João Leal, Leigh Ann Hurt, Mariana Saba, Renata Bennet e Stephen Edwards.

Apresentação

A lama de rejeitos chegou à foz do Rio Doce dezesseis dias após o rompimento da Barragem de Fundão em Minas Gerais, despejando 16 milhões de m³ de rejeitos de mineração no oceano. A lama, que percorreu quase 670 km, mudou a cor do mar e se espalhou ao longo da costa sudeste do Brasil, atingindo praias do norte ao sul do estado do Espírito Santo. Apesar das imagens chocantes vistas pelo mundo, da grande quantidade de informações e dos dados produzidos no decorrer destes sete anos, os impactos ambientais no estuário, no oceano e na zona costeira, bem como na sua biodiversidade, ainda representam uma das maiores lacunas de conhecimento para o trabalho de restauração. Este Relatório Temático tem por objetivo discutir essa lacuna.

Este relatório, realizado pelo Painel do Rio Doce propõe uma metodologia para avaliar os impactos nos ambientes costeiros e marinhos da Bacia do Rio Doce. Além disso, descreve como o conhecimento produzido complementa o complexo sistema de governança da bacia hidrográfica, somando-se aos estudos científicos e ao monitoramento contínuo dos ambientes impactados que continuam gerando informações sobre o estado de saúde ambiental da paisagem. É importante que um sistema de gestão de informações e dados seja incorporado ao sistema de governança de modo a assegurar a produção dos dados necessários para subsidiar a tomada de decisões.

No entanto, outros fatores, além da complexidade da governança, impedem o avanço dos programas socioambientais executados pela Fundação Renova, como processos judiciais e divergências nas abordagens metodológicas e científicas. O Painel mostra o risco que esses fatores representam para o avanço da restauração, por gerar conclusões divergentes e conflitantes. Para evitar os riscos descritos acima, este relatório foi elaborado em colaboração com as equipes técnicas e parceiros da Fundação, após apresentação e discussão da metodologia com as diversas partes envolvidas na restauração.

O Relatório Temático final também reforça as recomendações que o Painel do Rio Doce vem fazendo desde 2018, indicando caminhos para melhorar a compreensão dos impactos provocados pelo rompimento da Barragem de Fundão, incorporar conhecimentos ao processo de restauração em andamento, e — crucialmente — avançar em direção a resultados substanciais.

Nos cinco anos de existência do Painel, houve o reforço contínuo da seguinte mensagem: a geração de conhecimentos e a orientação de ações para um futuro mais próspero, resiliente e sustentável exigem ciência e ações conjuntas. É preciso que as grandes corporações e os governos adotem boas práticas com base nesses conhecimentos para garantir a recuperação de desastres semelhantes no futuro e, ainda mais importante, evitar que desastres como esse tornem a acontecer.

Dr. Bruno Oberle

Diretor Geral

UICN, União Internacional para a Conservação da Natureza

Prefácio

Desde o início dos trabalhos, em 2017, o Painel Rio Doce tem se manifestado reiteradamente sobre a necessidade de uma compreensão mais integrada entre o desastre da Barragem de Fundão e seus impactos ambientais. Quando conseguimos identificar, descrever e classificar esses impactos, também é possível definir as medidas adequadas para restaurar os ecossistemas da região, incluindo a foz do rio.

As comunidades locais dependiam fortemente desses ecossistemas para fins de abastecimento de água e segurança alimentar. Embora o desastre de rejeitos tenha degradado manguezais, lagos e áreas úmidas e oceânicas, as comunidades locais ainda aguardam decisões vitais para restaurar os ecossistemas e reconstruir os meios de subsistência.

Não se sabe o suficiente sobre os impactos ambientais desse desastre. A complexidade das informações, o tamanho do território e a falta de análise integrada dos dados dificultam a definição da extensão e severidade dos danos. Apesar do grande volume de dados já coletados, ainda sabemos muito pouco sobre como a lama de rejeitos afetou os ambientes aquáticos e a biodiversidade nas áreas estuarinas e marinhas contíguas ao Rio Doce.

Neste quinto e último Relatório Temático, o Painel Rio Doce aprofunda sua colaboração com a Fundação Renova e agrega ainda mais valor com o desenvolvimento de uma importante metodologia. As equipes técnicas da Renova solicitaram ao Painel a elaboração de uma abordagem para avaliar os impactos em ambientes marinhos e costeiros, e essa metodologia é fruto de nossa nova modalidade combinada de trabalho.

A metodologia resultou de trabalho conjunto entre as equipes técnicas da Renova e os consultores externos, que colaboraram em oito workshops liderados pelo Painel entre o final de 2021 e meados de 2022. A expressividade da participação e os níveis de engajamento refletem o forte anseio por orientações para avaliação de impactos.

Este relatório começa com a discussão sobre as avaliações de impacto realizadas até o momento na zona costeira, apontando lacunas e possíveis divergências entre as diversas metodologias, e discute lições aprendidas com outros desastres em relação à aplicação dos princípios da avaliação de impacto. Além disso, ressalta, primeiro, que essas incertezas não são incomuns e, em segundo, que medidas de mitigação se fazem, portanto, necessárias.

A metodologia prevê o uso de dados de monitoramento e avaliações de impacto, bem como experimentos e correlações já conhecidas. Dessa forma, é possível tecer conclusões sobre relações causais com base em informações existentes.

Análises robustas são fundamentais para a restauração da Bacia do Rio Doce. Este relatório, utilizando a metodologia proposta, ajuda a região a reconstruir sua saúde e seus meios de subsistência com sustentabilidade.

Painel do Rio Doce

Sumário Executivo

Planejar ações para a mitigação ou remediação de impactos ambientais *ex post* em situações pós-desastre exige que estes impactos sejam adequadamente compreendidos e avaliados. A boa prática requer que esse tipo de avaliação: (i) siga procedimentos sistemáticos; (ii) seja fundamentada em conhecimentos científicos; (iii) reconheça a possibilidade de que existam diferentes interpretações para o significado de cada impacto.

Com base no volume de rejeitos lançados e na extensão das áreas atingidas, o rompimento da Barragem de Fundão, em Mariana, Minas Gerais, foi o maior desastre ambiental de todos os tempos na mineração brasileira, e um dos mais graves do mundo. Ao serem transportados a jusante da barragem rompida, os rejeitos foram se acumulando ao longo dos rios e alcançaram o estuário do Rio Doce, na ecorregião marinha do Leste brasileiro, afetando importantes ecossistemas. Transcorridos sete anos — e a despeito do gigantesco esforço de monitoramento e dos diversos estudos realizados — ainda há muito que não sabemos sobre os impactos desse desastre nos ambientes marinho e costeiro.

Quando a barragem se rompeu, a empresa de mineração e os órgãos governamentais fizeram avaliações rápidas dos impactos. Porém, embora os órgãos governamentais tenham determinado a realização de um programa de monitoramento de cinco anos, transcorreu quase um ano após o desastre até que as diretrizes fossem emitidas e outros dois anos de negociações e aprovações antes que a coleta de dados pudesse começar.

Neste Relatório Temático, o Painel do Rio Doce aborda o desafio de transformar dados e informações obtidos por meio de monitoramento em conhecimento capaz de subsidiar decisões sobre mitigação de impactos. É proposta uma abordagem metodológica para avaliar os conhecimentos atuais sobre os impactos do desastre em áreas costeiras e marinhas.

O Painel do Rio Doce recomenda:

- 1) Que a abordagem metodológica descrita neste relatório temático seja utilizada para consolidar as diversas avaliações dos impactos ambientais causados pelo rompimento da Barragem de Fundão. Tal consolidação deve utilizar todos os dados e informações relevantes, incluindo publicações científicas, resultados do Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática e outros relatórios técnicos relevantes. Para facilitar a comunicação, os relatórios deverão ser escritos em linguagem simples e incluir um resumo não técnico.
- 2) Que a Fundação Renova — de preferência mediante um acordo com o CIF — estabeleça um banco de dados vinculado a um sistema de gestão de informações que rastreie os impactos identificados. O banco de dados deve ser atualizado de forma contínua, registrando dados de séries temporais e outros resultados mensuráveis com base em um plano de mitigação de impactos. O monitoramento deve incluir revisões periódicas da lista de impactos, bem como a divulgação das ações e resultados a todas as partes interessadas.



Brasil, Linhares, ES, 5 de novembro de 2015. Lama de rejeitos proveniente da barragem do Fundão, que fica em Bento Rodrigues, na cidade de Mariana (MG), rompida no dia 5 de novembro de 2015, chega ao oceano no distrito de Regência, em Linhares (ES). A lama chegou ao mar após percorrer o leito do Rio Doce por 16 dias.

1. Introdução

Em novembro de 2015, a Barragem de Fundão, localizada no município de Mariana, Minas Gerais, se rompeu e despejou uma quantidade estimada em 39,2 milhões de metros cúbicos¹ de rejeitos de mineração. Nos 16 dias seguintes, a lama percorreu cerca de 670 km do Rio Doce, atingindo o estuário e a foz do rio até desembocar no Oceano Atlântico (Figura 1), causando extensos danos ambientais e humanos.

Imediatamente após o desastre, em vistas de orientar ações de compensação e restauração, diversos órgãos governamentais federais e estaduais começaram a trabalhar e, em março de 2016, assinaram um acordo com a empresa de mineração Samarco e suas controladoras, Vale S.A. e BHP Billiton. Conhecido como Termo de Transação e Ajustamento de Conduta (TTAC), o acordo estabeleceu 42 programas de restauração e compensação e criou uma organização independente financiada pelas empresas – a Fundação Renova – para implementar e gerenciar esses programas.² Para supervisionar a implementação desses programas, foi criado o Comitê Interfederativo (CIF), composto por representantes dos governos federal e estaduais, além de representantes dos municípios e comunidades atingidas, contando com o apoio de Câmaras Técnicas (CTs); ao todo, seriam 11 Câmaras Técnicas.

O Painel do Rio Doce foi criado em 2017 pela UICN com o objetivo de proporcionar assessoria técnica e científica independente para a Fundação Renova e outras partes interessadas sobre a restauração dos ecossistemas e meios de subsistência impactados pelo rompimento da Barragem de Fundão. Neste estudo, o Painel propõe uma abordagem metodológica para avaliar os impactos nas áreas costeiras e marinhas, um passo necessário para orientar as decisões sobre a restauração.

Atualmente, existem amplos programas de monitoramento ambiental em andamento em todos os ambientes impactados do estuário do Rio Doce e das áreas costeiras e marinhas adjacentes, porém o CIF ainda não determinou ações específicas de restauração para o ecossistema.

Enquanto isso, a pesca continua proibida na foz do rio, impactando a subsistência e a segurança alimentar da população local devido, em parte, à incerteza quanto aos impactos cumulativos e persistentes da deposição de rejeitos na zona costeira.

O Painel considera que as decisões sobre a restauração devem ser orientadas por uma avaliação abrangente e baseada em evidências. A avaliação de impacto ambiental *ex post* associada a eventos de desastres, como o rompimento de Fundão, é um campo menos desenvolvido que o da avaliação *ex ante*. Assim, este estudo desenvolve recomendações anteriores do Painel sobre avaliação *ex post* de impacto do rompimento da Barragem de Fundão (Sánchez et al., 2018) e utiliza outras fontes para fundamentar suas recomendações.

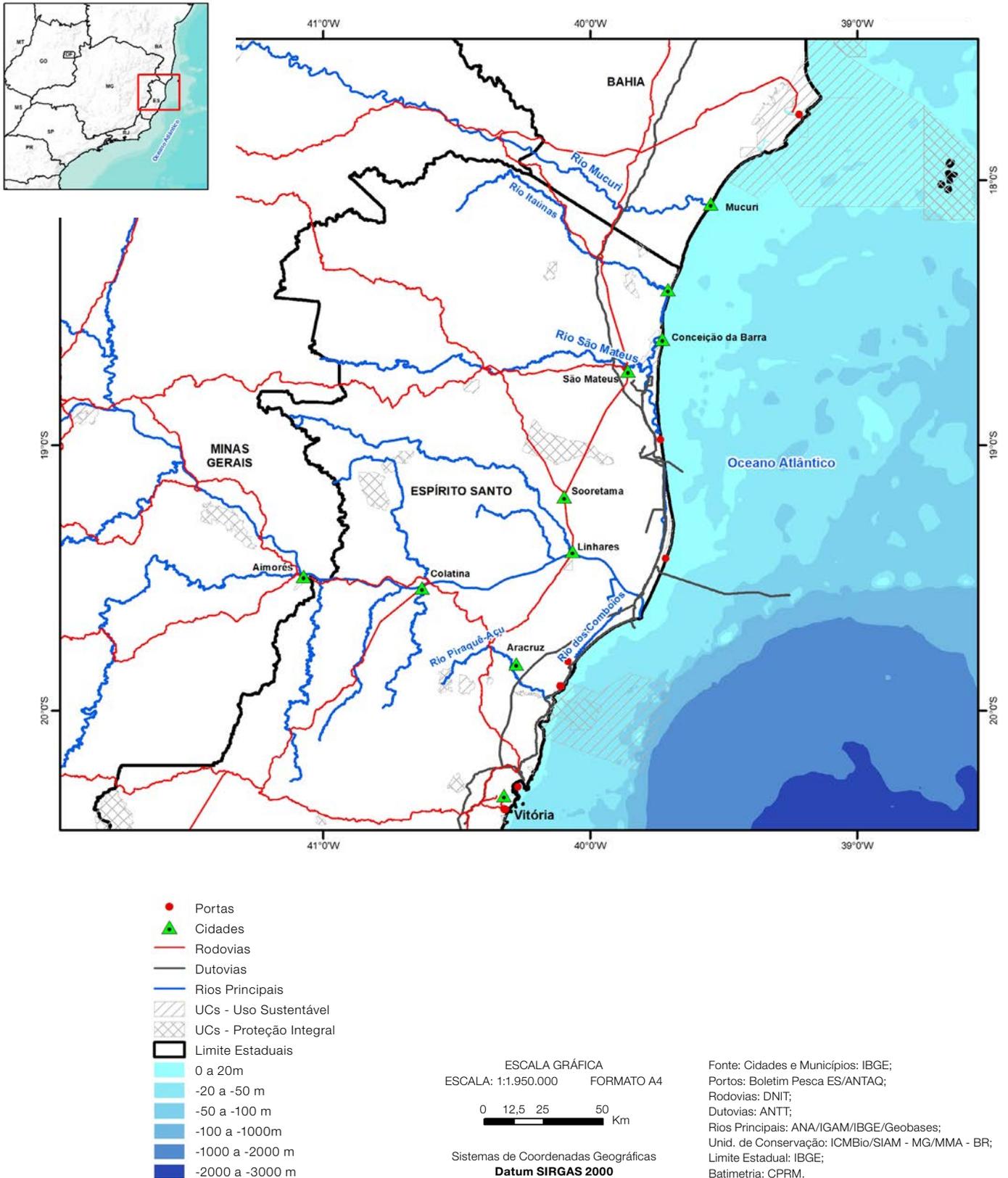
Após as Seções 1 e 2, que introduzem o Relatório e seus objetivos, a Seção 3 descreve as várias instituições vinculadas aos esforços envidados para monitorar, compensar e restaurar os ecossistemas e meios de subsistência impactados, enfatizando as várias dificuldades relacionadas às complexidades da estrutura de governança. A Seção 4 traz um breve histórico das iniciativas de monitoramento e avaliação de impactos em ambientes costeiros e marinhas, destacando algumas questões metodológicas como a priorização do monitoramento ambiental em vez das avaliações de impacto.

A Seção 5 descreve brevemente os diversos tipos de estudos que têm sido realizados nas áreas costeiras e marinhas, ressaltando a complexidade de reunir as diferentes vertentes de informação. A Seção 6 traz exemplos de outros países para elucidar as lições que podemos aprender com as avaliações de impacto ambiental de desastres ocorridos naqueles países. A Seção 7 propõe uma metodologia de avaliação de impactos ambientais que considera o grande volume de dados e informações produzido pelo atual programa de monitoramento ambiental. Na Seção 8, o Painel do Rio Doce apresenta as suas conclusões e tece recomendações.

1 <https://www.fundacaorenova.org/manejo-de-rejeito/>

2 <https://www.fundacaorenova.org>

Figura 1 – Região do baixo Rio Doce e zona costeira adjacente



2. Objetivo e propósito

O objetivo deste estudo é propor um método para a realização de uma avaliação *ex post* dos impactos ambientais causados pela dispersão dos rejeitos da Barragem de Fundão nos ambientes costeiros e marinhos.

O propósito principal é contribuir para que as decisões tomadas quanto à mitigação e à compensação pelos impactos ambientais adversos ocorridos nesses ecossistemas sejam bem informadas, contribuindo, assim, para o “Plano de Ação Integrado para a Recuperação e

Conservação da Biodiversidade Aquática da Bacia do Rio Doce e dos Ambientes Costeiros e Marinhos”, que ainda não tinha sido desenvolvido pelas entidades responsáveis quando este estudo começou.³ Este estudo também apoia: (i) o Sistema da Fundação Renova para Gestão de Impactos e Reparação;⁴ (ii) o processo, em andamento, de revisão dos Termos de Referência 4⁵; (iii) melhorias nas avaliações de impacto ambiental realizadas como parte do Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática, em execução.

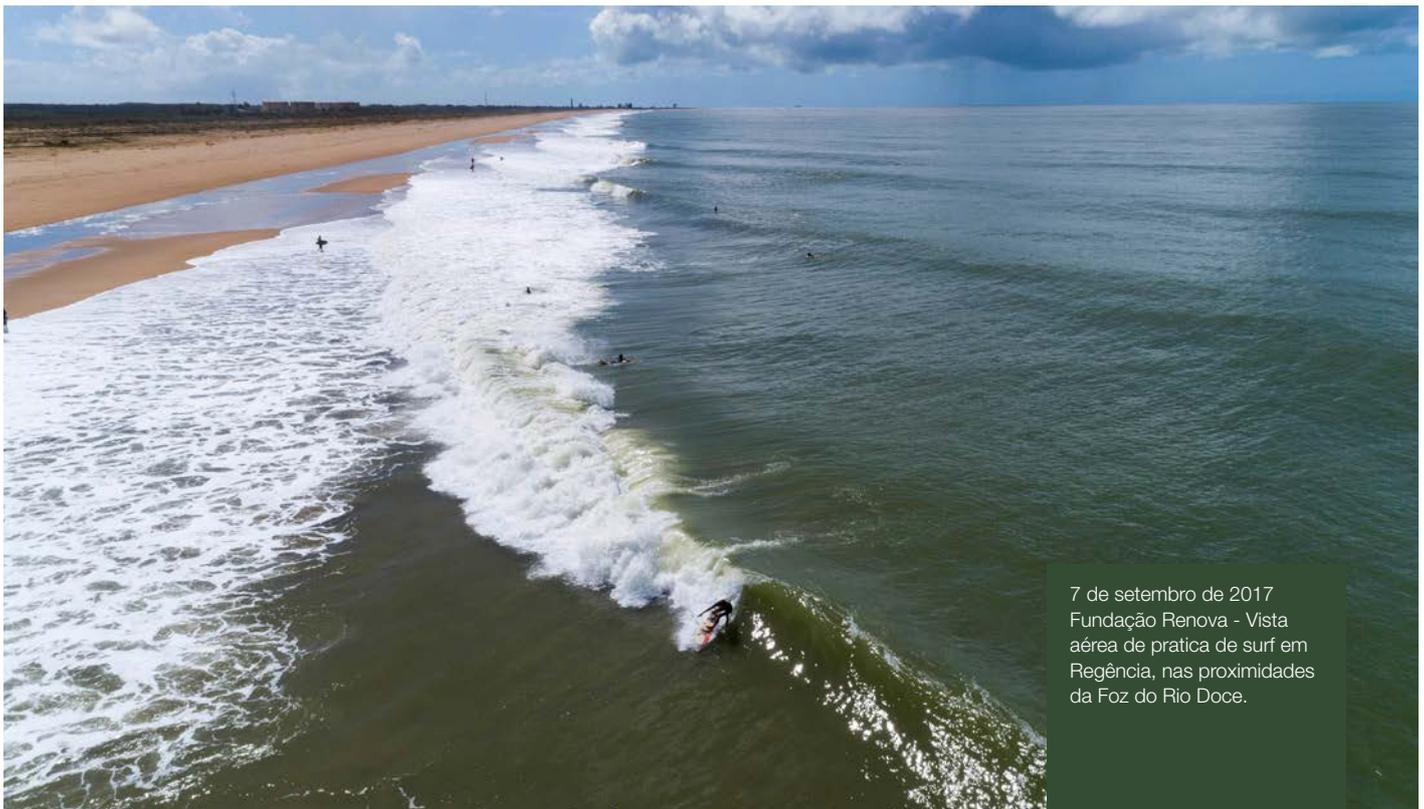


Imagem © Bruno Correa / NITRO Histórias Visuais

- 3 Conforme exigência do Comitê Interfederativo – apresentado na Seção 4 – encarregado de supervisionar a reparação.
- 4 A Fundação Renova é apresentada na Seção 3. O Sistema de Gestão de Impactos e Reparação é uma ferramenta interna utilizada pela Fundação Renova.
- 5 Esses Termos de Referência – documento explicado na Seção 4 – foram elaborados pelas autoridades governamentais como guia para monitorar os impactos nas áreas costeiras e marinhas.

