

-

Metodologia de Integração para a **Avaliação de Impacto Ambiental**

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



Coordenação



Financiamento



Rio de Janeiro, 2022

Equipe técnica

Coordenação

Rafael Loyola

Subcoordenação

Aliny P. F. Pires

Equipe de Consultores

Adriano Sanches Melo

Carla Grigoletto Duarte

Lúcia Fernandes Sanches

Mário Almeida Neto

Equipe de Apoio

Aldo Caccavo

Juliana Leal

Stella Manes

Sumário

	04	Apresentação
	05	Definição dos grupos de UCs
	14	Levantamento e integração de dados para a linha de base
	16	Sistematização e agrupamento dos impactos
	27	Cálculo da significância dos impactos identificados
Aspectos gerais	27	
Definição e classificação da importância dos componentes afetados	28	
Atributos para caracterização e determinação da magnitude e significância dos impactos	31	
Combinação de atributos para determinação da magnitude e significância dos impactos	34	
	38	Metodologia de Integração
Etapa 1 – Cálculo da extensão dos impactos	38	
Etapa 2 – Substituição da reversibilidade pela duração dos impactos	39	
Etapa 3 – Conversão dos níveis dos atributos em valores ordinais	39	
Etapa 4 – Cálculo da magnitude	40	
Etapa 5 – Atribuição da significância	41	
	42	Identificação e proposição de medidas de reparação e compensação
Coleta de dados sobre as potenciais medidas reparatórias e compensatórias para as UCs	43	
Análise crítica e propositiva das medidas reparatória e compensatórias	44	
Análise crítica do conteúdo técnico e da elaboração das recomendações finais	57	
	57	Referências

Apresentação

Este documento apresenta as principais estratégias relacionadas à metodologia utilizada pela Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável – FBDS ao produzir uma Avaliação de Impacto Ambiental (AIA), a partir de estudos e relatórios com diferentes recortes territoriais para grupos formados pelas Unidades de Conservação presentes na bacia do Rio Doce e região costeira-marinha.

Esta avaliação é fruto da parceria entre a FBDS e a Fundação Renova e está relacionada ao Termo de Tratamento de Ajuste e Conduta (TTAC), em especial à cláusula 181, que busca a avaliação e o estabelecimento de estratégias e medidas de reparação para as Unidades de Conservação (UCs) que foram de alguma forma impactadas pelo rompimento da Barragem de Fundão - Mariana, MG - em 5 de novembro de 2015.

O principal desafio para a equipe da FBDS foi a integração e síntese de informações obtidas a partir de AIAs que utilizaram diferentes perspectivas e territórios que foram afetados de forma distinta pelo impacto de origem - em consonância com os protocolos e conceitos-chave da AIA. Desta forma, este documento visa complementar os relatórios apresentados para cada um dos grupos de UCs definidos, provendo detalhes metodológicos sobre a abordagem de integração proposta pela FBDS e interpretação das medidas de reparação propostas nos relatórios avaliados.

Para isso, este documento apresenta a definição dos grupos de UCs e os critérios utilizados, bem como a área de abrangência para este esforço. Para tanto, foi utilizado o "Relatório de processos sedimentológicos conexos ao Rio Doce e aos Rios adjacentes" produzido pela Fundação COPPETEC, a lista de UCs nominalmente citadas no TTAC e aquelas adicionadas após a apresentação de notas técnicas pela Câmara Técnica de Biodiversidade (CTBio), em consonância com a expectativa da Fundação Renova.

Além disso, este relatório apresenta a metodologia para a atribuição de significância dos impactos listados, a partir do levantamento das informações coletadas previamente por colaboradores da Fundação Renova, bem como as diretrizes utilizadas para a análise das medidas propostas. Espera-se a partir deste esforço oferecer as diretrizes necessárias para o desenvolvimento de um plano de ação para a recuperação e desenvolvimento na bacia do Rio Doce.

Identificação e definição dos grupos de **Unidades de Conservação** impactadas

As UCs consideradas no esforço de avaliação de impacto ambiental proposto pela FBDS são aquelas previstas nos acordos estabelecidos pela Fundação Renova. Tais acordos estão em constante atualização, considerando o surgimento de informações que apontam ou retiram a evidência do impacto causado pelo rompimento da Barragem de Fundão. Desta forma, neste momento, **as UCs consideradas neste estudo de AIA foram definidas a partir da cláusula 181 do TTAC e das Deliberações 36/2016, 179/2018 e 535/2021 e a partir dos critérios de elegibilidade propostos na NT 14/2020/CTBio/DIBIO/ICMBIO.** Cabe ressaltar que devido ao caráter dinâmico deste processo, a inclusão de novas UCs e exclusão de UCs inicialmente previstas é possível. Na existência de quaisquer evidências que sugira impacto potencial do rompimento da Barragem de Fundão em uma determinada UC, a mesma segue considerada em nossa análise.

Entre os critérios necessários para a inclusão das UCs destaca-se a delimitação da área identificada como potencialmente atingida pela pluma de rejeito na região costeira-marinha. Para tanto, foi utilizado o estudo desenvolvido pela Fundação COPPETEC e coordenado pelo Prof. Paulo Cesar Colonna Rosman, da Universidade Federal do Rio de Janeiro. O documento aprovado pela Deliberação CIF 527, de 6 de Agosto de 2021 discute a área potencial da influência da pluma de rejeito na região costeira-marinha próxima à foz do Rio Doce. A partir de modelos que exploram o movimento de massas de água, correntes marinhas e capacidade de carreamento e deposição de partículas e baseado em valores históricos para a região, foram definidos limites de quantidade de sólidos em suspensão totais (SST) e observados valores que ultrapassam esses limites. O estudo aponta que o limite de 1% de ocorrência de valores entre 10 e 100 mg/L, faixa que representa potencial aporte de sedimentos oriundos do rompimento da Barragem de Fundão através do Rio Doce, entre 20/11/2015 e 31/03/2016 ocorreu até 43 km ao norte de sua foz. No limite sul do estudo, que coincide com o molhe do Porto de Praia Mole, valores neste nível e tempo obtiveram 16% de ocorrência. O relatório aponta que a persistência de valores nesta faixa é maior ao norte da foz do Rio Doce, em especial nas porções próximas às fozes do Rio São Mateus e Itaúnas (Fig. 1), porém em menores concentrações. Esta análise é fruto da comparação com os mapas produzidos entre 20/11/2015 e 31/06/2019, onde é possível observar uma redução na ocorrência de valores de SST nesta faixa (Fig. 1).

A análise comparada entre estes dois períodos é decorrente da dissociação observada dos valores de SST estabelecidos como referência pelos modelos do Serviço Geológico do Brasil - CPRM - e valores obtidos em campo, admitindo-se que a diferença entre estes valores é uma boa estimativa da parcela de rejeito causado pelo rompimento da Barragem de Fundão no total de SST transportado pelo Rio Doce.

Rios de qualquer tamanho estão sujeitos a enchentes de intensidade variável no tempo. Rios pequenos tendem a ser mais encaixados e a correrem em terrenos mais íngremes. Como consequência, enchentes tendem a ocorrer em curtos intervalos, com aumento de vazão imediatamente após o início de chuvas fortes e retorno a vazão pré-enchente em pouco tempo (por ex. dias ou poucas semanas). Nestes rios, a água extravasa para regiões de várzea, que variam em tamanho, mas tendem a ser relativamente pequenas em rios menores. Em rios maiores, a dinâmica de cheias é mais lenta, com aumento e diminuição de maneira mais gradual. Por outro lado, as áreas de várzeas inundadas tendem a ser maiores. Além das áreas ribeirinhas, que podem ou não ser inundadas durante cheias, o rio possui conexão com o meio terrestre através de transferências de matéria e energia. O rio recebe nutrientes dissolvidos e matéria orgânica morta da bacia de drenagem e exporta biomassa de maneira direta (por ex. pescado) ou indireta, como itens alimentares para espécies terrestres (por ex. larvas de insetos aquáticos consumidos por aves e morcegos). Isto acontece tanto pela margem do Rio Doce quanto por seus afluentes. Portanto, a área de influência de um rio inclui tanto as áreas ribeirinhas (alagadas ou não) quanto aquelas mais distantes devido a seus afluentes.

A necessidade de operacionalizar as ações e medidas de reparação e compensação para os impactos decorrentes do rompimento da Barragem de Fundão culminou na necessidade de uma análise integrada das UCs. Desta forma, o primeiro e critério primordial para seu agrupamento está relacionado ao território em que se situam. A adoção desta estratégia, para além de aspectos relacionados a tipologia das UCs (proteção integral ou uso sustentável), deve-se às expectativas relacionadas à magnitude e tipologia dos impactos identificados ao longo do gradiente fonte-foz do Rio Doce e a propagação do mesmo na região costeira-marinha.

A FBDS busca estar alinhada com a dinâmica e demandas apontadas pela Câmara Técnica de Biodiversidade (CTBio) e normativas estabelecidas para esta temática, consonantes com a posição da Fundação Renova e assim como a inclusão e exclusão de UCs pode ocorrer ao longo do processo de avaliação de impacto ambiental, o agrupamento das mesmas pode sofrer ajustes se necessário. Desta forma, foram identificados oito grupos de UCs (Fig. 2) considerando:

- (1) a lista atual de UCs que deve ser contemplada no esforço da FBDS, conforme definição do programa aprovado em Dezembro de 2021;
- (2) a proximidade territorial entre estas UCs, coincidentes com a forma e magnitude com que o rompimento da Barragem de Fundão pode ter comprometido os meios físico e biótico e;
- (3) a potencial área de influência da pluma de rejeito que atingiu a região costeira-marinha e a cadeia de efeitos indiretos potenciais nesta região.

As UCs que compõem cada um dos grupos são:

Grupo 1 - APE Mariana, APA Barra Longa e MONA Rio Piranga;

Grupo 2 - Parque Estadual do Rio Doce, APA Nascentes do Ribeirão Sacramento, APA Dionísio, APA Santana do Paraíso, APA Belo Oriente, APA Córrego Novo, APA Pingo D'água, APA Bom Jesus do Galho, APA Lagoas de Caratinga, RPPN José Luiz Magalhães Neto e RPPN Lagoa Silvana;

Grupo 3 - MONA Pico de Ibituruna, APE Pico de Ibituruna, PNM Governador Valadares e APAM Pico de Ibituruna;

Grupo 4 - RPPN Sete de Outubro, Parque Estadual Sete Salões, FLONA de Goytacazes, RPPN e Fazenda Bulcão;

Grupo 5 - RDS Piraquê Açu Piraquê Mirim, Parque David Vitor Farina, REVIS Santa Cruz e APA Costa das Algas;

Grupo 6 - REBIO Comboios, ARIE Degredo e APA Região Litorânea;

Costeiras ES - Parque Estadual de Itaúnas, APA de Praia Mole, APA de Conceição da Barra, Parque Estadual Paulo César Vinha, APA Municipal das Tartarugas, APA Lagoa Grande, APA Guanandy, MONA Falésias de Marataízes, Parque Natural Municipal de Jacaranema, RDS Concha das Ostras, RDS Papagaio, APA de Setiba, RDS de Barra Nova, PNM Morro da Pescaria, APA Manguezal Sul, ESEC Ilha do Lameirão, PNM Dom Luiz Gonzaga Fernandes, APA Barra Seca, APA Municipal da Região Litorânea, MONA Morro do Penedo e PNM Morro da Mantegueira;

Bahia - Reserva Extrativista Cassurubá, Parque Nacional dos Abrolhos, APA Ponta da Baleia.

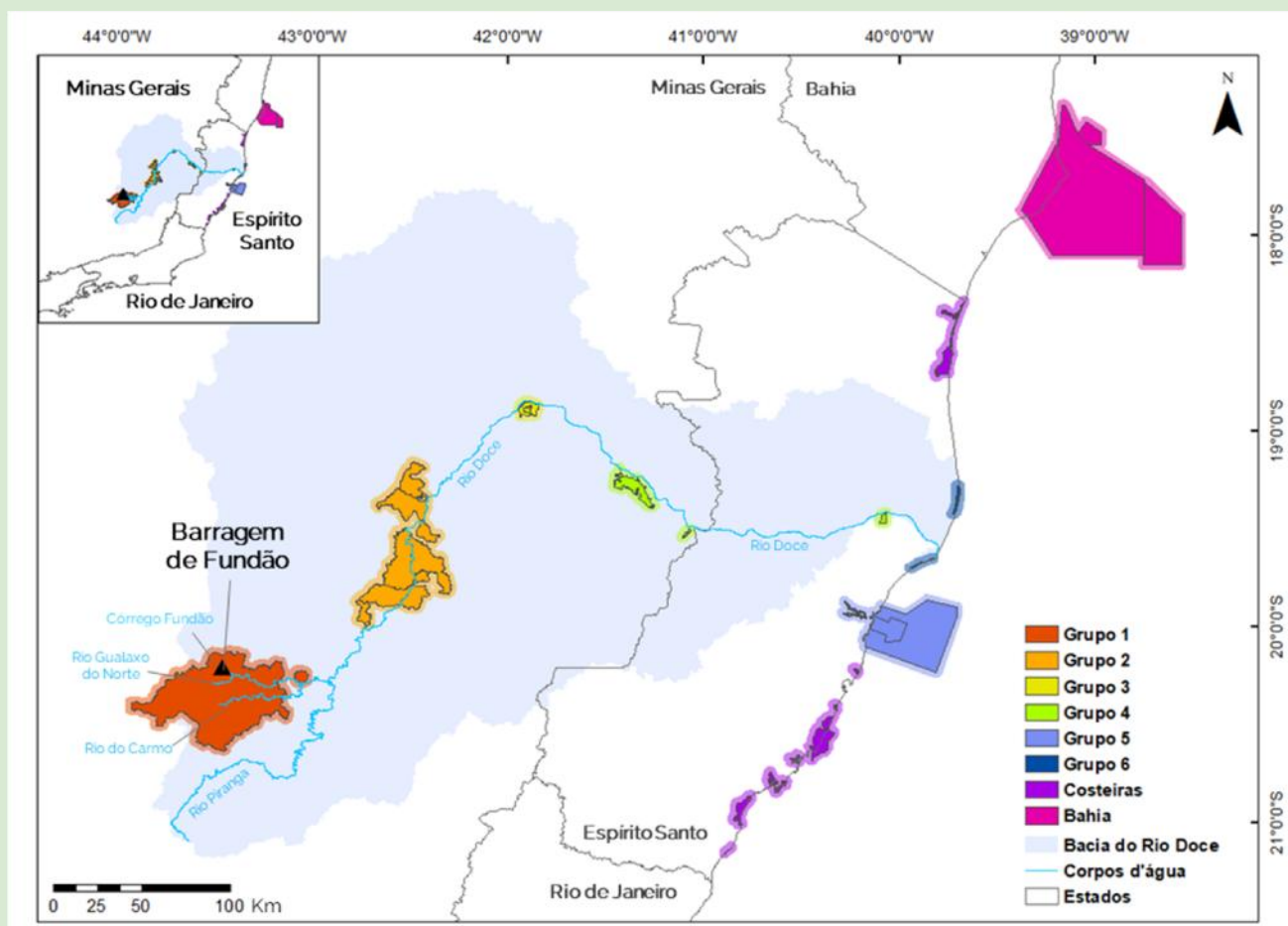


Figura 2. Unidades de Conservação e respectivos grupos estabelecidos seguindo os critérios de proximidade geográfica e potencial área de influência da pluma de rejeito na região costeira-marinha. **Fonte:** FBDS, 2022.

Na Tabela 1 são apresentadas características e aspectos das UCs presentes em cada um dos grupos. Aspectos mais específicos sobre cada uma das UCs, bem como se relacionam com o rompimento da Barragem de Fundão e impactos listados são apresentados nos relatórios dos grupos dos quais fazem parte.

Tabela 1. Lista de UCs e respectivos grupos dos quais fazem parte. A definição dos grupos tem como critério principal a posição geográfica das UCs. **Fonte:** FBDS, 2022.

