

TERMO DE REFERÊNCIA 4 – PMBA / CTBIO-CIF
PROGRAMA DE MONITORAMENTO DA BIODIVERSIDADE AQUÁTICA
PRIMEIRA REVISÃO

Sumário

INTRODUÇÃO.....	2
OBJETIVOS GERAIS	6
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	6
DETALHAMENTO	7
Área de Estudo.....	7
Ambientes, parâmetros e indicadores.....	8
Ambiente Dulcícola.....	10
Ambiente Marinho	17
Ambiente Costeiro	34
Análise de Impactos e Integração dos Dados	40
Medidas Reparatórias.....	43
Considerações Complementares	44
EXECUÇÃO	45
Prazos	45
Entregas e Produtos.....	45
Instituição responsável	46
Qualificação da equipe e laboratórios	47
Pesquisadores Líderes.....	47
Equipe de pesquisa.....	48
Laboratórios.....	50
Recepção, armazenamento e divulgação dos dados.....	54
Plano de Trabalho e continuidade do PMBA	55
GLOSSÁRIO.....	55

INTRODUÇÃO

Em 05 de novembro de 2015 houve o rompimento da Barragem de Fundão, uma das barragens de rejeitos das atividades de extração de minério de ferro da Samarco Mineração S.A., em Mariana/MG. Foram mais de 43 milhões de m³ de rejeitos despejados sobre cidades, pessoas, terras, corpos d'água e todos os componentes da biodiversidade desses ambientes, ultrapassando os limites das minas, chegando ao Rio Doce, que corta o Leste do estado de Minas Gerais e o Nordeste do estado do Espírito Santo. Todo esse rejeito liberado com imensa energia escavou e revolveu as calhas dos rios atingidos, ressuspensando sedimentos que estavam estabilizados e “inertes” nestes, e assim, disponibilizando os componentes químicos desses sedimentos na coluna d'água, contribuindo para a alteração da qualidade da água.

A onda de rejeitos – que passou a ser deonominado como “lama”, percorreu cerca de 668 km até chegar no mar, na foz do Rio Doce. A partir deste ponto, a pluma de rejeitos seguiu para o sul, atingindo Guarapari, na costa sul do estado do Espírito Santo, e para onorte, atingindo o litoral norte do estado do Espírito Santo e o sul do estado da Bahia. Esta emergência ambiental, que foi e ainda é amplamente divulgada e veiculada na mídia, ficou conhecida como “tragédia de Mariana” ou “desastre da Samarco”, a qual é reconhecidamente o desastre ambiental de maior proporção ocorrido no Brasil e o maior envolvendo a indústria da mineração no mundo.

Em função do desastre de Mariana, a União -representada pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis - IBAMA, Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade - ICMBio, Agência Nacional de Águas – ANA, Departamento Nacional de Produção Mineral – DNPM e Fundação Nacional do Índio – FUNAI -, o Estado de Minas Gerais – representado pelo Instituto Estadual de Florestas – IEF, Instituto Mineiro de Gestão de Águas – IGAM e Fundação Estadual de Meio Ambiente – FEAM -, o Estado do Espírito Santo – representado pelo Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos – IEMA, Instituto de Defesa Agropecuária e Florestal do Espírito Santo – IDAF e Agência Estadual de Recursos Hídricos – AGERH, estabeleceram um Termo de Transação e de Ajustamento de Conduta (TTAC) com as empresas Samarco Mineração S.A., Vale S.A. e BHP Billiton Brasil Ltda com objetivo de avaliar e propor mecanismos de mitigação de impactos ambientais e sociais fruto do desastre. O TTAC foi celebrado no bojo da Ação Civil Pública nº 69758- 61.2015.4.01.3400 e prevê que as ações de reparação e compensação devam ser executadas de forma centralizada em uma fundação privada, sem fins lucrativos, com estrutura própria de governança, fiscalização e controle, orientada e supervisionada pelo CIF-Comite Interfederativo composto pelas Partes do Acordo, estes assessorados por Câmaras Técnicas composta por técnicos dos seus respectivos órgãos . Pelo Acordo, são considerados *a priori* os seguintes impactos socioambientais decorrentes do rompimento da barragem de Fundão (ver TTAC, 6º Considerando):

- a) *impacto de habitats e da ictiofauna ao longo dos rios Gualaxo, Carmo e Doce, perfazendo 680 km de rios;*
- b) *alteração na qualidade da água dos rios impactados com lama de rejeitos de minério;*
- c) *suspensão no abastecimento público decorrente do “evento” (rompimento da barragem) nas cidades e localidades impactadas;*
- d) *suspensão das captações de água decorrente do “evento” para atividades econômicas, propriedades rurais e pequenas comunidades ao longo dos Rios Gualaxo do Norte, Rio do Carmo e Rio Doce;*
- e) *assoreamento no leito dos Rios Gualaxo do Norte, Carmo e do Rio Doce até o reservatório da barragem de UHE Risoleta Neves;*
- f) *impacto nas lagoas e nascentes adjacentes ao leito dos rios;*
- g) *impacto na vegetação ripária e aquática;*
- h) *impacto na conexão com tributários e lagoas marginais;*
- i) *alteração do fluxo hídrico decorrente do “evento”;*
- j) *impacto sobre estuários e manguezais na foz do Rio Doce;*
- k) *impacto em áreas de reprodução de peixes;*
- l) *impacto em áreas berçários de reposição da ictiofauna (áreas de alimentação de larvas e juvenis);*
- m) *impactos na cadeia trófica;*
- n) *impactos sobre o fluxo gênico de espécies entre corpos d'água decorrente do “evento”;*
- o) *impactos em espécies com especificidade de habitat (corredeiras, locas, poços, remansos, etc) no Rio Gualaxo do Norte e do Rio do Carmo;*
- p) *mortandade de espécimes na cadeia trófica decorrente do “evento”;*
- q) *impacto no estado de conservação de espécies já listadas como ameaçadas e ingresso de novas espécies no rol de ameaçadas;*
- r) *comprometimento da estrutura e função dos ecossistemas aquáticos e terrestres associados decorrente do “evento”;*
- s) *comprometimento do estoque pesqueiro, com impacto sobre a pesca decorrente do “evento”;*
- t) *impacto no modo de vida de populações ribeirinhas, populações estuarinas, povos indígenas e outras populações tradicionais; e*
- u) *impactos sobre Unidades de Conservação.*

Em relação aos impactos nos ambientes dulcícolas, estuarinos, costeiros e marinhos, e a necessidade de ações para a recomposição dos ambientes atingidos pelo rompimento, o TTAC define, no item III da Cláusula 15, o eixo temático *CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE*; e no subitem “a”, o *Programa de conservação da biodiversidade aquática, incluindo água doce, zona costeira e estuarina e área*

marinha impactada;

Mais adiante, ainda na Cláusula 165, transcrita integralmente a seguir, o TTAC estabelece a necessidade do monitoramento da biodiversidade aquática:

Cláusula 165: A FUNDAÇÃO deverá elaborar e implementar medidas de monitoramento da fauna da foz do Rio Doce e ambientes estuarinos e marinhos impactados, devendo:

I. Apresentar, até o último dia útil de junho de 2016:

a) Proposta de estudo para avaliação da qualidade da água e ecotoxicidade sobre os organismos aquáticos, estuarinos, marinhos e dulcícolas; e

b) Descrição metodológica das medidas de monitoramento da fauna da foz do Rio Doce e ambientes estuarinos e marinhos impactados.

II. Realizar e apresentar os resultados, até o último dia útil de maio de 2017, dos estudos para:

a) identificação e caracterização do impacto agudo e crônico sobre as espécies e cadeia trófica dos ambientes dulcícolas, estuarino e marinho; e

b) avaliação do habitat de fundo marinho, incluindo algas calcáreas, rodólitos e corais, nas áreas estuarinas, marinhas e da foz do rio atingidas pelo material oriundo do “evento”;

III. implementar e executar as medidas de monitoramento referidas nesta Cláusula num período de 5 anos, a partir da aprovação da proposta de estudos por parte do ICMBio.

PARÁGRAFO PRIMEIRO: A partir do primeiro dia útil de julho de 2017, as medidas de monitoramento referidas neste programa e os parâmetros decorrentes dos resultados dos estudos previstos nos parágrafos anteriores deverão ser integrados.

PARÁGRAFO SEGUNDO: O programa previsto nesta Cláusula deverá ser orientado e supervisionado pelo ICMBio, em articulação com os demais ÓRGÃOS AMBIENTAIS, que monitorarão sua execução.”

Para atender ao preconizado na Cláusula 165, bem como na Cláusula 15, foi elaborado, no âmbito da Câmara Técnica de Conservação da Biodiversidade (CT-Bio/CIF), o Termo de Referência nº 04/2016 (TR4) que orienta e referencia a implementação e execução do Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática (PMBA).

O TR4 foi aprovado pela CTBio em outubro de 2016, com as diretrizes e orientações para o PMBA, e aprovado pelo CIF através da Deliberação nº 79 de 27 de junho de 2017 e após mais de um ano de tratativas e mobilização, começou a ser executado em setembro de 2018.