3. Contexto do estudo

Em 2 de março de 2016 foi celebrado um acordo extrajudicial, tendo, por um lado, as instituições do governo brasileiro e, por outro, as empresas mineradoras. As partes governamentais incluíram o governo federal e os órgãos federais, juntamente com os governos estaduais de Minas Gerais (MG) e Espírito Santo (ES) e seus respectivos órgãos encarregados do meio ambiente, dos recursos hídricos, da floresta e da agricultura. As mineradoras são a Samarco S.A. e os acionistas, a Vale S.A. e a BHP Billiton Brasil Limited (Maroun et al., 2021).

Este acordo, denominado TTAC, definiu o marco para a restauração das áreas impactadas pelo rompimento da Barragem de Fundão, permitindo que as medidas pactuadas começassem a ser executadas imediatamente. Eliminou-se, assim, a perspectiva de eventual protelação do início das ações de reparação, já que havia uma ação civil pública contra as empresas. O TTAC também criou a Fundação Renova como organização independente para administrar os 42 programas de restauração,⁶ cujo financiamento viria das empresas.

A implementação do TTAC, contudo, enfrentou dificuldades desde o início. O acordo gerou várias camadas de complexidade institucional. O grande número de partes do TTAC complicou os esforços de compreensão dos impactos do desastre, assim como os esforços de mitigação, compensação e restauração. Os 42 programas são supervisionados pelo CIF, que, por sua vez, é presidido pelo Ibama — o órgão ambiental federal — e inclui representantes dos governos federal e estaduais, além dos 40 municípios impactados e do Comitê da Bacia do Rio Doce. O CIF conta com 11 câmaras técnicas para a provisão de expertise técnica, enquanto a Fundação Renova foi estruturada conforme os 42 programas em dois agrupamentos amplos (Socioeconômico e Socioambiental).

A grande quantidade de instituições resultou em uma abordagem compartimentalizada e centrada em questões tratadas separadamente, ainda que relacionadas, bem como na fragmentação do conhecimento de apoio. Em vez de examinar e explicar as relações entre as diversas questões, esta abordagem compartimentalizada ocasionou a elaboração de estudos técnicos complexos e, com frequência, centrados em um único tema, como qualidade da água ou de sedimentos, com pouca integração ou tentativa de construir sínteses coerentes. Dificilmente esses estudos poderiam oferecer uma visão unificada e abrangente dos impactos do desastre, particularmente quanto aos ecossistemas costeiros e marinhos, dada sua complexidade. Observa-se que as dificuldades em compreender as diferentes vias de impacto podem ter contribuído para atrasos nos programas voltados para esses ambientes.

A Cláusula 06 do TTAC cita que a restauração deve retornar as condições ao estado pré-desastre, “as quais serão definidas por meio de estudos de avaliação de impacto com fundamentação científica e realizados por experts”. A mesma cláusula estabelece uma abordagem por etapas, incluindo avaliação preliminar, determinação da situação anterior ao desastre e definição de projetos de restauração, seguidos de monitoramento e entrega de relatórios periódicos ao CIF para aprovação, incluindo consultas públicas.

Porém, até o final de 2021 nenhuma avaliação de impacto havia sido realizada. Foram definidos requisitos específicos para os 42 programas, com levantamentos, campanhas de amostragem e análises, entre outras ações, mas a grande variedade de ecossistemas, comunidades, patrimônio, meios de subsistência, infraestrutura e outros aspectos impactados pelo rompimento da barragem tornam muito difícil a realização de tarefas como essa de forma abrangente em toda a bacia hidrográfica.

⁶ A estrutura de governança da Fundação Renova foi posteriormente modificada. O Painel do Rio Doce analisou as várias questões de governança relacionadas à restauração em um Relatório Temático anterior (Maroun et al., 2021).



2 de outubro de 2018
Fundação Renova | Expedição
Caminho da Reparação
Na imagem, ondas na foz do Rio
Doce.

Imagem © NITRO Historias Visuais



Vistoria realizada pelo Ibama em
julho de 2016 no trecho atingido
pelo rompimento da barragem de
rejeitos da mineradora Samarco,
em Mariana, Minas Gerais.

Imagem © Felipe Werneck/Ibama



A lama do Rio Doce após o
rompimento da barragem de
rejeitos da Samarco, no distrito
de Bento Rodrigues, em Mariana,
Mina Gerais, chega à cidade de
Linhares, no Espírito Santo.

Imagem © Gabriela Biló / Associated
Press - Estádão Conteúdo. Todos os
direitos reservados



Pesca na Lagoa Juparanã, em
Linhares, 2019.

Imagem © UICN/Painel Rio Doce

Tampouco foi esse o único obstáculo à realização de uma avaliação abrangente. A cláusula 165 exigia que a Fundação Renova propusesse uma metodologia de monitoramento da fauna do estuário do Rio Doce e das áreas marinhas e costeiras impactadas, tornando necessário um plano detalhado para avaliar o impacto do desastre na qualidade de água nos ambientes dulcícolas, estuarinos e marinhos até 2016, como também o impacto nas cadeias tróficas e no fundo marinho até maio de 2017.

No entanto, a Câmara Técnica de Conservação da Biodiversidade (CT-Bio) não aprovou a proposta inicial da Fundação Renova. Em vez disso, a Renova foi incumbida de elaborar um programa de monitoramento em consonância com o Termo de Referência 4, a ser implementado em cinco anos. Os avanços na proposição de medidas de reparação para as áreas costeiras e marinhas têm sido lentos, uma vez que tem sido difícil chegar a um acordo sobre as etapas críticas, inclusive quanto à definição dos termos de

referência e à seleção dos membros da equipe encarregada do monitoramento. A Seção 4, deste relatório, oferece mais detalhes sobre esse processo.

Além das instruções do CIF e das câmaras técnicas, a Fundação Renova também enfrentou atrasos relacionados ao grande número de decisões judiciais. Desde 2019, várias ações foram impetradas junto à 12ª Vara Federal de Belo Horizonte, questionando a execução da maioria dos programas, pelos quais a Renova era responsável, e estabelecendo novos compromissos. As ações também determinaram a concessão do aumento no valor das indenizações e exigiram a participação das pessoas e comunidades impactadas pelo desastre. Dessa forma, muitos programas de restauração da Fundação Renova foram submetidos à revisão judicial, o que também aconteceu com o monitoramento das áreas marinhas e costeiras.

4. Breve cronologia das ações de monitoramento ambiental e avaliação de impactos nas áreas costeiras e marinhas

Diretrizes para monitoramento foram finalizadas pela CT-Bio em outubro de 2016 e aprovadas pelo CIF em 27 de junho de 2017⁷ para uso em um dos 42 programas — o Programa de Monitoramento de Biodiversidade Aquática (PMBA). Conhecidas como Termos de Referência 4, as diretrizes estabelecem uma lista extensa de temas de pesquisa, como a situação da conservação de diversas espécies, a qualidade de água e o habitat do leito marinho. Também listam os possíveis impactos do desastre.

A negociação e a assinatura do acordo entre a Fundação Renova e a Fundação Espírito-santense de Tecnologia (FEST) para execução do programa de monitoramento levaram mais de um ano. Em setembro de 2018, a Rede Rio Doce Mar (RRDM) — um grupo de pesquisadores de 27 universidades — começou a trabalhar.

Entretanto, os termos de referência se concentravam no monitoramento ambiental e não na avaliação de impactos, mencionada uma única vez no documento. Com efeito, originalmente o programa tinha por objetivo:

a realização de monitoramento da qualidade de água e estudos ecotoxicológicos para verificar a ocorrência de contaminação na biodiversidade aquática (...), para subsidiar (1) a tomada de decisões referentes à captura e consumo, (2) o processo de avaliação do estado de conservação da biodiversidade aquática; e (3) a adoção de medidas de recuperação e conservação da fauna e do ambiente aquático.

Entretanto, esses objetivos não são perfeitamente relacionados aos requisitos do programa de monitoramento, que vão muito além da qualidade da água e ecotoxicologia. Eles incluem:

- I Estudos e monitoramento da ecotoxicologia
- II. Estudo e monitoramento do ambiente dulcícola
- III. Estudo e monitoramento do ambiente marinho e estuarino
- IV. Estudo e monitoramento de praias
- V. Estudo e monitoramento de manguezais
- VI. Megafauna marinha (quelônios, aves e mamíferos)
- VII. Estudo e monitoramento da ictiofauna marinha e estuarina
- VIII. Estudo e monitoramento da sedimentação no Parque Nacional Marinhas dos Abrolhos e regiões relacionadas

Conforme exigido pelos termos de referência, em dezembro de 2018, a RRDM revisou os estudos sobre os ambientes costeiros e marinhos⁸ e passou a elaborar relatórios anuais, sendo que três foram apresentados até março de 2022.

Em 2021, o PBMA realizou uma Jornada de Revisão para atualizar os termos de referência. Naquele momento, já haviam sido coletados 247 documentos potencialmente úteis contendo cerca de 26.000 páginas.⁹ A Jornada teve a participação de pesquisadores da RRDM, membros do governo e funcionários da Fundação Renova, totalizando

7 O CIF se pronunciou sobre o plano de monitoramento em três ocasiões: em 27 de junho de 2017 (Deliberação CIF n. 77) foi dado um prazo para que a Fundação Renova ajustasse seu plano de trabalho para a implementação do programa de monitoramento. O monitoramento só poderia começar após a aprovação dos ajustes requisitados. Em 28 de setembro de 2018 (Deliberação CIF n. 218), o CIF determinou que a Fundação Renova preparasse o orçamento para a execução do programa de monitoramento. Finalmente, em 24 abril de 2019 (Deliberação CIF n. 279), o programa de monitoramento foi aprovado para execução imediata.

8 A RRDM também está incumbida do monitoramento dos ecossistemas fluviais do Espírito Santo.

9 Fundação Dom Cabral (sem data), Relatório Programa Jornada de Revisão do Termo de Referência 4 TR4 2020/2021.



mais de 50 participantes. O processo contou com a facilitação da Fundação Dom Cabral, uma escola de administração e consultoria.

Em uma minuta dos termos de referência revisados, os objetivos do PMBA passariam a incluir:

1. Atender ao disposto na Cláusula 165 do TTAC, particularmente para identificar, evidenciar e monitorar os impactos causados pelo rompimento da Barragem de Fundão sobre a biodiversidade do Rio Doce (a porção Capixaba 1) e dos ambientes estuarinos, costeiros e marinhos impactados pelo rompimento da Barragem de Fundão, bem como indicar medidas para recuperar e conservar esta biodiversidade, monitorando e avaliando a efetividade das medidas de recuperação e conservação.
2. Gerar conhecimento técnico para a orientação estratégica dos trabalhos de mitigação e de reparação dos danos decorrentes do rompimento e para a boa gestão dos ecossistemas aquáticos e ciliares da bacia, visando retornar a qualidade ambiental destes, no mínimo, às condições pré-rompimento da barragem, mas idealmente indo além delas.
3. Garantir a continuidade do monitoramento em curso com o aproveitamento dos dados e análises do ambiente e da biodiversidade aquática com séries históricas.¹⁰

A minuta também lista os parâmetros a serem monitorados, o número de pontos de amostragem e a periodicidade. Também contém uma nova seção de “Avaliação de impactos e integração de dados”, citando que:

“Além da abordagem por ambiente, o PMBA deverá integrar todos os resultados já obtidos, bem como a serem obtidos doravante, constituindo, assim, um relatório de análise integrada e de avaliação de impactos por ambiente, na forma da Matriz de Resultados, conforme apresentada no Relatório Anual 2020 do PMBA-Fest-RRDM (Anexo 5).

A análise de impactos sobre a biodiversidade aquática deve seguir o método de evidência de impactos, já adotado no PMBA, a partir da definição de conceitos e critérios para identificar os impactos associados ao rompimento da Barragem de Fundão, como descrito a seguir.

Com base no conceito de impacto, bem como nos critérios de avaliação de impactos apresentados acima, buscou-se uma forma complementar e integrativa de apresentar os resultados obtidos ao longo dos primeiros dois anos de pesquisa e monitoramento realizados. Para tal, foi realizada uma análise espaçotemporal dos impactos diretos e/ou indiretos associados ao rompimento da Barragem de Fundão. Nesta análise foram considerados de forma isolada e/ou em conjunto os diferentes critérios elencados acima, tendo como resultado a formulação de uma Matriz de Resultados, sendo que as informações pertinentes aos procedimentos adotados para a elaboração desta Matriz de Resultados, bem como os resultados obtidos após sua elaboração, estão devidamente descritos no Anexo 3. Esta abordagem deverá ser mantida para execução do PMBA para os próximos anos.”¹¹

A minuta também estipula vários outros requisitos para a realização de avaliações de impacto. No segundo relatório anual da RRD (2020), foi introduzida uma “Matriz de Resultados” como forma de descrever os impactos,¹² conforme descrição apresentada na Seção 5.

Em outra seção,¹³ a minuta estabelece requisitos para a qualificação das equipes executoras, listando os perfis de 13 pesquisadores líderes e de 17 outros pesquisadores. Há também requisitos relativos à qualificação de laboratórios. Vale notar que não consta exigência de participação de profissional com experiência em avaliações de impactos.

O Quadro 1 apresenta os principais documentos oficiais relacionados ao monitoramento de ambientes costeiros e marinhos no programa, bem como as principais diretrizes.

10 Termo de Referência – PMBA / CTBIO-CIF. Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática, Primeira Revisão, sem data, p. 6.

11 Idem, p. 40.

12 FEST, Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática da Área Ambiental I – Porção Capixaba do Rio Doce e Região Marinha e Costeira Adjacente. PMBA Relatório Anual 2020 /Fest-RRDM. Matriz de Resultados, Água Doce, Ambientes Dulcícolas, Costeiros e Marinhos. RT-36F RRD/DEZ 20. Vitória, dezembro de 2020.

13 Termo de Referência – PMBA / CTBIO-CIF. Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática, Primeira Revisão, sem data, p. 47 e seguintes.

Quadro 1 – Principais documentos para o monitoramento de ambientes estuarinos, costeiros e marinhos.

DADOS	EVENTO OU DOCUMENTO
Março de 2016	Assinatura do TTAC
Outubro de 2016	Aprovação pela CT-Bio do TR4/2016, que orienta e referencia a implementação e execução do Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática (PMBA)
27 de junho de 2017	Aprovação do TR4 pelo CIF (Deliberação n. 79)
Setembro de 2018	Início da execução do PMBA pela Rede Rio Doce Mar
Dezembro de 2018	Relatório FEST sobre análise de dados pretéritos sobre impactos agudos e crônicos
23 de abril de 2019	Deliberação CIF n. 279 sobre a estratégia de continuidade do PMBA
Mai de 2019	1o Relatório Semestral da RRDM
Novembro de 2019	1o Relatório Anual da RRDM
9 de março de 2020	Início do planejamento do evento de atualização do TR4
29 de julho de 2020	Início das atividades de atualização do TR4
Agosto de 2020	2o Relatório Semestral da RRDM
Dezembro de 2020	2o Relatório Anual da RRDM
Janeiro de 2021	Evento de atualização do TR4
16 de fevereiro de 2021	Decisão judicial sobre a continuidade do PMBA
Outubro de 2021	3o Relatório Semestral da RRDM
4 de novembro de 2021	Jornada de apresentação dos resultados do 3o Relatório Semestral
Fevereiro de 2022	3o Relatório Anual da RRDM e seminário de apresentação

Fontes: Richards et al. (2020) e “Termo de Referência 4 – PMBA/CTBIO-CIF Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática, Primeira Revisão” (sem data).

5. Breve descrição dos estudos na região costeira e marinha

A onda de rejeitos levou 16 dias para alcançar a foz do Rio Doce. Cinco dias depois do rompimento da barragem, o Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Espírito Santo (IEMA) iniciou o resgate da fauna aquática e terrestre, e o governo estadual determinou o alargamento da foz do Rio Doce para acelerar o escoamento dos sedimentos e rejeitos. Antes da chegada dos rejeitos à área, foram coletadas amostras de água, sedimentos, peixes e outros organismos no rio, no estuário, na zona costeira e na área marinha adjacente. As amostras foram coletadas por diferentes órgãos governamentais ambientais federais e estaduais, por pesquisadores independentes e também pelas mineradoras.

Nos três primeiros anos após o rompimento da barragem, a Samarco também contratou empresas de consultoria para realizar diversos estudos, as quais foram acompanhadas pela Fundação Renova. Desde o início do Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática, em novembro de 2018, foram realizados outros estudos sistemáticos, enquanto pesquisadores examinam os impactos dos rejeitos na região. As subseções a seguir oferecem uma visão geral desses trabalhos a título de contexto. Conjuntamente, a Seção mostra a complexidade e a quantidade dos estudos em andamento.

5.1 Avaliações de impactos em estudos de monitoramento

Ao iniciar os trabalhos, a RRDM reuniu e avaliou os estudos feitos entre novembro de 2015 e julho de 2018. O relatório produzido,¹⁴ que teve o objetivo de “fornecer um primeiro diagnóstico do impacto causado na biodiversidade”, avalia

estudos sobre: ecotoxicologia; hidrogeoquímica marinha; comunidades bentônicas, fitoplanctônicas, zooplanctônicas e ictiofauca marinha; fundos recifais e rodólitos; modelagem numérica; sedimentologia; ecossistema praiar, e ecossistema manguezal.¹⁵

Segundo essa análise, “os relatórios emitidos ao longo de quase três anos após o evento não contêm uma análise efetiva e diagnóstica sobre o impacto causado pelo rejeito do minério (p. 18), “uma vez que muitos ecossistemas haviam sido amostrados uma única vez e muitos relatórios apresentam resultados sem a devida interpretação”. O documento também aponta que, “na realidade, a produção de relatórios pontuais não ajudou na avaliação dos impactos devido à ausência de uma análise integrada” (p. 19).