Grupo da UC	Unidade de Conservação	Localização	Ano de criação	Área (ha)	Esfera administrativa	Tipo de ambiente	Tipo de Impacto
1	APE Ouro Preto Mariana	Mariana (MG)	1981	119.800	Estadual	Continental	Direto
1	APA Barra Longa	Barra Longa (MG)	2001	4.252	Municipal	Continental	Direto
1	MONA Rio Piranga	Ponte Nova (MG)	2008	13,6	Municipal	Continental	-
2	Parque Estadual do Rio Doce	Dionísio, Marliéria e Timóteo (MG)	1944	35.976	Estadual	Continental	Direto
2	APA Nascentes do Ribeirão Sacramento	São José do Goiabal (MG)	2002	6.686	Municipal	Continental	Potencial
2	APA Dionísio	Dionísio (MG)	-	-	Municipal	Continental	Direto
2	APA Santana do Paraíso	Santana do Paraíso (MG)	1999	25.148	Municipal	Continental	Direto
2	APA Belo Oriente	Belo Oriente (MG)	2002	18.308	Municipal	Continental	Direto
2	APA Córrego Novo	Córrego Novo (MG)	2003	11.742	Municipal	Continental	Potencial
2	APA Pingo D'água	Pingo D'água (MG)	2001	3.927	Municipal	Continental	Direto
2	APA Bom Jesus do Galho	Bom Jesus do Galho (MG)	2002	29.231	Municipal	Continental	Direto
2	APA Lagoas de Caratinga	Caratinga (MG)	1996	18.604	Municipal	Continental	-
2	RPPN José Luiz Magalhães Neto	São José do Goiabal (MG)	2008	17,35	Particular	Continental	Potencial
2	RPPN Lagoa Silvana	Caratinga (MG)	2012	274,186	Particular	Continental	Potencial

Nota: O critério "tipo de impacto" faz referência à divisão em dois grupos como proposta na Nota Técnica nº 4/2017/CTBio/DIBIO/ICMBio: Direto = Unidades de Conservação diretamente impactadas; Potencial = Unidades de Conservação com potencial impacto sobre sua área e/ou Zona de Amortecimento
Informações não disponíveis representadas com (-).

Tabela 1. Lista de UCs e respectivos grupos dos quais fazem parte. A definição dos grupos tem como critério principal a posição geográfica das UCs. **Fonte:** FBDS, 2022.

Grupo da UC	Unidade de Conservação	Localização	Ano de criação	Área (ha)	Esfera administrativa	Tipo de ambiente	Tipo de Impacto
3	MONA Pico de Ibituruna	Governador Valadares (MG)	2014	1.076,2	Estadual	Continental	Direto
3	APE Pico de Ibituruna	Governador Valadares (MG)	1983	6.680	Estadual	Continental	Direto
3	PNM Governador Valadares	Governador Valadares (MG)	2011	402.916	Municipal	Continental	-
3	APAM Pico de Ibituruna	Governador Valadares (MG)	1994	6.680	Municipal	Continental	-
4	RPPN Sete de Outubro	Conselheiro Pena (MG)	2012	5,22	Particular	Continental	Potencial
4	Parque Estadual Sete Salões	Conselheiro Pena, Itueta, Resplendor e Santa Rita do Itueto (MG)	1998	12.520	Estadual	Continental	Potencial
4	FLONA de Goytacazes	Linhares (ES)	2002	1.423	Federal	Continental	Potencial
4	RPPN Fazenda Bulcão	Aimorés (MG)	2000	608,69	Particular	Continental	Potencial
5	RDS Piraquê Açu Piraquê Mirim	Aracruz (ES)	2000	2.100	Municipal	Continental	Direto
5	Parque David Vitor Farina	Aracruz (ES)	1995	43,69	Municipal	Continental	Direto
5	REVIS Santa Cruz	Aracruz, Fundão e Serra (ES)	2010	17.741	Federal	Marinha	Direto
5	APA Costa das Algas	Aracruz, Fundão e Serra (ES)	2002	115.000	Federal	Marinha	Direto
6	REBIO Comboios	Linhares e Aracruz (ES)	1984	833,23	Federal	Marinha Costeira	Direto
6	ARIE Degredo	Linhares (ES)	2010	2.460	Municipal	Marinha Costeira	Direto
6	APA Região Litorânea	-	-	-	-	-	-

Tabela 1. Lista de UCs e respectivos grupos dos quais fazem parte. A definição dos grupos tem como critério principal a posição geográfica das UCs. **Fonte:** FBDS, 2022

Grupo da UC	Unidade de Conservação	Localização	Ano de criação	Área (ha)	Esfera administrativa	Tipo de ambiente	Tipo de Impacto
Costeiras ES	Parque Estadual de Itaúnas	Conceição da Barra (ES)	1991	3.150	Estadual	Marinho Costeira	Potencial
Costeiras ES	APA de Praia Mole	Serra (ES)	1994	400	Estadual	Marinho Costeira	Potencial
Costeiras ES	APA de Conceição da Barra	Conceição da Barra (ES)	1998	7.728	Estadual	Marinho Costeira	Potencial
Costeiras ES	Parque Estadual Paulo César Vinha	Guarapari (ES)	1994	115.000	Estadual	Costeira	Direto
Costeiras ES	APA Municipal das Tartarugas	Anchieta (ES)	1988	1.685	Municipal	Marinho Costeira	Potencial
Costeiras ES	APA Lagoa Grande	Vila Velha (ES)	2006	2.725	Municipal	Costeira	Potencial
Costeiras ES	APA Guanandy	Itapemirim, Marataizes e Piúma (ES)	1994	5.242	Estadual	Costeira	Potencial
Costeiras ES	MONA Falésias de Marataizes	Marataizes (ES)	2008	42,14	Municipal	Costeira	Potencial
Costeiras ES	Parque Natural Municipal de Jacarenema	Vila Velha (ES)	2003	346,27	Municipal	Costeira	Potencial
Costeiras ES	RDS Concha das Ostras	Guarapari (ES)	2007	953,5	Estadual	Marinho Costeira	Potencial
Costeiras ES	RDS Papagaio	Anchieta (ES)	1992	1.731	Municipal	Costeira	Potencial
Costeiras ES	APA de Setiba	Guarapari e Vila Velha (ES)	1994	12.960	Estadual	Costeira	Direto

Nota: As UCs RDS de Barra Nova, PNM Morro da Pescaria, APA Manguezal Sul, ESEC Ilha do Lameirão, PNM Dom Luiz Gonzaga Fernandes, APA Barra Seca, APA Municipal da Região Litorânea, MONA Morro do Penedo e PNM Morro da Mantegueira fazem parte do Grupo Costeiras ES, no entanto não estão nominalmente citadas na tabela por terem sido incluídas a partir da Deliberação 535.

Tabela 1. Lista de UCs e respectivos grupos dos quais fazem parte. A definição dos grupos tem como critério principal a posição geográfica das UCs. **Fonte:** FBDS, 2022.

Grupo da UC	Unidade de Conservação	Localização	Ano de criação	Área (ha)	Esfera administrativa	Tipo de ambiente	Tipo de Impacto
Bahia	Reserva Extrativista Cassurubá	Alcobaça, Caravelas e Nova Viçosa (BA)	2009	100.687	Federal	Marinho Costeira	Potencial
Bahia	Parque Nacional dos Abrolhos	Alcobaça, Caravelas e Nova Viçosa (BA)	1983	87.942	Federal	Marinha	Potencial
Bahia	APA Ponta da Baleia	Litoral Sul da Bahia	1993	346.535	Estadual	Marinho Costeira	-

Levantamento e integração de dados para a **linha de base**

Os relatórios individuais para cada uma das UCs produzidos pelo Instituto Ekos Brasil e pela CEPEMAR foram as principais fontes de informação utilizadas pela equipe da FBDS. Ambas as empresas valeram-se de protocolos tradicionais de AIA, que buscam a partir da significância de um dado impacto, estabelecida a partir de atributos e arranjos de atributos que podem diferir entre metodologias, identificar aspectos críticos e prioritários para intervenção.

A decisão sobre quais atributos e o peso atribuído a cada um deles é fruto da compreensão técnica da equipe que realiza a avaliação e pode apresentar inconsistências quanto a sua integração quando realizados por equipes distintas. Este aspecto guiou todas as ações conduzidas pela FBDS, que se valeu do esforço de campo e coleta de informações realizadas pelas equipes técnicas do Instituto Ekos Brasil e CEPEMAR. Esta estratégia visou:

- (1) garantir que a mobilização realizada junto aos gestores das Unidades de Conservação e população do entorno fosse considerada pela FBDS, sem a necessidade de realização de novos encontros e discussões;
- (2) tornar o processo de elaboração de um plano de ação mais célere, a fim de reduzir esforços redundantes e;
- (3) utilizar o conhecimento técnico já sintetizado e compilado pelas empresas, a partir de um olhar crítico e técnico da equipe da FBDS.

No entanto, algumas diferenças metodológicas adotadas pela duas empresas, especialmente em relação às bases de dados acessadas e aos grupos taxonômicos avaliados, poderiam resultar em equívocos na avaliação e comparação da linha de base e dos impactos. Desta forma, foram realizadas buscas por informações complementares àquelas presentes nos relatórios individuais, a fim de garantir o estabelecimento de uma metodologia unificada, considerando a mesma estratégia para a construção de uma linha de base. Além disso, nem todas as UCs que compõem os grupos listados foram alvo de um relatório individual, o que exigiu a busca de informações específicas para elas. Para tanto, foi utilizada a mesma metodologia de construção de linha de base para as UCs que foram avaliadas em relatórios individuais.

Para a construção de uma linha de base para o meio físico, foram utilizadas informações de fontes distintas, as quais estão discriminadas nos relatórios de cada um dos grupos. No entanto, é importante ressaltar que algumas informações contribuíram de forma excepcional para a análise produzida. Para o meio físico, cujos principais impactos estavam atrelados a parâmetros relacionados à qualidade da água e dinâmicas presentes na calha do Rio Doce, a criação de uma linha de base foi facilitada pelo uso dos dados de séries históricas para um grande número de variáveis obtidas por meio do monitoramento realizado pelo Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM).

O IGAM disponibiliza dados públicos de variáveis limnológicas desde 1997, incluindo descritores básicos de qualidade de água, íons (incluindo nutrientes), contaminação microbiológica e indicadores de biomassa de fitoplâncton. Apesar do número de variáveis determinadas em cada amostra ser bastante variável ao longo do tempo, com tendência de maior número nas amostras dos últimos anos, a existência de uma metodologia padronizada viabiliza a comparação do comportamento das mesmas antes e após o rompimento da barragem ao longo de toda a bacia do Rio Doce. Além disso, a fim de quantificar os impactos, a base de dados produzidas pela Golder e pelo Programa de Monitoramento Quali-Quantitativo Sistemático (PMQQS) realizado pela Fundação Renova foram integradas, sempre que possível, aos dados do IGAM para uma avaliação mais consistente dos impactos listados.

No caso das UCs presentes na região costeira-marinha e dados da bacia do Rio Doce em sua porção capixaba, destacam-se os dados produzidos pelo PMQQS e aqueles organizados pelos relatórios do Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática conduzido pela Rede Rio Doce Mar por meio da Fundação Espírito-santense de Tecnologia (FEST). Estas informações também foram utilizadas para a construção de uma linha de base para o meio biótico. No entanto, para garantir que todas as bases e informações disponíveis sobre este meio sejam usadas, além das questões e aspectos específicos explorados pela Rede Rio Doce Mar, diferentes repositórios de dados de biodiversidade foram acessados, como SpeciesLink (<http://splink.cria.org.br>) e Global Biodiversity Information Facility (<http://www.gbif.org>), assim como de banco de dados específicos para plantas terrestres (JABOT: jabot.jbrj.gov.br), aves (VertNet: <http://vertnet.org>; Wikiaves: <https://www.wikiaves.com.br>), anfíbios e répteis (herpNet: <http://www.herpnet.org>). Também foram usados registros das espécies presentes nos planos de manejo das UCs em cada grupo, teses, dissertações e trabalhos de conclusão de curso de graduação, artigos científicos, coleções de museus, dados do monitoramento de ictiofauna em andamento (disponibilizados pela Fundação Renova).

Informações sobre o grau de ameaça das plantas terrestres foram obtidas nas listas da União Internacional para a Conservação da Natureza (IUCN, 2021) para classificação de ameaça ao nível global, CNCFlora (2013) para nível de ameaça em escala nacional, as listas da Fundação Biodiversitas (Biodiversitas, 2007) e do Conselho Estadual de Política Ambiental (COPAM, 2018) para o Estado de Minas Gerais, e a lista em Fraga et al. (2019), uma atualização de Simonelli & Fraga (2007) para o Estado do Espírito Santo. Para a fauna as informações sobre o grau de ameaça das espécies em escala global foram obtidas da Lista Vermelha da União Internacional para a Conservação da Natureza (IUCN, 2021), e do Livro Vermelho da Fauna Brasileira Ameaçada de Extinção (ICMBio/MMA, 2018). Para o Estado de Minas Gerais foram usadas as listas da Fundação Biodiversitas (Biodiversitas, 2007) e do Conselho Estadual de Política Ambiental (COPAM, 2018). Para o Estado do Espírito Santo, foi usada a lista de Fraga et al. (2019), uma atualização da lista em Passamani & Mendes (2007).

Sistematização e agrupamento dos impactos

Nas AIAs previamente desenvolvidas pelo Instituto Ekos Brasil e CEPEMAR foram elencados uma série de impactos em cada UC para os meios físicos e bióticos, objetos de análise pela FBDS. Os enunciados dos impactos, bem como sua descrição, apresentam similaridades em suas linhas causais, o que permitiu que a FBDS construísse uma lista de impactos integrada. Para tanto, alguns critérios foram utilizados neste esforço, incluindo:

- (1) a supressão de impactos redundantes e/ou similares entre os relatórios, identificados a partir da descrição dos mesmos e diferenças pontuais em seus enunciados;
- (2) a sistematização dos enunciados contidos em relatórios distintos, permitindo identificar redundâncias entre relatórios distintos;
- (3) o acoplamento denexo-causal intrínseco a determinados componentes que poderiam ser descritos conjuntamente, bem como só poderiam ser tratados desta forma;
- (4) a premissa de que uma lista simplificada, mas que contém todos os impactos identificados ao menos em relação a sua linha causal, facilita a implementação de ações que visem sua reparação.

Desta forma, esta etapa consistiu na unificação e reavaliação dos impactos identificados, a partir dos critérios listados, a fim de padronizá-los de forma comum a todos os relatórios produzidos pela FBDS.

Foram elencados todos os impactos identificados para cada uma das UCs, totalizando 100 impactos individuais. A correspondência entre estes impactos foi observada pela equipe da FBDS, considerando a descrição presente em todos os relatórios. Este esforço permitiu reclassificar os impactos para meio físico e biótico, totalizando 21 impactos padronizados: dez para o meio físico e 11 para o meio biótico. Esses impactos padronizados para o meio físico e biótico são apresentados, respectivamente, nas tabelas 2 e 3. A correspondência entre os impactos originalmente identificados considerando os contextos individuais de cada UC e os impactos padronizados está disponível em lista posterior às tabelas.

Para a padronização dos impactos foram indicadas a descrição original dos impactos, sua correspondência com os impactos padronizados, o código padronizado e sua correspondência com os códigos originais de cada grupo de UC. Para os impactos padronizados pela FBDS foi realizada uma nova codificação a fim de evitar confusões quando os impactos fossem apresentados no texto. Impactos para o meio físico sempre iniciam em Fis, enquanto impactos para o meio biótico sempre iniciam em Bio (Tabelas 2 e 3).

Tabela 2. Lista de impactos padronizados para o meio físico para as UCs, objeto de análise do esforço de integração e padronização realizado pela FBDS, a partir das informações contidas nos relatórios individuais. **Fonte:** FBDS, 2022.

Código	Nome do Impacto	Descrição do Impacto
Fis1	Degradação da qualidade da água	Diminuição da qualidade da água através do aumento na carga suspensa, contaminação por metais, nutrientes, microorganismos e demais alterações nos parâmetros físico-químicos da água.
Fis2	Assoreamento de corpos hídricos	Aumento do acúmulo de sedimentos sobre o leito dos rios, nas suas respectivas zonas de confluência com tributários e nos corpos d'água marginais.
Fis3	Contaminação do leito do rio	Aumento da contaminação do leito do Rio Doce.
Fis4	Degradação da qualidade do sedimento	Comprometimento das características do sedimento do ambiente aquático, incluindo a granulometria, graus de seleção e arredondamento, assimetria, mineralogia bem como a diminuição da densidade de depósito.
Fis5	Alteração das características morfodinâmicas dos cursos d'água	Comprometimento das características morfodinâmicas dos cursos d'água e da dinâmica fluvial, incluindo modificações da calha dos rios e das zonas de confluência dos seus tributários.
Fis6	Soterramento de planícies fluviais	Soterramento de planícies fluviais pela deposição de rejeito.
Fis7	Contaminação de planícies fluviais	Aumento da contaminação das planícies de inundação.
Fis8	Redução da quantidade de água dos tributários ao Rio Doce	Redução da quantidade da água dos tributários ao Rio Doce devido à maior captação de água nestes ambientes frente ao risco de desabastecimento após o desastre.
Fis9	Assoreamento da praia	Alteração no padrão de acúmulo de sedimentos na orla das praias.
Fis10	Alteração da morfologia da praia	Comprometimento das características morfológicas da faixa de areia bem como da orla das praias.