Segundo o TR4, a primeira fase do PMBA se consistiria na implantação do programa, coleta e análise dos dados no primeiro ano de monitoramento, podendo ser adaptado a partir dos resultados encontrados. A execução do PMBA foi realizada pela Rede Rio Doce Mar (RRDM), que iniciou os estudos no âmbito do PMBA em setembro de 2018, mas, alguns de seus pesquisadores já estudavam a região desde o rompimento da barragem e antes da chegada do rejeito na Foz do Rio Doce. A Deliberação CIF Nº 279

de 23 de abril de 2019, retificada em 25 de abril de 2019 estabeleceu que, após seis meses de avaliação, deveria ser elaborada estratégia de continuidade do PMBA, garantindo a execução dos estudos de forma ininterrupta pelo período de 5 anos.

A RRDM é uma organização acadêmica sem fins lucrativos formada por 26 instituições públicas de ciência, tecnologia e inovação nacional, responsável pelo Acordo de Cooperação Técnico-Científica e Financeira firmado entre a Fundação Espírito-Santense de Tecnologia (Fest) e a Fundação Renova, em junho de 2018, para a execução do PMBA, tendo a Universidade Federal do Espírito Santo (**Ufes**) como anuente e Coordenadora Geral da Rede juntamente com a Universidade Federal do Rio Grande (**Furg**).

Tendo o PMBA iniciado em setembro de 2018, a Fest-RRDM apresentou em dezembro/2018 um relatório sobre a análise de dados pretéritos acerca dos impactos agudos e crônicos associados ao rompimento da barragem de Fundão. Em maio de 2019, a Fest-RRDM apresentou o primeiro relatório semestral do PMBA. Em novembro de 2019, ela apresentou o primeiro relatório anual do PMBA.

Após a entrega deste primeiro relatório anual pela Fest-RRDM, foi planejado o processo de revisão do TR4 para aperfeiçoamento do PMBA. Diante da pandemia instalada pela COVID 19, o planejamento de revisão foi alterado para um trabalho remoto, o que implicou em atraso no processo.

Neste ínterim, o segundo relatório semestral do PMBA foi apresentado pela Fest-RRDM em agosto de 2020 e o segundo relatório anual do PMBA foi disponibilizado pela Fest-RRDM em dezembro de 2020. No final de 2020 e início de 2021, foi então possível prosseguir com a revisão do TR4.

Por falta de consenso entre a Fundação Renova e o Sistema CIF, a continuidade do PMBA foi judicializada, retornando à 12ª Vara da Justiça Federal em Belo Horizonte/MG, onde foi celebrado o TTAC, que deliberou pela continuidade do PMBA nos moldes vigentes, bem como pela necessidade de revisão do TR4, deferindo solicitações da CTBio/CIF peticionadas pela Advocacia Geral da União - AGU. Ao processo de revisão do TR4 foi dado o nome de “Jornada de Revisão do TR4”, que contou com uma ampla consulta técnica, capitaneada pela Fundação Dom Cabral (FDC), contratada pela Fundação Renova para auxiliar a CTBio neste processo. A Jornada de Revisão do TR4 contou com a participação dos órgãos membros da CTBio (ICMBIO, IEMA, IEF, IBAMA, CBH Doce, Representantes do Ministério Público e IDAF), da Fundação Renova, de pesquisadores convidados de diversas instituições e de representantes dos atingidos pelo rompimento da barragem.

A Revisão do TR4 foi fundamentada em um documento denominado “*Objetivos, Diretrizes e Premissas para a Jornada de Atualização do Termo de Referência Nº 04/2016 para o Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática na Porção Capixaba e Marinha Atingidas pelos Rejeitos da Barragem de Fundão*”. O documento foi elaborado durante a Jornada e, que traz as perguntas orientadoras para o PMBA e diretrizes e premissas para elaboração dos estudos e apresentação dos resultados (Anexo 1).

Toda a concepção, metodologia e o cronograma da Jornada de Revisão do TR4 foram debatidos e

decididos por consenso em um grupo denominado “grupo de governança da revisão do TR4”, coordenado pela FDC, com participação paritária entre a Fundação Renova e a CTBio. A descrição detalhada do processo consta no Relatório do Programa Jornada de Revisão do Termo de Referência TR4 (Anexo 2).

A partir do aprendizado acumulado nos dois primeiros anos do PMBA, com os conhecimentos gerados e indicadores estabelecidos, bem como dos resultados da Jornada de Revisão do TR4, é apresentada a primeira revisão do TR4 para o PMBA, com um conjunto de evoluções em relação ao documento original

OBJETIVOS GERAIS

1. Atender ao disposto na Cláusula 165 do TTAC, principalmente em identificar, evidenciar e monitorar os impactos do rompimento da barragem de Fundão sobre a biodiversidade do Rio Doce (porção capixaba¹) e dos ambientes estuarino, costeiro e marinho atingidos pelo rompimento da barragem de Fundão, bem como indicar medidas para recuperar e conservar esta biodiversidade, monitorando e avaliando a efetividade das medidas de recuperação e conservação.
2. Gerar conhecimento técnico para orientação estratégica dos trabalhos de mitigação e de reparação dos danos decorrentes do rompimento e para a boa gestão dos ecossistemas aquáticos e ripários da bacia com vistas à melhoria da qualidade ambiental destes, no mínimo à situação pré-rompimento da barragem, mas idealmente além dela.
3. Garantir a continuidade do monitoramento em curso com aproveitamento dos dados e análises do ambiente e da biodiversidade aquática com séries históricas.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

O Termo de Referência 4 - Primeira Revisão estabelece o referencial para a continuidade do Plano de Monitoramento da Biodiversidade Aquática (PMBA) potencialmente atingida pelo rompimento da barragem de Fundão, nas regiões dulcícola (porção capixaba), estuarina, costeira e marinha com o objetivo de:

1. Identificar e evidenciar os impactos decorrentes do rompimento da barragem de Fundão sobre a biota aquática e seus habitats e monitorá-los, a fim de subsidiar decisões do poder público.
2. Avaliar o estado de conservação da biodiversidade aquática e indicar medidas de recuperação e conservação da biota e do ambiente aquático.
3. Avaliar as medidas de recuperação e/ou mitigação implementadas para a conservação dos ambientes e da biodiversidade aquática atingida pelo rompimento da barragem de Fundão.

¹ A biodiversidade na porção do Rio Doce no estado de MG está sendo monitorada em outro programa de pesquisa. Ver chamada 10/18 FAPEMIG – Pesquisa, desenvolvimento e inovação para monitoramento da biodiversidade de ambientes aquáticos de Minas Gerais em áreas impactadas pelo rompimento da barragem de Fundão – Mariana – MG.

DETALHAMENTO

Área de Estudo

Orientado pelo TR4, o PMBA traz atualmente para a sua área de abrangência a denominada “Área Ambiental 1”, cuja definição apresentamos a seguir (TTAC, Cláusula 1, item 4):

ÁREA AMBIENTAL 1: as áreas abrangidas pela deposição de rejeitos nas calhas e margens dos rios Gualaxo do Norte, Carmo e Doce, considerando os respectivos trechos de seus formadores e tributários, bem como as regiões estuarinas, costeiras e marinha na porção impactada pelo EVENTO.

Contudo, atualmente ainda não existe uma definição tecnicamente precisa do que seja a Área Ambiental 1, tendo em vista a evolução espacial do quadro ambiental, desde a assinatura do TTAC, em 2016. Assim o primeiro PMBA estabeleceu a área de estudo considerando o território potencialmente impactado pelo rompimento, utilizando-se de informações dos monitoramentos pré-PMBA. Portanto, a área de estudo, com as respectivas estações amostrais pode ser visualizada no mapa da atual área de estudo do PMBA (Anexo 3).

A malha amostral do PMBA compreende toda a extensão do Rio Doce em sua porção capixaba, contemplando, ainda, o Rio Guandu, os lagos Nova, Limão, Juparanã, do Óleo e as lagoas do Areão, Areal e Monsarás, e se estende à região costeira e marinha adjacente. A malha amostral costeira e marinha compreende uma área que abrange desde o município de Guarapari (ES) até Caravelas (BA). Os pontos amostrais não foram definidos em função das municipalidades, mas sim, considerando a variabilidade de aspectos ambientais e resultados de dados obtidos logo após o rompimento da barragem de rejeitos de Fundão. Neste contexto, as amostragens possuem maior concentração na Área de Proteção Ambiental (APA) Costa das Algas e foz do Rio Doce. Amostragens ao sul da APA Costa das Algas são restritas às análises ecotoxicológicas e de peixes recifais. Originalmente, as estações ao sul da APA Costa das Algas eram também amostradas para análise da biodiversidade aquática e qualidade de água e sedimento, tanto ao largo dos municípios de Vitória, quanto de Guarapari. Porém, ao final do Ano 1, em função dos resultados se mostrarem inconclusivos quanto à influência do rompimento da barragem de Fundão neste trecho, essas estações foram excluídas da malha original, considerando também que a influência da região metropolitana da grande Vitória, que inclui atividades portuárias e industriais, induz um viés na interpretação dos resultados obtidos pelo monitoramento da biodiversidade nos referidos pontos.