Os relatórios semestrais e anuais apresentam uma descrição detalhada dos estudos realizados, métodos e pontos de amostragem e resultados obtidos pelos pesquisadores da RRDM. Em dezembro de 2020, os pesquisadores sintetizaram as análises e resultados obtidos em dois anos de monitoramento em um documento único, intitulado “Matriz de Resultados dos Ambientes Dulcícolas, Costeiros e Marinhos” (p. 7), com objetivo de:

avaliar, a partir de uma lista de impactos definidos por pesquisadores que conduziram os estudos específicos do PMBA/Fest-RRDM, impactos ocorrentes em diferentes compartimentos (abiótico e biótico) e níveis tróficos, usando critérios baseados tanto nas matrizes de impacto usadas nas declarações de impacto ambiental quanto na experiência adquirida com a execução do PMBA.

14 FEST (outubro de 2018). FEST, Avaliação e Consolidação de Dados Pretéritos (Sistemas Pelágico, Sedimentos, Comunidade Biótica e Ecotoxicologia). RT-01RRDM/OUT18. Vitória, outubro de 2018

15 Esse relatório também aborda estudos dos ambientes dulcícolas, não considerados aqui.

Em fevereiro de 2022, foi apresentada uma nova “Matriz de Resultados”¹⁶ que descrevia 64 impactos no ambiente costeiro e 137 impactos no ambiente marinho. Os estudos da RRDM indicam alterações em vários componentes abióticos, componentes bióticos do ambiente costeiro e também no ambiente marinho.¹⁷ Parte dos resultados foi publicada em artigos revisados por pares.

5.2 Literatura acadêmica

O impacto do rompimento da barragem em ambientes costeiros e marinhos foi examinado por vários pesquisadores. Esta subseção resume alguns desses trabalhos e discute os resultados. Não foi feita uma revisão sistemática.¹⁸ Os principais pontos são apresentados nos Quadros 2 e 3, para os ambientes estuarinos, e para os ambientes costeiros e marinhos, respectivamente.

Quadro 2 – Alguns estudos publicados sobre os impactos dos rejeitos no estuário do Rio Doce

AUTORES	COMPARTIMENTO OU ECOSISTEMAS	ÁREA	PERÍODO DE ESTUDO E AMOSTRAGEM	MÉTODOS
Queiroz et al. (2018)	Solos de áreas úmidas estuarinas	Estuário do Rio Doce	Dezembro de 2015	Determinação por laboratório de granulometria, composição mineralógica, matéria orgânica e concentração de metais
Bernardino et al. (2019)	Fauna bentônica (0-5 cm)	Estuário do Rio Doce	Agosto de 2017 20 pontos	Determinação do DNA ambiental, metais, matéria orgânica total e granulometria dos sedimentos
Gabriel et al. (2020a)	Sedimentos de superfície (0-10 cm)	Estuário do Rio Doce	Agosto de 2017, Janeiro de 2018, Agosto de 2018 17 pontos	Determinação da concentração de metais Avaliação de acordo com quatro índices de qualidade de sedimentos
Gabriel et al. (2020b)	Sedimentos de fundo e peixes demersais estuarinos	Estuário do Rio Doce	Agosto de 2017	Determinação da concentração de metais em sedimentos, proteínas do fígado e músculo de cinco espécies de peixes
Gabriel et al. (2021)	Sedimentos de fundo (0-5 cm)	Estuário do Rio Doce	Cinco campanhas de agosto de 2017 a janeiro de 2020	Determinação por laboratório de granulometria, matéria orgânica e concentração de metais Comparação com um conjunto de dados pré-desastre
Ferreira et al. (2022)	Solos de áreas úmidas estuarinas	Duas ilhas no estuário	Amostragem em agosto de 2019	Coleta de amostras de solos e plantas, medição laboratorial do teor de ferro em solos e tecidos de plantas

16 FEST, Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática da Área Ambiental I – Porção Capixaba do Rio Doce e Região Marinha e Costeira Adjacente. PMBA/Fest-RRDM Relatório Anual 2020. Matriz de Resultados: Ambientes Dulcícolas, Costeiros e Marinhos RT-39F RRDM/FEV 22. Vitória, fevereiro de 2022.

17 Aqui os componentes abióticos incluem água, sedimentos de restinga, manguezais, praia e mar. Componentes bióticos do ambiente costeiro incluem macroinvertebrados bentônicos, caranguejos de mangue, pássaros, invertebrados praieros, vegetação de mangue e vegetação de restinga. O ambiente marítimo inclui microbiota, fitoplâncton, zooplâncton, ictioplâncton, crustáceos, macroinvertebrados bentônicos, corais, peixes, tartarugas, cetáceos, pássaros e algas.

18 Uma pesquisa no banco de dados Scopus (www.scopus.com), realizada em 13 de junho de 2022, encontrou 46 documentos (palavras pesquisadas TITLE-ABS-KEY (fundao OR samarco) AND impact* AND (coast* OR ocean* OR marine) no período de 2016 a 2022.

Quadro 3 – Alguns estudos sobre o impacto dos rejeitos nos ambientes costeiro e marinho

AUTORES	COMPARTIMENTO OU ECOSSISTEMA	ÁREA DE ESTUDO	PERÍODO DE ESTUDO E AMOSTRAGEM	MÉTODOS
Hatje et al. (2017)	Água e sedimentos	Rio Doce e zona costeira	75 dias após o rompimento da barragem – 5 pontos no mar, perto da foz	Amostragem de água, sedimentos e material particulado em suspensão
Ruddorf et al. (2018)	Água e sedimentos	Plataforma continental na costa capixaba	Maior de 2013 a agosto de 2017 para imagens Landsat-8 e amostragem de água de novembro de 2015 em diante	Análise de imagens Landsat TM5 e Landsat-8 OLI e amostragem de turbidez <i>in situ</i> (amostras coletadas pela Agência Nacional de Águas) para a área próxima da foz. Análise de imagens de satélite MODIS-Acqua para a área mais ampla
Richard et al. (2020)	Água e sedimentos	Zona costeira até ~20 km da costa	Novembro de 2015 a agosto de 2017 28 pontos	Amostragem diária de qualidade de água e semanal de sedimentos em 10 pontos no raio de 5 km da foz do rio, outros 12 pontos nos 5 km seguintes e 6 pontos na área marinha protegida mais distante
Schettini & Hatje, (2020)	Água	Foz do Rio Doce	22 de novembro a 5 dezembro de 2015	Medidas da vazão na foz do rio em distintas fases da maré e amostragem de água a 0,5 m e 2 m de profundidade, duas vezes ao dia, para determinar a concentração de sedimentos e estimar a quantidade de sedimentos e metais despejados
Quaresma et al. (2021)	Sedimentos do leito marinho	Plataforma Continental do Espírito Santo	Outubro de 2015 e abril de 2017	Coleta de 71 amostras de sedimentos de superfície a profundidades de 15 a 40 m e determinação do teor de metais
Longhini et al. (2022)	Água marinha de superfície e de fundo sedimentos de superfície	Plataforma Continental do Espírito Santo	Outubro de 2018 a março de 2020 (28 a 52 meses depois do desastre)	Amostragem mensal e determinação de nutrientes, metais, metaloides e hidrocarbonetos aromáticos policíclicos e cálculo de índices de qualidade

Estes estudos fornecem um contexto útil para as próximas seções e são, portanto, apresentados a seguir.

Ferreira et al. (2022) explicaram como os rejeitos mudaram a dinâmica sedimentar e fluvial do estuário, com base nos trabalhos de Hatje et al. (2017) e Duarte et al. (2021). Ilhas temporárias, arenosas e sem vegetação costumam se formar no estuário, constituídas pelo fluxo de sedimentos grossos (arenosos) (“outras áreas sem vegetação”, Figura 2), mas a chegada dos rejeitos cobriu as ilhas com partículas finas e ricas em oxihidróxido de ferro. Esse ambiente modificado contribuiu para o estabelecimento e crescimento de macrófitas, que, por sua vez, reduziram a turbulência, aumentaram o acúmulo de rejeitos e resultaram na colonização de plantas.

Queiroz et al. (2018) observaram que os rejeitos de ferro depositados nessas ilhas e nas margens dos rios estão associados a metais-traço que, dadas as condições redox dos solos estuarinos, são potencialmente biodisponíveis. Em condições pouco aeradas (anóxicas), o aumento do ferro biodisponível pode induzir a toxicidade de ferro, causando um impacto considerável. Ferreira et al. (2022) demonstraram que pode haver impacto negativo grave na biota, além de apresentar risco para a saúde humana. Diante dessa situação, o governo impôs a proibição da pesca em grande parte da costa capixaba. Bernardino et al. (2019) informaram que a potencial poluição crônica no estuário poderá exigir monitoramento no longo prazo.

Como já existiam mineração, indústria e cidades na região, a bacia do Rio Doce já estava poluída. Assim, os metais-

traço — que se acumularam rapidamente com a chegada dos rejeitos ao estuário — provavelmente se associaram ao óxido de ferro em sua trajetória a jusante. De acordo com Gomes et al. (2017), observou-se uma rápida concentração de metais nos sedimentos por um fator de dois a 20, incluindo ferro, manganês, cromo, níquel, cobre, zinco e arsênico. Constatou-se também a presença de cádmio associada aos rejeitos, com a liberação de arsênico pelo fluxo de lama (Duarte et al., 2021).

Em agosto de 2017, quase dois anos após o rompimento da barragem, as concentrações de ferro, chumbo e metais-traço selecionados em sedimentos do Rio Doce continuavam de duas a 20 vezes maiores do que em estuários menores da costa capixaba, incluindo aqueles com ecossistemas bem preservados, como o estuário do Piraquê-Açu-Mirim, e estuários poluídos, como a Baía de Vitória. Essa última está localizada em uma grande região metropolitana e industrial a cerca de 100 km ao sul (Gomes et al., 2017).

Queiroz et al. (2018) documentaram que os rejeitos enriqueceram os solos do estuário com metais-traço, ressaltando que as características físico-químicas favoreceram a redução do íon férrico (Fe^{3+}). Isso teria aumentado a biodisponibilidade dos metais-traço e, assim, potencialmente contaminado a cadeia trófica.

Gabriel et al. (2020b) encontraram alto risco de contaminação por metais com correspondentes riscos biológicos. A título de precaução, recomendaram tanto a proibição da pesca quanto o monitoramento da saúde das pessoas nas regiões com contaminação crônica de metais.

Gabriel et al. (2021) coletaram e analisaram sedimentos do estuário, e compararam os resultados com os valores em Gomes et al. (2017). Ao coletarem amostras a dois, nove e 11 dias antes da chegada dos rejeitos, definiram uma linha de base (ou de *background*) das concentrações. Assim, calcularam a proporção entre a concentração de metais e metaloides em amostras e a concentração da linha de base, bem como os fatores e índices de risco ecológico. Os autores constataram que “4,2 anos após o impacto, as concentrações de cromo, cobre e níquel ainda eram superiores aos valores orientadores de efeito limiar, enquanto o cádmio e o chumbo excediam os níveis de efeito provável”.

Gabriel et al. (no prelo) também concluíram que “o teor de metais e metaloides nos sedimentos, após o impacto, permaneciam continuamente acima dos valores de *background* para o estuário do Rio Doce”. As concentrações chegaram ao nível mais alto em 2017 e, em seguida, os autores identificaram “um período de estabilidade até 2020”. Presume-se que a redução da maioria das concentrações

de metais seja resultado do “transporte contínuo de rejeitos e metais ligados do estuário para o Oceano Atlântico”. As constatações de Gabriel et al. (2021) são consistentes com o modelo conceitual proposto por Queiroz et al. (2018). Segundo eles, a atividade das plantas no estuário aumentaria o teor de matéria orgânica no solo e poderia estimular a redução de óxidos férricos e, conseqüentemente, liberar metais-traço no corpo d’água.

Gabriel et al. (2021) também realizaram uma análise de risco ecológico, na qual “sugerem que as concentrações de metais e metaloides nos sedimentos são elevadas o bastante para causar efeitos biológicos adversos, apoiando a hipótese de que existe contaminação crônica de longo prazo no ecossistema estuarino”. Isso condiz com os estudos anteriores sobre metais em peixes de Gabriel et al. (2020b), os quais constataram “elevada mobilidade bioquímica de elementos tóxicos entre os sedimentos e a biota de fundo em ecossistemas estuarinos”. Existem, “até o momento, evidências limitadas da acumulação e efeitos ecológicos dos rejeitos no leito marinho a distâncias de mais de 10 km da foz do Rio Doce (Richard et al., 2020), embora rejeitos possam ser transportados por distâncias maiores junto com a pluma fluvial”, ressaltam os autores.

Bernardino et al. (2019) constataram que “a composição de eDNA do Rio Doce é similar à de outros sedimentos estuarinos e marinhos avaliados por métodos de metabarcodificação”.

Richard et al. (2020) coletaram amostras de água e sedimentos alguns dias antes da chegada da pluma de rejeitos à foz do rio e nos 21 meses seguintes. Selecionaram “parâmetros relevantes de qualidade de água”, ou seja, aqueles “que apresentaram alterações persistentes ou repetidas em resposta ao rompimento da barragem”, entre os quais estão o total de sólidos em suspensão, turbidez, ferro total e dissolvido, alumínio e manganês. Para esses parâmetros “foram observados pulsos de elevação logo após a chegada da pluma de rejeitos à zona costeira e durante os períodos chuvosos subsequentes. Os resultados obtidos excedem os resultados observados antes do rompimento, especialmente nas proximidades da foz do Rio Doce. Durante as estações secas, as concentrações tenderam a diminuir, alcançando níveis pré-rompimento em diversos parâmetros, com pequenos pulsos de curto prazo associados a fatores meteoclimáticos”.

Os parâmetros de qualidade de sedimentos de maior relevância são granulometria, ferro, alumínio e manganês. Os autores constataram que “o ferro foi o único que claramente resultou do rompimento da barragem, com mediação da influência do rio e fatores oceanográficos que impactam a distribuição granulométrica”. Concluíram que “o rompimento da Barragem de Fundão impactou a qualidade

da água e dos sedimentos no Oceano Atlântico, com maiores impactos perto da foz do rio e logo após a chegada da pluma de rejeitos, com as concentrações retornando gradualmente aos níveis pré-evento com o tempo”.

Ferreira et al. (2022) mostraram que o aumento da biodisponibilidade em ambientes redox constitui risco ambiental. Os autores demonstraram o papel das plantas na biogeoquímica férrica no estuário e seu potencial na fitoremediação. Descreveram a distribuição do ferro nos distintos compartimentos de plantas, superfícies radiculares, raízes e folhas. De acordo com os estudos dos autores, íons férricos (Fe^{3+}) se formaram nos solos aerados no período em que a biodisponibilidade do ferro permaneceu abaixo do limiar nutricional das plantas. Em solos pouco aerados (condições anóxicas), a solubilidade aumenta acentuadamente devido à dissolução de íons ferrosos (Fe^{2+}). Isso eleva a biodisponibilidade do ferro, podendo induzir toxicidade de ferro com efeitos severos para as plantas e biota. Em resposta, plantas de áreas úmidas podem ter estratégias fisiológicas específicas para lidar com níveis elevados de íons ferrosos (Fe^{2+}) – por exemplo, formando placas de ferro.

No leito marinho, Quaresma et al. (2021) compararam o teor de metais em sedimentos antes e depois do desastre. Encontraram uma “plataforma continental já contaminada por metais-traço e ferro antes do rompimento da barragem”. Tratava-se da geologia local, “mas também de fontes antropogênicas, inclusive da mineração no Quadrilátero Ferrífero” Além disso, antes da chegada dos rejeitos, as concentrações de cobre, chumbo, cromo e níquel já “ultrapassavam os limiares ou níveis de efeito provável, sugerindo que os valores pré-acidente representavam risco para a biota”. Após o desastre, as concentrações de metais na área de estudo aumentaram até se tornarem “consideravelmente piores que antes do rompimento da barragem”. Os rejeitos continham ferro e metais-traço, porém “materiais mais finos certamente agiram como transportadores dos metais-traço presentes ao longo do caminho da lama até a costa, através da captura da fração dissolvida e da remobilização do leito do rio”.

Após o colapso da barragem, Quaresma et al. (2020) observaram um aumento de partículas de argila e silte nos sedimentos de leito da plataforma continental. Os autores discutem como isso pode aumentar a presença de metais-traço no meio ambiente, já que tais elementos são raramente transportados por partículas mais finas.

Longhini et al. (2022) estudaram metais, nutrientes e concentrações de hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (HAP) no oceano. Constataram que a dispersão de contaminantes no mar e ao longo do litoral está vinculada a eventos de enchentes e consequentes descargas intensas de águas fluviais. Essa hidrodinâmica de plataforma elevada e Hs elevado (cenário úmido – 2019/2020) resultou na recuperação da qualidade ambiental no domínio de amostragem dos autores, que explicam que “a ressuspensão de sedimentos finos e nanopartículas de oxihidróxido de ferro em suspensão pelas ondas parece ter sido o principal processo por trás da liberação de metais e metaloides na coluna d’água”. A intensa descarga fluvial na plataforma continental está associada à diluição aquosa de metais e metaloides.

5.3 Outras fontes

Alguns estudos com objetivo de compreender os impactos nas áreas costeiras e marinhas foram realizados separadamente dos estudos da RRDM. Nesta Seção, apresentam-se informações selecionadas de fontes adicionais.¹⁹

Um estudo investigou o possível alcance geográfico da pluma de rejeitos mediante a modelagem das condições hidrosedimentológicas na área ao redor da foz do Rio Doce (Coppetec, 2019). Levando em conta a carga de partículas no rio, a intensidade e direção das correntes oceânicas e outras variáveis, o estudo foi realizado de 1º de novembro de 2015 a 30 de junho de 2019, período em que o fluxo das correntes ao longo da costa dava-se, principalmente, no sentido sul-sudoeste (SSO), consistentemente com padrões previamente estabelecidos. Assim, os sedimentos fluviais e os rejeitos viajaram sobretudo para o sul da foz do rio. Porém, com a chegada de frentes frias do sul, ocorreu uma inversão, e o fluxo das correntes passou a ser no sentido norte-nordeste (NNE). O relatório também observa que, na maior parte do tempo e a uma distância curta da costa, essas correntes fluem para o nordeste.

Segundo estimativas do estudo da Coppetec, aproximadamente 740 mil toneladas de rejeitos fluíram pela foz do rio entre novembro de 2015 e abril de 2016. Após esse período, a massa de sedimentos totais foi considerada irrelevante (p. 28). O relatório não fornece uma estimativa do total da massa de sedimentos nesse período, porém estima

19 Ao realizar suas atividades de aconselhamento e preparar relatórios, é política do Painel do Rio Doce considerar apenas documentos disponíveis publicamente. Não obstante, ao preparar este relatório, o Painel considerou necessário revisar outros estudos, a fim de fornecer uma visão abrangente e inclusiva dos estudos sobre os impactos ambientais nos ambientes costeiros e marinhos.

que a massa total transportada no período de novembro de 2015 a junho de 2019 (rejeitos mais sedimentos fluviais) seja cerca de 7 milhões de toneladas.