Tabela 3. Lista de impactos padronizados para o meio biótico para as UCs, objeto de análise do esforço de integração e padronização realizado pela FBDS, a partir das informações contidas nos relatórios individuais. **Fonte:** FBDS, 2022.

Código	Nome do Impacto	Descrição do Impacto
Bio1	Mortandade direta e/ou indireta	Mortalidade de indivíduos da fauna (peixes, anfíbios, répteis, aves e/ou mamíferos) ou flora (vegetação terrestre e/ou aquática) devido a: ação física da água, rejeitos e/ou detritos (arrasto ou soterramento), degradação ou contaminação.
Bio2	Contaminação da biota	Contaminação da biota por rejeitos da Barragem de Fundão, incluindo a bioacumulação e bioamplificação de metais, a contaminação dos recursos alimentares, os danos à saúde dos organismos contaminados, a transferência e bioamplificação de contaminantes do ambiente aquático para o terrestre devido ao consumo de recursos aquáticos e movimentação dos animais, a contaminação de manchas de habitats aquáticos no ambiente terrestre, como bromélias e poças, e a deposição direta ou indireta de rejeito sobre o solo e a vegetação terrestre.
Bio3	Alterações na fisiologia ou fenologia de organismos vegetais	Comprometimento das funções e características fisiológicas e/ou fenológicas da vegetação.
Bio4	Empobrecimento ou redução dos recursos alimentares	Redução na quantidade e variabilidade de recursos alimentares para os animais devido à mortalidade e declínio populacional de plantas aquáticas e/ou terrestres e/ou animais predados ou consumidos por necrófagos.
Bio5	Alteração na composição e/ou estrutura de comunidades	Comprometimento da composição e/ou estrutura de comunidades da de peixes, aves aquáticas, zoo e fitobentos, plâncton e bentos marinho.
Bio6	Redução do potencial de regeneração natural da vegetação	Diminuição das taxas de germinação de sementes e/ou recrutamento de plântulas.
Bio7	Perda e/ou degradação de habitats	Redução da disponibilidade de habitats e/ou intensa degradação das condições naturais e/ou recursos necessários para as espécies terrestres, aquáticas e semiaquáticas de áreas continentais, costeiras ou marinhas; como consequência ocorre redução populacional e/ou degradação migração para habitats antropizados ou naturais.
Bio8	Redução da originalidade biótica	Aumento da riqueza e/ou abundância relativa de espécies exóticas/invasoras ou redução na abundância e/ou riqueza de espécies nativas raras, endêmicas ou em categorias de extinção, reduzindo a diferença composicional e a originalidade da biota da região em relação a biotas de ambientes antropizados.
Bio9	Redução da biodiversidade local	Redução no número de espécies nativas devido à declínios populacionais extremos ou mesmo a extinção permanente de espécies na escala local.
Bio10	Aumento de pressão antrópica sobre recursos naturais florestais	Aumento da exploração dos recursos naturais florestais devido ao avanço urbano sobre áreas de mata e à estagnação econômica da região. Nesse impacto, inclui-se a supressão de vegetação e aumento da extração de palmito.
Bio11	Aumento da caça/pesca predatória	Aumento da pressão da caça predatória sobre a fauna ou captura de espécimes da avifauna da região.



Figura 3. Lista de ícones utilizados para representar os impactos no meio físico e biótico nas UCs, objeto de análise do esforço de integração e padronização realizado pela FBDS, a partir das informações contidas nos relatórios individuais. **Fonte:** FBDS, 2022.

A seguir encontram-se listados os impactos padronizados e sua correspondência com os impactos originais descritos nos diagnósticos realizados para todas as UCs.



Fis1: Degradação da qualidade da água

- F1 - Degradação da qualidade da água do Rio Doce e corpos d'água marginais - aumento na carga suspensa
- F1 - Diminuição da qualidade da água do Rio Doce - aumento na carga suspensa
- F1 - Diminuição da qualidade da água dos corpos hídricos - aumento na carga suspensa
- F1 - Diminuição da qualidade da água do Rio Doce e de cursos d'água associados - aumento na carga suspensa
- F1 - Alteração da água dos corpos hídricos - aumento na carga suspensa
- F1 - Degradação da qualidade da água do Rio Doce e corpos d'água marginais - aumento na carga suspensa.
- F3 - Diminuição da qualidade da água do Rio Doce - alterações físico químicas
- F3 - Diminuição da qualidade dos corpos hídricos - alterações físico-químicas
- F3 - Diminuição da qualidade da água dos corpos hídricos - alterações físico químicas
- F3 - Diminuição da qualidade da água do Rio Doce e de cursos d'água associados - alterações físico químicas
- F3 - Alteração na qualidade da água dos corpos hídricos - alterações físico químicas
- F3 - Alteração na qualidade da água do rio e corpos d'água marginais e tributários - alterações físico-químicas
- F3 - Degradação da qualidade da água do Rio Doce e corpos d'água marginais - contaminação microbiológica
- F4 - Degradação da qualidade da água do Rio Doce e corpos d'água marginais: demais alterações físico-química
- F4 - Degradação da qualidade da água do Rio Doce e corpos d'água marginais - demais alterações físico-químicas
- F5 - Degradação da qualidade da água de tributários ao Rio Doce
- F6 - Degradação da qualidade da água dos lagos do Rio Doce
- F11-Degradação da qualidade da água e dos sedimentos de tributários ao Rio Doce
- F15 - Degradação da qualidade da água subterrânea
- Alt - Alteração da qualidade da água marinha: contaminação por metais
- Alt - Alteração da qualidade da água marinha: alterações físico-químicas
- Alt - Alteração da qualidade da água marinha: aumento das concentrações de nutrientes
- Dim - Diminuição da qualidade da água dos corpos hídricos: contaminação por metais
- Deg - Degradação da qualidade da água e dos sedimentos de tributários ao Rio Doce



Fis2: Assoreamento de corpos hídricos

- F4 - Assoreamento do leito do Rio Doce
- F5 - Assoreamento do leito do Rio Doce, zonas de confluência com tributários e corpos d'água marginais
- F8 - Alteração na dinâmica fluvial do rio Doce.
- Alt - Alteração na dinâmica fluvial e no regime hidrológico das planícies fluviais, tributários e corpos hídricos marginais
- Ass - Assoreamento do leito do rio Gualaxo do Norte e zonas de confluência



Fis3: Contaminação do leito do rio

- F2 - Degradação da qualidade da água e sedimento do Rio Doce e corpos d'água marginais: contaminação por metais
- F2 - Diminuição da qualidade da água do rio Doce - contaminação por metais
- F2 - Diminuição da qualidade da água dos corpos hídricos - contaminação por metais
- F2 - Diminuição da qualidade da água do rio Doce e de cursos d'água associados - contaminação por metais
- F2 - Alteração na qualidade da água dos corpos hídricos - contaminação por metais
- F7 - Alteração na qualidade do sedimento - contaminação por metais e semimetais
- F7 - Degradação da qualidade do sedimento do Rio Doce e corpos d'água marginais - contaminação por metais
- F11 - Alteração na qualidade do sedimento - contaminação por metais e semimetais
- Alt - Alteração da qualidade do sedimento: contaminação por metais e metalóides



Fis4: Degradação da qualidade do sedimento

- F6 - Degradação da morfologia da calha do Rio Doce, zonas de confluência com tributários e vales de corpos d'água marginais - alteração na granulometria dos sedimentos e na estrutura dos agregados
- F8 - Degradação da qualidade do sedimento de tributários ao Rio Doce
- F9 - Alteração da granulometria dos sedimentos
- Alt - Alteração na qualidade do sedimento - diminuição da densidade do depósito
- Alt - Alteração na qualidade do sedimento - granulometria
- Alt - Alteração da qualidade do sedimento: granulometria, grau de seleção, grau de arredondamento, assimetria e mineralogia



Fis5: Alteração das características morfodinâmicas dos cursos d'água

- F8 - Alteração na dinâmica fluvial do Rio Doce
- F9 - Alteração na dinâmica fluvial
- F10 - Alteração da morfologia do Rio Doce
- F12 - Alteração da dinâmica fluvial
- Deg - Degradação da morfologia das calhas do Rio Gualaxo do Norte, zonas de confluência e corpos d'água marginais



Fis6: Soterramento de planícies fluviais

- F6 - Alteração e soterramento de planícies, margens, e ilhas fluviais pela deposição do rejeito carregado
- F7 - Soterramento de planícies fluviais pela deposição de lodo de rejeito
- F13 - Deposição de rejeitos na planície fluvial
- F10 - Alteração no regime hídrico de planícies fluviais
- F14 - Alteração do regime hídrico das planícies fluviais



Fis7: Contaminação de planícies fluviais

- F8-Contaminação de planícies fluviais pela deposição de lodo de rejeito
- Alt- Alterações na fertilidade do solo



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

- F12-Redução da quantidade da água dos tributários ao Rio Doce
- F11 - Alteração no volume e carga hídrica dos tributários aos rios da UC e área de entorno
- F11 - Obstrução da confluência de tributários ao Rio Doce
- Alt - Alteração no volume e carga hídrica dos tributários aos rios da UC sua zona de amortecimento



Fis9: Assoreamento da praia

- Alt - Alteração no padrão de sedimentação



Fis10: Alteração na morfologia da praia

- Alt - Alteração/mudança na morfologia da praia



Bio1: Mortandade direta e/ou indireta

- B1 - Ictiofauna - Ambiente aquático - aumento da mortalidade e redução dos tamanhos populacionais: mortalidade de peixes afetando a dinâmica e estrutura da ictiofauna local
- B1 - Herpetofauna - Ambiente aquático - aumento da mortalidade e redução dos tamanhos populacionais: mortalidade de anfíbios e de crocodilianos
- B1 - Avifauna - Ambiente aquático - aumento de mortalidade e redução dos tamanhos populacionais: mortalidade de aves aquáticas e semi-aquáticas, destruição de ninhos e ovos, mortalidade de filhotes
- Ambiente aquático - aumento da mortalidade dos mamíferos em decorrência da contaminação química e da degradação dos habitats de ocorrência
- B1 - Vegetação - Ambiente aquático - aumento de mortalidade e redução dos tamanhos populacionais: impacto sobre o banco de macrófitas no Rio Doce
- B2 - Aumento da mortalidade de indivíduos vegetais
- B2 - Aumento de mortalidade e redução dos tamanhos populacionais da vegetação terrestre
- Ambiente aquático - mortalidade dos mamíferos em decorrência da degradação do habitat marinho e estuarino
- B3 - Aumento de mortalidade e redução dos tamanhos populacionais da vegetação aquática
- B6 - Aumento de mortalidade de mamíferos e redução dos tamanhos populacionais
- Ambiente aquático - mortalidade dos mamíferos por contaminação química direta (dos indivíduos) e indireta (consumo de recursos contaminados)
- B7 - Alterações e/ou mortalidade nas comunidades de macrófitas subaquáticas
- B8 - Aumento de mortalidade da avifauna e redução dos tamanhos populacionais
- Mortalidade de aves, diminuição populacional
- B12 - Aumento de mortalidade da herpetofauna e redução dos tamanhos populacionais
- B17 - Aumento de mortalidade da ictiofauna e redução dos tamanhos populacionais
- B23 - Aumento da mortalidade de girinos e redução populacional de anfíbios e répteis aquáticos
- B28 - Mortandade da Ictiofauna



Bio2: Contaminação da biota

- B1 - Contaminação e bioamplificação de contaminantes em animais e plantas.
- B11 - Contaminação e bioamplificação de contaminantes em animais e plantas
- B12 - Bioacumulação de metais em espécies indicadoras
- B12 - Bioacumulação de metais em espécies indicadoras - plâncton e bentos
- B16 - Bioacumulação de metais no sangue e tecido das aves
- B22 - Bioacumulação e aumento de malformações corpóreas na herpetofauna
- B25 - Contaminação química de mamíferos e dos seus recursos alimentares
- B25 - Contaminação química de mamíferos e seus recursos alimentares
- B30 - Contaminação da ictiofauna através dos rejeitos carregados e depositados
- Alt - Alteração na saúde das tartarugas marinhas
- Bio - Bioacumulação de metais em espécies indicadoras
- Cont - Contaminação química das comunidades bentônicas estuarinas e marinhas e de seus recursos alimentares
- Cont - Contaminação da água armazenada em bromélias ou em poças, através da condensação do spray marinho
- Con - Concentração de metais pesados em tecidos vegetais



Bio3: Alterações na fisiologia ou fenologia de organismos vegetais

- B5 - Alterações fenológicas e fisiológicas na vegetação
- Alt - Alterações ecofisiológicas
- Alt - Alterações fenológicas (floração, frutificação)



Bio4: Empobrecimento ou redução dos recursos alimentares

- B5 avifauna-Ambiente aquático - Alterações na cadeia trófica relacionadas aos ambientes aquáticos: desestruturação das cadeias tróficas através da mortalidade de peixes e invertebrados afetando assembleias de aves
- B5 herpetofauna-Ambiente aquático - Alterações na cadeia trófica relacionadas aos ambientes aquáticos: alterações na herpetofauna decorrentes de impactos sobre as comunidades de insetos aquáticos das quais se alimentam
- B5 ictiofauna-Ambiente aquático - Alterações na cadeia trófica relacionadas aos ambientes aquáticos: perda de recursos alimentares disponíveis para a ictiofauna, resultando em aumento da competição por recursos alimentares e alterações na assembleia de peixes
- B10 - Efeitos negativos das alterações na cadeia trófica sobre a avifauna
- Diminuição da disponibilidade de recursos na cadeia trófica
- B14 - Efeitos negativos das alterações na cadeia trófica sobre a herpetofauna terrestre
- B15 - Mortalidade/diminuição de recursos alimentares consumidos pelas aves
- B15 - Efeitos negativos das alterações na cadeia trófica sobre a herpetofauna aquática
- B20 - Alteração na disponibilidade alimentar da herpetofauna
- B20 - Efeitos negativos das alterações na cadeia trófica sobre a ictiofauna



Bio5: Alteração na composição e/ou estrutura de comunidades

- B11 - Alteração na composição das comunidades de aves aquáticas na calha do rio Doce e ambientes adjacentes.
- B11 - Alterações nas comunidades zoo e fitobentônicas
- B10 - Alterações nas comunidades planctônicas
- B21 - Alteração na composição da assembleia ou comunidades de peixes na calha do rio Doce e ambientes adjacentes
- B29 - Alterações na estrutura e composição da ictiofauna
- Alt- Alteração/Mudança nas comunidades bentônicas marinhas
- Alt- Alterações nos processos ecossistêmicos, na estrutura da cadeia trófica e nas relações ecológicas (e.g. predação, competição, etc)



Bio6: Redução do potencial de regeneração natural da vegetação

- B4 - Alterações nas taxas de germinação de sementes e recrutamento de plântulas



Bio7: Perda e/ou degradação de habitats

B2 ictiofauna-Ambiente aquático - perda de hábitat através de destruição: soterramento de recursos alimentares, vegetação das margens do Rio Doce, poços, corredeiras. Formação de bancos de areia diminuindo a profundidade da água.