Ainda sobre o ambiente marinho, além do limite norte da malha amostral apresentada, são realizadas duas estações amostrais ao norte de Abrolhos: (1) pelo subprojeto de Tartarugas Marinhas em Arembepe/BA e (2) como estação controle de assinatura isotópica dos sedimentos em Porto Seguro/BA. A Ilha de Trindade, por sua vez, é amostrada exclusivamente pelo Subprojeto de Aves Marinhas.

No que se refere aos manguezais, as áreas monitoradas estão localizadas ao sul (Barra do Riacho, Costa

das Algas e Estuário do Piraquê) e ao norte (Urussuquara, Barra Nova, São Mateus e Caravelas) da foz do Rio Doce, além da própria foz do Rio Doce.

Por fim, as amostragens no ambiente costeiro são realizadas na região entre os municípios de Serra/ES e Conceição da Barra/ES para o monitoramento de Praias e entre os municípios de Aracruz/ES e Conceição da Barra/ES para o monitoramento de Restingas, ambas com distâncias não regulares entre as estações amostrais, de acordo com as variações morfológicas, sedimentares e da flora.

Considerando os resultados da Jornada de Revisão do TR4, a área de estudo a ser considerada no novo TR4 deve ser mantida, preservando-se também, na medida do possível e do recomendado na jornada de revisão, as mesmas estações de coleta e pontos amostrais para a continuidade das análises de dados com séries históricas comparativas, com as seguintes recomendações:

1. Incluir estações amostrais no ambiente dulcícola, em afluentes do Rio Doce na porção mineira deste rio, visando os controles positivo e negativo da evidência do impacto.
2. Ampliar a malha amostral ao sul da foz do Rio Doce, considerando o modelo de depósito de sedimentos apresentado pelo Prof. Rosman durante a Jornada de Revisão do TR4.
3. Incluir estações amostrais na região norte do Espírito Santo, visando melhorar o esforço e a resolução espacial da malha amostral nesta região, considerando também a lacuna no desenho amostral entre o ponto mais ao norte do ES e a região dos Abrolhos (BA). Recomenda-se que todos os parâmetros abióticos sejam monitorados na calha dos rios: Caravelas, São Mateus, Mariricu, Rio Doce e Piraquê-açu.
4. Manter os estudos na região dos Abrolhos (BA) considerando esta região como área -controle para alguns sempre que pertinente, conforme os parâmetros monitorados e ainda como área sentinela de avaliação de impactos dos rejeitos, estabelecendo um gradiente amostral a partir da Foz do Rio Doce.
5. Outras estações amostrais podem ser incluídas, considerando o conceito de área controle ou referência, em contraponto às áreas impactadas, para todos os estudos de maneira integrada, desde que, devidamente justificado e aprovado pela CTBio.
6. Os dados e resultados do PMBA deverão contribuir para a definição mais precisa da Área Ambiental 1, no âmbito do sistema CIF.
7. Implementar mudanças na malha de amostragem que permitam a unificação de pontos amostrais do PMBA com o Programa de Monitoramento Qualiquantativo de água e sedimento (PMQQS), evitando duplicidade de coleta, da amostragem entre os estudos físico-químico-ecotoxicológicos (especialmente, mas não exclusivamente, nas coletas para ensaios) e bióticos (incluindo área controle e impactadas), desde que sem prejuízo às análises atuais.

Ambientes, parâmetros e indicadores

A primeira versão do TR4 foi baseada nas informações disponíveis até 2016, e desenvolvido na perspectiva de programas de pesquisa distintos, direcionados para diferentes linhas de estudos, na forma

de Anexos do referido Termo, com o objetivo de identificar os impactos do rompimento da barragem de Fundão na biodiversidade aquática por tema estudado, podendo ser agregado novos, à medida que evoluiria o conhecimento dos impactos, como pode ser visto na tabela a seguir.

Tabela 1: Linhas de estudos organizadas em Anexos de acordo com o TR4 2016.

Anexo 1	Monitoramento ecotoxicológico
Anexo 2	Estudo e monitoramento do ambiente dulcícola da Área Ambiental I
Anexo 3	Estudo e monitoramento ambiental no rio Doce e na região marinha adjacente à foz deste rio
Anexo 4	Monitoramento de potenciais impactos do rejeito de minério de ferro na praia e antepaia adjacentes à desembocadura do rio Doce
Anexo 5	Alterações ecológicas na dinâmica dos manguezais e vegetação de restinga sob influência dos sedimentos provenientes do Rio Doce
Anexo 6	Megafauna Marinha - Monitoramento de mamíferos, tartarugas e aves marinhas associados à foz do rio Doce, Plataforma Continental e áreas protegidas adjacentes
Anexo 7	Estudo e monitoramento da ictiofauna marinha e estuarina
Anexo 8	Monitoramento de sedimentação no Parque Nacional Marinho dos Abrolhos e regiões relacionadas

Esta divisão inicial em Anexos foi extremamente importante, pois um estudo integrado sistêmico não seria viável com o pouco conhecimento prévio que havia até então sobre algumas áreas da região afetada pelo desastre de Mariana. Separando os ecossistemas em temas e estudando-os por grupos de pesquisa com foco específico, o Programa cumpriu o objetivo esperado de identificar e evidenciar impactos, mas houve sobreposição de coletas entre alguns Anexos e dificuldade na integração dos dados para melhor compreensão do impacto de forma sistêmica.

Assim, após dois anos de execução do PMBA, a separação temática em Anexos deve ser substituída por uma abordagem mais integrada, considerando os Ambientes Dulcícola, Costeiro e Marinho, sem que haja prejuízo ou perda no acúmulo de conhecimento já adquirido, e com aproveitamento total dos dados já coletados.

Outro aperfeiçoamento para o PMBA recomendado na Jornada de Revisão do TR4 consiste em identificar os parâmetros e indicativos responsivos, ou seja, aqueles que melhor conseguem identificar e evidenciar os impactos do rompimento da barragem de Fundão sobre a biodiversidade aquática. Nesse sentido o Relatório Semestral de Evolução do PMBA/Fest-RRDM outubro/2019 –Março/2020 (Anexo 4) traz a descrição dos parâmetros e indicadores de qualidade ambiental a serem considerados na continuidade do PMBA.

Portanto, o PMBA, em sua nova versão, deverá considerar a avaliação dos impactos do rompimento da barragem de Fundão a partir de estudos voltados para os ambientes dulcícola, costeiro (incluindo restinga, praias e manguezais) e marinho, monitorando os parâmetros que indicam impactos associados ao rompimento da barragem de Fundão.

As tabelas a seguir apresentam os parâmetros analisados para os diferentes grupos estudados no PMBA atualmente, com a respectiva malha amostral e periodicidade, sendo que após cada tabela estão apresentadas as recomendações consolidadas a partir da Jornada de Revisão do TR4, que podem indicar alteração na metodologia atual. Portanto o PMBA deverá continuar adotando a metodologia em curso, salvo quando houver recomendação em contrário.

Ambiente Dulcícola

Para o ambiente dulcícola a metodologia atual é apresentada de forma sintética nas tabelas a seguir, com as recomendações advindas da Jornada de Revisão do TR4 que podem indicar alterações na metodologia:

Tabela 2 – Parâmetros monitorados nos estudos ecotoxicológicos do ambiente dulcícola

Estudos Ecotoxicológicos – ambiente dulcícola			
Matriz	Parâmetro	Malha Amostral	Periodicidade
Água	Temperatura	12 estações	Semestral
	Salinidade	12 estações	Semestral
	pH	12 estações	Semestral
	Oxigênio dissolvido	12 estações	Semestral
	Alcalinidade	12 estações	Semestral
	COT e COD	12 estações	Semestral
	Sulfatos	12 estações	Semestral
	Composição iônica (Ca, K, Mg e Na)	12 estações	Semestral
	Cloretos	12 estações	Semestral
	Concentração total e dissolvida de Al, Ni, As, Cd, Pb, Cu, Cr, Fe, Mn, Hg e Zn	12 estações	Semestral
	Ensaio de toxicidade	4 estações	Semestral
	Microbiota	12 estações	Semestral
Sedimento	Concentração dos elementos Al, Ni, As, Cd, Pb, Cu, Cr, Fe, Mn, Hg e Zn	12 estações	Semestral
	Ensaio de toxicidade	4 estações	Semestral
	Microbiota	12 estações	Semestral
Ictiofauna (sangue, músculo, brânquias e fígado)	Concentração dos elementos Al, Ni, As, Cd, Pb, Cu, Cr, Fe, Mn, Hg e Zn	12 estações	Semestral
	Biomarcadores	12 estações	Semestral
Crustáceos (sangue, músculo, brânquias e	Concentração dos elementos Al, Ni, As, Cd, Pb, Cu, Cr, Fe, Mn, Hg e Zn	12 estações	Semestral

hepatopâncreas)	Biomarcadores	12 estações	Semestral
Fito e Zooplâncton	Concentração dos elementos Al, Ni, As, Cd, Pb, Cu, Cr, Fe, Mn, Hg e Zn	12 estações	Semestral
	Biomarcadores	12 estações	Semestral
Larvas de quironomídeos (ou insetos equivalentes)	Concentração dos elementos Al, Ni, As, Cd, Pb, Cu, Cr, Fe, Mn, Hg e Zn	11 estações	Semestral
	Biomarcadores	11 estações	Semestral