O estudo estima a quantidade de sedimentos depositados no fundo do oceano. Em razão das correntes predominantes, a maioria das partículas se encontra na área que se estende da foz do Rio Doce até cerca de 40 km a sul-sudoeste, com largura máxima de aproximadamente 15 km. Os autores observam que 15% da carga total de sedimentos foram transportados para outro local. Por outro lado, os autores esperavam encontrar sedimentos em suspensão até 43 km a norte-nordeste, porém em baixas concentrações (10 a 100 mg/L durante 1 por cento do tempo). A sul-sudoeste, a expectativa era achar sedimentos nessa faixa de concentração em 16 por cento do tempo. O estudo concluiu que os rejeitos contribuíram significativamente para a carga sedimentar nos primeiros 90 dias após o desastre. Depois de 180 dias, observaram uma ressuspensão, com a passagem de frentes frias e aumento da vazão durante o período chuvoso, à medida que outros rios menores fluíam para o mar ao norte e sul do Rio Doce.

Entre abril de 2018 e o final de 2019, empresas de consultoria estudaram a concentração de metais e metaloides nos tecidos de peixes e crustáceos, biomassa de peixes, qualidade de sedimentos, macroinvertebrados bentônicos, fitoplâncton e DNA ambiental (Hydrobiology e Econservation, 2020a., 2020b). As empresas haviam sido contratadas pela BHP Brasil, uma das duas mineradoras proprietárias da Samarco, com o objetivo de “analisar a recuperação dos ecossistemas costeiros e marinhos pós-impacto” (Hydrobiology e Econservation, 2020b, p. 44).

Foram coletadas amostras de duas áreas, a foz do Rio Doce (11 pontos) e a foz do Rio Jequitinhonha (8 pontos), localizado a cerca de 430 km ao norte. O estudo não encontrou evidências de que os rejeitos tivessem mudado as concentrações de metais nos tecidos (Hydrobiology e Econservation, 2020b, p. 46), dizendo que “múltiplas linhas de evidências” tinham sido incapazes de “indicar qualquer impacto nos ecossistemas marinhos e costeiros após o rompimento da Barragem de Fundão” (Hydrobiology e Econservation, 2020a, p. 82).

Outra preocupação importante, nos meses seguintes ao rompimento da barragem, teve relação com possíveis impactos sobre tartarugas marinhas. A costa capixaba é um local de desova da tartaruga cabeçuda (*Caretta caretta*) e da tartaruga-de-couro (*Dermodochelys coriacea*), uma espécie ameaçada de extinção e classificada como

vulnerável pela Lista Vermelha de Espécies Ameaçadas da UICN.²⁰ O período de desova da tartaruga-de-couro — criticamente ameaçada no Brasil — vai de setembro a fevereiro, com pico em novembro e dezembro, exatamente no período da descarga de rejeitos. A área ao redor da foz do Rio Doce é o segundo maior local de reprodução da tartaruga cabeçuda e a única área do litoral brasileiro com registro de desova regular da tartaruga-de-couro (Fundação Projeto Tamar, 2020).

O Projeto Tamar, uma organização brasileira sem fins lucrativos, monitora as tartarugas marinhas ao longo da costa há mais de 40 anos e trabalha com as comunidades locais para protegê-las. Sua base fica na praia de Comboios, em Regência, a cerca de quatro quilômetros da foz do Rio Doce.

Em março de 2018 — contratada pela Fundação Renova e com anuência do CIF — a Fundação Pró-Tamar, que apoia o trabalho de pesquisa do Projeto Tamar, iniciou o monitoramento da reprodução das tartarugas marinhas. O trabalho durou três anos, de agosto de 2017 a julho de 2020, e utilizou quatro pontos de amostragem ao longo de 159 km de litoral, tanto ao norte quanto ao sul da foz do Rio Doce (Colman et al., 2019). Com base em 11 anos de coleta de dados, o Projeto Tamar (2020) concluiu que a chegada das fêmeas ocorreu dentro da faixa de oscilação e que não houve mudanças na distribuição espacial ou temporal. O relatório, contudo, recomendou cautela diante das conclusões, já que o impacto dos rejeitos poderia ser de longo prazo e não era possível descartar a possibilidade de efeitos tardios. Os pesquisadores indicaram a necessidade de estudos contínuos (p. 48).

5.4 Discussão

Os três tipos de fontes examinadas acima ajudam na compreensão dos ecossistemas costeiros e marinhos e indicam como foram impactados pela dispersão dos rejeitos e sedimentos.

As pesquisas resumidas acima incluem uma grande variedade de abordagens realizadas em diferentes momentos após o rompimento da Barragem de Fundão, uma vez que cobrem diversas áreas de estudo e centram-se em uma vasta gama de componentes ecossistêmicos, como água, sedimentos, comunidades bentônicas, fitoplâncton e peixes, entre outros. Os pesquisadores usaram diversas formas de amostragem, constatações de laboratórios e análises de dados. Por terem diferentes objetivos, os trabalhos acadêmicos e os relatórios técnicos

20 A Lista Vermelha de Espécies Ameaçadas™ da UICN é o inventário mais abrangente do mundo sobre a situação de conservação global de espécies da flora e fauna (www.iucn.org/resources/conservation-tools/iucn-red-list-threatened-species).



Imagem © Dida Sampaio / Estação Conteúdo. Todos os direitos reservados.

podem diferir na forma como discutem os resultados e os comparam a outros materiais da literatura. Cabe notar que, embora os trabalhos publicados tenham sido revisados por pares, com a segurança de preservar o anonimato dos autores e revisores, isso não ocorreu com os relatórios técnicos.

Os estudos são apenas uma parte do conjunto mais amplo de trabalhos e relatórios sobre as consequências do rompimento da Barragem de Fundão, e muitas questões não foram tratadas aqui. O crescente conjunto de documentos soma-se ao corpo de conhecimentos e fornece excelente base científica para a tomada de decisões.

Embora as pesquisas e o monitoramento em andamento nas áreas impactadas tenham fortalecido a base de conhecimentos sobre os ecossistemas costeiros e marinhos, assim como o papel desempenhado pelos rejeitos na perturbação desses ecossistemas, ainda há muito a ser estudado. Por exemplo, o dano potencial causado pelo aumento do ferro biodisponível em condições pouco aeradas (anóxicas) pode induzir a toxicidade de ferro, com efeitos potencialmente graves para a biota, podendo ainda apresentar risco para a saúde humana. Outra questão ainda pouco investigada na bacia do Rio Doce é a geração

de compostos sinérgicos prejudiciais que possivelmente resultem em “coquetéis químicos reativos”, capazes de causar ainda mais efeitos na composição da biota e no meio ambiente local.

No entanto, as partes envolvidas no monitoramento e na tomada de decisões sobre a reparação ainda enfrentam um grande desafio, já que a integração de todos os conhecimentos e informações de múltiplas fontes não será tarefa fácil. Quando as perguntas que orientam as pesquisas diferem, os estudos podem chegar a conclusões diferentes ou mesmo conflitantes. No entanto, se quisermos que a ciência fundamente as decisões sobre restauração e indenização, é fundamental integrar informações e conhecimentos de múltiplas fontes. Dada a complexidade dos ambientes costeiros e marinhos e a fragmentação das pesquisas, decifrar o quadro completo é como montar um quebra-cabeça. A incerteza é inevitável e pode ser difícil atribuir uma mudança detectada no meio ambiente a uma causa específica.

Nas seções a seguir, o Painel apresenta abordagens que ajudarão a enquadrar os conhecimentos e informações científicos, além de proporcionar dados para as avaliações pós-impacto.

6. Avaliação dos impactos ambientais de desastres

A literatura sobre avaliação de impacto *ex post* – ou avaliação de impacto pós-desastre – é escassa, especialmente no que diz respeito a impactos ambientais. No entanto, há orientações disponíveis para a avaliação rápida de impactos sociais e econômicos, como, por exemplo, o Manual de Estimativa dos Efeitos Socioeconômicos e Ambientais de Desastres (CEPAL, 2003) e as Notas de Orientação sobre Danos, Perdas e Necessidades do Banco Mundial (Jovel & Mudahar, 2010). Ambos analisam questões como o valor de ativos destruídos ou a perda temporária de produção. Essa última tem o propósito de orientar avaliações de intervenções governamentais de curto prazo, custos de recuperação e reconstrução pós-desastres e gestão ou redução de riscos de desastres. O Banco Mundial publicou outros guias práticos (2015a, 2015b), igualmente voltados para avaliações de impacto social a serem conduzidas o mais rapidamente possível após o desastre. As orientações têm sido aplicadas a vários casos dos chamados desastres “naturais” – como, por exemplo, avaliação das necessidades após inundações e deslizamentos de terra na Índia (Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento et al., 2018). Essas orientações ajudam a estimar as perdas sofridas por pessoas físicas e jurídicas decorrentes de desastres, mas deve-se notar que esforços de restauração e limpeza após desastres tecnológicos, como grandes derramamentos de óleo, também geram impactos econômicos positivos (Cohen, 1995).

Os impactos ambientais são o foco das diretrizes da “Avaliação Ambiental Rápida em Desastres” (Kelly, 2018), que incluem verificar as consequências ambientais das operações de socorro e fornecer orientações para avaliações rápidas imediatamente após o desastre, cujos resultados são usados para conduzir ações de recuperação e restauração.

Esses documentos orientam avaliações de curto prazo, portanto subsidiam respostas de emergência. No entanto, ações de mitigação requerem um entendimento preciso dos impactos duradouros de um desastre: “Quais componentes e processos ambientais foram afetados? Que danos foram causados? Quais são a extensão, a duração e a intensidade desses impactos?”

A literatura sobre os riscos relativos às barragens de rejeitos não costuma responder a essas perguntas, visto que seu foco principal é entender as causas dos incidentes e rompimentos e prevenir eventos futuros. A nova norma internacional sobre gestão de rejeitos (ICMM et al., 2020) contém o seguinte requisito: “No caso de rompimentos catastróficos de instalações de armazenamento de rejeitos, avaliar os impactos sociais, econômicos e ambientais locais o mais rapidamente possível, depois que as pessoas estiverem seguras e as necessidades de sobrevivência de curto prazo tiverem sido atendidas” (Requisito 14.2). No entanto, nem o requisito nem o “compêndio” que acompanha a norma trazem orientações sobre como realizar a avaliação.

Nos Estados Unidos, a prática de avaliar os impactos ambientais de longo prazo de desastres é estruturada e regulada em consonância com um procedimento conhecido como Avaliação de Danos aos Recursos Naturais (NRDA, *Natural Resource Damage Assessment*). O procedimento é acionado por situações como derramamentos de óleo e segue passos padronizados (Mauseth & Parker, 2011). Os recursos naturais danificados ou em risco são identificados por meio de uma avaliação prévia, seguida de levantamentos de campo e outros métodos de coleta de dados para a realização dessa avaliação preliminar, posteriormente concluída em uma segunda etapa para subsidiar o plano de restauração. O passo final é implementar o plano e monitorar a implementação. A consulta pública é exigida durante todo o processo, pois deve ser elaborada uma declaração de impacto ambiental para avaliar as alternativas de restauração e seus prováveis impactos.

Um exemplo importante da NRDA é o desastre da plataforma de petróleo *Deepwater Horizon*, quando uma plataforma de petróleo *offshore* lançou cerca de 500 mil m³ de petróleo no Golfo do México. A explosão da plataforma, que ocorreu em 20 de abril de 2010, ocasionou “o maior derramamento de petróleo da história dos EUA” (NOAA, 2016, p. 4-69), que durou 87 dias. A avaliação de impactos, segundo a qual a mancha de óleo afetou cerca de 112 mil km² de superfície do mar, 1.000 km² de fundo do mar e pelo menos 2.100 km de litoral (NOAA, 2016), fornece uma abordagem útil para avaliar o impacto da dispersão de rejeitos de Fundão nos ambientes costeiro e marinho. Os aspectos selecionados são apresentados a seguir.

Primeiro, para determinar os danos (*injury*),²¹ um comitê de representantes de órgãos governamentais responsáveis (*Trustees*)²² definiu o grau (gravidade), a extensão geográfica e a extensão temporal (período de tempo) dos danos e perdas de serviços ocorridos. Para tanto, compararam os recursos e serviços danificados com condições de linha de base, ou seja, a condição que teria existido se o incidente da *Deepwater Horizon* não tivesse ocorrido. Como não puderam quantificar todos os danos, “o comitê se concentrou nos casos em que a quantificação do dano poderia ser mais útil para o planejamento da restauração” (Seção 1.5.1.2).

O porte do derramamento de óleo e da área atingida significava que “a avaliação de todos os recursos naturais potencialmente danificados em todos os locais potencialmente atingidos pelo óleo era proibitiva e cientificamente impraticável. Por essas razões, o comitê decidiu que não seria viável estudar todas as espécies ou habitats potencialmente atingidos pelo incidente, em todos os locais expostos ao óleo ou a atividades de resposta. Em vez disso, adotaram uma abordagem ecossistêmica de avaliação, analisando os danos em um conjunto de habitats, comunidades e espécies representativas, bem como serviços humanos, processos ecológicos e vínculos ecológicos selecionados. O comitê usou as informações coletadas para desenvolver conclusões cientificamente embasadas não apenas sobre os danos aos recursos, processos e locais estudados, mas também por inferência científica (Seção 4.1.5.3) sobre danos a recursos, processos ecológicos e locais que não puderam avaliar diretamente” (p. 4-9).

Consequentemente, o estudo foi orientado para componentes selecionados:

- Para avaliar os impactos nos recursos da coluna d’água, uma vez que espécies representativas de peixes foram selecionadas para avaliar os danos à grande variedade de peixes no Golfo.
- No ecossistema marinho costeiro, espécies selecionadas, como camarão marrom, tambor vermelho (cantarilho) e ostras, foram escolhidas “para representar os diversos tipos de fauna que vivem nas margens das salinas costeiras”.
- Para avaliar o dano às salinas costeiras, que suportam vários processos ecossistêmicos importantes, pois “o comitê considerou um desses processos (o papel do habitat saudável das salinas costeiras na estabilização dos pântanos e na desaceleração das taxas de erosão costeira) como representativo de outros processos ecológicos que os pântanos suportam” (p. 4-10).

No nível de ecossistema, “o comitê analisou danos em uma série de componentes e funções dos ecossistemas do Golfo do México”. A avaliação de danos “foi realizada em várias escalas de organização, incluindo os níveis celular, individual, de espécie, de comunidade e de habitat e considerou os requisitos da história de vida e a biologia reprodutiva do organismo, avaliando danos em organismos embrionários e juvenis e em organismos adultos” (p. 4-10).



Vistoria realizada pelo Ibama em julho de 2016 no trecho atingido pelo rompimento da barragem de rejeitos da mineradora Samarco, em Mariana, Minas Gerais.

Copyright © Felipe Werneck/Ibama

21 Na NRDA, *injury* é o termo usado para designar impactos nocivos aos recursos naturais. De acordo com a Administração Nacional de Oceanos e Atmosfera dos Estados Unidos: “Durante essa fase, realizamos estudos científicos para identificar e quantificar os impactos negativos da poluição ou de danos físicos, incluindo aqueles resultantes de limpeza ou de outras ações tomadas como parte de uma resposta” (<https://darrp.noaa.gov/getting-restoration/assessment>).

22 Os Trustees são equivalentes ao Comitê Interfederativo. O grupo inclui vários órgãos do governo federal e representantes dos governos dos cinco estados afetados.

Finalmente, quando necessário, usaram não apenas evidências diretas de impacto, mas também aplicaram “inferência científica [...] para tirar conclusões bem embasadas sobre os recursos e locais que não puderam ser avaliados na prática”. O estudo de avaliação de impacto esclarece que a “inferência científica é o processo de uso de dados, observações e conhecimentos para extrair conclusões razoáveis sobre coisas que podem não ter sido observadas diretamente” (p. 4-13).

Uma abordagem prática diferente para avaliação ambiental *ex post* de desastres é empregada no Canadá. Quando a barragem de rejeitos da mina de cobre e ouro de *Mt. Polley* se rompeu em 4 de agosto de 2014, lançou cerca de 25 milhões de m³ de rejeitos, materiais de construção e água em ambientes fluviais e lacustres. Um Relatório de Avaliação de Impacto Ambiental Pós-evento foi elaborado de acordo com a legislação do governo provincial sobre respostas a emergências ambientais (Golder Associates, 2016). Avaliações de saúde humana e de risco ecológico foram posteriormente elaboradas – em maio e dezembro de 2017, respectivamente – e uma abordagem em fases foi adotada para a elaboração de um Plano de Remediação, finalmente concluído em março de 2019 (Golder, 2019).

Uma avaliação de impacto de curto prazo e a elaboração de um modelo conceitual de terreno para identificar as vias de impacto foram seguidas de um relatório de impacto ambiental que trazia a investigação detalhada de solos, águas subterrâneas e águas superficiais, bem como a qualidade dos sedimentos, avaliação de riscos e a descrição das opções de remediação. Estudos para identificar os impactos físicos, químicos e biológicos foram realizados nos primeiros seis a oito meses após o rompimento da barragem. Dez meses mais tarde, o relatório final foi divulgado publicamente e medidas de remediação foram posteriormente implementadas.

Comum a ambos os casos é a existência de um marco regulatório anterior ao desastre, que orientou tanto as avaliações de impacto quanto a elaboração de planos de remediação. Por outro lado, os dois exemplos diferem muito, pois um representa um grande derramamento de óleo, que atingiu vastas áreas de ambientes costeiros e marinhos, com importantes impactos socioeconômicos, enquanto o outro um vazamento de rejeitos de mina, cujos impactos ficaram essencialmente restritos aos ambientes fluviais e lacustres próximos. As abordagens regulatórias também foram diferentes nos dois exemplos.

Há vários anos, a NRDA vem sendo aplicada nos Estados Unidos em casos de derramamento de óleo pequeno e grande, subsidiando ações conjuntas estaduais e federais. A

avaliação de danos (impactos) é obrigatória para a definição de alternativas de restauração, que requerem uma avaliação aprofundada com base em procedimentos estatutários de avaliação de impacto ambiental (AIA) nos termos da Lei de Política Ambiental Nacional de 1969 – a legislação pioneira no mundo sobre AIA. Na Colúmbia Britânica, as disposições para gerenciar locais contaminados, nos termos da Lei de Gestão Ambiental, aplicam-se também às áreas atingidas por rejeitos de mineração. Uma avaliação do local foi elaborada, os impactos e os riscos para a saúde humana e os ecossistemas foram identificados e avaliados, e um relatório sobre a AIA, com um resumo dos resultados, foi posteriormente protocolado. A avaliação de riscos, ferramenta amplamente usada na gestão de locais contaminados, foi criada para subsidiar as decisões de remediação.