B2 avifauna-Ambiente aquático - perda de hábitat através de destruição: soterramento de micro-habitats utilizados para nidificação e forrageamento pelas aves, como praias e bancos de macrófitas

B3 herpetofauna-Ambiente aquático - perda de hábitat por degradação: degradação da qualidade da água e assoreamento do leito do Rio Doce, bem como das zonas de confluência com tributários e corpos d'água marginais, impactando a herpetofauna aquática

B3 ictiofauna-Ambiente aquático - perda de hábitat por degradação: aumento da turbidez prejudicando espécies de peixes visualmente orientadas e diminuindo a incidência de luz e a produtividade primária

Degradação do hábitat marinho e estuarino utilizado pela avifauna

B3 avifauna-Ambiente aquático - perda de hábitat por degradação: degradação de micro-habitats utilizados para nidificação e forrageamento pelas aves, tais como praias e bancos de macrófitas

B4 ictiofauna-Ambiente aquático - Perda de conectividade dos tributários e áreas adjacentes

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

B7 - Degradação do habitat utilizado por mamíferos em decorrência da passagem e deposição de rejeitos nas margens do rio Doce e áreas adjacentes

B9 - Degradação do habitat utilizado pela avifauna em decorrência da passagem e deposição de rejeitos nas margens do rio Doce e áreas adjacentes

Ambiente terrestre - perda e fragmentação do habitat dos mamíferos em decorrência da alteração no uso e ocupação do solo

B13 - Degradação dos habitats utilizados pela avifauna

B13 - Degradação do hábitat da herpetofauna, em decorrência da passagem e deposição de rejeitos na calha do rio Doce e áreas adjacentes

B17 - Alteração das áreas de forrageamento das aves

B18 - Destruição e degradação do hábitat utilizado pela ictiofauna

B19 - Interrupção do fluxo das espécies da ictiofauna decorrente da perda de conectividade entre os tributários e o rio Doce

B19 - Degradação dos habitats utilizados pela herpetofauna

B24 - Alterações do habitat terrestre (alteração no uso e ocupação do solo) para mastofauna

Perda de habitat por degradação na calha do Rio Doce e áreas adjacentes



Bio8: Redução da originalidade biótica

B4 - Aumento de espécies vegetais exóticas/invasoras nas margens do Rio Doce.

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

B9 - Aumento da espécies vegetais exóticas/invasoras

Amb- Ambiente aquático - Aumento na riqueza e abundância relativa de espécies introduzidas

Imp- Impacto sobre as comunidades zooplanctônicas marinhas



Biog: Redução da biodiversidade local

B6 ictiofauna-Ambiente aquático - Alterações na composição da assembléia ou comunidades aquáticas: a perda de recursos alimentares e de ambientes especiais, bem como a introdução de espécies provenientes de outras regiões atuam reduzindo a diversidade taxonômica e funcional das assembléias de peixes

B10 - Alterações na comunidades planctônicas

B10 ictiofauna - Ambiente aquático - redução de tamanhos populacionais e provável extinção local de espécies de peixes anuais

Alt- Alteração/Mudança nas comunidades planctônicas marinhas

Imp- Impacto sobre as comunidades bentônicas estuarinas e marinhas

Imp- Impacto sobre as comunidades fitoplanctônicas marinhas



Bio10: Aumento da pressão antrópica sobre recursos naturais florestais

B1 - Aumento na supressão da vegetação (devido ao avanço urbano)

B1 - Aumento na supressão da vegetação

B5 - Abertura de trilhas e extração ilegal de palmito e epífitas

B9 vegetação-Ambiente terrestre - aumento da extração de palmito

Pre- Pressão pelo uso de recurso natural decorrente da estagnação econômica ocorrida na região



Bio11: Aumento da caça/pesca predatória

B8 fauna terrestre- Ambiente terrestre - aumento da caça e captura de espécimes da mastofauna e avifauna

B16 - Aumento da caça e captura de espécies de mamíferos, aves e crocodilianos

B18 - Aumento da caça predatória da avifauna

B21 - Aumento da pressão por caça sobre a herpetofauna

B22 - Aumento da pesca ilegal nos lagos do PERD

B26 - Aumento da caça predatória da mastofauna

Ambiente aquático - alteração do esforço pesqueiro: aumento do emalhe acidental de cetáceos

Cabe ressaltar que a numeração atribuída aos impactos físicos e bióticos neste esforço de sistematização segue uma linha lógica de causalidade, ou seja, quanto menor a numeração de um dado impacto listado, maior é a probabilidade do mesmo ser o mecanismo que explica os impactos seguintes. Por exemplo, é por meio da degradação da qualidade da água (Fis1) que são carreados os sedimentos responsáveis pelo assoreamento dos corpos hídricos (Fis2). Da mesma forma, o impacto do rompimento da Barragem de Fundão na biota ocorre primariamente aumentando a mortalidade dos organismos (Bio1) e em seguida através da contaminação dos organismos (Bio2) sobreviventes que permanecem em contato com o rejeito depositado na calha do rio. Cada impacto é indicado através de um mesmo ícone ao longo dos relatórios os quais estão apresentados na Figura 3.

Cálculo da **significância** dos **impactos identificados**

Aspectos gerais

Identificar e organizar de forma lógica os impactos ambientais resultantes de um acidente ambiental, procurando traçar a conexão entre os mesmos e suas relações com o fator inicial gerador do impacto, é uma etapa inicial chave em qualquer relatório de AIA. No entanto, a simples identificação dos impactos não informa quais ações devem ser tomadas para reparar, mitigar ou compensar os impactos e determinar quais deles devem ser mitigados prioritariamente. Para isso, é preciso compreender, ainda que com certo grau de incerteza, a natureza de cada impacto, o nível de alteração nas condições e processos anteriores ao impacto, e a importância dos componentes afetados por cada impacto quanto a critérios legais, ao valor de existência, à insubstituibilidade e/ou ao valor instrumental dos bens e serviços ambientais ou culturais afetados (Sánchez, 2020).

Posteriormente, pode-se atribuir um nível de significância a cada impacto identificado, de modo que se possa comparar os impactos de um mesmo estudo para estabelecer critérios de priorização no cronograma e alocação de recursos para reparação.

Assim, a classificação da significância de um impacto como “baixa” ou “alta” só deve ser interpretada no contexto dos impactos resultantes do mesmo fator causal inicial e cujas ações de mitigação ou reparação serão realizadas de forma integrada ao mesmo contexto socioambiental. Portanto, é importante salientar que as classificações dos impactos compilados e organizados neste esforço de integração devem ser interpretadas tão somente no contexto de cada grupo de UCs avaliado.

Devido ao contexto específico adotado nos relatórios de AIA para cada UC, foi preciso revisar os procedimentos de atribuição dos níveis de magnitude, importância e significância dos mesmos. Por exemplo, enquanto os relatórios de diagnóstico realizados para cada UC avaliaram a extensão dos impactos considerando se o mesmo ocorreu somente na Zona de Amortecimento (ZA) da UC, na área da UC ou tanto na ZA quanto na área da UC, a integração dos impactos identificados em diferentes UCs exige que a extensão dos impactos também considere a proporção de UCs afetadas por cada impacto. Dessa forma, foram necessários alguns ajustes na metodologia sugerida no “*Plano de trabalho para estudos de avaliação dos impactos gerados pelo rompimento da Barragem de Fundão nas Unidades de Conservação – Revisão 4*” (Fundação Renova, 2018).

Além disso, tendo em vista que foram identificados aspectos na metodologia de cálculo de significância proposta no *Plano de Trabalho* citado, que poderiam enviesar a priorização de ações a ser estabelecida, uma abordagem diferente foi utilizada pela equipe da FBDS, a qual segue descrita nas seções seguintes. Cabe ressaltar que os princípios gerais da metodologia inicialmente proposta no *Plano de Trabalho* nortearam o esforço de síntese aqui descrito, mas algumas alterações importantes foram necessárias no sentido de minimizar problemas de ordem metodológica que possam comprometer a credibilidade e aceitação dos níveis de significância atribuídos para cada impacto. Entende-se, porém, que é intrínseco ao processo de atribuição de significância que este apresente certo nível de subjetividade e que os diferentes atores envolvidos neste processo podem apresentar perspectivas discordantes durante a avaliação.

Definição e classificação da importância dos componentes afetados

A definição da importância do componente afetado é um critério fundamental para a determinação da significância e foi ajustado neste trabalho para adequação às boas práticas da AIA. O critério importância tem sua definição apresentada de forma apropriada no Plano de Trabalho (e nos relatórios do Instituto Ekos e Cepemar, que o seguem); descrita da seguinte maneira: "relaciona-se com o contexto ambiental no qual o impacto ocorre, em termos de vulnerabilidade e insubstituibilidade de populações, espécies, comunidades e ecossistemas que podem ter sido afetados. A importância aumenta com o aumento da vulnerabilidade e insubstituibilidade dos componentes da biodiversidade que podem ter sido afetados, por exemplo. O mesmo pode ser considerado para porções dos ambientes que servem como criadouros naturais, ninhais, berçários, locais de forrageamento, fontes de recursos para populações humanas e outros". No entanto, na apresentação das classes, insere-se uma descrição de que a importância está relacionada também à capacidade de se mensurar/verificar mudanças, descritas da seguinte forma no Plano de Trabalho:

Irrelevante: as mudanças não são perceptíveis ou verificáveis;

Importância baixa: a alteração tende a ser mensurável e pode afetar espécies comuns, populações abundantes, ambientes que se repetem com frequência na área de estudos;

Importância média: a alteração tende a ser mensurável e pode afetar espécies sensíveis, "Quase Ameaçadas" ou "Vulneráveis", e ambientes que guardam atributos específicos para a fauna, flora ou populações humanas, mas que podem ser recuperados ou encontrados com pouca frequência na área de estudos;

Importância alta: a alteração tende a ser mensurável e pode afetar espécies consideradas "Em Perigo" ou "Criticamente em Perigo" ou ambientes que não podem ser recuperados ou não se repetem na área de estudos.

A menção sobre mudanças não serem perceptíveis ou mensuráveis ou que *a alteração tende a ser mensurável* não pode ser confundida com a importância do componente em si mesmo, não sendo apropriado incluir este fator na definição das classes. Os outros elementos indicados para a classificação são apropriados, pois incluem a classificação de espécies ameaçadas, a capacidade de recuperação do ambiente ou sua abundância/raridade; ainda que estejam limitados apenas a fatores de interesse para o meio biótico.

A classificação da importância dos componentes feita nos relatórios iniciais das UCs também apresentou fragilidades, à medida que as justificativas apresentadas junto à descrição dos impactos não se limitaram às características dos componentes, frequentemente incluindo fatores relacionados às alterações, mudanças e processos decorrentes do impacto. Temos, por exemplo, nos relatórios de avaliação de impactos sobre as UCs do grupo 3, elaborados pelo Instituto Ekos, as seguintes justificativas:

Para o impacto (F1) Degradação da qualidade da água do Rio Doce e corpos d'água marginais: aumento na carga suspensa: Alta (A) importância, pois qualquer elemento da biota aquática pode ter sido impactado direta ou indiretamente por esta notável perturbação;

Para (F3) Degradação da qualidade da água do Rio Doce e corpos d'água marginais: contaminação microbiológica: Média importância (M), pois as alterações na biota podem ser mensuradas e recuperadas;

Para (F8) Contaminação de planícies fluviais pela deposição de lodo de rejeito: Possui importância classificada como Média (M), pois os efeitos nos ecossistemas são locais e podem ser reparados;

Para (B1) Aumento da mortalidade e redução dos tamanhos populacionais nos ambientes aquáticos, vegetação: esse impacto deve ser considerado de alta importância (A) visto que deve ter afetado espécies/grupos de macrófitas que possuíam tais funções no ecossistema do rio;

Para (B1) Aumento da mortalidade e redução dos tamanhos populacionais nos ambientes aquáticos, avifauna: A sua importância é baixa (B), pois afetou espécies de aves comuns, de ampla distribuição geográfica e não ameaçadas;

Para (B1) Aumento da mortalidade e redução dos tamanhos populacionais nos ambientes aquáticos, ictiofauna: Esse impacto deve ser considerado de Alta importância (A), pois afetou todas as espécies de peixes presentes no local

Para (B11) Contaminação e bioamplificação de contaminantes em animais e plantas: Alta importância (A), pois afetou todas as espécies de peixes presentes no local.

A partir desta amostra de justificativas para a definição da importância, é possível notar que são frequentes as referências à *importância do impacto*, ao invés de se manter o foco na *importância do componente afetado*. O único caso de aplicação correta do conceito de importância do componente afetado aparece para o impacto (B1), que traz menção relacionada à raridade/abundância.

Assim, temos uma proposta metodológica que possui aspectos que carecem de atenção tanto na definição da classificação de importância dos componentes (nos quatro níveis - irrelevante, alta, média e baixa), quanto nas justificativas de classificação apresentada junto ao texto dos impactos que não reproduzem os critérios definidos na metodologia da avaliação de impactos.

Desta forma, no presente relatório, a equipe da FBDS buscou ajustar a avaliação da importância dos componentes afetados, visando delimitar as justificativas às características de interesse dos componentes e também visando diversificar os fatores que podem ser adotados nas justificativas para além daqueles de maior interesse para o meio biótico. Com base na proposta de Gonzáles del Campo (2017), propomos que as justificativas para determinação da importância dos componentes afetados incluam:

- (1) **Estado de conservação/qualidade ambiental:** quanto mais alto, mais importante o componente;
- (2) **Existência de proteção legal:** a existência indica alta importância, de forma que para um estudo com escopo em UCs, a tendência é que os componentes sejam valorados como de maior importância;
- (3) **Raridade:** quanto mais raro um componente, mais importante, quanto mais abundante, menos importante;
- (4) **Valor científico:** a importância pode ser considerada média/alta também por haver potencial de descobertas científicas relacionadas a um componente;
- (5) **Capacidade de assimilar mudanças/sensibilidade:** ecossistemas ou espécies sensíveis e/ou exigentes podem indicar importância mais elevada;
- (6) **Importância para funções primárias:** componentes e processos importantes para funções primárias dos ecossistemas também podem ser considerados de alta importância;
- (7) **Valor de uso social:** quando o componente apresenta usos pelas comunidades locais, valor social ou valor cultural, tende a ser mais importante.

Assim, para cada componente, um ou mais destes sete critérios podem ser adotados para justificar a classificação da importância. Não está sendo proposta uma regra para combinação ou pontuação a partir destes itens, a fim de que cada componente possa ser avaliado em seu contexto e importância.

Outro ajuste metodológico necessário foi a definição dos componentes físicos e bióticos afetados pelos impactos. Uma vez que nesta análise se busca oferecer uma visão geral e agregada dos impactos que ocorreram no grupo de UCs, foi necessário também agregar os componentes afetados. Isso resultou em um componente que integra biota aquática e semiaquática, com a especificação dos grupos afetados que podem ser peixes, anfíbios, aves, mamíferos, crocodilianos ou macrófitas; e também a biota terrestre, para plantas e líquens ou a biota terrestre que tem organismos aquáticos como um recurso trófico de suas cadeias alimentares.

Isso foi feito porque o detalhamento dos impactos para diferentes grupos (ictiofauna, mastofauna, avifauna, herpetofauna; aquáticas, semiaquáticas e terrestres), resultaria em diferentes níveis de importância do componente afetado, portanto, teríamos uma significância variada para cada combinação *magnitude do impacto* \times *importância do componente afetado*. Na avaliação da equipe da FBDS, esse nível de detalhamento não contribui para uma leitura mais abrangente da significância dos impactos no contexto regional dos grupos de UCs.

Atributos para caracterização e determinação da magnitude e significância dos impactos

Nesta seção explicitamos os atributos para caracterização e avaliação dos impactos adotados pela equipe da FBDS, partindo da proposta apresentada no “*Plano de trabalho para estudos de avaliação dos impactos gerados pelo rompimento da Barragem de Fundão nas Unidades de Conservação – Revisão 4*” (Fundação Renova, 2018). Como a FBDS está realizando uma síntese de relatórios de avaliação de impacto que seguiram as definições do Plano de Trabalho, para todos os atributos em que não foi necessário adaptar ou ajustar as classes ou definições, a classificação foi feita seguindo as definições dos relatórios das UCs, desde que aprovadas, a partir de regras de combinação explicitadas na seção *Metodologia de Integração*. Para o caso de UCs que não contam com relatórios individuais finais aprovados, a própria equipe da FBDS realizou a classificação dos impactos.

Os atributos estão divididos em três tipos: aqueles que são apenas informativos, chamados de atributos para caracterização do impacto (natureza, ocorrência, incidência, e reversibilidade), aqueles que são considerados na definição da magnitude (severidade, extensão e duração), e por fim, os atributos adotados na definição da significância (magnitude e importância dos componentes afetados), bem como a própria significância. Quatro atributos foram mantidos e aplicados conforme a definição do Plano de Trabalho (natureza, incidência, reversibilidade e duração), cinco foram ajustados (ocorrência, extensão, magnitude, importância e significância), um não foi adotado (prazo para ocorrência) e um foi adicionado (severidade).

Atributos para caracterização dos impactos

Natureza

Refere-se à melhoria ou deterioração da qualidade ambiental, sendo classificado como **positiva (Pos)**, alteração de caráter benéfico), ou **negativa (Neg)**, alteração de caráter adverso).