Recomendações:

1. Na malha amostral dulcícola inserir estações amostrais como locais de “referência” ou “controles negativos” para ecotoxicologia. Para inclusão de pontos, considerar os dados de 3 anos do PMQQS e também o que consta nos projetos selecionados pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), a serem desenvolvidos em Minas Gerais.
2. Remover as análises com o embrião de *Danio rerio* mantendo-se as análises com adultos para locais que apresentem toxicidade para os níveis inferiores *(avaliar a substituição do *Danio rerio* por uma espécie nativa).
3. Propor ou adaptar a metodologia de amostragem para monitoramento dos efeitos na biodiversidade quando da execução de processos de reparação/mitigação ou para situações de eventos extremos* (cheias).
4. Manter as análises de bioacumulação de metais e arsênio em brânquias, músculo e fígado e, no caso dos biomarcadores, manter apenas as análises de metalotioneínas e de indicadores de danos como: lipoperoxidação, proteínas carboniladas e histopatologia em brânquias e fígado de peixes.
5. No sangue, manter somente a análise de dano de DNA por sítio AP. Aumentar o esforço amostral de coleta (n = 8 a 10 organismos de diferentes grupos tróficos).
6. Excluir as análises de vitelogenina e proteína da zona radiata.
7. Padronizar, quando possível, as análises dulcícolas com o ambiente marinho e costeiro.
8. Uniformizar o número de estações para todos os parâmetros.

Tabela 3 – Parâmetros monitorados nos estudos físico químicos do ambiente dulcícola

Estudos físico químicos ambiente dulcícola			
Matriz	Parâmetro	Malha Amostral	Periodicidade

Fluxos	Hidrologia da bacia - Precipitação e Modelagem da vazão	-	Levantamento contínuo
	Pressões ambientais e ações de resposta na bacia	-	Levantamento contínuo
	Fluxos de água	3 estações	Medições em épocas de vazões mais altas, quando ocorre maior transporte de sedimentos
	Fluxos de sedimentos	2 estações	
	Concentração e granulometria de sedimentos suspensos	2 estações	
	Granulometria de sedimentos de fundo	2 estações	
	Estimativas de descargas sólidas	2 estações	
	Níveis d'água	3 estações	
	Fluxos de nutrientes e metais	1 estação	
Limnologia	Temperatura	12 estações	Mensal
	Turbidez	12 estações	
	Transparência	7 estações	
	MPS	12 estações	
	Salinidade	12 estações	
	STD	12 estações	
	CE	12 estações	
	pH	12 estações	
	Alcalinidade Total	12 estações	
	ORP	12 estações	
	OD	12 estações	
	Clorofila a	12 estações	
	Ptotal	12 estações	
	Fosfato	12 estações	
	Ntotal	12 estações	
	Nitrito	12 estações	
	Nitrato	12 estações	
	Amônio	12 estações	
	Silicato	12 estações	
	COT	12 estações	
	<i>Sedimento</i>		
	pH	12 estações	
	ORP	12 estações	
	Densidade	12 estações	
	MO	12 estações	
	Ptotal	12 estações	
	Fosfato - água intersticial	12 estações	

	Mineralogia	12 estações	
	Cascalho	12 estações	
	Areia	12 estações	
	Lama	12 estações	
	D50	NÃO SE APLICA	
	D90	NÃO SE APLICA	
Análises Químicas	Metais totais em água	12 estações	Mensal
	Metais dissolvidos em água		
	Especiação de metais em água		
	Metais parciais em material particulado em suspensão		
	Terras raras em material particulado em suspensão		
	Metais totais em sedimento		
	Metais parciais em sedimento		
	Extração sequencial de metais em sedimentos		
	Terras raras em sedimento		
Orgânicos	Hidrocarbonetos Alifáticos em água	12 estações	Mensal
	Hidrocarbonetos Alifáticos em sedimento		
	Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos (HPA) em água		
	Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos (HPA) em sedimento		
	Esteróis em água		
	Esteróis em sedimento		
	Fenóis em água		
	Esteróis em água		
	Esteróis em sedimento		
	Fenóis em água		
	Fenóis em sedimento		
	Pesticidas em sedimento		
	Bifenilos policlorados (PCBs) em água		
	Bifenilos policlorados (PCBs) em sedimento		
Elementar e Isótopos	Elementar Material Particulado na água	12 estações	Mensal
	Isótopos na água		
	Lipídeos totais		
	Elementar Material no sedimento		
	Isótopos no sedimento		
	Ácido Graxos no sedimento		
	Lipídeos totais no sedimento		

Recomendações

1. Concentrar as amostragens em períodos de maior vazão.
2. Integrar os dados com a "Modelagem de Produção e Transporte de Sedimentos" desenvolvida no âmbito da câmara técnica de rejeitos (CT-GRSA).
3. Realizar levantamentos batimétricos e determinar parâmetros morfométricos dos ecossistemas lacustres dos lagos Juparanã e Limão e lagoas Areão, Areal e Monsarás.
4. Realizar monitoramento semestral (período seco e chuvoso) para os parâmetros referentes à extração sequencial de fósforo no sedimento, mantendo apenas o fósforo total e fósforo intersticial com frequência mensal.
5. Realizar coleta de um *core* sedimento na estação EA22 (remanso na foz do Rio Doce) para determinação de matéria orgânica, metais, composição mineralógica.
6. Analisar os seguintes metais: Fe, Al, Mn, Zn, Co, Cu, Pb, As, Ba, Cd, Ni, Hg, e Cr para metais dissolvidos em água, metais totais em água, metais no MPS e nos sedimentos e na extração sequencial nos sedimentos. Terras raras deverão ser feitas em sedimentos e MPS. Não fazer especiação de metais.
7. Monitorar outros pontos não atingidos, para avaliar a riqueza mineral na região que poderia estar impactando a qualidade da água e sedimentos.
8. Excluir análise de lipídeos totais na água e sedimentos e isótopos na água e sedimentos.
9. Realizar correlações da hidrossedimentologia com a biodiversidade.

Tabela 4 – Parâmetros monitorados nos estudos com a biota aquática do ambiente dulcícola

Estudos com a biota aquática - ambiente dulcícola			
Matriz	Parâmetro	Malha Amostrai	Periodicidade
Peixes	Abundância das espécies de peixes (Contagem dos indivíduos)	10 estações	Mensal
	Composição das espécies de peixes (Presença ou ausência de espécie)		
	Frequência e biomassa de espécies de peixes nativas e exóticas		
	Frequência de espécies de peixes nos níveis tróficos		
	Biomassa das espécies de peixes (Peso em gramas)		
	Tamanho das espécies de peixes (Comprimento padrão)		
	Sexo das espécies de peixes (Macho e fêmea)		

	Estágios de maturação gonadal dos peixes (IM, F1, F2, F3, F4A, F4B, M1, M2, M3, M4A, M4B)		
	Peso das gônadas das espécies de peixes e recrutamento		
	Identificação de peixes por DNA <i>barcoding</i>		
	Genética de populações usando microssatélites e genes		
Bentos	Abundância das espécies da macrofauna bentônica (Contagem dos indivíduos)	10 estações	trimestral
	Composição das espécies da macrofauna bentônica (Presença ou ausência da espécie)		
	Deformidades em larvas de Chironomidae		
	Caracterização do habitat para a calha do rio		
Fitoplâncton	Densidade total	12 estações	mensal
	Densidade de Cianobactérias		
	Riqueza de espécies / Composição		
	Índice de equitabilidade		
	Índice de dominância		
	Índice de diversidade		
Perifiton	Riqueza de espécies	12 estações	Mensal
	Densidade Total		
	Índice de equitabilidade		
	Índice de Dominância		
	Índice de Diversidade		
	Clorofila-a		
	Peso Seco		
	Peso Seco Livre de Cinzas		
Macrófita	Riqueza	12 estações	Mensal
	Abundância		
	Composição		
	Diversidade		
Zooplâncton	Composição de espécies	12 estações	Mensal
	Densidade (Ind/L)		
	Diversidade alfa e beta e riqueza de espécies		
	Biomassa		

Recomendações

1. Realizar um diagnóstico rápido (Lattini) em lagoas para avaliar se alguma possui presença apenas de espécies nativas, no intuito de contemplá-las em algum programa de recuperação.
2. Reduzir a periodicidade das amostragens de ictiofauna de mensal para trimestral.
3. Incorporar monitoramento do estresse oxidativo em peixes, para avaliar o estado de saúde das espécies nativas presentes em áreas impactadas e não impactadas.
4. Monitorar espécies nativas que ocorrem em áreas afetadas, comparando-se com as populações das áreas não afetadas, para uma melhor compreensão do processo de repovoamento.