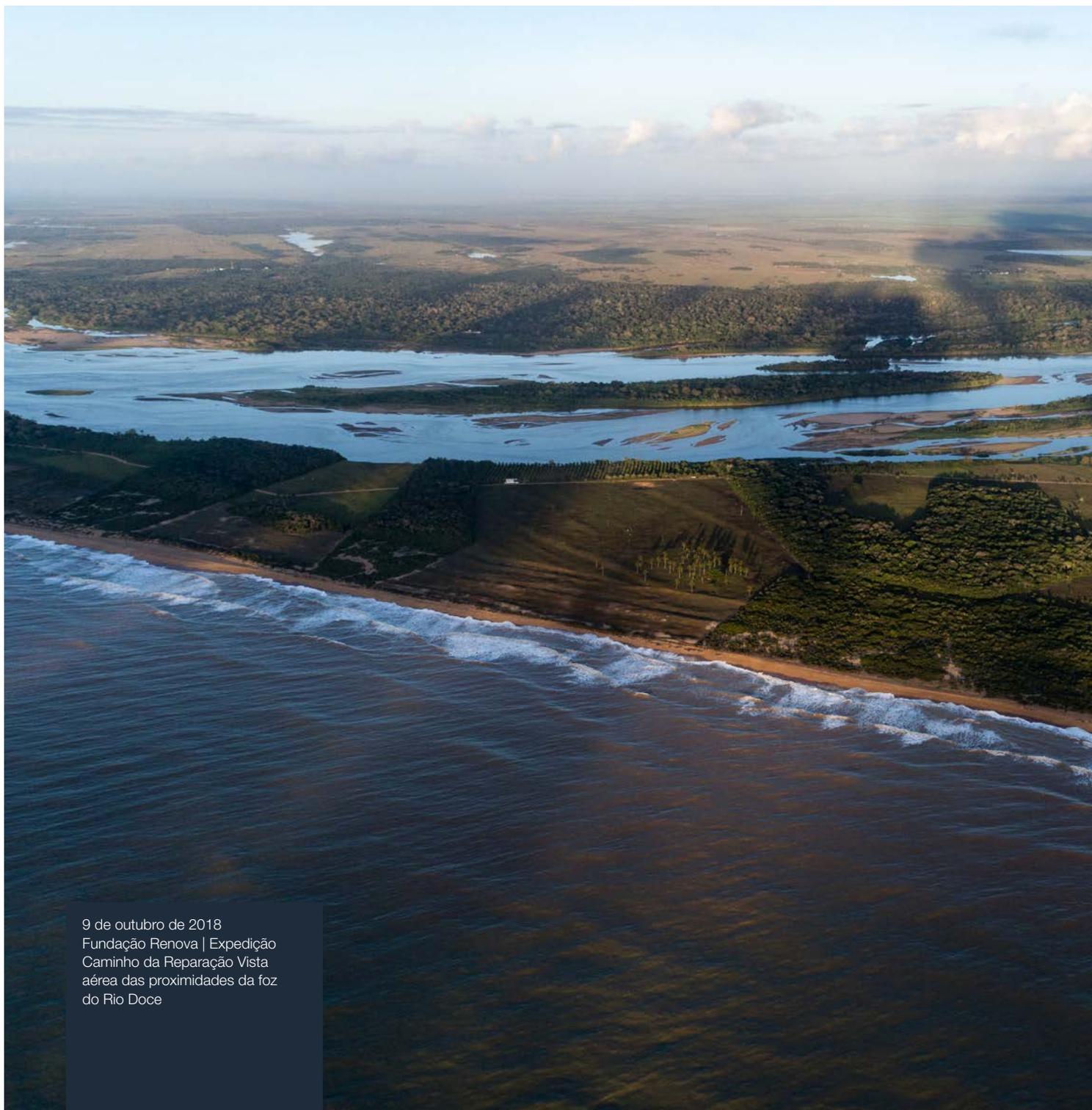
As incertezas são explicitamente reconhecidas nos documentos de avaliação em ambos os casos, e as principais constatações são resumidas para facilitar o envolvimento das partes interessadas. Os casos oferecem lições úteis para a avaliação dos impactos de outros desastres. São relevantes para o Rio Doce, uma vez que o incidente da *Deepwater Horizon* atingiu ambientes costeiros e marinhos, e o *Mt. Polley* é um caso bem documentado e recente de impactos ambientais decorrentes do rompimento de uma barragem de rejeitos. Não foi possível encontrar outras informações bem documentadas e disponíveis publicamente sobre avaliação de impactos de outros lançamentos de rejeitos importantes, apesar do alto número de rompimentos.²³

Desastres de grandes proporções causam uma série de impactos ambientais e sociais interconectados, cujas consequências podem ser estudadas sob abordagens diversas, embora complementares, incluindo a justiça ambiental (Malin et al., 2019) e a avaliação *ex post* de impactos sociais (Gill & Ritchie, 2020). O Painel do Rio Doce abordou impactos sociais em outras publicações (Alonso et al., 2019; Brito et al., 2019; May et al., 2019; Maroun et al., 2021). No momento da redação do presente Relatório Temático, considerou-se que ainda havia lacunas importantes sobre os impactos ecológicos nos ecossistemas costeiro e marinho, que é o foco principal deste relatório.

Na próxima Seção, é apresentada a abordagem proposta pelo Painel, que se baseia na bem estabelecida literatura sobre avaliação de impacto ambiental *ex ante*, nas recomendações anteriores do Painel do Rio Doce para avaliações abrangentes de impactos pós-desastre (Sánchez et al., 2019) e nas lições dos casos mencionados anteriormente.

23 <https://worldminetailingsfailures.org/>

7. Abordagem sob medida para avaliar os impactos dos rejeitos nos ambientes costeiro e marinho



9 de outubro de 2018
Fundação Renova | Expedição
Caminho da Reparação Vista
aérea das proximidades da foz
do Rio Doce



Imagem © NITRO Historias Visuais

Sete anos se passaram desde o rompimento da Barragem de Fundão, e um grande volume de dados já foi coletado. O desafio agora é **transformar esses dados e informações em conhecimento, que subsidiará de forma útil as decisões sobre mitigação de impactos.**²⁴ Está além do escopo deste estudo emitir recomendações sobre a aplicação desse conhecimento para fins de reparação ou compensação. No entanto, o Painel observa que uma estrutura de governança mais apropriada e funcional facilitaria a aplicação do conhecimento que temos para fins de mitigação, compensação e restauração. O Painel do Rio Doce aborda esse tema em outra publicação (Maroun et al., 2021).

Uma análise dos impactos ambientais nas áreas costeiras e marinhas da foz do Rio Doce²⁵ ajudaria a subsidiar as decisões sobre mitigação, mas essa análise ainda não foi realizada. Esta Seção apresenta um marco conceitual de avaliação de impactos que pode ser de interesse para avaliações de impacto ambiental de outros desastres.

7.1 Fundamentos

Idealmente, o monitoramento ambiental que se segue a um desastre de grandes proporções deveria ser estruturado em torno de hipóteses de impacto. A literatura sobre avaliações de impacto ambiental *ex ante* estabelece essa metodologia de forma clássica (Beanlands & Duinker, 1983). No caso do rompimento da Barragem de Fundão, porém, há o Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática, de longo prazo, liderado pela Rede Rio Doce Mar (Seção 5.1), os estudos realizados logo após o rompimento da barragem (Seção 5.1), uma série de publicações científicas (Seção 5.2), algumas delas de autoria de pesquisadores da RRDM e outras independentes, bem como outros relatórios técnicos (Seção 5.3). Com base nesses documentos, é preciso extrair informações e conhecimento para avaliar impactos e planejar a restauração.

24 O termo mitigação de impactos é usado aqui, como em outras publicações do Painel, para abranger ações de remediar, restaurar e compensar impactos adversos.

25 Recomendação 1 do 1º Relatório Temático do Painel

Este relatório usa os termos “dados”, “informação” e “conhecimento”, conforme mencionado no Quadro 4. Os programas de monitoramento coletam *dados* e, quando devidamente interpretados, eles se tornam *informação*,

o que determina, por exemplo, se uma alteração em um parâmetro ambiental está associada à presença ou à dispersão de rejeitos ou dos sedimentos mobilizados pela movimentação de rejeitos ao longo do canal do Rio Doce.

Quadro 4 – Dados, informação e conhecimentos no escopo da avaliação de impactos e gestão ambiental

TERMO	CONCEITO	EXEMPLOS
Dados	<ul style="list-style-type: none"> · símbolos capturados (gravados e armazenados) e leituras de sinais · fatos objetivos (números, símbolos, figuras) sem contexto e interpretação 	<ul style="list-style-type: none"> · resultados brutos do monitoramento · consumo de água em uma planta industrial
Informação	<ul style="list-style-type: none"> · mensagem contendo significado relevante para decisão ou ação · dados em contexto 	<ul style="list-style-type: none"> · qualidade da água em determinado local e momento · percentual de emissões temporais está abaixo ou acima de um limite
Conhecimento	<ul style="list-style-type: none"> · cognição (saber o quê) · capacidade de atuação (saber como) e · entendimento (saber por quê; saber onde) 	<ul style="list-style-type: none"> · eficácia da mitigação · como evitar ou reduzir impactos · área de influência de um projeto

Fonte: Sánchez (2012).

Nesse ponto, portanto, dois desafios fundamentais, mencionados a seguir, devem ser enfrentados na tentativa de transformar dados e informações em conhecimento sobre os impactos do rompimento da Barragem de Fundão em ambientes marinhos e costeiros:

- sistematizar dados de monitoramento com o propósito específico de avaliar os impactos.
- inferir causalidade com base em dados não experimentais.

Ao contrário dos dados experimentais coletados em laboratório, os dados de campo apresentam o desafio de “desenredar as relações causais na ausência de experimentos” (Larsen et al., 2019). O monitoramento pode detectar a presença ou dispersão de rejeitos, mas o elo causal com os rejeitos da Barragem de Fundão ainda precisa ser estabelecido.

É importante que a coleta de dados também siga um desenho amostral adequado. Uma hipótese deve ser estabelecida com base em fundamentos teóricos e, em seguida, testada em um experimento. No caso do rompimento da barragem de Fundão, presume-se que quaisquer alterações ambientais possam estar ligadas ao rompimento da Barragem. O processo tornou-se, portanto, uma questão de **usar dados de monitoramento para extrair evidências de impactos**.

Isso pode ser feito de duas maneiras:

- Comparação a uma situação de referência no passado (comparação diacrônica)
- Comparação a uma situação de referência no presente (comparação sincrônica)

Ambas devem ser acompanhadas de análises estatísticas apropriadas, além de corroborarem as conclusões. A comparação com uma situação de referência ou normas ambientais, como diretrizes da qualidade de sedimentos, pode ajudar a extrair evidências de impacto, mas, de modo geral, essa abordagem é incapaz de comprovar os impactos identificados.

Uma abordagem frequentemente empregada para testar hipóteses com dados experimentais é a BACI – Before-After/Control-Impact (Antes-Depois/Controle-Impacto). A técnica mede as variáveis de interesse em dois tipos de local: o que está sujeito a alterações ou impactos específicos e aquele que não está (Runde et al., 2021).

As três perguntas abaixo podem ajudar a identificar os impactos:

1. O monitoramento foi desenhado para testar os impactos hipotéticos?

2. Os dados do monitoramento mostram evidências de alteração ambiental?
3. As evidências de alteração são também evidências de impacto?

As alterações ambientais são sempre relativas a um estado ou condição supostamente não afetado pelo fenômeno que está sendo investigado. A condição de “não afetado” pode ser o estado anterior (antes do rompimento da barragem) ou o estado de uma área semelhante não perturbada pelo fenômeno em questão. Alterações ambientais acarretam modificações no estado de um componente – como comunidades bentônicas ou sedimentos estuarinos – ou em processo natural. Um exemplo desse último é descrito por Queiroz et al. (2018), que observaram que a biodisponibilidade de metais traço era inicialmente menor nos solos do estuário do Rio Doce, mas, quando uma camada de sedimentos rica em óxido de ferro foi depositada (rejeitos), o crescimento subsequente das plantas aumenta o teor de matéria orgânica, o que estimula a redução do ferro e a consequente liberação de metais traços no corpo d’água (fase aquosa), tornando-os biodisponíveis. Nesse caso, os rejeitos modificaram, portanto, os processos biogeoquímicos estuarinos.

Impactos ambientais são as consequências de ações humanas que modificam processos naturais ou sociais (Sánchez, 2020). Deve-se sempre estabelecer uma relação causal entre uma ação e suas consequências (ou impactos) em receptores ou componentes ambientais específicos (Perdicoulis & Glasson, 2009, 2012). Em uma avaliação de impacto *ex ante*, é preciso associar eventuais impactos às atividades que serão desenvolvidas em um projeto. Nas avaliações *ex post*, uma alteração ambiental detectada deve estar associada ao fenômeno sob investigação, para que as alterações sejam qualificadas como impactos ambientais.

Assim, evidências de alteração ambiental devem ser obtidas e, em seguida, testadas para verificar se correspondem a evidências de um impacto ambiental. Para serem transformadas em evidências de impacto, as evidências de alteração devem estar associadas ao fenômeno sob investigação. No caso do rompimento da Barragem de Fundão, quaisquer alterações detectadas empiricamente devem estar associadas à **presença ou dispersão de rejeitos** ou à **remobilização de sedimentos preexistentes transportados com rejeitos do canal do rio, margens e várzea**.

As relações causais são construídas com base em associações lógicas. Elas podem ser representadas graficamente, por meio de redes de interação ou de diagramas causais descritivos (Perdicoulis, 2016; Sanchez, 2020; Voegeli et al., 2019), usando-se diagramas ilustrativos

(por exemplo, Queiroz et al., 2018), ou descritos em formato narrativo (Eccleston, 2000), fundamentadas em uma teoria ou conceito.

Independentemente de como é descrita, uma associação lógica produz um impacto **hipotético**. O monitoramento pode detectar alterações, mas na ausência de teoria torna-se mais difícil confirmar se essas alterações configuram impactos.

Para facilitar a tarefa de comprovar evidências de impacto com base em dados de monitoramento, é imprescindível que o processo seja bem documentado para ser transparente e rastreável. Recomenda-se uma abordagem em duas fases. Primeiro, estabelecem-se as relações causais e os impactos descritos ou caracterizados. Em seguida, determina-se a importância de cada impacto para priorizar as medidas de mitigação. As seções a seguir apresentam recomendações para as duas etapas.

7.2 Identificação e caracterização de impactos

Com base nas ideias mencionadas anteriormente e na coleta e análise de dados até o momento, sugere-se a abordagem descrita a seguir para estruturar a identificação e a caracterização de impactos. O Painel propõe o uso de um quadro sinóptico para registrar os impactos, suas características e fontes de evidência (Quadro 5). Na próxima Seção são descritas recomendações para avaliar a importância desses impactos.

Interpretar os dados de campo para completar o quadro sinóptico exigirá colaboração entre especialistas de diferentes disciplinas. Além de especialistas das diferentes ciências naturais e sociais, o Painel recomenda enfaticamente a inclusão de profissionais com treinamento ou experiência em avaliação de impacto. O quadro deve representar o melhor conhecimento disponível. Versões sucessivas podem ser atualizadas à medida que novos dados são coletados e interpretados.

Para facilitar a visualização das informações, um quadro sinóptico pode ser elaborado para cada ambiente afetado: estuarino, costeiro e marinho. Em vários aspectos, essa versão é semelhante à proposta anterior do Painel do Rio Doce (Sánchez et al., 2018). Uma das principais diferenças é que no Quadro 5 enfatiza-se a necessidade de documentar como os impactos foram identificados, explicitando os tipos e as fontes de evidência usadas, bem como o grau de confiança ao confirmar que as alterações ambientais estão associadas à dispersão de rejeitos ou à remobilização de sedimentos.

I. Componente afetado. A escolha dos componentes segue critérios semelhantes aos das avaliações *ex ante*. Altos níveis de agregação, como “impactos sobre a fauna”, não devem ser usados. Ao contrário, a pergunta deve ser ***o que foi – ou pode ter sido – afetado pela presença ou dispersão de rejeitos ou pela remobilização de sedimentos?*** Pode ser conveniente, antes de mais nada, dividir esses componentes de acordo com o tipo de ambiente afetado - estuarino, costeiro ou marinho. Para tal, é preciso identificar os limites desses ambientes.

Os componentes podem ser divididos em subcomponentes, já que essa subdivisão pode facilitar a interpretação do conteúdo do quadro. Um nível excessivo de agregação

dificulta a caracterização dos impactos e a seleção dos indicadores.

II. Impact. É importante que os impactos sejam descritos em expressões concisas e precisas. O enunciado do impacto deve ser uma descrição sintética da alteração e de seu sentido (por exemplo: “degradação de...”, “aumento de...”). Ou seja, um enunciado de impacto pode ser, por exemplo, o “aumento da concentração de metais nos músculos dos peixes”. Essa declaração concisa deve ser inserida no quadro. No entanto, deve ser detalhada ou explicada para que seja plenamente entendida. Por exemplo, devem ser fornecidos mais detalhes sobre os metais que foram detectados e quais espécies de peixe.



Imagem aérea de outubro de 2017 da área afetada pelo rompimento da Barragem de Fundão, em Mariana, Minas Gerais.

Imagem © Vinícius Mendonça/lbama

Também é importante saber a dimensão do aumento de concentração (magnitude do impacto), onde ele foi detectado (área atingida) e quanto tempo durou (duração do impacto). Essas três características são atributos usados para descrever o impacto e devem ser inseridas em outras colunas do quadro. Uma narrativa explicando o impacto também pode ser útil.

Deve-se ter cuidado para que o enunciado descreva o que aconteceu (ou acredita-se ter acontecido) com o componente, e não o que foi medido em relação a esse componente. Assim, um enunciado como “alteração em determinado índice” não é o mais apropriado para descrever um impacto. Embora não exista uma forma padrão de se designar um impacto, Ibama (2020) e Minambiente (2021) sugerem uma terminologia consistente que pode ser útil como abordagem inicial.

III. Tipo de evidência. Em uma revisão *ex post*, as evidências de impacto podem ser obtidas de duas maneiras:

- **Evidência empírica:** impacto detectado por meio de monitoramento e/ou experimentação.
- **Associação lógica:** impacto potencial não verificado empiricamente, mas logicamente associado à dispersão de rejeitos e/ou percebido por profissionais ou comunidades locais. Uma associação lógica pode ser corroborada por observação de campo ou pela comparação a uma condição anterior à perturbação, incluindo comparação com base em conhecimento local.

As evidências empíricas são mais fortes do que as associações lógicas, mas essas últimas não devem ser descartadas em avaliações de impacto retrospectivas. Pode haver várias razões que impossibilitam a obtenção de evidências empíricas, por exemplo erros cometidos na concepção, na coleta ou na análise da amostragem (Lindenmeyer et al., 2022), ou o fato de o impacto não ser detectável quando o monitoramento começou, seja porque ele foi de curto prazo ou, ainda, porque não houve impacto.

No caso da *Deepwater Horizon*, a categoria usada para impactos não estudados foi “inferência científica”, entendida como “o processo de uso de dados, observações e conhecimento para chegar-se a conclusões razoáveis sobre coisas que podem não ter sido diretamente observadas” (NOAA, 2016). A inferência científica equivale à associação lógica.

IV. Fonte de evidências. Esta coluna pode ser preenchida com informações sobre como o impacto foi evidenciado. As evidências empíricas podem vir de uma ou de ambas as comparações:

- **Comparação diacrônica**
- **Comparação sincrônica**

Se a fonte for associação lógica, essa expressão pode ser inserida na coluna e, preferencialmente, complementada no texto com explicações sucintas sobre a associação.

V. Trajetória do impacto. Uma breve descrição da relação causal entre o impacto identificado e os rejeitos deve ser fornecida para descrever como a presença ou dispersão dos rejeitos ou a remobilização de sedimentos de trechos fluviais através dos quais os rejeitos foram transportados afetou – ou pode ter afetado – o componente ambiental em questão. Pode ser usado um diagrama causal para ilustrar a trajetória.

VI. Outras ações passadas ou presentes que afetam o componente. Avaliações de impacto com foco em componentes ambientais são denominadas cumulativas, portanto, são considerados outras ações antrópicas e outros processos naturais que influenciam o componente selecionado. Nesse estudo, deve ser possível indicar brevemente as principais ações passadas e presentes que podem contribuir ou ter contribuído para alterações ambientais, caracterizadas como impacto para fins dessa avaliação.

VII. Grau de confiança na associação. Essa coluna descreve o grau de confiança na associação (ou no elo) entre a alteração ambiental detectada e a perturbação – nesse caso, a presença ou a dispersão de rejeitos ou sedimentos nas áreas costeira e marinha. O objetivo de atribuir um grau de confiança é avaliar a qualidade das evidências para seu uso subsequente nas decisões sobre mitigação.