Ocorrência

Este atributo foi ajustado. Na definição original do Plano de Trabalho têm-se: “refere-se ao grau de confiabilidade quanto à ocorrência do impacto, e pode ser classificado como: **real** (R, o impacto foi documentado e é por natureza inseparavelmente ligado a um aspecto ambiental relacionado ao rompimento da Barragem de Fundão) ou **potencial** (o impacto provavelmente ocorreu, mas não foi documentado)”. Essa definição, contudo, sugere uma classificação que tanto aborda a certeza quanto à ocorrência ou não do impacto, quanto à sua associação ao rompimento da Barragem de Fundão. Essas duas classes tornam difícil enquadrar ao menos dois casos: impactos que foram documentados mas não está clara a associação ao rompimento da barragem, e impactos que não foram amplamente documentados, mas há alto grau de confiança na sua ocorrência a partir de algumas informações disponíveis e inferência científica. A inferência científica é o processo de utilização de informações, observações e conhecimentos de teorias básicas das Ciências Ambientais para chegar a conclusões fundamentadas sobre impactos que podem não ter evidências empíricas disponíveis.

Assim, buscando manter em um único critério as ideias de grau de confiabilidade na ocorrência do impacto e grau de confiabilidade na associação com o rompimento da barragem, foram definidos as seguintes classes:

Real, baseado em evidências quantitativas (RT): para quando há evidências empíricas com alto grau de confiança fundamentando a comparação entre a linha de base (ou contexto de referência, em comparações sincrônicas) e diagnóstico pós-rompimento;

Real, baseado em evidências qualitativas (RL): para quando não há informações suficientes sobre a linha de base ou contexto de referência e/ou sobre o diagnóstico pós-rompimento, no entanto é possível construir uma inferência científica fundamentada com moderado grau de confiança combinando teoria básica, dados de monitoramento e outros dados primários ou secundários, observações de campo e relatos;

Potencial (P): para os casos em que as informações disponíveis para caracterização do impacto são insuficientes ou inconsistentes; nesse caso há baixo ou muito grau de confiança nas evidências disponíveis.

Incidência

Para esta categoria, foram adotadas as mesmas categorias definidas no Plano de Trabalho:

Direta (D): o rompimento da barragem é a fonte tanto imediata quanto última do impacto; ou

Indireta (I): a causa imediata do impacto é outro impacto, sendo este provocado pelo rompimento da barragem (ex.: impactos associados aos esforços de limpeza/remoção de rejeitos).

Reversibilidade

Reversível (Rev): quando as mudanças resultantes de um impacto podem ser revertidas utilizando-se tecnologias existentes e entendimento da ecologia e/ou dinâmicas das populações humanas, de forma que as condições para a fauna, flora, ambientes ou populações humanas retornem a condições similares às anteriores ao rompimento da barragem;

Irreversível (Irre): para mudanças resultantes de um impacto não podem ser revertidas utilizando-se tecnologias existentes e entendimento da ecologia e/ou dinâmicas das populações humanas.

Alguns impactos foram considerados Irre/Rev quando havia incerteza quanto ao retorno, seja por falta de informações sobre a linha de base, ou por incerteza sobre a eficácia das medidas de reparação e compensação exploradas até o momento.

Quanto a este critério, convém que sua leitura seja feita em conjunto com o atributo *duração*, que indica a classe *permanente* para quando não há um fim claramente antecipável para que o impacto cesse. Assim, consideramos que a reversibilidade nesse momento da avaliação de impacto é uma indicação de um potencial, que evidentemente depende da eficácia das medidas de reparação e da capacidade de recuperação do ambiente. Além disso, para alguns impactos faltam informações da linha de base para que se possa indicar a reversão a um estado anterior.

Atributos para definição da magnitude dos impactos: estes atributos são considerados para classificação da magnitude dos impactos:

Severidade: reflete a escala/tamanho da mudança da qualidade ambiental do objeto da avaliação, sendo classificada como **Baixa** (o efeito não tende a resultar em alterações das funções ecossistêmicas ou da integridade de populações), **Média** (o efeito pode resultar em alterações das funções ecossistêmicas ou da integridade de populações) e **Alta** (o efeito tende a resultar em alterações das funções ecossistêmicas ou da integridade de populações);

Extensão: traduz a extensão geográfica em que os impactos ocorrem, e foi classificada considerando sua ocorrência dentro da UC e na Zona de Amortecimento. Os impactos foram divididos em quatro níveis para cada UC (ausente; somente na Zona de Amortecimento (ZA); somente dentro da UC; ZA + UC) e integrados para o grupo de UCs a partir da combinação descrita na seção *Metodologia de Integração* resultado nas classes **baixa, média, alta e muito alta;**

Duração: refere-se ao período ao longo do qual um impacto vai exercer influência ativa sobre o compartimento estudado, classificado como **tempo curto (TC**, para quando a influência ativa do impacto foi de duração limitada, sendo de dias ou semanas após o rompimento da barragem), **tempo médio (TM**, para quando é previsto que o impacto vai continuar a influenciar ativamente a fauna, flora, ambientes ou populações humanas por mais de um ano e até 10 anos), **tempo longo (TL**, para quando se estima que o impacto vai continuar a influenciar ativamente a fauna, flora, ambientes ou populações humanas por mais de 10 anos, mas tem um fim claramente antecipável e definível) e **tempo permanente (Per**, para quando o impacto vai continuar a influenciar ativamente a fauna, flora, ambientes ou populações humanas sem um fim claramente antecipável.

Atributos para definição da significância dos impactos

Magnitude: é uma combinação dos atributos severidade, extensão e duração. Mais detalhes sobre a combinação dos atributos estão descritos nas seções *Combinação de atributos para determinação da magnitude e significância dos impactos* e *Metodologia de Integração* deste documento;

Importância dos componentes afetados: deve refletir a relevância ou vulnerabilidade de componentes ambientais, sociais, socioeconômicos ou culturais, e foi classificada de forma qualitativa e contextualizada, nas classes **alta, média e baixa**, a partir de critérios que devem ser condizentes com o contexto de avaliação do componente, e incluíram estado de conservação/qualidade ambiental, existência de proteção legal, raridade, valor científico, capacidade de assimilar mudanças/sensibilidade, importância para funções primárias, valor de uso social.

Significância: representa a síntese da avaliação dos impactos e sua composição foi feita a partir da combinação de atributos apresentada na seção *Metodologia de Integração*. A avaliação da significância dos impactos é uma importante etapa que tem a função de classificar os impactos identificados a partir dos estudos realizados e experiência profissional da equipe envolvida.

Combinação de atributos para determinação da magnitude e significância dos impactos

A metodologia adotada nos relatórios de AIA para atribuir níveis de significância aos impactos identificados em cada UC seguiu o esquema elaborado no “*Plano de trabalho para estudos de avaliação dos impactos gerados pelo rompimento da Barragem de Fundão nas Unidades de Conservação – Revisão 4*” (Fundação Renova, 2018). Segundo o *Plano de Trabalho*, as significâncias dos impactos identificados são classificadas numa escala de quatro níveis (baixa, média, alta, muita alta). Estes quatro níveis de significância, por sua vez, resultam da combinação dos níveis de quatro atributos do impacto (extensão, importância, magnitude e reversibilidade) conforme mostrado no quadro abaixo extraído do *Plano de Trabalho* (Fundação Renova, 2018).

Quadro 1. Matriz de significância de impactos ambientais identificados para as UCs. **Fonte:** Fundação Renova, 2018 (Plano de trabalho para estudos de avaliação dos impactos gerados pelo rompimento da Barragem de Fundão nas Unidades de Conservação – Revisão 4)

Critérios/Parâmetros		Baixa importância		Média importância		Alta importância	
		Reversível	Irreversível	Reversível	Irreversível	Reversível	Irreversível
Baixa Magnitude	ZA	Baixa	Baixa	Baixa	Baixa	Média	Alta
	UC	Baixa	Baixa	Baixa	Média	Média	Alta
	UC+ZA	Baixa	Baixa	Média	Média	Alta	Alta
Média Magnitude	ZA	Baixa	Média	Média	Média	Alta	Alta
	UC	Baixa	Média	Média	Alta	Alta	Alta
	UC+ZA	Média	Média	Média	Alta	Alta	Alta
Alta Magnitude	ZA	Média	Média	Média	Alta	Alta	Muito Alta
	UC	Média	Média	Alta	Alta	Muito Alta	Muito Alta
	UC+ZA	Alta	Alta	Alta	Alta	Muito Alta	Muito alta

O quadro acima segue o *template* de uma matriz de risco, uma ferramenta que combina as probabilidades de ocorrência dos eventos com a consequência potencial dos mesmos sobre os componentes de interesse. No entanto, numa matriz de risco são geralmente usados dois atributos (ou variáveis), de modo que um corresponde às linhas e o outro corresponde às colunas da matriz. Dessa forma, pode-se representar os níveis do atributo representado pelas linhas por números (p. ex., escalas ordinais) e fazer o mesmo com os níveis do atributo representado pelas colunas. Similarmente, cada célula da matriz pode ser representada por um valor numérico que pode ser a soma ou o produto dos valores da linha e da coluna que mapeiam a posição da célula na matriz.

Uma propriedade desse tipo de matriz de risco com dois atributos é que cada conjunto de células da matriz com o mesmo nível de significância será sempre caracterizado por valores numéricos maiores quando comparados aos valores de células classificadas com níveis de significância menores e, similarmente, por valores numéricos menores quando comparados aos valores de células classificadas com maiores níveis de significância. Consequentemente, uma característica desse tipo de matriz é a monotonicidade dos valores numéricos de cada conjunto de células representado pelo mesmo nível de significância em relação aos conjuntos de células representados por níveis de significância superiores.

Por outro lado, quando uma matriz de risco com três ou mais atributos é representada com apenas duas dimensões, como é o caso do modelo representado no quadro acima, não é mais possível garantir a monotonicidade dos valores numéricos das células com a mesma significância em relação às células com significância superior. Para isso, seria necessário representar uma matriz de risco com três atributos por meio de um "cubo de risco" e por meio de formas n -dimensionais para matrizes com $n > 3$ atributos.

As figuras abaixo contêm matrizes com os mesmos atributos e níveis representados no quadro e ajudam a ilustrar de forma clara os problemas decorrentes da representação de uma matriz de significância com mais de dois atributos por meio de uma matriz bidimensional. Os níveis dos atributos são representados por valores numéricos que expressam o aumento ordinal de um nível mais baixo ou menos severo para um nível mais alto ou mais severo em termos de impacto. Os valores de cada célula nas figuras 4A e 4B representam a soma dos valores dos quatro atributos (magnitude, extensão, importância e reversibilidade) usados na matriz proposta como modelo no *Plano de Estudo*.

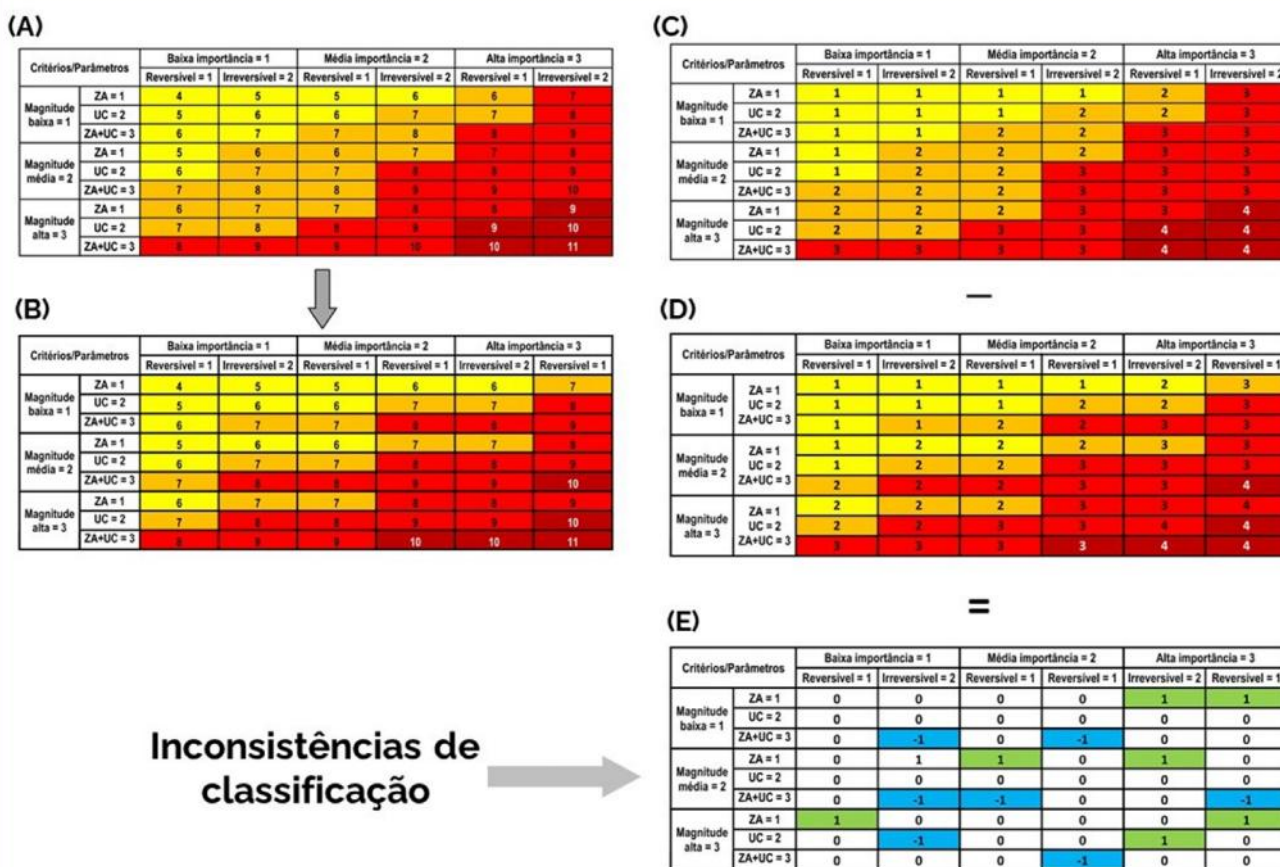


Figura 4. Representações dos atributos e seus níveis correspondentes, onde cada nível é representado por um valor ordinal simples. Os valores das células em (A) e (B) correspondem à soma dos níveis dos atributos. A classificação de significância adotada em (b) procurou maximizar a semelhança das células correspondentes na matriz (a). Os valores numéricos das células em (C) e (D) correspondem à escala ordinal dos níveis de atribuídos. **Fonte:** FBDS, 2022.

Percebe-se facilmente que os níveis de significância propostos para as combinações de níveis dos quatro atributos não podem ser agrupados em conjuntos cujas células apresentam valores sempre inferiores ao de conjuntos classificados por significância mais alta. Nas Figuras 4C e 4D, os valores numéricos das células representam a escala ordinal dos níveis de significância. Na Figura 4E é possível visualizar inconsistências de classificação derivadas do uso de uma **matriz de risco bidimensional onde os níveis de quatro atributos são combinados**. Uma das questões em aberto quando se lida com este tipo de problema é: *como reconhecer e rastrear os critérios de combinação de níveis de atributos que determinam os níveis de significância?* Embora possa aparentar ser um problema puramente matemático, a ausência de resposta para esta questão significa que os níveis de significância não necessariamente representam o que deveriam representar.

Um segundo ponto identificado como um aspecto potencialmente indesejável no procedimento de atribuição de significância estabelecido no *Plano de Estudo* é que os atributos que representam o nível de alteração, ou a magnitude total, gerado por cada impacto são usados conjuntamente com a importância dos componentes afetados pelos impactos para estabelecer os níveis de **significância**. Uma consequência deste tipo de procedimento é que, por definição, a importância dos componentes tende a ser um atributo menos relevante sempre que a combinação dos níveis dos atributos que representam a magnitude total gerada pelos impactos for maior que o número de níveis da importância dos componentes.

No caso do modelo sugerido no *Plano de Estudo*, são usados três atributos (magnitude, extensão e reversibilidade), dos quais dois (magnitude e extensão) apresentam três níveis e um (reversibilidade) apresenta dois níveis, resultando em $3 \times 3 \times 2 = 18$ combinações possíveis. Por outro lado, a importância dos componentes afetados é representada por três níveis, um número seis vezes menor que a combinação de níveis dos atributos de magnitude total. Esta diferença não seria um problema se a importância dos componentes afetados e a magnitude total de cada impacto fossem avaliadas como dois vetores principais que expressam a significância de cada impacto. Dessa forma, um procedimento à parte usando os diferentes atributos que representam a magnitude total poderia ser realizado para atribuir os níveis de alteração nas condições iniciais geradas por cada impacto. Um segundo procedimento alternativo poderia ser realizado para atribuir os níveis de **significância** usando somente a magnitude total e a importância dos componentes.