Recomendações gerais para o ambiente dulcícola

1. Realizar experimentos em limnocurrais, testando o efeito agudo e crônico do rejeito sobre as comunidades biológicas, para elucidar a questão central do impacto direto do rejeito sobre a biota aquática.
2. Realizar estudos em paleolimnologia, com a obtenção de amostras verticais de sedimento lacustre para revelar a biodiversidade aquática no cenário pré-desastre, tornando possível a comparação direta com a organização atual das comunidades.
3. Considerar nos estudos de monitoramento de médio e longo prazo o processo de dispersão atmosférica do rejeito depositado nas margens da calha fluvial, bem como aquele disperso através do spray marinho, considerando periodicidade e alcance das partículas na baixa atmosfera. Em associação a isso, simulações dos cenários climáticos e sua influência nos padrões hidrológicos podem fornecer importantes cenários preditivos do comportamento e permanência do rejeito nos ecossistemas dulcícola e costeiro associado.
4. Sob uma ótica espacial, os reservatórios presentes na bacia do Rio Doce devem ser inseridos na malha amostral por sua importância na dinâmica fluvial, comportamento de poluentes e nutrientes e efeitos sobre as comunidades aquáticas.
5. Promover a caracterização das condições ambientais anteriores ao rompimento da barragem de Fundão, com dados já disponíveis. Nesse sentido ressalta-se que devem ser usados, além de dados científicos disponíveis, aqueles produzidos pelo IGAM, CPRM, PMQQS, e relatórios de caracterização do rejeito utilizados pela CT-GRSA, além de incorporar dados das concessionárias de hidrelétricas.
6. Os sistemas lacustres a serem monitorados devem ser aqueles comprovadamente foram impactados pelo rompimento da barragem de Fundão. E, nesse caso, deve ser proposta uma metodologia de análise da condição ambiental anterior ao desastre, uma vez que a utilização de áreas de referência/controle não é uma metodologia adequada para sistemas lacustres.

7. Avaliar a necessidade de adequação dos pontos amostrais nesses ambientes lacustres que ainda não contemplam adequadamente a heterogeneidade de habitats.
8. As amostragens hidroquímicas e hidrobiológicas devem ser concomitantes nos sistemas fluviais e lacustres.

Ambiente Marinho

Para o ambiente marinho a metodologia atual é apresentada de forma sintética nas tabelas a seguir, com as recomendações advindas da Jornada de Revisão do TR4 que podem indicar alterações na metodologia:

Tabela 5 – Parâmetros monitorados nos estudos ecotoxicológicos do ambiente marinho

Estudos Ecotoxicológicos no ambiente marinho			
Matriz	Parâmetro	Malha Amostral	Periodicidade
Água	Temperatura	25 estações	Semestral
	Salinidade		
	pH		
	Condutividade		
	Oxigênio dissolvido		
	Concentração total e dissolvida de Al, Ni, As, Cd, Pb, Cu, Cr, Fe, Mn, Hg e Zn		
	Ensaio de toxicidade	5 estações	
	Microbiota	25 estações	
Sedimento	Concentração dos elementos Al, Ni, As, Cd, Pb, Cu, Cr, Fe, Mn, Hg e Zn	25 estações	Semestral
	Ensaio de toxicidade	5 estações	
	Microbiota	25 estações	
Ictiofauna (sangue, músculo, brânquias e fígado)	Concentração dos elementos Al, Ni, As, Cd, Pb, Cu, Cr, Fe, Mn, Hg e Zn	25 estações	Semestral
	Biomarcadores		
Crustáceos (hemolinfa, músculo, brânquias e hepatopâncreas)	Concentração dos elementos Al, Ni, As, Cd, Pb, Cu, Cr, Fe, Mn, Hg e Zn	25 estações	Semestral
	Biomarcadores		
Fito e Zooplâncton	Concentração dos elementos Al, Ni, As, Cd, Pb, Cu, Cr, Fe, Mn, Hg e Zn	25 estações	Semestral
	Biomarcadores		

Corais e hidrocorais	Concentração dos elementos Al, Ni, As, Cd, Pb, Cu, Cr, Fe, Mn, Hg e Zn	4 estações de Abrolhos	Semestral
	Microbiota		
	Biomarcadores		

Recomendações

1. Incluir o desdobramento do arsênio e mercúrio total e orgânico e inorgânico,
2. Ajustar a malha amostral na APA Costa das Algas e incluir ponto de ecotoxicologia em Degredo.
3. Apresentar uma metodologia que possa diferenciar os impactos do rompimento da barragem de Fundão na região metropolitana de Vitória à Guarapari, daqueles impactos que mostram viés associado a outras fontes na interpretação dos dados, viabilizando o retorno da região metropolitana ao monitoramento.
4. Incluir no plano amostral as espécies de interesse econômico e ecológico capturadas com artes de pesca tradicionais e com biomassa individual compatível com aquela dos espécimes capturados na pesca para consumo humano.
5. Aumentar o N amostral das coletas de 8 a 10 organismos, para maior assertividade.
6. Aplicar os Índices de Resposta de Biomarcadores (IBR-resposta biológica) e de Bioacumulação (IBR-bioacumulação), identificados no atual PMBA.
7. Excluir as análises de vitelogenina e proteína da zona radiata.

Tabela 6 – Parâmetros monitorados nos estudos físico químicos do ambiente marinho

Estudos físico-químicos no ambiente marinho			
Matriz	Parâmetro	Malha Amostral	Periodicidade
Hidrogeoquímica (Água)	Metais totais	Total de 41 pontos	Mensal (15 pontos)
	Metais dissolvidos		Trimestral (35 pontos)
	Metais particulados (MPS)		Semestral (41 pontos)
	Metais Lábeis (DGT)		Mensal (6 pontos) Trimestral (13 pontos) Semestral (23 pontos)
	Elementos Terras Raras (MPS)		Mensal (15 pontos) Trimestral (35 pontos)

			pontos) Semestral (41 pontos)
	Hidrocarbonetos		Mensal (6 pontos) Trimestral (13 pontos) Semestral (23 pontos)
	Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos (HPAs)		
	Biomarcadores Lipídicos (Esteróis)		
	Biomarcadores Lipídicos (Ácidos Graxos)		
	PCBs		
	Pesticidas		
	Contaminantes Emergentes		
	Fenóis		
	Aminas		
	Matéria orgânica dissolvida		Mensal (15 pontos) Trimestral (35 pontos) Semestral (41 pontos)
	Isótopos no MPS (Carbono e Nitrogênio)		Mensal (6 pontos) Trimestral (13 pontos) Semestral (23 pontos)
	Nutrientes (P-Total, N-Total, N-amoniaco, Silício dissolvido, Ortofosfato, Nitrito, Nitrato)		Mensal (15 pontos) Trimestral (35 pontos) Semestral (41 pontos)
	Físico-químicos (ORP, pH)		
Hidrogeoquímica (Sedimentos)	Metais parciais	Total de 41 pontos	Mensal (15 pontos) Trimestral (35 pontos) Semestral (41 pontos)
	Extração sequencial de metais (Fração trocável, Fração adsorvida, Fração reduzível, Fração sulfídica, Fração residual)		Mensal (6 pontos) Trimestral (13 pontos) Semestral (23 pontos)
	Elementos terras raras		Mensal (15 pontos)
	Hidrocarbonetos		Trimestral (35 pontos)
	Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos (HPAs)		Semestral (41 pontos)

	Biomarcadores Lipídicos (Esteróis)		pontos)
	Biomarcadores Lipídicos (Ácidos Graxos)		
	PCBs		
	Pesticidas		
	Contaminantes Emergentes		
	Fenóis		
	Aminas		
	Elementar (Carbono, Nitrogênio e Enxofre)		
	Isótopos (Carbono, Nitrogênio)		
	Nutrientes (Fósforo total - água intersticial, Especiação de fósforo - Fração trocável, Fração óxidos de Fe amorfo, Fração Óxidos de Fe redutíveis, Fração Hidróxiapatita biogênica, Fração Fluorapatita carbonática autigênica Fração Apatita e carbonatos detritais, Fração Orgânica)		Mensal (6 pontos) Trimestral (13 pontos) Semestral (23 pontos)
	Físico-químicos (ORP, pH)		Mensal (15 pontos) Trimestral (35 pontos) Semestral (41 pontos)
Sedimentologia	Granulometria do sedimento superficial	Total de 41 pontos	Mensal (15 pontos) Trimestral (35 pontos) Semestral (41 pontos)
	Carbonato		
	Matéria Orgânica do sedimento superficial		
	MPS na coluna d'água		
	Densidade do sedimento superficial		
	Mineralogia da Fração Lama - Difractometria de raios-x/Susceptibilidade Magnética		
Mapeamento de Habitats	Imagem de fundo	APA Costa das Algas, Foz do Rio Doce e Recifes Esquecidos	Contínuo
	Mapeamento Acústico		Contínuo
	Espessura do rejeito (Geofísica)	De Aracruz a São	A cada 2 anos