O grau de confiança pode ser classificado por tipo de evidência (empírica ou associação lógica) com base numa escala qualitativa. Em evidências empíricas, o grau de confiança deve ser atribuído com base na (i) interpretação dos resultados de monitoramento; (ii) no acordo entre diferentes fontes de evidência; e (iii) no julgamento sobre a adequação do monitoramento. Sugere-se a seguinte escala:

- **Comprovado:** os dados de monitoramento, que foram devidamente interpretados por meio de suporte estatístico apropriado, comprovam a causalidade entre a dispersão de rejeitos ou a remobilização de sedimentos fluviais e a alteração ambiental detectada; a causalidade está documentada em diferentes fontes da literatura, especialmente naquelas revisadas por pares; os métodos e procedimentos de monitoramento são adequados e foram descritos com precisão.

- **Provável:** os dados de monitoramento, que foram devidamente interpretados por meio de suporte estatístico apropriado, indicam que a dispersão de rejeitos ou a remobilização de sedimentos fluviais podem ter causado a alteração ambiental detectada; a causalidade não está documentada em diferentes fontes da literatura, especialmente naquelas revisadas por pares, e as diferentes fontes apresentam resultados discrepantes; os métodos e procedimentos de monitoramento são adequados e foram descritos com precisão.
- **Improvável:** os dados de monitoramento, que foram devidamente interpretados por meio de suporte estatístico apropriado, indicam que a dispersão de rejeitos ou a remobilização de sedimentos fluviais podem ter causado a alteração ambiental detectada; embora a causalidade possa ter sido sugerida ou estar documentada em algumas fontes, especialmente naquelas por pares, há resultados discrepantes entre as fontes; além disso, os métodos e procedimentos de monitoramento são questionáveis e não foram completa e adequadamente descritos.

A análise pode concluir que **não foi detectado um impacto**, desde que os dados de monitoramento tenham sido devidamente interpretados e uma possível causalidade tenha sido investigada por meio de um desenho amostral adequado. Além disso, a análise pode ser **inconclusiva**, conforme discutido a seguir.

Também deve ser atribuído um grau de confiança aos impactos identificados por meio de associação lógica. É de se esperar que, em qualquer avaliação de impacto *ex post*, dados estatisticamente significativos não serão obtidos para a maioria dos impactos, exigindo, assim, que a confiança seja avaliada com base em outros critérios. Associações lógicas são construídas com base no conhecimento de processos ecológicos e podem mobilizar tanto conhecimento científico quanto conhecimento local e uma combinação de raciocínio teórico e observação de campo. Por exemplo, os pescadores podem fazer comparações entre a condição pré e pós-perturbação da pesca ou de outro recurso avaliado. Uma alteração percebida pode ser avaliada conjuntamente por especialistas e pessoas locais experientes e diagramas causais podem ser usados para formalizar uma associação. A robustez das associações lógicas pode ser avaliada por um grupo de especialistas, com base em uma técnica de busca de consenso ou em um método de obtenção de opiniões de especialistas, no caso de incerteza devido a dados insuficientes (Hemming et al., 2018), mesmo que essas técnicas tenham sido concebidas para estudos prospectivos (Filyushkina et al., 2018). Uma escala qualitativa de dois ou três níveis pode ser usada para

classificar o grau de confiança na associação lógica entre a perturbação e o impacto – por exemplo, confiança alta, moderada ou baixa.

O grau de confiança na associação, portanto, depende da confiabilidade das fontes, tornando o julgamento profissional inevitável, inclusive sobre a solidez do tratamento estatístico dado aos dados de monitoramento. Se as fontes divergirem, o maior grau de confiança deve ser atribuído às evidências obtidas por meio de monitoramento e documentadas em fontes revisadas por pares, particularmente artigos publicados em revistas especializadas com políticas de publicação seletivas. Isso não quer dizer que relatórios inéditos não sejam confiáveis. Os profissionais envolvidos na elaboração de um relatório podem não ter interesse ou tempo para enviar manuscritos a revistas acadêmicas, ou um manuscrito submetido pode estar ainda na fase de revisão quando os impactos estiverem sendo avaliados.

A Figura 2 mostra uma sequência de perguntas que podem ajudar a definir o grau de confiança em uma associação entre uma alteração detectada e sua causa, o que significa, nesse caso, a presença ou dispersão de rejeitos ou a remobilização de sedimentos nos trechos do rio pelos quais os rejeitos foram transportados. Ambas as fontes de evidências – monitoramento e associação lógica – são classificadas.

Usando-se o esquema proposto na Figura 2, pode-se chegar à conclusão de que não há evidências de impacto. Além disso, a análise também pode ser inconclusiva, seja devido ao desenho amostral inadequado ou a problemas práticos na amostragem ou nas análises. Esses últimos problemas podem incluir a perda de amostras ou a incapacidade de acessar locais de amostragem.

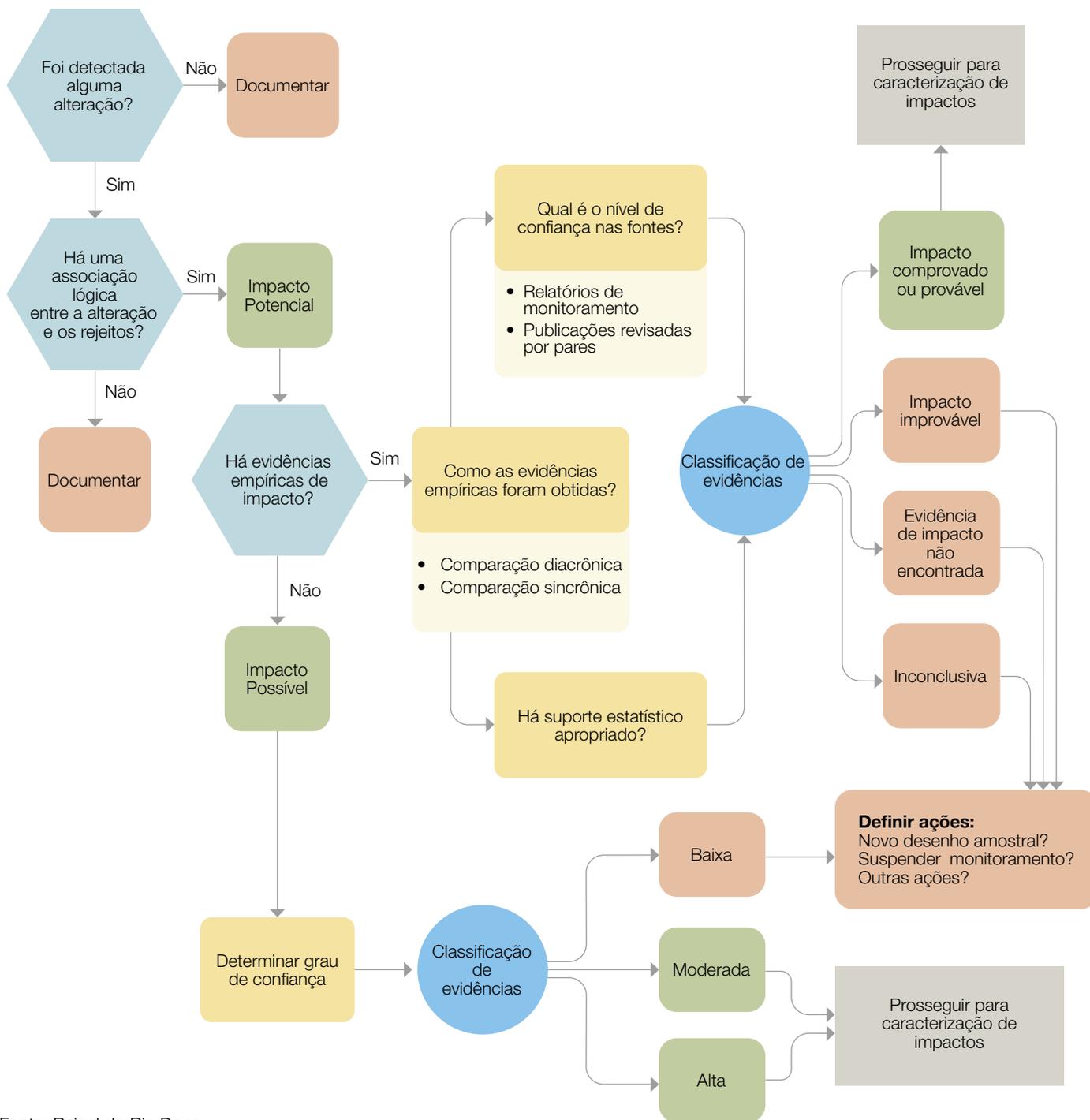
Em outras áreas onde são recomendadas ações baseadas em evidências, como decisões sobre saúde humana (Ministério da Saúde, 2015) e administração de empresas (Baba & HakemZadeh, 2012), também são necessárias avaliações sobre a qualidade das evidências. Empregado na área de saúde, o sistema GRADE classifica as evidências em quatro níveis – alto, moderado, baixo e muito baixo. A classificação baseia-se nos níveis de confiança das diferentes fontes de informação e em outros fatores que podem aumentar ou diminuir a qualidade das evidências (Guyatt et al., 2008).

A abordagem aqui proposta avalia a qualidade das evidências com base nos níveis de confiança nas fontes e na medida em que os dados receberam o tratamento estatístico adequado (Figura 2). Essa coluna do quadro sinóptico deve incluir um texto explicativo sucinto sobre o raciocínio da equipe, usando as perguntas na Figura 2 como suporte.



Encontro do Rio Piranga com o Rio do Carmo, dando origem ao Rio Doce, atingido pelo rompimento da barragem de rejeitos da mineradora Samarco, em Minas Gerais. Imagem de julho de 2016.

Figura 2 – Fluxograma para classificar o grau de confiança na associação entre um impacto ambiental e a fonte da perturbação



Fonte: Painel do Rio Doce

O fluxograma apresenta três resultados possíveis da análise confiança de evidências empíricas: (i) um impacto foi comprovado ou mostrou ser provável; (ii) nenhuma evidência de impacto foi encontrada; ou (iii) não é possível chegar a uma conclusão. No primeiro caso, se um impacto foi documentado, a análise deve caracterizar e avaliar o impacto. Se não foram encontradas evidências, em princípio nenhuma ação adicional seria necessária, mas

cabe observar que “nenhuma evidência encontrada” é diferente de “ausência de impacto”. Uma constatação de falta de evidência pode resultar de um desenho amostral deficiente ou do fato de que o impacto foi de curta duração e não pode mais ser detectado, ou mesmo que nenhum efeito foi mensurável. Finalmente, mesmo após um longo período de monitoramento, o resultado ainda pode ser inconclusivo. É concebível que certas situações sempre

serão inconclusivas, independentemente de quantos estudos sejam feitos, e uma decisão sobre a possível suspensão do monitoramento deve ser tomada.

VIII a XII. Caracterização do impacto. Uma vez identificado, um impacto precisa ser descrito de acordo com características preestabelecidas. Três atributos (ou características) fundamentais são usados para descrever impactos ambientais: magnitude (intensidade do impacto), extensão espacial (tamanho da área na qual o impacto pode ser detectado) e duração. Magnitude, extensão e duração não são variáveis independentes. Um impacto é muitas vezes mais intenso próximo à sua fonte e pode tender a enfraquecer com o tempo e a distância da perturbação.

VIII, IX e X. Magnitude do impacto. Magnitude é uma descrição da intensidade ou de “quanto” um componente ambiental foi afetado. A magnitude de um impacto descreve o desvio de uma condição de referência. Ou seja, representa a diferença entre a condição atual ou real e a condição futura prevista sem perturbação. Para efeitos de simplificação, na avaliação de impacto *ex post*, é possível presumir que a condição futura prevista (também conhecida como contrafactual) é semelhante ou equivalente à condição anterior à perturbação.

A natureza dos impactos varia entre diferentes componentes ambientais. Uma vez que um impacto, por exemplo, na qualidade da água, é diferente de um impacto sobre um habitat, uma escala de magnitude específica deve ser usada para cada um. Assim, se for necessário listar (e possivelmente comparar) todos os impactos para determinar sua significância, então devem ser usadas classes de magnitude. Quando apropriado, essa descrição convém ser, na medida do possível, quantitativa ou semiquantitativa.

No entanto, informações sobre o estado do componente ambiental antes do impacto podem ser insuficientes para sustentar essa quantificação. Nesses casos, pode ser suficiente usar uma determinação qualitativa de magnitude, com base no julgamento de especialistas. E mesmo quando for possível quantificar um impacto, ainda será necessário atribuir os valores respectivos a uma categoria qualitativa. Dessa forma, a magnitude pode ser usada posteriormente para determinar a importância do impacto. Observe-se que quantificação, aqui, refere-se a um conjunto de três atributos – magnitude, extensão espacial e duração do impacto. Sua importância é, por definição, uma característica qualitativa (como mostrado na Seção 7.3).

Por razões práticas, o Painel recomenda um pequeno número de classes de magnitude: pequena, moderada e grande, por exemplo. Para transformar o valor quantitativo dos impactos em classes, devem ser estabelecidos limites

entre eles. Isso deve ser feito para cada impacto com base, na medida do possível, na literatura disponível.

No entanto, estabelecer limites defensáveis pode ser difícil. É importante ter em mente como essa operação pode ser usada para a avaliação de impacto e, posteriormente, para decisões de mitigação. É possível haver um certo grau de incerteza em relação à magnitude, extensão e duração do impacto. Qualquer esforço para estabelecer uma escala de magnitude deve ser proporcional ao conhecimento disponível sobre o impacto. Em última análise, sempre que decisões são tomadas sobre planos de ação nos quais há um alto nível de incerteza sobre os impactos, a abordagem cautelosa deve prevalecer: falta de certeza não justifica falta de ação.

XI. Área afetada. Refere-se aos limites espaciais da área na qual foram detectadas alterações. Idealmente, essa área deve ser representada em um mapa, mas informações espaciais adequadas nem sempre estarão disponíveis. Pode depender, por exemplo, da localização das estações de amostragem. Se a elaboração de um mapa não for praticamente viável, descritores de localização podem ser usados para preencher o quadro. Nesse caso, os descritores de localização devem usar nomes locais conhecidos, como “Praia do Perequê” ou “Morro Agudo”, por exemplo.

No entanto, chegar a conclusões defensáveis sobre a extensão de uma área de impacto pode ser mais difícil nos casos em que não há área de controle confiável para a comparação sincrônica e/ou quando há um banco de dados pré-evento incompleto para fins de comparação diacrônica. Diante dessas ocorrências, detalhes sobre a incerteza em relação à área afetada e seus limites podem ser acrescentados de forma útil à coluna “Outras informações”.

XII. Duração. Os impactos ambientais podem ser permanentes (um exemplo é a perda de habitat devido a obras de infraestrutura) ou temporários (quando o componente ambiental afetado retorna à sua condição anterior à perturbação, seja espontaneamente – regeneração natural – seja com assistência por meio de medidas de restauração). Os impactos também podem ser intermitentes, ocorrendo após perturbações periódicas ou eventuais, incluindo aqueles que estão ligados a fenômenos sazonais ou pulsáteis. No entanto, “temporário” é uma descrição muito ampla e imprecisa da duração de um impacto. O componente afetado retornaria à condição anterior após meses, anos ou após décadas? Por essa razão, classes como curto prazo, médio prazo e longo prazo são usadas para caracterizar a duração de um impacto temporário, mas os limites entre as classes, em meses ou anos, precisam ser estabelecidos.

Em uma avaliação *ex post*, o monitoramento contínuo pode mostrar se determinado componente ambiental em determinada área está no caminho da recuperação. No entanto, qualquer conclusão sobre um retorno à situação anterior à perturbação requer uma profunda familiaridade com o caso ou uma área de referência de linha de base.

Nas áreas costeiras e marinhas afetadas pelos rejeitos de Fundão, uma vez que o Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática começou tarde, algumas informações necessárias sobre os impactos provavelmente serão encontradas em estudos que precedem o monitoramento oficial ou em outras fontes. Assim, é possível que os impactos detectados no início do período pós-rompimento não sejam mais detectados. Por isso, sugere-se que, no contexto da avaliação dos impactos nas áreas costeiras e marinhas, os impactos classificados como de curto prazo sejam aqueles que foram detectados antes do início do PMBA, mas que não são mais detectados. Escalas apropriadas devem ser determinadas para impactos de médio e longo prazo.

Assim, os impactos **temporários** podem ser classificados como de curto, médio ou longo prazo, refletindo sua duração detectada ou estimada. Impactos **permanentes** são aqueles que devem durar um período muito longo. Impactos **intermitentes** são detectados após um evento periódico ou eventual, como uma inundação. Embora a intermitência não seja uma descrição de duração do impacto, é importante saber se um impacto tem essa característica. Nesse caso, seu caráter intermitente poderia ser observado na coluna XII e sucintamente descrito na coluna XV, Outras Informações, informando sobre a sazonalidade ou recorrência de impactos ligados a processos naturais como correntes oceânicas.

XIII. Nível de confiança na caracterização do impacto.

A incerteza é sempre um fato quando se determinam a magnitude, a área ou a duração de um impacto, tanto em avaliações *ex ante* (Tennøy et al., 2006) quanto *ex post*. Análises para estabelecer algum nível de confiança estatística raramente estão disponíveis. A escala qualitativa recomendada na publicação anterior do Painel pode, portanto, ser usada (Sánchez et al., 2019) da seguinte forma:

- **Alto.** A linha de base é bem conhecida e fornece uma referência para comparações intertemporais e interespaçiais, quando aplicável. Existe um conjunto de dados que pode ser usado como referência para determinar a magnitude, a área e a duração do impacto. O desvio da referência foi estimado com base em observações ou medições de campo, sensoriamento remoto, análise estatística ou outra técnica bem estabelecida.

- **Médio.** A linha de base não é bem conhecida. A magnitude do impacto baseia-se em uma opinião profissional ou em outra abordagem qualitativa, incluindo conhecimento local.
- **Baixo.** A linha de base não é bem conhecida e existem informações conflitantes sobre a magnitude dos impactos.

O julgamento profissional é essencial para qualificar o nível de confiança. O papel fundamental, e possivelmente único, de atribuir o nível de confiança recai sobre as equipes envolvidas no monitoramento *ex post*. Deve ser feita uma distinção entre o grau de confiança na identificação de um impacto (ou seja, na atribuição de uma alteração ambiental a um fenômeno sob investigação, coluna VII) e o nível de confiança na caracterização de um impacto. Pode estar bem estabelecido que uma alteração ambiental está associada aos rejeitos (identificação de impacto), enquanto existe incerteza sobre a magnitude, a área ou a duração de um impacto (caracterização do impacto). Ao preencher a tabela sinóptica, é aconselhável registrar a justificativa dada pela equipe para o nível de confiança atribuído.

XVI. Fontes. É muito importante registrar todas as fontes usadas para cada linha da tabela. Discrepâncias entre as fontes (relatórios, artigos) devem ser esperadas, devido ao uso de diferentes metodologias de amostragem e análise, áreas e períodos de estudo etc. Para garantir a rastreabilidade, os registros devem ser precisos, com detalhes do autor e título, data, revisão, página e outras informações que possibilitem consultar a fonte. Outras fontes, como entrevistas documentadas e grupos focais, também podem ser usadas. Mas para minimizar a sobrecarga de dados, a coluna deve mencionar apenas os documentos mais importantes usados na análise.

XV. Informações adicionais. Essa coluna contém qualquer informação que ajude a entender o conteúdo do quadro. No entanto, para facilitar a leitura, o Painel recomenda incluir apenas as informações mais importantes. O leitor pode ser encaminhado para outros documentos.