De fato, vários autores têm chamado a atenção para a distinção conceitual entre magnitude dos impactos e importância dos componentes (p. ex., Jones & Morrison-Saunders, 2016; Sánchez, 2020). Neste sentido, **a significância de um determinado impacto pode ser interpretada como uma ponderação entre a importância dos componentes afetados pelo impacto e a magnitude do dano causado por este impacto nos componentes identificados**. É exatamente isso que diferentes autores estabelecem quando sugerem que a significância de cada impacto seja estimada como: magnitude \times importância, ou seja, o produto do nível de importância dos componentes afetado pela magnitude total do impacto (Sadar, 1996; Sadler and McCabe, 2002).

Um terceiro aspecto potencialmente crítico identificado na metodologia proposta no *Plano de Trabalho* é o uso da reversibilidade como um atributo da significância de impactos que já ocorreram e cuja causa geradora primária, ou seja, o rompimento da Barragem de Fundão, já cessou.

De fato, se o custo de reparação de um impacto reversível aumenta com o tempo ou a probabilidade de reversão diminui se nada for feito após um certo tempo limite, então a reparação, de certos impactos reversíveis, pode ser prioritária em relação à compensação de certos impactos irreversíveis. Portanto, no contexto dos relatórios de AIA deste esforço de síntese, concluiu-se que a reversibilidade seja um atributo para identificar e estabelecer ações compensatórias, mas não como um atributo da significância dos impactos que já ocorreram.

Metodologia de Integração

Em face da necessidade de uma análise integrada em escala regional para o grupo de UCs e dos potenciais problemas e aspectos indesejáveis apontados para a metodologia original sugerida no "*Plano de trabalho para estudos de avaliação dos impactos gerados pelo rompimento da Barragem de Fundão nas Unidades de Conservação – Revisão 4*" (Fundação Renova, 2018), o presente relatório adotou uma abordagem própria, mas que segue os princípios gerais propostos no *Plano de Trabalho* (p. ex., uso de matriz de significância).

Uma diferença importante na metodologia adotada em relação à original é que a "Magnitude Total dos Impactos" foi tratada como a soma dos níveis dos atributos que compõem a magnitude. Portanto, para fins deste relatório, o atributo originalmente denominado "magnitude do impacto" será tratado aqui como "severidade do impacto". Abaixo, segue a descrição, por etapas, da metodologia adotada neste relatório.

Etapa 1 – Cálculo da extensão dos impactos

O nível de extensão geográfica dos impactos foi estimado para a escala espacial das várias UCs avaliadas simultaneamente. Para cada UC foi estabelecida uma classificação de extensão de impacto praticamente idêntica à adotada na metodologia original, com a diferença que aqui estabelecemos um nível denominado "ausente" nas UCs que não apresentaram o impacto. Dessa forma, os impactos foram divididos em quatro níveis: ausente; somente na Zona de Amortecimento (ZA); somente dentro da UC; ZA + UC. Para cada nível foi usado um valor numérico (AU=0; ZA=1; UC=2; ZA+UC=3) para representar a escala ordinal destes. Assim, para cada i -ésima UC qualquer do grupo de UCs foi atribuído um valor E_i representando a extensão do impacto. Os valores de E_i foram somados para o conjunto de k UCs do grupo e então foi calculado um valor normalizado no qual o somatório dos valores de E_i foi dividido pelo maior valor possível para o conjunto de UCs, conforme a fórmula a seguir:

$$E_G = \frac{\sum_{i=1}^k E_i}{K \times 3}$$

onde, E_G representa a extensão normalizada do impacto para o conjunto de UCs avaliadas. Por fim, são atribuídas quatro escalas ordinais para os níveis de extensão, conforme a Tabela 4.

Tabela 4. Correspondência entre os valores de extensão normalizada para o grupo de UCs (E_G), a interpretação dos níveis de extensão dos impactos e sua correspondência numérica numa escala ordinal. **Fonte:** FBDS, 2022.

E_G (valor normalizado da extensão)	Níveis de extensão (interpretação)	Escala ordinal
$E_G \leq 0.25$	Baixa	1
$0.25 < E_G \leq 0.50$	Média	2
$0.50 < E_G \leq 0.75$	Alta	3
$E_G > 0.75$	Muito alta	4

Etapa 2 – Substituição da reversibilidade pela duração dos impactos

Conforme apontado anteriormente, a reversibilidade não foi considerada um atributo para a compor a significância. A reversibilidade da forma como é adotada na AIA e também como descrita no Plano de Trabalho se refere ao retorno a uma situação anterior, quando "as mudanças resultantes de um impacto podem ser revertidas". No entanto, para alguns impactos faltam informações da linha de base ou contexto de referência, dificultando ou impedindo que se possa avaliar a reversão a um estado anterior que não é completamente conhecido.

Por essa razão, optou-se por usar a duração dos impactos como um atributo da magnitude total no lugar da reversibilidade. Dado que alguns impactos podem se tornar irreversíveis ou que o custo (i.e., recursos humanos e financeiros, tempo, capacidade técnica etc.) de reparação destes podem aumentar no caso dos impactos classificados como de longa duração ou permanentes, o uso da duração dos impactos representa um *proxy* interessante para capturar a mudança no estado de reversibilidade ou mesmo o aumento dos custos dos impactos.

Etapa 3 – Conversão dos níveis dos atributos em valores ordinais

Assim como feito para a extensão dos impactos, a severidade (denominada "magnitude" nos relatórios produzidos para cada uma das UCs) e a duração dos impactos foram convertidos em valores numéricos correspondentes a uma escala ordinal conforme a Tabela 5. Os três níveis originais da severidade foram mantidos, mas um valor 3 foi atribuído ao nível "médio" e um valor 4 foi atribuído ao nível "alto". Dessa forma, garante-se que este atributo da magnitude não apresenta, por definição, uma relevância menor que os demais, caso o nível máximo de severidade fosse 3.

Tabela 5. Correspondência entre os valores os níveis de severidade e duração dos impactos e seus valores numéricos numa escala ordinal. **Fonte:** FBDS, 2022.

Atributos	Níveis (interpretação)	Escala ordinal
Severidade	Baixa	1
	Média	3
	Alta	4
Duração	Tempo curto	1
	Tempo médio	2
	Tempo longo	3
	Tempo permanente	4

Etapa 4 – Cálculo da Magnitude

A magnitude total de cada impacto foi calculada a partir da soma dos valores numéricos dos três atributos selecionados para compor a magnitude de cada impacto: severidade, extensão e duração. Na Tabela 6, as três primeiras colunas representam os atributos de magnitude e seus níveis em valores numéricos. Na coluna "soma dos atributos" são apresentados os intervalos de valores das somas dos atributos que correspondem aos diferentes níveis de magnitude total. Os intervalos são estabelecidos de tal modo que o número de valores possíveis dentro de cada seja o mais homogêneo possível, evitando assim criar vieses matemáticos desnecessários.

Tabela 6. Cálculo da magnitude total de cada impacto a partir dos níveis de severidade, extensão e duração. **Fonte:** FBDS 2022.

Níveis de severidade	Níveis de extensão	Níveis de duração	Soma dos atributos	Magnitude (interpretação)	Magnitude (escala ordinal)
	1	1			
1	2	2	3 a 5	Baixa	1
3	3	3	6 a 9	Média	2
4	4	4	10 a 12	Alta	3

Etapa 5 – Atribuição de Significância

A quinta e última etapa consiste na combinação dos níveis de *magnitude dos impactos* com os níveis de *importância dos componentes afetados*. Para isso, foi usada uma matriz de significância 3 × 3 com os dois atributos principais e seus respectivos níveis de escala ordinal (Tabela 7).

Tabela 7. Valores numéricos de significância calculados como o produto do nível de magnitude total do impacto pelo nível de importância dos componentes afetados. **Fonte:** FBDS, 2022.

Níveis de magnitude (escala ordinal)	Níveis de Importância (escala ordinal)		
	1	2	3
1	1	2	3
2	2	4	6
3	3	6	9

Os valores em escala ordinal na Tabela 7 foram então convertidos em cinco níveis qualitativos de significância: muito baixa, baixa, média, alta e muito alta, conforme a Tabela 8. A partir da comparação das matrizes de significância representadas pelas Tabelas 7 e 8, é possível constatar que a metodologia adotada no presente relatório não viola o princípio da monotonicidade na relação entre os valores das células e a classificação das mesmas, ou seja, todos os valores de células classificadas dentro de uma categoria de significância são sempre inferiores aos valores de células com significância superior.

Tabela 8. Interpretação dos níveis de significância dos impactos a partir dos valores em escala ordinal na Tabela 6. **Fonte:** FBDS, 2022.

Níveis de magnitude	Níveis de Importância		
	Baixa	Média	Alta
Baixa	Muito Baixa	Baixa	Média
Média	Baixa	Média	Alta
Alta	Média	Alta	Muito alta

Identificação e proposição de medidas de **reparação e compensação**

Nesta seção, apresentamos o detalhamento metodológico da coleta de dados dos relatórios das UCs, a fundamentação teórica para a análise crítica e propositiva das medidas reparatórias e compensatórias quanto às suas premissas e estrutura, e os procedimentos adotados para análise crítica do conteúdo técnico e da elaboração das recomendações finais.

Coleta de dados sobre as potenciais medidas reparatórias e compensatórias para as UCs

A coleta de dados foi feita a partir da extração completa das informações presentes nos relatórios individuais para as UCs contidas em cada grupo, sempre que estavam disponíveis relatórios validados para estudo em contexto. Estas informações estavam geralmente contidas em seções dedicadas a esta temática. Por exemplo, no caso do relatório do Instituto Ekos, na seção *Propostas de medidas de restauração, reparação, mitigação e compensação*, onde era possível encontrar a identificação e proposição de medidas reparatórias para os impactos identificados decorrentes do rompimento da Barragem de Fundão nas UCs.

A equipe da FBDS sistematizou tais medidas através da informação textual extraída dos relatórios que compõem as UCs presentes em cada grupo e sempre que possível identificando inconsistências em relação às medidas propostas nos relatórios. As medidas associadas aos impactos para cada UC foram organizadas em um arquivo que acompanha cada relatório. Estão descritos tanto os enunciados originais dos impactos quanto os novos enunciados padronizados para o grupo de UCs, conforme metodologia estabelecida pela FBDS. Dado o foco deste esforço sobre o meio físico e biótico, não foram consideradas explicitamente medidas relacionadas aos impactos sobre o meio socioeconômico. Além disso, é importante destacar que sempre que possível e considerando a disposição das UCs em cada grupo, as medidas inicialmente propostas para uma determinada UC foram preferencialmente instituídas para todas as UCs do grupo, quando um determinado impacto era consistente entre elas.

As medidas presentes nos relatórios de cada grupo receberam um código (M1, M2,..., Mn), visando apenas facilitar a identificação de propostas semelhantes e a análise de dados. A identificação e ordenação dos códigos é específica para cada grupo de UCs. Não foram feitas alterações nos nomes atribuídos a cada medida, sendo que pequenas variações entre os nomes foram identificadas nas tabelas de apresentação das medidas propostas para cada grupo. Cada relatório é acompanhado de um documento com a descrição original das medidas da forma como foram apresentadas nos relatórios originais, a fim de facilitar a consulta das descrições destas.

As medidas levantadas foram então classificadas em quatro tipos:

- (1) **medidas de reparação**, entendida como ações práticas para minimizar ou corrigir danos ambientais;
- (2) **novos estudos**, para quando se propõe levantamentos de informações não realizados;
- (3) **monitoramento**, quando a medida consistia apenas em coleta de dados, e;
- (4) **compensação**, para os casos em que se previu ações não diretamente relacionadas a um dano ou impacto potencial.

Para o caso de UCs em que não havia relatórios de AIA individuais, ou para quando os mesmos não haviam sido validados, foram adotadas como referências medidas propostas para contextos semelhantes em que os mesmos impactos foram identificados, bem como foram indicadas medidas já planejadas ou em execução nos programas previstos no TTAC ou em documentos validados que trataram do território em análise. Em alguns casos, novas medidas foram propostas pela equipe da FBDS.

Análise crítica e propositiva das medidas reparatórias e compensatórias

Na seção anterior, apresentamos a estratégia de levantamento das medidas propostas nos relatórios produzidos para cada UC e como estas informações foram inseridas no contexto do Grupo de UCs. Nesta seção buscamos apresentar os critérios que subsidiaram a análise crítica da equipe técnica da FBDS sobre as informações levantadas.

A elaboração da análise crítica tomou como base a literatura técnica e científica da área de Avaliação de Impacto Ambiental, notadamente a partir de Sánchez (2020), tradicional referência para a AIA no Brasil, e Sánchez et al. (2019), publicação do Painel do Rio Doce, da IUCN, bem como referências relacionadas à compensação ambiental (BBOP, 2012; Simmonds *et al.*, 2020; World Bank Group, 2016). O conteúdo de referência adotado para caracterização das medidas é apresentado no Quadro 2 e na Figura 5, nos quais se considera que as medidas devem ser reunidas em programas socioambientais.

Quadro 2. Síntese de um programa de gestão socioambiental. **Fonte:** Modificado de Sánchez, 2020.

Tópico	O que deve ser apresentado
Título do programa	Título claro e não ambíguo
Impacto(s) a que se relaciona	Enunciado de impacto idêntico ao utilizado em outras partes do texto e nas matrizes de impacto
Objetivo	Clara declaração de objetivos (ou seja, para que serve o programa)
Resultados esperados	Explicitação dos resultados esperados (ou seja, onde se quer chegar, ou as metas que se pretende atingir)
Descrição sucinta	Principais medidas mitigadoras que farão parte deste programa, de modo a atingir seus objetivos e resultados esperados (para implementação do programa, cada medida deve ser descrita em uma especificação técnica ou procedimento)
Indicadores de avaliação dos resultados	Relacionar um ou mais indicadores e suas respectivas unidades de medida, que permitam verificar se, ao término do programa, seus resultados terão sido atingidos <i>Importante:</i> trata-se de indicadores de "sucesso" do programa, não de indicadores de qualidade ambiental ou de progresso da implementação
Procedimento de mensuração dos indicadores	Breve explanação sobre como poderão ser coletados os dados ou referência a alguma norma ou procedimento
Cronograma	O cronograma de implementação do programa deve ser apresentado em relação ao cronograma de construção (p.ex., "durante todo o período de construção" ou "deve ter início pelo menos dois meses antes do início da implantação do canteiro de obras") ou de operação
Responsabilidades	Quem ou quais entidades devem ser responsáveis pela implementação do programa; em geral, a responsabilidade incumbe ao empreendedor, mas certos programas somente podem ser implantados de modo satisfatório mediante parcerias

Desta forma, pressupondo que o presente relatório deverá subsidiar a elaboração de um Plano de Ação, cujos aspectos executivos deverão ser ressaltados e integrados com as medidas previstas em outros programas, a análise crítica realizada pela FBDS visou identificar as diretrizes que devem guiar a elaboração deste instrumento.



Figura 5. Conceito de um programa socioambiental. **Fonte:** Sánchez, 2020.

Tomando como referência as boas práticas para elaboração e implementação de programas socioambientais na AIA apresentadas por Sánchez (2020), é possível avaliar que a apresentação das medidas e projetos nos diagnósticos das UCs executados até aqui atendem alguns dos critérios de boas práticas, pois (1) as propostas têm título claro e não ambíguo, (2) estão claramente relacionadas aos impactos apresentados no relatório, tem (3) objetivos claros, (4) descrição sucinta, e para além dos critérios da referência Sánchez (2020), as medidas contam com (5) descrição do grau de prioridade e (6) extensão (área de aplicação), e também (7) há citação, mesmo que breve, de Programas da Fundação Renova com as quais podem estar relacionadas.

Como lacunas, segundo o mesmo referencial, podemos afirmar que (1) não é feita previsão dos resultados esperados das medidas, (2) não há definição de indicadores nem de (3) procedimentos de mensuração dos resultados obtidos, (4) não há cronogramas e estimativas do tempo de desenvolvimento das medidas e (5) não há definição de responsabilidades. Desta forma, para que as medidas e projetos propostos anteriormente possam ser estruturados enquanto programas socioambientais, é preciso avançar no desenvolvimento de propostas para estes pontos.