		Mateus	
	Registro do Rejeito (Testemunhos)	10 pontos	A cada 2 anos
Modelagem numérica	Temperatura (Fundeio)	Fundeio fixo (4 pontos)	Fundeio (contínuo) Hidrografia: Mensal (15 pontos) Trimestral (35 pontos) Semestral (41 pontos)
	Salinidade (Fundeio)		
	Turbidez (Fundeio)		
	Flourescência (Fundeio)		
	Oxigênio dissolvido (Fundeio)		
	Correntometria (Fundeio)		
	Elevação do nível do mar (Fundeio)		
	Ondas (altura, direção e período) (Fundeio)		
	Temperatura (Hidrografia)		
	Salinidade (Hidrografia)		
	Turbidez (Hidrografia)		
	Fluorescência (Hidrografia)		
	Oxigênio dissolvido (Hidrografia)		
	Modelagem - Hidrodinâmica		
	Modelagem - Biogeoquímica		
	Modelagem de transporte de sedimento		
	Sensoriamento remoto		
Bentos de sedimento não consolidado	Identificação Taxonômica Grandes Grupos	Total de 41 pontos	Trimestral (35 pontos) Semestral (41 pontos)
	Identificação Taxonômica Categorias Basais		
	Estrutura de Comunidade: Riqueza		
	Estrutura de Comunidade: Diversidade		
	Estrutura de Comunidade: Dominância		
	Estrutura de Comunidade: Equitatividade		
Zooplâncton	Amostragem Quali/Quantitativa de Zooplâncton	Total de 41 pontos	Mensal (15 pontos) Trimestral (35 pontos) Semestral (41 pontos)
	Amostragem Biomassa de Zooplâncton		
Fitoplâncton	Densidade numérica total	Total de 41 pontos	Mensal (15 pontos) Trimestral (35 pontos) Semestral (41 pontos)
	Composição quantitativa		
	Composição qualitativa		
	Clorofila a e feopigmentos		
	Clorofila ativa (clorofila a X		

	feopigmentos)		
	Índices de diversidade e equitabilidade		
	Biomassa (em clorofila a)		
	Distribuição horizontal		
	Distribuição vertical		
	Eficiência fotossintética (Quantum Yield)		
	Radiação fotossinteticamente ativa (RFA)		
	Fração incidente de luz (%)		
	Coefficiente de atenuação da luz (Kd RFA)		
Fundos Recifais	Taxa de sedimentação em fundos recifais e bancos de rodolitos	APA Costa das Algas, REVIS Santa Cruz, Foz do Rio Doce, Recifes Esquecidos, PARNAM dos Abrolhos e adjacências, incluindo recifes costeiros e bancos de rodolitos (total de 50 sítios amostrais)	Semestral
	Mineralogia e granulometria de sedimentos em fundos recifais e bancos de rodolitos		
	Taxas de colonização em fundos recifais (com placas de assentamento)		
	Diversidade e estrutura de comunidades de macroalgas na APA Costa das Algas		
	Abundância e diversidade do pico, nano e micropâncton auto e heterotrófico associado aos recifes e bancos de rodolitos		
	Concentração de pigmentos clorofilianos no plâncton associado aos recifes e banco de rodolitos		
	Concentração de pigmentos clorofilianos em corais		
	Concentração de endossimbiontes (Symbiodiniaceae) em corais		
	Diversidade de endossimbiontes (Symbiodiniaceae) em corais		
	Eficiência fotossintética em corais		
	Elementos químicos incorporados em bandas de crescimento de corais e de algas calcárias incrustantes formadoras de rodolitos		
	Dinâmica da comunidade bêntica recifal		

	(estrutura e diversidade)		
	Dinâmica da comunidade bêntica dos bancos de rodolitos (estrutura e diversidade)		
	Estrutura e diversidade da comunidade bêntica recifal associada a paleocanais		
	Parâmetros físico-químicos da água sobrejacente aos recifes e bancos de rodolitos: perfis verticais e ciclo diel (fundeios)		
	Sobrevivência e saúde de colônias de corais transplantadas		
Ictioplâncton	Número bruto de ovos	Total de 41 pontos	Trimestral Semestral
	Número bruto de larvas		
	Densidade de ovos de peixes		
	Densidade de larvas de peixes		
	Riqueza de larvas de peixes		
	Análise de metais nas larvas com trato digestório danificado		

Recomendações

1. Para o mapeamento de habitats, expandir o imageamento do fundo para áreas adjacentes às áreas já mapeadas/caracterizadas pelo PMBA e para áreas rasas na Área de Proteção Ambiental (APA) Costa das Algas e região, além de agregar pontos profundos para verificar acúmulos e integrar com o imageamento costeiro.
2. Excluir análise dos isótopos estáveis de carbono e nitrogênio no material particulado em suspensão, mantendo esta análise no sedimento.
3. Redistribuir os pontos amostrais relativos aos Fundos Recifais, estabelecendo um gradiente a partir da fonte, na foz do rio Doce, assim como avaliar e redefinir os parâmetros a serem pesquisados neste ambiente, objetivando monitorar a saúde dos corais.
4. Realizar experimentos de transplantes de corais para monitorar e gerar conhecimento para uso na restauração.

Tabela 7 – Parâmetros monitorados nos estudos com a megafauna marinha

Estudos com a megafauna marinha			
Matriz	Parâmetro	Malha Amostral	Periodicidade

Tartarugas marinhas	Exame Clínico de fêmeas de <i>Caretta caretta</i>	2 pontos amostrais (Comboios/Povoação, ES e Arembepe, BA)	6 meses consecutivos (out - mar) em Povoação 1 amostragem de 90 dias em Arembepe (nov-jan)
	Perfil Bioquímico Plasmáticos de fêmeas de <i>Caretta caretta</i>	2 pontos amostrais (Comboios/Povoação, ES e Arembepe, BA)	6 meses consecutivos (out - mar) em Povoação 1 amostragem de 90 dias em Arembepe (nov-jan)
	Hemograma de fêmeas de <i>Caretta caretta</i>	2 pontos amostrais (Comboios/Povoação, ES e Arembepe, BA)	6 meses consecutivos (out - mar) em Povoação 1 amostragem de 90 dias em Arembepe (nov-jan)
	Elementos traço de fêmeas de <i>Caretta caretta</i>	2 pontos amostrais (Comboios/Povoação, ES e Arembepe, BA)	6 meses consecutivos (out - mar) em Povoação 1 amostragem de 90 dias em Arembepe (nov-jan)
	Poluentes orgânicos persistentes de fêmeas de <i>Caretta caretta</i>	2 pontos amostrais (Comboios/Povoação, ES e Arembepe, BA)	6 meses consecutivos (out - mar) em Povoação 1 amostragem de 90 dias em Arembepe (nov-jan)
	Elementos traço em ovos e natimortos de <i>Caretta caretta</i>	2 pontos amostrais (Comboios/Povoação, ES e Arembepe, BA)	6 meses consecutivos (out - mar) em Povoação 1 amostragem de 90 dias em Arembepe (nov-jan)
	Poluentes orgânicos persistentes em ovos e natimortos de <i>Caretta caretta</i>	2 pontos amostrais (Comboios/Povoação, ES e Arembepe, BA)	6 meses consecutivos (out - mar) em Povoação 1 amostragem de 90 dias em Arembepe (nov-jan)
	Elementos traço em ovos e natimortos de <i>Dermochelys coriacea</i>	1 ponto amostral (Comboios/Povoação, ES)	6 meses consecutivos (out - mar) em Povoação
	Poluentes orgânicos persistentes em ovos e natimortos de <i>Dermochelys coriacea</i>	1 ponto amostral (Comboios/Povoação, ES)	6 meses consecutivos (out - mar) em Povoação
	Exame Clínico de juvenis de <i>Chelonia mydas</i>	2 pontos amostrais (APA Costa das Algas, ES e Coroa Vermelha, BA)	Semestral (período seco e chuvoso)
	Perfil Bioquímico Plasmáticos de juvenis de <i>Chelonia mydas</i>	2 pontos amostrais (APA Costa das Algas, ES e Coroa Vermelha, BA)	Semestral (período seco e chuvoso)