Limitações. Como em todas as avaliações de impacto, as limitações inerentes devem ser explicitadas na análise. Diferentes especialistas podem ter diferentes níveis de confiança em relação à associação entre os rejeitos e as alterações detectadas pelo monitoramento. O documento deve informar como foram alcançadas as conclusões na tabela sinóptica. Também deve revelar quaisquer incertezas. As funções do quadro sinóptico são sintetizar informações e apresentar as categorias de informações selecionadas em formato padrão. Tudo isso é feito para facilitar a análise de impacto.

Quadro 5 – Quadro sinóptico de impactos (com exemplos)

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII	XIV	XV
Componente afetado	Impacto	Evidência		Trajetória do impacto	Outras ações passadas ou presentes que afetam o componente	Grau de confiança na associação	Caracterização do impacto					Nível de confiança na caracterização do impacto	Fontes	Outras informações
		Tipo de evidência	Fonte da evidência				Magnitude			Área afetada	Duração			
							Indicador	Valor	Classe					
Solos de estuários	Trace metal enrichment	Empirical	Diachronic comparison	Microbial iron reduction in estuarine soils and sediments	Several activities historically conducted in the Rio Doce basin, including mining, steelworks, and agricultural activities	Comprovado	Concentração de Fe, Mn, Cr, Zn, Ni, Pb, Co	Aumento de curto prazo na concentração de 24 vezes maior (Mn) para > 200 vezes maior (Fe)	Grande	Estuário do Rio Doce	Longo prazo [concentração varia ao longo do tempo]	Alto	1	Maiores conteúdos geralmente registrados na camada superior de 0-3 cm, indicando influência de rejeitos
Qualidade da água do estuário	Water quality degradation	Empirical	Diachronic comparison	Microbial iron reduction in estuarine soils and sediments and consequent release of trace metals in the water column	Several activities historically conducted in the Rio Doce basin, including mining, steelworks, and agricultural activities	Comprovado				Estuário do Rio Doce	Longo prazo	Alto	1	
Sedimentos estuarinos	Contamination of estuary sediments	Empirical	Diachronic comparison	Tailings carried along the Rio Doce (ref. 2, pg. 70)		Comprovado	Concentração de As, Cd, Co, Cr, Mn, Ni, Pb, Zn	Varia ao longo do tempo		Estuário de Rio Doce	Longo prazo, com tendência de queda detectada ao longo do tempo	Alto	2	
Macroalgas	Biodiversity loss and structural changes in macroalgae assemblages with increased dominance of algae more tolerant to tailings	Empirical	Diachronic comparison	Increased turbidity and its seasonal variation, increased concentration of trace metals		Comprovado	1) Índice de Diversidade de Simpson (J) 2) Riqueza de espécies das assembleias	1) J caiu de ~18 para ~10 2) redução estatisticamente significativa na riqueza de espécies	Grande	Área de Proteção Ambiental Costa das Algas e Reserva de Vida Selvagem de Santa Cruz	Longo prazo e intermitente	Alto	3	Perda de integridade celular em macroalgas contribui para fortalecer a associação

Nota: Exemplos apresentados com o único propósito de ilustrar a aplicação do procedimento proposto. Os autores não realizaram um exame detalhado dos documentos citados.
Fontes: (1) Queiroz et al. (2018) (2) Gabriel et al. (2021); veja na Tabela 2 os resultados de concentração; (3) Relatório Anual PMBA/Fest-RRDM 2021.

7.3 Avaliação da significância dos impactos

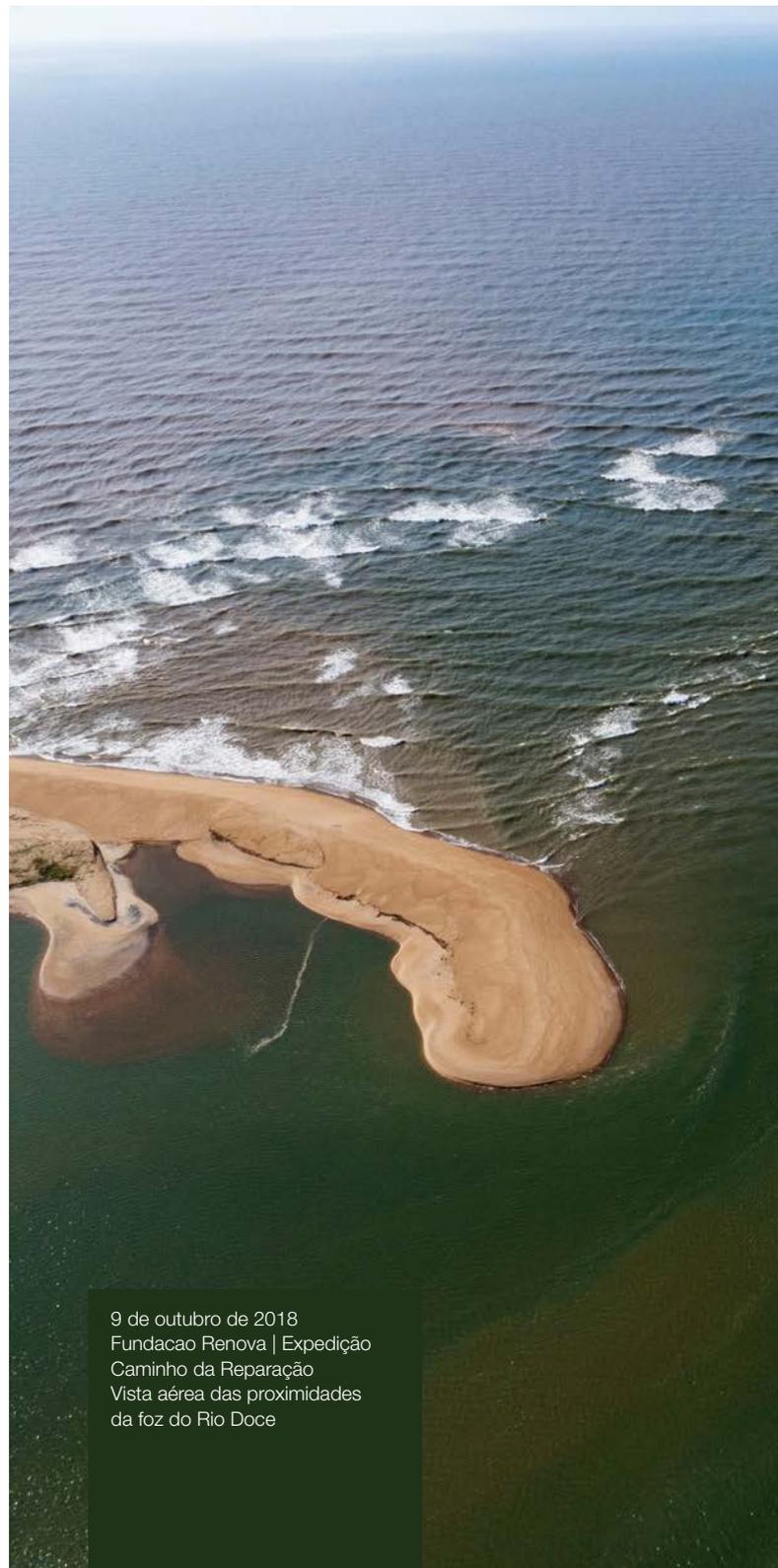
7.3.1 Fundamentos

Uma vez identificados e caracterizados os impactos, o próximo passo é avaliar sua significância. As ações de mitigação podem ser priorizadas de acordo com a sua significância. Dito isso, observa-se que, no caso da zona estuarina e costeira do Rio Doce, os níveis de incerteza de vários impactos devem ser “médios” ou “altos” (Quadro 5, coluna XIII). Isso se deve à dificuldade em definir a magnitude, o que, por sua vez, dificulta a determinação da significância dos impactos.

Em avaliações *ex ante*, a significância de um impacto é determinada pela combinação de um parâmetro que descreve a pressão exercida pelas atividades de um projeto sobre um determinado componente ambiental e a importância (ecológica e/ou social) desse componente (Gronow, 2021; Sanchez, 2020; e Sippe, 1999, entre outros). Intensidade, duração, reversibilidade, probabilidade de ocorrência, distribuição social e até mesmo a área afetada são atributos que podem ser combinados para descrever a pressão. O resultado dessa combinação, às vezes, é denominado severidade do impacto, embora o termo “magnitude” também seja usado. Não há terminologia ou metodologia padronizada para avaliar a significância dos impactos, que deve ser sempre adaptada ao contexto (Gibson et al., 2005, página 167), como, por exemplo, ao se avaliar a significância de aspectos e impactos ambientais em atividades, produtos ou serviços de uma organização, de acordo com as regras dos sistemas de gestão ambiental (ISO, 2016, § 6.1.2.5).

Determinadas características descrevem impactos, como origem (impactos diretos ou indiretos), mas não são úteis na avaliação da significância. Alguns atributos, tais como intensidade e área afetada, não são independentes entre si. Por exemplo, a intensidade varia espacialmente para muitos impactos. Duração e reversibilidade também estão conectadas.

Por outro lado, a importância de um componente ou recurso ambiental afetado deve ser determinada caso a caso, ou seja, para cada componente. A importância de um componente pode ser descrita com base em uma escala qualitativa adequada de sua relevância tanto para as comunidades afetadas quanto para a manutenção de processos ecológicos ou da integridade ecossistêmica (Gronow, 2021; Sánchez, 2020), ou seja, a chamada importância social e ecológica (Beanlands & Duinker, 1983). Determinações legais de importância, como listas de espécies ameaçadas, devem necessariamente ser levadas em conta.



9 de outubro de 2018
Fundação Renova | Expedição
Caminho da Reparação
Vista aérea das proximidades
da foz do Rio Doce

Para determinar a significância do impacto, portanto, devem ser desenvolvidas escalas qualitativas que reflitam a severidade ou magnitude do impacto, bem como a importância do componente afetado.



Imagem © NITRO Histórias Visuais

Cabe observar que determinar a significância é, por sua própria natureza, sempre um esforço **qualitativo** (Lawrence, 2007b, 2013; Erlich & Ross, 2015). O que pode ser quantificado (apesar de nem sempre ser possível ou apropriado) é a magnitude do impacto: sua intensidade,

duração e área de ocorrência. O uso de escalas ponderadas em que certos atributos têm peso maior do que outros para determinar a significância (Lawrence, 2007a), não representa quantificação, mas sim um processo para classificar e priorizar.

7.3.2 Um procedimento

Para desenvolver uma avaliação de impacto coerente, é preciso usar critérios adequados ao contexto. Apresenta-se aqui um procedimento de avaliação que pode ser aplicado ao caso em questão, observando que não há uma única forma de determinar a significância dos impactos.

Começa-se *selecionando os atributos* que serão usados para descrever a severidade de um impacto. No exemplo dado, os atributos que caracterizam os impactos (Seção 7.2) – magnitude, duração e área afetada – combinam-se com a reversibilidade para formar a severidade do impacto (Quadro 6).

Cada impacto deve ser colocado em uma categoria para cada um dos quatro atributos, e a seguinte faixa pode ser aplicada:

- A **escala de magnitude** deve ser estabelecida para cada impacto, pois depende do contexto e requer o uso de indicadores adequados; a magnitude deve ser descrita preferencialmente utilizando indicadores (quantitativos ou qualitativos) da intensidade do impacto.
- A **extensão geográfica** deve ser adequadamente estabelecida, por exemplo, determinar se o impacto é local ou regional e definir os limites dessas zonas.
- No caso da **duração**, pode ser usada uma escala de três níveis (Seção 7.2 e coluna XII do Quadro 5): curto prazo, médio prazo ou longo prazo. Para determinar a severidade, impactos permanentes podem ser igualados a impactos de longo prazo.
- A **reversibilidade** compreende duas classes: impacto reversível (o componente ambiental afetado retorna à sua condição original ou a uma condição suficientemente próxima a ela, seja mediante a cessação da ação causadora, seja por meio de medidas corretivas) ou impacto irreversível (o componente não retorna à condição original ou a uma condição próxima a ela). Cabe observar, no entanto, que classificar um impacto como reversível ou não pode ser extremamente desafiador. Se esse for o caso, essa característica pode ser excluída da determinação da gravidade.

Quadro 6 – Chave para determinar a severidade de um impacto

MAGNITUDE	EXTENSÃO GEOGRÁFICA	DURAÇÃO	REVERSIBILIDADE	SEVERIDADE	
Pequena	Local	Curto prazo	Reversível	BAIXA	
			Irreversível		
		Médio prazo	Reversível		
			Irreversível		
		Longo prazo ou permanente	Reversível		
			Irreversível		
	Regional	Curto prazo	Reversível	MÉDIA	
			Irreversível		
		Médio prazo	Reversível		
			Irreversível		
Longo prazo ou permanente		Reversível	BAIXA		
		Irreversível	MÉDIA		
Moderada	Local	Curto prazo	Reversível	BAIXA	
			Irreversível	MÉDIA	
		Médio prazo	Reversível		
			Irreversível		
		Longo prazo ou permanente	Reversível		ALTA
			Irreversível		
	Regional	Curto prazo	Reversível		MÉDIA
			Irreversível	ALTA	
		Curto prazo	Reversível	MÉDIA	
			Irreversível	ALTA	
		Longo prazo ou permanente	Reversível	MÉDIA	
			Irreversível	ALTA	
Grande	Local	Curto prazo	Reversível	MÉDIA	
			Irreversível	ALTA	
		Médio prazo	Reversível	MÉDIA	
			Irreversível	ALTA	
		Longo prazo ou permanente	Reversível		
			Irreversível		
	Regional	Curto prazo	Reversível		MÉDIA
			Irreversível		ALTA
		Médio prazo	Reversível		MÉDIA
			Irreversível	ALTA	
		Longo prazo ou permanente	Reversível		
			Irreversível		

A severidade de cada impacto é, então, combinada com o grau de importância e vulnerabilidade de cada componente ambiental, conforme mostra o Quadro 7, classificando-se, assim, a relevância do impacto.

A relevância é classificada de acordo com uma escala de três níveis: impacto de significância: baixa, moderada e

significativo. Insignificante também pode ser usado como categoria, mas exclusivamente para impacto de baixa severidade. Para determinar a relevância, a severidade é combinada com a vulnerabilidade do componente ambiental afetado e com sua importância, ambas avaliadas qualitativamente de acordo com a chave no Quadro 7.

Quadro 7 – Chave para determinar a significância de um impacto

SEVERIDADE DO IMPACTO	VULNERABILIDADE DO COMPONENTE	IMPORTÂNCIA DO COMPONENTE		
		BAIXA	MÉDIA	ALTA
Baixa	Baixa	Insignificante	Insignificante	Significância baixa
	Alta	Insignificante	Significância baixa	Significância moderada
Média	Baixa	Significância baixa	Significância baixa	Significância moderada
	Alta	Significância moderada	Significância moderada	Significância moderada
Alta	Baixa	Significância moderada	Significativa	Significativa
	Alta	Significativa	Significativa	Significativa

A vulnerabilidade do componente ambiental afetado representa o grau em que um componente ambiental é suscetível ou sensível às perturbações investigadas. Assim aplicada, a vulnerabilidade é uma característica intrínseca, e cada componente deve ser avaliado por julgamento profissional com base em conhecimento científico. A vulnerabilidade pode ser classificada de forma simplificada com uma escala de dois níveis: alta ou baixa. Obviamente, uma classe intermediária também pode ser usada. Essa classificação pode ser realizada por um grupo de especialistas temáticos, com base em critérios bem estabelecidos – como, por exemplo, a técnica Delphi.

A escala a seguir pode ser usada para qualificar o nível de importância do componente ambiental afetado:

- **Alta:** o componente é objeto de requisito legal ou é importante para manter a integridade do ecossistema ou o bem-estar da comunidade.

- **Média:** o componente é valorizado pela comunidade ou considerado importante, sob o ponto de vista científico, para manter a integridade do ecossistema ou o bem-estar da comunidade.
- **Baixa:** no contexto local, esse componente é menos importante.

A importância de um componente pode ser determinada com base em critérios científicos ou critérios sociais ou uma combinação de ambos. Sua importância científica deve ser determinada por uma equipe multidisciplinar com base em um julgamento profissional e uma justificativa bem fundamentada. Para fins de sua aplicação à avaliação de impactos *ex post*, a importância social pode ser determinada indiretamente, por meio da interpretação profissional devidamente contextualizada de informações provenientes de fontes como avaliação diagnóstica, notícias publicadas na imprensa e manifestações públicas de cidadãos ou associações.

8. Rumor a um plano de ação para as áreas costeiras e marinhas afetadas



9 de outubro de 2018
Fundação Renova | Expedição
Caminho da Reparação
Vista aérea do amanhecer nas
proximidades da foz do Rio
Doce



Uma vez concluídos os estudos de avaliação, não se pode esquecer que as áreas marinhas e costeiras continuarão a ser afetadas pelos rejeitos remanescentes nas porções superior e média da bacia hidrográfica do Rio Doce. Embora haja diferentes interpretações sobre os efeitos dos rejeitos nos ecossistemas, as áreas costeiras e marinhas não podem ser analisadas isoladamente.

Nesse contexto, é importante ressaltar que o Painel do Rio Doce tem enfatizado consistentemente a necessidade de adotar a visão combinada das abordagens fonte-mar (Granit et al., 2016) e de paisagem para integrar a qualidade da água e a conservação da biodiversidade afetadas por aspectos sociais, econômicos, culturais e ambientais (Brito et al., 2021).

Muitas vezes é difícil atribuir responsabilidades específicas pelos impactos cumulativos causados por múltiplos fatores históricos e contemporâneos – por exemplo, os impactos históricos da mineração, da siderurgia, da construção de barragens e do desmatamento na bacia do Rio Doce, ou os recentes impactos associados à construção de portos e empreendimentos industriais no litoral do Espírito Santo.

Na prática, isso significa que os programas para mitigar os impactos do desastre têm de responder a causas subjacentes mais amplas, em vez de tentar gerenciar impactos específicos na biota por meio de esforços paliativos e/ou programas compensatórios.

No entanto, estudos publicados – alguns dos quais mencionados na Seção 5 – descrevem os impactos do derramamento de rejeitos em áreas costeiras e marinhas. Além disso, há preocupação com possíveis impactos recorrentes nos períodos de alagamentos, quando os rejeitos que foram depositados no leito do rio, na várzea e no reservatório de Candonga são levados rio abaixo como parte da carga de sedimentos que é transportada para o estuário do Rio Doce, a área costeira e o mar e que podem, eventualmente, ser depositados na costa e na plataforma costeira.

9. Recomendações

O Painel do Rio Doce recomenda

1.

Que a abordagem metodológica descrita na Seção 7 deste relatório temático seja empregada para consolidar as múltiplas avaliações de impactos ambientais causados pela dispersão dos rejeitos da Barragem de Fundão nos ambientes costeiro e marinho. A consolidação pode usar todas as fontes de dados e informações aplicáveis, incluindo publicações científicas, resultados do Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática e outros relatórios técnicos relevantes. Para facilitar a comunicação com decisores e partes interessadas, é importante que os relatórios sejam redigidos em linguagem simples e que seja elaborado um resumo não técnico.

2.

Que a Fundação Renova, preferencialmente em consonância com o CIF e partes interessadas relevantes, crie uma base de dados associada a um sistema de gestão da informação para acompanhar os impactos identificados. Essa base de dados deve ser continuamente alimentada e atualizada a fim de registrar dados de séries temporais e quaisquer possíveis resultados mensuráveis de um plano de mitigação de impactos, uma vez estabelecido pelas autoridades. O acompanhamento apoiaria revisões periódicas da lista de impactos e a comunicação de ações e resultados a todas as partes interessadas.