Considerando que o conjunto de medidas e projetos apresentados deverá ser detalhado posteriormente em um Plano de Ação, convém destacar que as lacunas elencadas entre 2 e 5 podem ser facilmente sanadas durante a elaboração do mesmo. Todavia, a ausência de indicação dos resultados esperados é uma fragilidade que traz consequências importantes para o processo de planejamento das medidas e programas. Isso porque, ao não avançar na indicação de resultados esperados, não é possível avaliar a suficiência das medidas reparatórias e compensatórias. Para a avaliação da suficiência, seria ainda necessário que os resultados esperados pudessem ser comparados com metas de qualidade ambiental; estas metas também não estão definidas até aqui.

Nesse momento inicial do planejamento das medidas, é evidente que a indicação dos resultados esperados só pode ser feita de forma generalista, porém é importante que seja indicado o potencial esperado da medida em relação à significância do impacto. Como exemplo, podemos pensar no impacto relacionado à mortandade direta/indireta para a biota aquática (Bio1) - medidas para criação de habitats somadas a reintrodução de espécies podem ter alto potencial de reparação da comunidade aquática; no entanto, se a proposição fosse apenas o monitoramento da ictiofauna, então teríamos baixo potencial de reparação.

Este é ponto central na elaboração de recomendações para as medidas a serem adotadas para lidar com os impactos do rompimento da Barragem de Fundão nos relatórios executados pela FBDS. Além deste ponto, algumas particularidades são importantes para a avaliação de impactos no contexto do rompimento da Barragem de Fundão. Assim, a partir das lacunas e fragilidades identificadas na comparação entre boas práticas e o conteúdo dos estudos das UCs presentes em cada grupo, foram desenvolvidas recomendações a serem consideradas na elaboração do Plano de Ação. A fundamentação teórica e a justificativa destas cinco recomendações são apresentadas a seguir.

(1) Metas de qualidade ambiental para a reparação

Definir propósitos específicos que se deseja atingir, passíveis de mensuração ou verificação para os componentes afetados

Como mostra a Figura 5, o planejamento de programas socioambientais deve contar com a definição de **objetivos**, que consistem em intenções formuladas de modo amplo e referidas aos impactos significativos do projeto, bem como devem contar com **metas**, que são propósitos específicos que se deseja atingir, passíveis de mensuração ou verificação.

No caso da área afetada pelo rompimento da Barragem de Fundão, tanto na bacia do Rio Doce quanto na região costeira-marinha, é preciso que sejam definidas **metas de qualidade ambiental** a partir das indicações da linha de base, que trazem diversas características da qualidade ambiental da área afetada anteriores ao rompimento da barragem. Estas metas devem ser referência para o detalhamento das medidas de reparação de forma objetiva, permitindo a definição de indicadores de desempenho "que possam ser monitorados ao longo de períodos definidos e com estimativas dos recursos e responsabilidades na implantação" (IFC, 2012, p.21). Nos casos em que houver alto nível de incerteza na linha de base, será preciso que a definição das metas seja acordada entre as partes interessadas. Entendemos que todas as metas de qualidade ambiental para a reparação devem ser definidas e validadas em discussões que envolvam as diferentes partes interessadas. Contudo, nos casos de componentes em que o nível de incerteza é alto, o processo de consulta e legitimação das metas deverá ter atenção especial.

Sánchez et al. (2019), em publicação do Painel do Rio Doce, da IUCN, apresentam uma proposta de quadro de critérios para as avaliações de impacto e definem o atributo **incerteza na determinação da magnitude** da seguinte forma:

" A magnitude de um impacto é uma descrição de sua intensidade. Quando for adequado, essa descrição deve, tanto quanto possível, ser de natureza quantitativa ou semi-quantitativa. No entanto, a incerteza na determinação da magnitude do impacto é inerente tanto às avaliações *ex-ante* quanto *ex-post*. Linhas de base inadequadas são fontes importantes de incerteza. A escala qualitativa a seguir pode ser usada para descrever o nível de incerteza:

Baixo: A linha de base é bem conhecida e os impactos foram estimados com base em medições ou observações de campo, sensoriamento remoto, análise estatística ou outra técnica bem estabelecida;

Médio: A linha de base não é bem conhecida e a estimativa de magnitude tem fundamento em opiniões de profissionais ou alguma outra abordagem qualitativa, incluindo conhecimentos locais;

Alto: A linha de base não é bem conhecida e existem informações contraditórias em relação à magnitude dos impactos;

Se a incerteza sobre a magnitude do impacto for insignificante, escreva '**não aplicável**' (ou seja, essa categoria não se aplica a esse impacto específico). Se o impacto for bem conhecido, escreva '**certo**'.

Desta forma, para os impactos em que o nível de incerteza da magnitude for médio ou alto não é possível contar com uma referência de meta a ser alcançada fundamentada na linha de base. A definição da incerteza na determinação da magnitude pode se apoiar na seção intitulada *lacunas de conhecimento*, solicitada no Plano de Trabalho e que consta nos relatórios do Instituto Ekos e da CEPEMAR, mas que não foram integradas na análise de atributos dos impactos e proposição de medidas.

Desta forma, sendo fundamental que a meta para reparação seja definida, recomendamos que este processo se inicie a partir de proposições da equipe técnica, seguidas de discussão e deliberação pelas partes interessadas, incluindo-se aqui órgãos gestores das UCs.

Cabe ressaltar que estudos adicionais e medidas de monitoramento devem ser priorizados apenas quando permitem diminuir níveis de incerteza sobre um determinado impacto, portanto, tornam-se extremamente dependentes de metodologias e esforços utilizados para estabelecer a linha de base. Em especial, esforços de monitoramento devem estar atrelados à avaliação da eficácia das medidas de reparação e compensação proposta, avaliando a capacidade de recomposição a partir das medidas propostas. Desta forma, durante a elaboração do Plano de Ação devem ser definidos em quais casos é preciso haver continuidade de estudos exploratórios e em quais se pode avançar para medidas de reparação e compensação baseadas em *metas de qualidade ambiental acordadas entre as partes interessadas*.

Por fim, merece destaque e tratamento qualificado a variação que os atributos que compõem a magnitude do impacto podem ter ao longo do tempo. Vários impactos tiveram severidade muito alta com a chegada dos rejeitos, e depois foram atenuados; outros impactos se manifestam ao longo do tempo, outros ainda são intensificados com o tempo, como no caso da biocumulação e biomagnificação. Esse detalhamento da evolução temporal em relação à magnitude de cada impacto deve ser considerado no Plano de Ação, considerando-se também o nível de incerteza em cada caso para o adequado encaminhamento das propostas de medidas de reparação e compensação.

(2) Impactos residuais

Adotar medidas de compensação ambiental para impactos residuais estimados

Impacto residual é o impacto remanescente após implementação das medidas de mitigação. Após aplicação da hierarquia de mitigação, se houver impactos residuais considerados significativos, estes devem ser objeto de medidas compensatórias, o último degrau da hierarquia de mitigação (Sánchez, 2020).

Medidas de compensação são frequentemente adotadas em casos de impactos sobre a biodiversidade. Dois tipos são possíveis: a compensação por restauração, em que uma área equivalente ou superior à área que foi ou será suprimida pode ser compensada ao se recuperar ou restaurar vegetação de uma outra área degradada; e a compensação por preservação, em que busca conservar uma área equivalente ou maior, que ainda não esteja protegida e seja passível de supressão (Sánchez, 2020; World Bank Group, 2016). Trata-se, portanto, de compensação não-monetária, e que deve ser definida a partir das características do impacto identificado, da área de estudo e da área de compensação.

A Figura 6, apresentada em publicação do Banco Mundial e aplicada a impactos sobre a biodiversidade em avaliações *ex-ante*, mostra na parte superior uma representação da significância de um impacto previsto e, na sequência, ilustra os resultados da aplicação da hierarquia de mitigação – evitar, minimizar e restaurar. Ao final, evidencia um impacto residual, e a representação do seriam os resultados da compensação com 'nenhuma perda líquida' (quando há ganhos equivalentes às perdas) ou então casos em que há 'ganhos líquidos' de biodiversidade (quando se supera as perdas ocorridas com o impacto). Essas perdas e ganhos podem estar relacionadas, por exemplo, à composição das espécies, estrutura do habitat, função do ecossistema, utilização por pessoas e existência de valores culturais associados à biodiversidade (BBOP, 2012; World Bank Group, 2016).

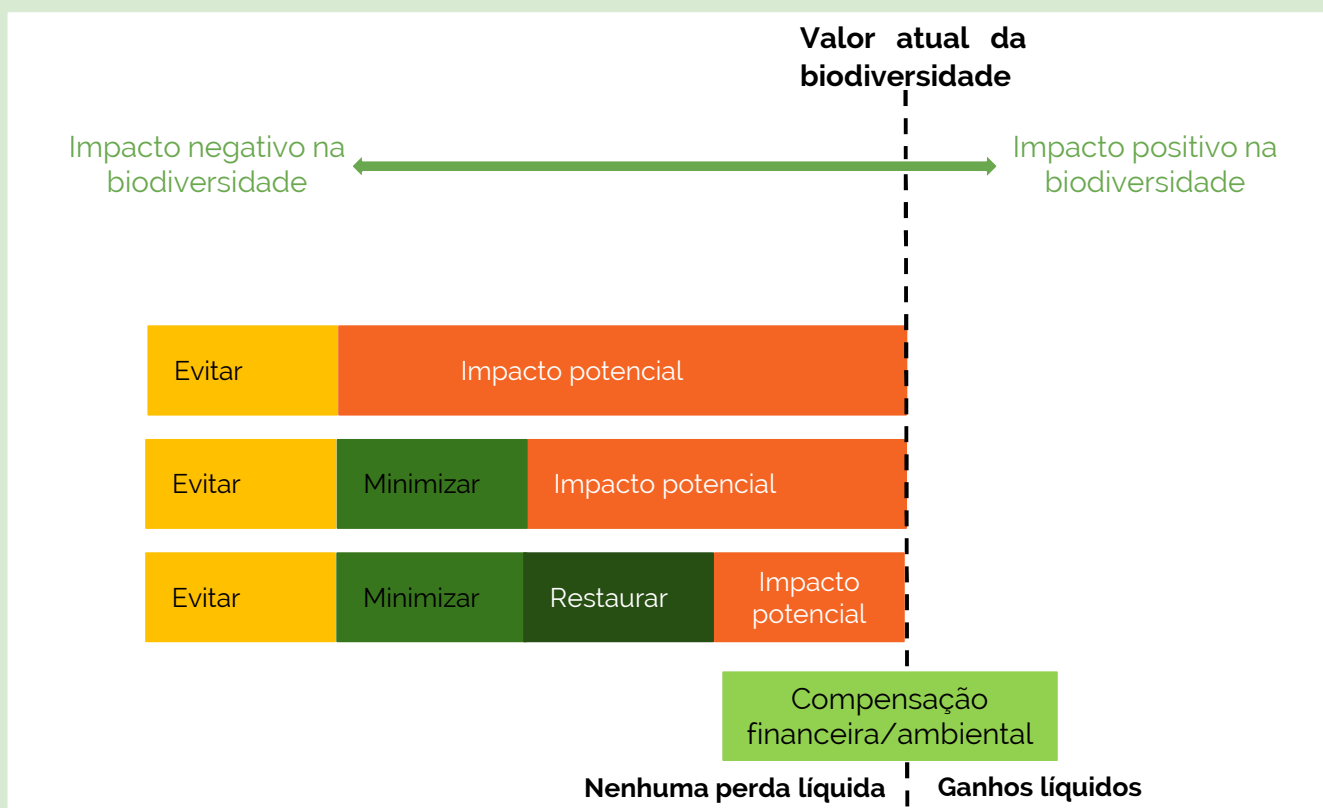


Figura 6. Objetivos da compensação: nenhuma perda líquida ou ganhos líquidos. **Fonte:** Modificado de World Bank Group, 2016

Em uma relação de hierarquia, deve-se buscar primeiro a compensação chamada *in-kind*, em que se busca que a área impactada e a área de compensação tenham características semelhantes. Na sequência, a compensação *out-of-kind* é adotada quando há área de alta prioridade, em áreas com características distintas da área impactada, mas que precisa de ações de proteção e gestão efetiva. Por fim, pode-se adotar *compensação por outros meios*, o que inclui ações de outra natureza (pagamentos em dinheiro, atividades nos campos da educação e da pesquisa científica) e que podem ter vínculo indireto com o impacto causado/mensurado (BBOP, 2012; João *et al.* 2011).

É relevante para o contexto de estudo também ressaltar que as medidas de compensação podem ser planejadas de forma integrada para toda a bacia (*aggregated biodiversity offsets*). Nesse caso, o planejamento de um ou mais locais de compensação relativamente grandes, que podem trazer ganhos em escala regional, concentram as ações de compensação relacionadas a múltiplos impactos que ocorrem na mesma bacia hidrográfica. Essa abordagem pode significar um processo que dialoga com o planejamento territorial já existente, e permite a redução do tempo e custos para implementação da compensação (World Bank Group, 2016). Estas áreas podem ser indicadas para *compensação por restauração*, o que incluiria a restauração de áreas degradadas, ou de áreas para incremento da conectividade funcional para espécies ameaçadas ou o enriquecimento de áreas como capoeiras, fitofisionomias como campo sujo ou formação florestal em estágio inicial de sucessão, com plantio de espécies-chave ameaçadas. Também pode ser prevista *compensação por preservação*, em que pode haver criação de novas UCs, ampliação de UCs existentes; ou pode haver ainda ações para fortalecimento da gestão das UCs existentes, por exemplo com auxílio em processos de regularização fundiária.

Na bacia do rio Doce, é possível considerar que as medidas de compensação relacionadas ao rompimento da Barragem de Fundão podem ser aplicadas em duas situações importantes:

Impactos significativos já ocorridos e irreversíveis, representados por impactos que se deram imediatamente após a chegada dos rejeitos, em especial com a mortandade direta/indireta;

Impactos residuais, que são aqueles que mesmo após aplicação de medidas de reparação ainda são considerados significativos e não alcançam as *metas de qualidade ambiental*;

As medidas de compensação, nesses casos, devem buscar aumentar a resiliência em uma dada área, ou, em outras palavras, reduzir a vulnerabilidade de um componente ambiental afetado e também será necessário definir metas para a compensação. São exemplos destacados de impactos que podem se valer desta abordagem: a contaminação da biota (Bio2) e a degradação da qualidade da água e do sedimento (Fis1 e Fis4, respectivamente).

Ao definir metas para a compensação, a presente proposta dialoga com o conceito de *target-based approach for ecological compensation* (Simmonds *et al.*, 2020), no qual a compensação ambiental é definida não a partir de uma regra única e padronizada, mas é adaptada para cada caso/região a partir de metas para proteção da biodiversidade definidas em planejamentos estratégicos¹.

(3) Monitoramento

Evitar propor medidas de monitoramento de forma isolada, buscando preferencialmente sua integração com medidas de reparação e compensação

Seguindo boas práticas para a proposição de planos/programas de gestão ambiental, cada medida de reparação ou compensação proposta deve ser monitorada, visando subsidiar a avaliação da efetividade das medidas propostas. Isto é essencial tanto porque uma medida pode não se mostrar efetiva da forma como prevista/dimensionada, quanto porque pode haver mudanças não previstas que influenciam o desempenho da medida (como novos estressores ou eventos críticos).

É a partir dos resultados do monitoramento que se pode construir um modelo de gestão adaptativa, em que há avaliação contínua dos resultados e implementação de ajustes sempre que necessário. Dessa forma, o monitoramento das medidas reparatórias e compensatórias devem estar relacionados a respostas específicas de ações planejadas/executadas. Convém, ainda, destacar que o monitoramento do projeto não deve ser confundido com o monitoramento geral de qualidade do meio ambiente, feito por órgãos governamentais; deve ser planejado em função dos impactos previstos e indicadores definidos (Sánchez, 2020).

¹Uma explicação breve desta proposta pode ser encontrada em <https://youtu.be/kQ-3rkcmQgI>

Nesse sentido, recomendamos que no Plano de Ação, sempre que possível, medidas de monitoramento sejam propostas como parte das medidas reparatórias ou compensatórias, e não que sejam apresentadas de forma isolada. No caso de sugestões de ampliação de pontos de coleta do PMQQS ou outros programas abrangentes de monitoramento da qualidade ambiental, estas podem ser mantidas, preferencialmente indicando de forma explícita quais devem ser os resultados esperados na área das UCs e com uma estrutura de gestão que permita sua avaliação continuada de forma efetiva.