	Hemograma de juvenis de <i>Cheloniamydas</i>	2 pontos amostrais (APA Costa das Algas, ES e Coroa Vermelha, BA)	Semestral (período seco e chuvoso)
	Elementos traço de juvenis de <i>Chelonia mydas</i>	2 pontos amostrais (APA Costa das Algas, ES e Coroa Vermelha, BA)	Semestral (período seco e chuvoso)
	Genotipagem de amostras de <i>Caretta caretta</i> para os cálculos de diversidade genética	2 pontos amostrais (Comboios/Povoação, ES e Arembepe, BA)	6 meses consecutivos (out - mar) em Povoação 1 amostragem de 90 dias em Arembepe (nov-jan)
	Sequenciamento de amostras de <i>Caretta caretta</i> para os cálculos de diversidade genética	2 pontos amostrais (Comboios/Povoação, ES e Arembepe, BA)	6 meses consecutivos (out - mar) em Povoação 1 amostragem de 90 dias em Arembepe (nov-jan)
	Genotipagem de amostras de juvenis de <i>Chelonia mydas</i> para os cálculos de diversidade genética	2 pontos amostrais (APA Costa das Algas, ES e Coroa Vermelha, BA)	Semestral (período seco e chuvoso)
	Sequenciamento de amostras de juvenis de <i>Chelonia mydas</i> para os cálculos de diversidade genética	2 pontos amostrais (APA Costa das Algas, ES e Coroa Vermelha, BA)	Semestral (período seco e chuvoso)
	Genotipagem de amostras de <i>Dermochelys coriacea</i> para os cálculos de diversidade genética	1 ponto amostral (Comboios/Povoação, ES)	6 meses consecutivos (out - mar)
	Sequenciamento de amostras de <i>Dermochelys coriacea</i> para os cálculos de diversidade genética	1 ponto amostral (Comboios/Povoação, ES)	6 meses consecutivos (out - mar)
	Dronemonitoramento	Três pontos fixos (foz do Rio doce, Comboios, foz do PiraquêAcú). Seis réplicas cada ponto cobrindo um raio de 3km a partir da costa.	mensal (cada campanha tem duração de 8 dias de mobilização e 3 dias de trabalho efetivo).

	Sobrevoos tripulados	<p>Área de distribuição da população da toninha e baleia jubarte.</p> <p>Verão (janeiro/fevereiro): Vitória a Itaúnas. Dentro da plataforma.</p> <p>Inverno (agosto/setembro): Vila Velha a Itaúnas. Inclui área <i>offshore</i></p>	Semestral (verão e inverno), 45 dias de mobilização. Esforço amostral é determinado pelo número de dias de mobilização.
	Monitoramento reprodutivo	<p>Diurno: Foz do rio Riacho, município de Aracruz, até a foz do rio Cricaré em Conceição da Barra/ES.</p> <p>Noturno: Comboios e Povoação/ES</p>	<p>Diurno: diariamente de setembro a março e esporádicos nos demais meses do ano.</p> <p>Noturno: diariamente de outubro a janeiro.</p>
	Telemetria satelital em fêmeas de <i>Caretta caretta</i>	Monitoramento nas praias de Comboios e Povoação, no ES.	Outubro a janeiro durante 2 temporadas reprodutivas (2020/21 – já executada e 2021/22 – a ser executada)
Aves	Diversidade genética de 3 espécies de aves marinhas	Embarque. Abrolhos e Trindade	Periódica (Abrolhos), trimestral (embarque)
	Concentração de contaminantes em tecidos de aves	Abrolhos e Trindade	Mensal e Anual
	Ecologia trófica e dieta (isótopos estáveis)	Abrolhos e Trindade	Anual
	Uso de habitat e rastreamento	Abrolhos, Trindade e Alto Mar	Semestral
	Encalhes de aves nas praias	<p>Norte da foz (até o Degredo e Barra Seca)</p> <p>Sul da foz (até Barra do Riacho)</p> <p>Sul (15 km ao norte do Piraquê-açu e 15 km ao sul)</p>	Conforme PMP
	Saúde de 4 espécies de aves marinhas: hemograma, hematoscopia, microbiologia, diagnósticos moleculares, virológicos,	Abrolhos e Trindade	Semestral

	parasitológicos e pesquisa de bactérias Gram-negativas com genes de resistência		
	Demografia e reprodução	Abrolhos	Mensal
	Diversidade, abundância e distribuição espacial e temporal de aves no mar - Censos embarcados	Transectos Embarcados: 7 linhas de 200 km	Trimestral
	Diversidade, abundância e distribuição espacial e temporal de aves na costa - Censos nas praias	2 Transectos em praia ao norte do Rio Doce (início e final) 2 Transectos em praia ao sul do Rio Doce (início e final) 27 Pontos	Mensal
	Dronemonitoramento	Três pontos fixos (foz do Rio doce, Comboios, foz do Piraquê Acú). Seis réplicas cada ponto cobrindo um raio de 3km a partir da costa.	mensal (cada campanha tem duração de 8 dias de mobilização e 3 dias de trabalho efetivo).
	Sobrevoos tripulados	Área de distribuição da população da toninha e baleia jubarte. Verão (janeiro/fevereiro): Vitória a Itaúnas. Dentro da plataforma Inverno (agosto/setembro): Vila Velha a Itaúnas. Inclui área offshore	Semestral (verão e inverno), 45 dias de mobilização. Esforço amostral é determinado pelo número de dias de mobilização.
Cetáceos	Uso do hábitat por Ponto Fixo	Dois pontos para Aracruz, Rio Piraquê-açu (Foz e Praia); Dois pontos para Linhares, Rio Doce (Foz e Praia)	Semanal (duas vezes por ponto)
	Uso do hábitat por Embarque	Da foz do Rio Piraquê-açu à foz do Rio Doce	Mensal (dois dias consecutivos ou não, dependendo das condições do mar)
	Encalhes	Ao longo das praias do Espírito Santo	Monitoramento constante (amostragem por evento) Alinhamentos com PMP's
	Diversidade e estruturação genética	Litoral do Espírito Santo	Amostras dos encalhes (por evento) Alinhamentos com PMP's

	Análise de contaminantes (ecotoxicologia)	Litoral do Espírito Santo	Amostras dos encalhes (por evento) Alinhamentos com PMP's
	Histopatologias e analyses bacteriológicas	Litoral do Espírito Santo	Amostras dos encalhes (por evento) Alinhamentos com PMP's
	Ecologia trófica a partir de isótopos estáveis	Litoral do Espírito Santo	Amostras dos encalhes (por evento) Alinhamentos com PMP's
	Estimativa da idade, maturação e taxa de fecundidade	Litoral do Espírito Santo	Amostras dos encalhes (por evento) Alinhamentos com PMP's
	Interação dos pequenos cetáceos com a pesca	Seis comunidades	Realizada no primeiro ano e seria retomada no quarto ano.
	Dronemonitoramento	Três pontos fixos (foz do Rio doce, Comboios, foz do Piraquê Acú). Seis réplicas cada ponto cobrindo um raio de 3km a partir da costa.	Mensal (cada campanha tem duração de 8 dias de mobilização e 3 dias de trabalho efetivo).
	ROV	Localização variável, dependendo dos resultados das campanhas de Dronemonitoramento, Bioacústica e Sobrevoos tripulados.	Anual (30 dias anuais de mar em períodos de melhores condições de visibilidade). Número de pontos de coleta de imagens é determinado pelo número de dias de mar.
	Bioacústica	Áreas costeira e oceânica (APA Costa das Algas) entre Vitória e o norte do ES. Ênfase na área de distribuição da população da toninha FMA-Ia.	Anual (campanha de 3 meses de duração durante o verão). Esforço amostral é determinado pelo tempo de navegação.
	Sobrevoos tripulados	Área de distribuição da população da toninha FMA-Ia.	Semestral (verão e inverno), 45 dias de mobilização. Esforço amostral é determinado pelo número de dias de mobilização.

Recomendações

Para tartarugas:

1. Excluir a amostragem em ovos de *Dermochelys coriacea*, mantendo apenas amostragem em natimortos desta espécie.
2. Incluir análises histopatológicas das lesões oculares.

3. Integrar os dados com os estudos de dinâmica praiar para avaliar os impactos de mudança de perfil de praia na reprodução das tartarugas marinhas.
4. Continuar com o monitoramento reprodutivo noturno em Comboios e Povoação, não sendo mais necessário o esforço nas demais áreas, concentrando-se esforços na área de maior ocorrência dos animais, na foz do rio Doce.
5. Utilizar especialmente a Telemetria por satélites, e aproveitar os dados do dronemonitoramento e sobrevoos, como subsídio para identificação das áreas mais utilizadas pelos animais.
6. Manter o método do dronemonitoramento e realizar a junção com o método de ponto fixo, num aproveitamento dos estudos de pequenos cetáceos.
7. Integrar os estudos do PMBA com os estudos do Projeto de Monitoramento de Praias (executado pela Petrobras como condicionante de licenças ambientais das atividades de exploração e produção de petróleo e gás *offshore* – PMP-BC/ES).