7 de setembro de 2020
Fundação Renova
Na imagem, trechos da foz do
Rio Doce em Linhares.

Referências

- Alonso, L., Barbosa, F.A.R., Brito, M.C.W., May, P., Maroun, C., Sánchez, L. E. Kakabadse, Y. (2019). *Interconexões entre saúde humana e saúde dos ecossistemas: Uma abordagem integrativa para a Bacia do Rio Doce após o rompimento da Barragem de Fundão*. Painel do Rio Doce Questões em Foco 5. Gland, Switzerland: UICN.
<https://www.iucn.org/riodocepanel/issue-paper-5-PT>
- Baba, V. V. and Hakemzadeh, F. (2012). *Toward a theory of evidence-based decision making*, *Management Decision*, 50 No 5, pp. 832-867.
<https://doi.org/10.1108/00251741211227546>
- Beanlands, G. and Duinker, P.N. (1983). *An Ecological Framework for Environmental Impact Assessment in Canada*. Halifax, Canada: Dalhousie University.
- Bernardino, A.F., Pais, F.S., Oliveira, L.S., Gabriel, F.A., Ferreira, T.O., Queiroz, H.M. and Mazzuco, A.C.A., (2019). Chronic trace metals effects of mine tailings on estuarine assemblages revealed by environmental DNA. *PeerJ* 7, e8042,
<http://dx.doi.org/10.7717/peerj.8042>
- Brito, M.C.W., Alonso, L., Barbosa, F.A.R., Laureano, F.V., May, P., Sánchez, L.E. Kakabadse, Y. (2019). *A proibição da pesca após o Rompimento da Barragem de Fundão: usando o princípio da precaução para restaurar a pesca na Bacia do Rio Doce*. Painel do Rio Doce Questões em Foco 2. Gland, Suíça: UICN.
<https://www.iucn.org/riodocepanel/issue-paper-2-PT>
- Brito, M.C.W., Barbosa, F.A.R., May, P., Maron, 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*. Painel do Rio Doce Relatório Temático N. 3. Gland, Suíça: UICN.
<https://doi.org/10.2305/IUCN.CH.2021.07.pt>
- Cohen, M.J. (1995). Technological disasters and natural resource damage assessment: An evaluation of the Exxon Valdez oil spill. *Land Economics*, 71(1):65-86.
<https://www.jstor.org/stable/3146759>
- Colman, L.P., Thomé, J.C.A., Almeida, A.P., Baptistotte, C., Barata, P.C.R., Broderick, A.C., Ribeiro, F.A., Vila-Verde, L. and Godley, B.J. (2019). Thirty years of leatherback turtle *Dermochelys coriacea* nesting in Espírito Santo, Brazil, 1988-2017: reproductive biology and conservation. *Endangered Species Research*, 39:147-158.
<https://doi.org/10.3354/esr00961>
- Coppetec (2020). Sobre sedimentos depositados na zona costeira adjacente à foz do Rio Doce, após a ruptura da barragem da Samarco em 05/11/2015. P5 – Relatório de processos sedimentológicos conexos ao Rio Doce e aos rios adjacentes – Etapa 3. /unpublished report/
- 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 Fundão iron ore tailing dam, Southeastern Brazil*. *Chemosphere*, 262, 127879.
<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.127879>
- Economic Commission for Latin America and the Caribbean (ECLAC). (2003). *Handbook for Estimating the Socio-Economic and Environmental Effects of Disasters*. Santiago: ECLAC.
<http://hdl.handle.net/11362/2782>
- Erlach, A. and Ross, W. (2015). The significance spectrum and EIA significance determination. *Impact Assessment and Project Appraisal*, 33(2):87-97.
<https://doi.org/10.1080/14615517.2014.981023>
- Ferreira, A.D., Queiroz, H.M., Otero, X.L., Barcelos, D., Bernardino, A.F., and Ferreira, T.O. (2022). Iron hazard in an impacted estuary: Contrasting controls of plants and implications to phytoremediation. *Journal of Hazardous Materials*, 428, 128216.
<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2022.128216>
- Fundação Projeto Tamar. (2020). Monitoramento reprodutivo das tartarugas marinhas na planície costeira do Rio Doce. Relatório anual agosto/2019 a julho/2020. Linhares. / unpublished report/
- Filyushkina, A., Strange, N., Löf, M., Ezebillo, E.E., and Boman, M. (2018). Applying the Delphi method to assess impacts of forest management on biodiversity and habitat preservation. *Forest Ecology and Management*, 409:179-189.
<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.10.022>
- Gabriel, F.A., Silva, A.G., Queiroz, H.M., Ferreira, T.O., Hauser-Davis, R.A., and Bernardino, A.F. (2020a). Ecological risks of metal and metalloid contamination in the Rio Doce estuary. *Integrated Environmental Assessment and Management*, 16(5): 655-660.
<https://doi.org/10.1002/ieam.4250>

- Gabriel, F.A., Hauser-Davis, R.A., Soares, L., Mazzuco, A.C.A., Rocha, R. C. C., Saint-Pierre, T. D., Saggiaro, E., Correia, F.V., Ferreira, T.O. and Bernardino, A.F., (2020b). Contamination and oxidative stress biomarkers in estuarine fish following amine tailing disaster. *PeerJ* 8, e10266 <http://dx.doi.org/10.7717/peerj.10266>
- Gabriel, T.A., Ferreira, A.D., Queiroz, H.M., Vasconcelos, A.L.S., Ferreira, T.O. and Bernardino, A.F. (2021). Long-term contamination of the Rio Doce estuary as a result of Brazil's largest environmental disaster. *Perspectives in Ecology and Conservation*, 19(4), 717-428. <https://doi.org/10.1016/j.pecon.2021.09.001>
- Gibson, R.B. et al. (2005). *Sustainability Assessment: Criteria, Processes and Applications*. London, UK: Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781849772716>
- Gill, D. and Ritchie, L. (2020). Considering Cumulative Social Effects of Technological Hazards and Disasters. *American Behavioral Scientist*, 64(8):1145-1161. <https://doi.org/10.1177/0002764220938112>
- Golder Associates (2016). Update Report: Post-Event Environmental Impact Assessment Report. Report Number: 1411734-124-R-Rev0-1000. https://www2.gov.bc.ca/assets/gov/environment/air-land-water/spills-and-environmental-emergencies/docs/mt-polley/p-o-r/2016-06-03_peekar_summary_report_v2.pdf
- Golder Associates (2019). Remediation Plan Mount Polley Mine Perimeter Embankment Breach. Report Number: 1894924-076-R-Rev0-23197. <https://www.imperialmetals.com/assets/docs/mt-polley/2019-03-golder-remediation-plan.pdf>
- Gomes, L.E.O., Correa, L.B., Sá, F., Neto, R.R. and Bernardino, A.F. (2017). The impacts of the Samarco mine tailing spill on the Rio Doce estuary, Eastern Brazil. *Marine Pollution Bulletin*, 120(1-2), 28-36, <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.04.056>
- Granit, J., Lymer, B.L., Olsen, L., Tengberg, A., Nömmann, S. and Clausen, T.J. (2017). A conceptual framework for governing and managing key flows in a source-to-sea continuum. *Water Policy*, 19(4):673-691, <https://doi.org/10.2166/wp.2017.126>
- Gronow, C. (2021). Recipe 4: Evaluating significance and acceptability of predicted impacts. In: Morrison-Saunders, A., Pope, J. (eds.), *Teaching Environmental Impact Assessment*. (pp. 98-105). Cheltenham, UK: Edward Elgar. <https://doi.org/10.4337/9781788972048>
- Guyatt, G.H., Oxman, A.D., Kunz, R., Vist, G.E., Falck-Ytter, Y., Schünemann, H.J. and GRADE Working Group (2008). What is "quality of evidence" and why is it important to clinicians? *BMJ* (Clinical research ed.): 336(7651), 995-998. <https://doi.org/10.1136/bmj.39490.551019.be>
- Hatje, V., Pedreira, R.M.A., Resende, C.E., Schettini, C.A. F., Souza, G.C., Marin, D.C., and Hackspacher, P.C. (2017). The environmental impacts of one of the largest tailing dam failures worldwide. *Scientific Reports*, 7: 10706, <https://doi.org/10.1038/s41598-017-11143-x>
- Hemming, V., Burgman, M.A., Hanea, A.M., McBride, M.F., and Wintle, B.C. (2018). A practical guide to structured expert elicitation using the IDEA protocol. *Methods in Ecology and Evolution*, 9(1), 169-180. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.12857>
- Hydrobiology, Econservation (2020a). *Marine and Coastal Survey – Rio Doce and Rio Jequitinhonha. Late-Wet Season 2019*. /unpublished report/
- Hydrobiology, Econservation. (2020b). *Levantamento Marinho e Costeiro de Tecidos de Peixe – Rio Doce e Rio Jequitinhonha. Final da Estação Seca 2019*. /unpublished report/
- International Council on Minerals & Metals (ICMM), United Nations Environment Programme (UNEP), and Principles for Responsible Investment (PRI) (2020). Global Industry Standard on Tailings Management. <https://globaltailingsreview.org/>
- International Organization for Standardization (ISO) (2016). ISO 14004, *Environmental Management Systems – General Guidelines on Implementation*. Geneva: ISO. <https://www.iso.org/standard/60856.html>
- Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama) (2020). Guia de Avaliação de Impacto Ambiental. Relação Causal de Referência de Sistema de Transmissão de Energia. Brasília: Ibama. http://www.ibama.gov.br/phocadownload/licenciamento/2019/2019-02-08_gui-aia-linhas-transmissao_ibama_.pdf
- Jovel, R. J. and Mudahar, M. (2010). *Damage, Loss, and Needs Assessment Guidance Notes: Volume 1. Design and Execution of a Damage, Loss, and Needs Assessment*. Washington, DC: World Bank. <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/19047>
- Kelly, C. (ed.) (2018). *Guidelines for Rapid Environmental Assessment in Disasters*. US Agency for International Development. https://reliefweb.int/sites/reliefweb.int/files/resources/REA_2018_final.pdf
- Larsen, A.E., Meng, K. and Kendall, B.E. (2019). Causal analysis in control-impact ecological studies with observational data. *Methods in Ecology and Evolution*, 10:924-934 <https://doi.org/10.1111/2041-210X.13190>

- Lawrence, D. P. (2007a). *Impact significance determination - designing an approach. Environmental Impact Assessment Review*, 27:730-754.
<https://doi.org/10.1016/j.eiar.2007.02.012>
- Lawrence, D.P. (2007b). Impact significance determination – back to basics. *Environmental Impact Assessment Review*, 27:755-769.
<https://doi.org/10.1016/j.eiar.2007.02.011>
- Lawrence, D.P. (2013). *Impact Assessment. Practical Solutions to Recurrent Programs and Contemporary Challenges*. 2nd ed. Hoboken, Canada: Wiley.
<https://doi.org/10.1080/14615517.2014.929344>
- Lindenmayer, D.B., Woinarski, J., Legge, S., Maron, M., Garnett, S.T., Lavery, T., Dielenberg, J. and Wintle, B.A.(2022). Eight things you should never do in a monitoring program: an Australian perspective. *Environmental Monitoring and Assessment*, 194:701.
<https://doi.org/10.1007/s10661-022-10348-6>
- Longhini, C.M.; Rodrigues, S.K., Costa, E.C. et al. Environmental quality assessment in a marine coastal area impacted by mining tailing using a geochemical multi-index and physical approach. *Science of the Total Environment*, 803:149883.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149883>
- Malin, S.A., Ryder, S. and Lyra, M.G. (2019). Environmental justice and natural resource extraction: intersections of power, equity and access. *Environmental Sociology*, 5(2):109-116.
<https://doi.org/10.1080/23251042.2019.1608420>
- Maroun, C., Renshaw, J., Sánchez, L.E., Barbosa, F.A. R., Brito, M.C.W., May, P. and Kakabadse, Y. (2021). *Da restauração à governança responsiva: o Rio Doce após o rompimento da Barragem de Fundão*. Painel do Rio Doce Relatório Temático N. 4. Gland, Suíça: UICN.
<https://doi.org/10.2305/UICN.CH.2021.14.pt>
- Mauseth, G.S. and Parker, P. (2011). Chapter 31 – Natural Resource Damage Assessment. In: Fingas, M. (Ed.) *Oil Spill Science and Technology*. Burlington: Gulf Professional Publisher, p. 1067-1082.
<https://doi.org/10.1016/B978-1-85617-943-0.10031-0>
- May, P., Alonso, L., Barbosa, F.A.R, Brito, M.C.W., Laureano, F.V., Sánchez, L.E., Kakabadse, Y. (2019). *Alternativas para meios de vida em paisagens rurais da Bacia do Rio Doce após o rompimento da Barragem de Fundão: Criando oportunidades para o futuro*. Painel do Rio Doce Issue Paper 1. Gland, Suíça: UICN.
<https://www.uicn.org/riodocepanel/issue-paper-1-PT>
- Minambiente (2021). *Listado de impactos ambientales específicos 2021*. Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible, Colombia.
<https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2022/04/Listado-de-Impactos-Ambientales-Especificos-2021-V.4.pdf>
- Ministério da Saúde (2015). *Diretrizes Metodológicas, Sistema GRADE – Manual de Graduação da Qualidade da Evidência e Força de Recomendação para Tomada de Decisão em Saúde*. Brasília: Ministério da Saúde.
https://bvsmms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/diretrizes_metodologicas_sistema_grade.pdf
- National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) (2016). *Deepwater Horizon Oil Spill Final Programmatic Damage Assessment and Restoration Plan and Final Programmatic Environmental Impact Statement*.
<https://repository.library.noaa.gov/view/noaa/18084>
- Perdicoúlis, A. (2016). Systems thinking and SEA. *Impact Assessment and Project Appraisal*, 34(2):176-179.
<https://doi.org/10.1080/14615517.2016.1152731>
- Perdicoúlis, A., Glasson, J. (2009). The causality premise of EIA in practice. *Impact Assessment and Project Appraisal* 27: 247-250. <https://doi.org/10.3152/146155109X465922>
- Perdicoúlis, A., Glasson, J. (2012). How clearly is causality communicated in EIA? *Journal of Environmental Assessment and Policy Management*, 14, 1250020.
<https://doi.org/10.1142/S1464333212500202>
- Quaresma, V.S., Aguiar, V.M.C., Bastos, A.C., Oliveira, K.S., Vieira, F.V., Sá, F. and Baptista Neto, J.A. (2021). The impact of trace metals in marine sediments after a tailing dam failure: the Fundão dam case (Brazil). *Environmental Earth Sciences*. 80:571
<https://doi.org/10.1007/s12665-021-09817-x>
- Queiroz, H.M., Nóbrega, G.N., Ferreira, T.O., Almeida, L.S., Romero, T.B., Santaella, S.T., Bernardino, A.F. and 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. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.04.370>
- Richard, E.C., Estrada, G.C.D., Bechtold, J.-P., Duarte, H.A., Maioli, B.G., Freitas, A.H.A., Warner, K.E. and Figueiredo, L.H.M. (2020). Water and sediment quality in the coastal zone around the mouth of the Rio Doce after the Fundão tailings dam failure. *Integrated Environmental Assessment and Management*, 16(5):643-654.
<http://dx.doi.org/10.1002/ieam.4309>

- Rudorff, N., Rudorff, C.M., Kampel, M. and Ortiz, G. (2018). Remote sensing monitoring of the impact of a major mining wastewater disaster on the turbidity of the Doce River plume off the eastern Brazilian coast. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 145B, 349-361. <https://doi.org/10.1016/j.isprs.2018.02.013>
- Runde, B.J., Buckel, J.A., Rudershausen, P.J., Mitchell, W.A., Ebert, E., Cao, J. and Taylor, J.C. (2021). Evaluating the effects of a deep-water marine protected area a decade after closure: A multifaceted approach reveals equivocal benefits to reef fish populations. *Frontiers in Marine Science*, 8:775376. <https://doi.org/10.3389/fmars.2021.775376>
- Sánchez, L.E. (2012). Information and knowledge management. In: Perdicoulis, A., Durning, B., Palframan, L. (Eds.) *Furthering Environmental Impact Assessment. Towards a seamless connection between EIA and EMS*, p. 19-37. Cheltenham, UK: Edward Elgar. <https://doi.org/10.4337/9781781953570>
- Sánchez, L.E. (2020). *Avaliação de Impacto Ambiental: Conceitos e Métodos*. São Paulo, Brazil. Oficina de Textos, 3a ed.
- Sánchez, L.E., Alger, K., Alonso, L., Barbosa, F., Brito, M.C.W., Laureano, F.V., May, P., Roeser, H. and Kakabadse, Y. (2018). *Os impactos do rompimento da Barragem de Fundão: o caminho para uma mitigação sustentável e resiliente*. Painel do Rio Doce Relatório Temático N. 1. Gland, Suíça: UICN. <https://doi.org/10.2305/IUCN.CH.2018.18.pt>
- Sánchez, L.E., Alonso, L., Barbosa, F.A.R., Brito, M.C.W., Laureano, F.V. Laureano, May, P., Kakabadse, Y. (2019). *Uma estrutura de avaliação dos impactos ambientais e sociais de desastres: Garantindo uma mitigação efetiva após o rompimento da Barragem de Fundão*. Painel do Rio Doce Questões em Foco N. 4. Gland, Switzerland: UICN. <https://www.iucn.org/riodocepanel/issue-paper-4-EN>
- Schettini, C.A.F. and Hatje, V., (2020). The Suspended Sediment and Metals Load from the Mariana's Tailing Dam Failure to the Coastal Sea. *Integrated Environmental Assessment and Management*, 16(5):661-668. <https://doi.org/10.1002/ieam.4274>
- Sippe, R. (1999). Criteria and standards for assessing significant impacts. In: J. Petts (org.), *Handbook of Environmental Impact Assessment*, Volume I (pp. 74-92). London, UK: Blackwell.
- Tennøy, A., Kværner, J. and Gjerstad, K.I. (2006). Uncertainty in environmental impact assessment predictions: the need for better communication and more transparency. *Impact Assessment and Project Appraisal*, 24:45-56. <https://doi.org/10.3152/147154606781765345>
- United Nations Development Programme, Asian Development Bank, The World Bank, and European Union (2018). *Kerala Post Disaster Needs Assessment. Executive Summary*. <https://www.undp.org/publications/post-disaster-needs-assessment-kerala>
- United Nations Environment Programme (UNEP) (2002). *Environmental Impact Assessment Training Resource Manual*. <https://wedocs.unep.org/20.500.11822/26503>
- Voegeli, G., Hediger, W., Romerio, F. (2019). Sustainability assessment of hydropower: Using causal diagram to seize the importance of impact pathways. *Environmental Impact Assessment Review*, 77: 69-84. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2019.03.005>
- World Bank (2015a). *Analyzing the Social Impacts of Disasters Volume I: Methodology*. World Bank Global Facility for Disaster Reduction and Recovery. https://www.gfdrr.org/sites/default/files/SIAVol_I.pdf
- World Bank (2015b). *Analyzing the Social Impacts of Disasters Volume II: Tools*. World Bank Global Facility for Disaster Reduction and Recovery. https://www.gfdrr.org/sites/default/files/SIAVol_II.pdf



**UNIÃO INTERNACIONAL PARA A
CONSERVAÇÃO DA NATUREZA**

SEDE MUNDIAL
Rue Mauverney 28
1196 Gland, Switzerland
mail@iucn.org

www.iucn.org/pt/paineldoriodoce
www.iucn.org/resources/publications