(4) Impactos cumulativos

Identificar fontes indutoras de impactos incidentes sobre os componentes

Impactos cumulativos "são aqueles que se acumulam no tempo ou no espaço, como resultado da adição ou da combinação de impactos decorrentes de uma ou de diversas ações humanas" (Sánchez, 2020, cap.11). Nesse sentido, impactos que, isoladamente, podem ser considerados como não sendo *potencialmente significativos*, quando somados no tempo e/ou espaço podem demandar medidas mitigadoras. Como representado na Figura 7, um componente ambiental pode ser impactado por múltiplos fatores: há projetos e atividades sujeitos ou não sujeitos à AIA, com ou sem controle ambiental formal, há fatores ambientais naturais, há também atividades passadas com efeitos remanescentes no ambiente, e também atividades futuras (certas, razoavelmente previsíveis e hipotéticas) (Sánchez, 2020).



Figura 7. Representação de múltiplas atividades, fatores e projetos que podem afetar um mesmo componente ambiental. **Fonte:** Modificado de IFC, 2013.

No contexto que é foco deste relatório, o *Plano de Trabalho* estabelecido pela Fundação Renova não prevê nenhuma abordagem quanto aos impactos cumulativos, e por conseguinte, este tema não é tratado nos relatórios. No entanto, algumas iniciativas já abordaram este tema no contexto dos estudos relacionados ao rompimento da Barragem de Fundão, tal como Bianchini *et al.* (2019). Desta experiência, agropecuária, urbanização e mineração foram os indutores mais importantes dos impactos identificados.

Nesse sentido, é fundamental que, durante a elaboração do Plano de Ação com detalhamentos para a execução das medidas mitigadoras, sejam incluídas ações para observação e verificação desses indutores. A identificação de outras fontes indutoras do impacto, passadas ou ativas, poderá subsidiar a revisão das medidas inicialmente previstas, bem como no compartilhamento das responsabilidades pela mitigação entre os indutores identificados quando conveniente.

(5) Ações já em andamento ou previstas

Levantar informações sobre outras ações que possam incidir sobre a área de estudo antes do detalhamento e implementação de novas medidas

A identificação dos programas da Fundação Renova que possam estar relacionados às medidas propostas é um passo primordial no delineamento de um plano que busca ser integrado. Para o Plano de Ação, além de um detalhamento maior de potenciais associações entre novas medidas e programas existentes, é interessante mapear outras iniciativas desenvolvidas na bacia hidrográfica por iniciativa dos governos estaduais, municipais, comitê de bacia hidrográfica do rio Doce, e órgãos ambientais e de saneamento.

O levantamento de iniciativas já existentes (implementadas ou previstas) é essencial no planejamento ambiental e amplamente adotado no contexto da Avaliação Ambiental Estratégica. A identificação de sobreposições, lacunas e oportunidades de cooperação pode ser feita, inclusive, com a elaboração de um Quadro de Governança, que além do mapeamento das iniciativas, também avança no mapeamento das capacidades institucionais e dos responsáveis (Partidário, 2012).

Além dos próprios programas da Fundação Renova, será preciso identificar ações relevantes que possam auxiliar na identificação de prioridades para a execução das medidas reparatórias, considerando, por exemplo:

- (1)** programas do CBH-Doce relacionadas em especial às áreas protegidas (recuperação de APPs e incremento na área de UCs) e saneamento (esgotamento sanitário e drenagem);
- (2)** o Zoneamento Ecológico-Econômico estadual de Minas Gerais e Espírito Santo, e;
- (3)** áreas prioritárias para conservação da biodiversidade (Fundação Biodiversitas) e áreas prioritárias para restauração e potencial de regeneração (IEF),
- (4)** ações das UCs que não foram mapeadas anteriormente.

Assim, para subsidiar a reorganização e a apresentação de novas proposições de medidas, buscamos desenvolver encaminhamentos práticos para endereçar os pontos descritos acima.

Visando endereçar os pontos acima expostos, propomos a seguir elementos a serem adotados na **elaboração do Plano de Ação**. Será preciso:

- (1) Definir metas de qualidade ambiental a serem adotadas como referências para mensurar a efetividade das medidas de reparação;
- (2) Estimar os resultados esperados das medidas de reparação, e propor medidas de compensação para os casos em que houver impactos residuais significativos;
- (3) Definir medidas de monitoramento sempre associadas às medidas de reparação e compensação, focadas na avaliação das respostas das medidas implantadas e tendo em vista as metas de qualidade ambiental;
- (4) Incluir no Plano de Ação, como parte da avaliação contínua, a observação de potenciais fontes estressoras/indutoras adicionais àquelas relacionados aos impactos identificados causados pelo rompimento da Barragem de Fundão, de forma que estes possam ser compreendidos enquanto impactos cumulativos;
- (5) Realizar um levantamento e análise das ações já em andamento ou planejadas para garantir a compatibilização das medidas com o contexto atual no território.

Por fim, sugerimos um conjunto de critérios para caracterização das medidas, apresentado na Tabela 9, que reúne as recomendações apresentadas acima.

Tabela 9: Critérios para caracterização e avaliação de medidas mitigadoras. Fonte: FBDS 2022, com base em Sánchez et al. (2019) e Sánchez (2020).

Critério	Detalhamento e categorias
1. Nome da medida	Enunciado descritivo da medida
2. Impactos associados	Deve listar quais impactos identificados nos estudos anteriores estão associados a esta medida
3. Tipo de mitigação	<p>Reparação: inclui tanto medidas de remediação (ações com o objetivo de reduzir os impactos e riscos decorrentes da situação pós-desastre, como a estabilização de um componente afetado ou a eliminação de fatores de risco), quanto de restauração (ações com o objetivo de restaurar o componente à sua condição pré-desastre. Para certos componentes valorizados, pode ser desenvolvido um conceito específico; por exemplo, restaurar os atributos ou funções dos agroecossistemas). Aprimoramento: Ações para melhorar a situação ou as condições de um componente, elevando-o a uma situação ou estado melhor do que era antes do desastre</p> <p>Compensação: Ações que visam substituir o componente afetado ou os benefícios proporcionados por tal componente; a compensação pode ser 'da mesma espécie' (o mesmo tipo de benefício) ou 'de outra espécie' (ou seja, indenização monetária). Podem incluir tanto medidas diretamente relacionadas à natureza dos impactos quanto para outros meios, incluindo medidas de capacitação e gestão relacionadas às UCs.</p> <p>Estudos complementares ou adicionais: para casos em que é essencial o levantamento de mais informações.</p>
4. A linha de base oferece informações suficientes para fundamentar a definição de metas de qualidade ambiental para a reparação?	A resposta deve ser sim ou não, com breve descrição das informações disponíveis.
5. Meta(s) de qualidade ambiental sugerida(s), com estimativa de prazo	Deve considerar a linha de base, exigências legais, orientações fornecidas por autoridades competentes, e a perspectiva das partes interessadas. A(s) meta(s) devem ter clara relação com todos os impactos associados à medida descrita. (critério 2)
6. Iniciativas/outras medidas já implementadas ou em via de implementação relacionadas a esta medida proposta	Devem ser resumidas outras ações/programas existentes ou planejados na bacia do Rio Doce, com foco nas ações de responsabilidades da Fundação Renova com as UCs avaliadas, mas considerando também outras iniciativas.
7. Indicadores para o monitoramento da efetividade da medida	A previsão de coleta de dados primários deve estar prevista para controle, verificação e ajuste das medidas propostas.
8. Qual o nível de confiança na eficácia esperada da mitigação?	Deve seguir a indicação do Quadro 2.

Tabela 9 (Continuação): **Critérios para caracterização e avaliação de medidas mitigadoras.** Fonte: FBDS 2022, com base em Sánchez et al. (2019) e Sánchez (2020).

Critério	Detalhamento e categorias
9. É esperado que haja impactos residuais significativos?	A resposta deve ser sim, não ou desconhecido, indicando que este tema deve ser reavaliado futuramente. Caso haja impactos residuais, deve haver previsão de compensação.
10. Há aspectos ou impactos ambientais e sociais adversos decorrentes da mitigação?	Quaisquer aspectos ou impactos causados pela implementação da medida proposta devem ser elencados.
11. São necessárias mitigações adicionais ou há necessidade de modificar a mitigação atual?	A questão reflete o entendimento atual da equipe de avaliação, e deve ser subsidiada pelo monitoramento e avaliação dos programas existentes.
12. Quem são os responsáveis e quem são os parceiros para a implementação desta medida?	Indicar se a ação é desenvolvida em parceria da Fundação Renova com outras instituições/órgãos/atores sociais.

Em relação ao critério 8 - Confiança na eficácia esperada da mitigação, proposto por Sánchez *et al.* (2019) a proposta indica uma combinação do nível de disseminação da solução de mitigação e seu emprego em situações semelhantes, e do nível de ameaça à efetiva mitigação, conforme ilustra o Quadro 3.

Quadro 3. Nível de confiança na eficácia esperada da mitigação. Fonte: Modificado de Sanchez *et al.*, 2019.

Níveis de disseminação de uma determinada medida de mitigação	Níveis de ameaça		
	As ameaças são bem entendidas e estão sob o controle da organização	As ameaças são bem entendidas e estão sob a influência da organização	As ameaças não são suficientemente entendidas ou estão além da influência da organização
Amplamente utilizado, geralmente considerada boa prática	Alto	Alto	Moderado
Existem outras aplicações conhecidas, mas sua prática não é generalizada	Alto	Moderado	Baixo
Trata-se de uma inovação ou há pouca experiência prática	Moderado	Baixo	Baixo

Com esta proposta entendemos que será possível estruturar um Plano de Ação seguindo as melhores práticas da AIA, e de forma coerente e consistente com o contexto em estudo.

Procedimentos metodológicos adotados para análise crítica do conteúdo técnico e da elaboração das recomendações finais

A partir do levantamento das medidas e da sua análise crítica considerando sempre que possível os critérios apresentados na seção anterior, cada relatório conterá uma tabela resumizando os apontamentos críticos e recomendações quanto às medidas mitigadoras e compensatórias apresentadas nos relatórios utilizados para subsidiar a análise feita para cada Grupo de UCs. A análise conduzida pela equipe da FBDS limita-se, na maioria dos casos, a indicar a pertinência das medidas propostas para os impactos avaliados em cada grupo de UCs com base na revisão da linha de base e dos impactos identificados por esta equipe.

Cabe ressaltar que são apresentadas apenas diretrizes técnicas, visto que o detalhamento do dimensionamento, localização e outros elementos fundamentais para a implementação das medidas deverão ser desenvolvidos durante a elaboração do Plano de Ação. Neste sentido, os esforços a serem empenhados serão determinantes para que se possa avaliar, de fato, a suficiência e a pertinência das medidas, bem como o melhor detalhamento para sua implementação considerando os responsáveis por sua execução.

Outro aspecto que merece destaque é a definição de prioridades para as medidas levantadas. Entre os critérios que podem ser considerados durante a priorização de medidas, destacam-se:

- (1) a hierarquia de mitigação, que prevê priorizar medidas capazes de evitar futuros impactos, seguidas das medidas para minimizar efeitos futuros/atuais, recuperar (reparar) e compensar;
- (2) medidas que atuam sobre um número maior de impactos significativos, pois se mostram estratégicas para diferentes componentes ambientais e para a reparação da área afetada;
- (3) a urgência da implementação, uma vez que já se passaram seis anos do rompimento da barragem, impactos que tendem a ganhar força com o tempo, tendo sua magnitude ampliada, como é o caso da contaminação da biota, devem ser priorizados.

Certamente, a adequada caracterização das medidas com detalhamentos como os propostos na Tabela 9, será essencial nesta etapa futura, bem como será preciso dialogar com os gestores das UCs para definição dessas prioridades no Plano de Ação.

Referências

- Bianchini, A., Bastos, A. C., Teixeira, E. C., Castro, E. V. De, Santos, J. A. D. dos. 2019. **Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática da Área Ambiental I – Porção Capixaba do Rio Doce e Região Marinha e Costeira Adjacente. Relatório Anual: Anexo 3 Dulcícola– Ações na Bacia.** Vitória - ES.
- BOP. 2012. **Biodiversity Offset Design Handbook-Updated.** Washington, DC: Business and Biodiversity Offsets Programme (BBOP).
- CNCFlora. 2013. **Livro Vermelho da Flora do Brasil.** Martinelli, G., Moraes, M.A. Org. 1. ed. Rio de Janeiro: Andrea Jakobsson: Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro, 1100 p.
- COPAM - Conselho Estadual de Política Ambiental. 2018. **Lista de Espécies Ameaçadas de Extinção da Fauna do Estado de Minas Gerais.** DELIBERAÇÃO NORMATIVA COPAM Nº 228, 28 de Novembro de 2018.
- Del Campo, A.G. 2017. **A conceptualisation framework for building consensus on environmental sensitivity.** Journal of Environmental Management, 200, 114–122.
- Fraga, C.N., Formigoni, M.H., Chaves, F.G. 2019. **Fauna e flora ameaçadas de extinção no estado do Espírito Santo. Santa Teresa/ES.** Instituto Nacional da Mata Atlântica, 432 p.
- Fundação Biodiversitas. 2007. **Revisão das Listas Vermelhas da Flora e da Fauna Ameaçadas de Extinção de Minas Gerais, 3,** Relatório Final. Fundação Biodiversitas, Belo Horizonte, Brasil.
- Fundação 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.
- Fundação Renova, 2018. **Plano de Trabalho para Estudos de Avaliação dos Impactos gerados pelo rompimento da Barragem de Fundão nas Unidades de Conservação – Revisão 4.** Belo Horizonte.
- ICMBIO - Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. 2018. **Boas Práticas na Gestão de Unidades de Conservação.** Edição 03. Brasília: ICMBio, MMA.
- ICMBio - Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. 2018. **Livro Vermelho da Fauna Brasileira Ameaçada de Extinção.** Brasília: ICMBio. 4162 p.
- IFC - International Finance Corporation. 2012. **Notas de Orientação da Corporação Financeira Internacional: Padrões de Desempenho sobre Sustentabilidade Socioambiental.** Washington, DC: IFC.
- IFC - International Finance Corporation. 2013. **Cumulative Impact Assessment and Management: Guidance for the Private Sector in Emerging Markets.** Washington, DC: IFC.
- IUCN. 2021. **The IUCN Red List of Threatened Species.** Version 2021-2. <http://www.iucnredlist.org>. 2021

- João, E., Vanclay, F., Den Broeder, L. 2011. **Emphasising enhancement in all forms of impact assessment: introduction to a special issue.** Impact Assessment and Project Appraisal, 29, 170–180.
- Jones, M. & Morrison-Sauders, A. 2016. **Making sense of significance in environmental impact assessment.** Impact Assessment and Project Appraisal, 34, 87-93.
- Partidário, M.D.R. 2012. **Guia de melhores práticas para Avaliação Ambiental Estratégica - orientações metodológicas para um pensamento estratégico em AAE.** Lisboa: Agência Portuguesa do Ambiente; Redes Energéticas Nacionais,
- Passamani, M. & Mendes, S.L. 2007. **Espécies da Fauna Ameaçadas de Extinção no Estado do Espírito Santo.** Vitória/ES. Instituto de Pesquisas da Mata Atlântica.
- Pellin, A., Chiaravalloti, R., Prado, F., Pellin, A., Padua, C. V. 2020. **Boas Práticas na Gestão de Unidades de Conservação.** Nazaré Paulista: Ipê.
- Sadar, M.H. 1996. **Environment Impact Assessment.** Carleton University Press for Impact Assessment Center. Carleton.
- Sadler, B & McCabe, M. 2002. **Environmental Impact Assessment Training Resource Manual.** 2nd ed. United Nations Environment Programme, Division of Technology, Industry and Economics, Economics and Trade Branch.
- Sánchez, L.E. 2020. **Avaliação de impacto ambiental: conceitos e métodos.** 3. ed. São Paulo: Oficina de Textos.
- Sanchez, L.E., Alonso, L., Barbosa, F.A.R., Brito, M.C.W., Laureano, F.V., 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.º 4.** Gland, Suíça: IUCN.
- Simmonds, J. S. et al. 2020. **Moving from biodiversity offsets to a target-based approach for ecological compensation.** Conservation Letters 13(2), 1–11.
- Simonelli, M. & Fraga, C.N. 2007. **Espécies da flora ameaçadas de extinção no estado do Espírito Santo.** Vitória/ES. Ed. Ipema Data.
- World Bank Group. 2016. **Biodiversity Offsets: A User Guide.** Washington, D.C.: World Bank Group.