Para aves marinhas

1. Excluir os estudos com as aves de Abrolhos e Trindade, exceto os seguintes parâmetros na malha amostral Abrolhos: a) Concentração de contaminantes em tecidos de aves; b) Saúde de 4 espécies de aves marinhas: hemograma, hematoscopia, microbiologia, diagnósticos moleculares virológicos, parasitológicos e pesquisa de bactérias Gram-negativas com genes de resistência. Caso necessário, priorizar amostragens para a espécie *Sula leucogaster*, as quais mantêm atividade alimentar e interação forte na zona costeira.
2. Na metodologia DEMOGRAFIA E REPRODUÇÃO, incluir as ilhas costeiras em que ocorre a reprodução da espécie *Sterna hirundinacea*.
3. Realizar integração das análises de conteúdo estomacal de aves marinhas e concentrações de contaminantes com o grupo de ictiofauna e diferenciar as análises entre espécies residentes e espécies migratórias pela maior ou menor exposição aos efeitos.
4. Implementar estudos de contaminação de metais em ovos das colônias das aves marinhas que se reproduzem na região, próxima à costa.

Para cetáceos

1. Excluir os grandes cetáceos (baleias) do monitoramento.
2. Realizar o monitoramento por ponto fixo com periodicidade mensal, unindo a observação visual e o monitoramento por drones. O monitoramento deve ser realizado em cinco pontos amostrais: dentro e fora da foz do Rio Doce; dentro e fora da foz do rio Piraquê-açu; e praia de Comboios.

3. Realizar monitoramento embarcado com frequência mensal, para acompanhar os pontos fixos, sendo realizados em torno de quatro dias de amostragem. Nestes embarques deve ser realizada, sempre que possível, a utilização dos drones para complementar os monitoramentos visuais. A amostragem deverá cobrir até 10 km da costa.
4. Para o monitoramento de bioacústica, dividir o monitoramento em duas etapas anuais de 35 dias cada (uma no verão e outra no inverno), sendo que as seguintes espécies merecem mais atenção: *Pontoporia blainvillei*- Toninha; *Sotalia guianensis* - Boto-cinza; *Tursiops truncatus* - golfinho-nariz-de garrafa; *Steno bredanensis* - golfinho-de-dentes-rugosos.
5. Integrar estudos de bioacústica com estudos das atividades pesqueiras e ictiofauna para monitoramento da distribuição e ocorrência de presas (camarões e peixes).

Tabela 8 – Parâmetros monitorados nos estudos com a ictiofauna marinha

Estudos com a ictiofauna marinha			
Matriz	Parâmetro	Malha Amostral	Periodicidade
Ictiofauna	Composição de espécies, índices ecológicos (riqueza, diversidade, equitatividade) das comunidades e aspectos populacionais (abundância, biomassa, tamanho) de peixes e crustáceos estuarinos/marinhos	As amostras são coletadas nos estuários e áreas marinhas adjacentes dos rios Piraquê-Açu, Doce, São Mateus, Ipiranga e Caravelas, sendo 06 pontos em cada estuário (ano 1). A malha amostral do ano 1 foi readequada, visando sobreposição com pontos do Anexo 3, cujos pontos ITA 01, CB01, BN02, BS01, SD01, SDN30, SD03 e SDS20 foram adicionados (ano-transição). Além disso, como os pontos 7C, 8C e 9C estão muito próximos (~1km) dos pontos novos, foram suprimidos da malha amostral	Trimestral
	Ecologia trófica utilizando análises de isótopos estáveis em peixes	Previsto para ano 2 do TR4 (Rio Doce e Piraquê-Açu, regiões internas e externas), coletado ano 1, parcialmente analisado	Semestral

	Genética populacional (diversidade genética) de peixes	Recifais: da região do Sul da Bahia até o Norte do Rio de Janeiro; Estuarinos: rios Doce, Piraquê-Açu, São Mateus, Ipiranga e Caravelas	Mensal
	Análises de <i>DNA Barcoding</i> de peixes	São Mateus, Rio Doce, Ipiranga, Caravelas, Piraquê-açu, Linhares e Piúma, Marataízes e norte do RJ, Norte de Abrolhos, Sul de Abrolhos, Itaúnas, Barra Nova,	Mensal
	Microquímica de otólitos de peixes estuarinos	Porção estuarina dos rios Doce, Ipiranga, São Mateus e Caravelas	Trimestral
	Composição de espécies, índices ecológicos (riqueza, diversidade alfa, beta, verdadeira, equitatividade) das comunidades e aspectos populacionais (abundância, biomassa) de pós-larvas de peixes estuarinos/marinhos/recifais	Parnamar Abrolhos, recifes das Paredes, recifes da Resex do Cassurubá/ Estuarinos - foz dos rios Doce, Piraquê-Açu, São Mateus e Mucuri	Trimestral
	Composição de espécies, índices ecológicos (riqueza, diversidade alfa, beta, verdadeira, equitatividade) das comunidades e aspectos populacionais (abundância, biomassa) de peixes recifais	Parnamar Abrolhos, Paredes, recifes da Resex Cassurubá, recifes Esquecidos, APA Costa das Algas, Ilhas e Ilhotes de Vitória, APA de Setiba	Annual
	Detecção de robalos (<i>Centropomus parallelus</i> e <i>C. undecimalis</i>) por telemetria ativa e passiva nos rios Doce e São Mateus	Foz do rio Doce e área marinha adjacente	Diária
	Detecção de badejo-quadrado (<i>Mycteroperca bonaci</i>) por telemetria ativa e passiva nos recifes	Parnamar Abrolhos	Diária

Recomendações

1. Incluir camarões/crustáceos marinhos coletados nas análises de *DNA Barcoding*.

2. Priorizar a região da foz do Rio Doce (área diretamente impactada), Piraquê-açu (Sul) e São Mateus (Norte) e fazer a exclusão no ponto no rio Ipiranga.
3. Para análise de Microquímica de otólito, adicionar pontos de coleta ao sul do Rio Doce (rios Itapemirim e Benevente) e fazer a exclusão do ponto no rio Ipiranga, devido à proximidade com o Rio Doce.
4. Incluir a análise química cronológica (tempo e vida de indivíduos adultos, com mais de 5 anos) dos principais elementos químicos presentes na lama de rejeito.
5. Com relação a telemetria estuarina dos robalos, expandir a rede de receptores (telemetria passiva) para montante da foz dos Rios Doce e São Mateus para determinar o comportamento de migração rio acima, e aumento do número de indivíduos marcados e monitorados
6. Introduzir artes de pesca tradicionalmente utilizadas como metodologia de captura de espécies de interesse e tamanho comercial.
7. Excluir o estudo sobre a área de vida de badejo-quadrado.

Tabela 9 – Parâmetros monitorados nos estudos na região de abrolhos (BA)

Estudos na região de Abrolhos (BA)			
Matriz	Parâmetro	Malha Amostral	Periodicidade
Águas superficiais	Sensoriamento remoto e calibração de imagem de satélite para o parâmetro MPS	Entre a foz do Rio Doce e Abrolhos	Bimensal/Trimestral
	Análise dos isótopos radiogênicos (Sr e Nd)		Bimestral/Trimestral
	Temperatura superficial da água do mar		
	pH		
	Padrão espectral da reflectância da superfície		
	Profundidade de Secchi		
Sedimento na coluna d'água	Isótopos radiogênicos (Sr e Nd)	Zona recifal do Parque Nacional dos Abrolhos - BA	Bimestral/Trimestral
	Mineralogia		
	Composição elementar de sedimentos		
Sedimento de área costeira	Observações aloestratigráficas e morfoestratigráficas nos depósitos fluviais e aluviais	Depósitos fluviais e aluviais na Bacia do Rio Doce	Bimestral/Trimestral
	Isótopos radiogênicos (Sr e Nd)	Amostras próximas à calha do Rio Doce entre os estados de Minas Gerais e Espírito Santo e fozes dos principais	

		rios entre o Norte do Rio de Janeiro e Salvador – BA	
--	--	--	--

No processo de revisão do TR4 houve importante divergência sobre a manutenção desta região no escopo do PMBA. Argumentos foram apresentados tanto para manutenção quanto para exclusão da região do escopo do estudo. Persistem várias dúvidas sobre o impacto do rejeito nesta região apesar de ter sido atingida pela pluma de rejeitos, fato constatado por acompanhamento diário da dispersão da pluma pós-rompimento através de sobrevôo e imagem de satélite.

Considerando a importância desta região para a biodiversidade marinha, sendo a maior área recifal do atlântico e a necessidade de áreas controle no escopo do PMBA, a região de Abrolhos (BA) será considerada uma área controle para fins de comparação com outras regiões (sempre que pertinente, conforme o parâmetro monitorado), bem como uma “área sentinela” para se avaliar o limite norte da dispersão dos impactos causados pelo rompimento da barragem de Fundão.

Nesse sentido, serão mantidos os estudos em Abrolhos (região do parque nacional e áreas adjacentes) com as seguintes recomendações:

1. Redistribuir os pontos amostrais relativos aos Fundos Recifais, estabelecendo um gradiente, a partir da fonte, na foz do rio Doce, assim como redefinir os parâmetros a serem pesquisados neste ambiente objetivando monitorar a saúde dos corais.
2. Melhorar a caracterização dos processos sedimentares na região de interesse em Abrolhos incluindo testemunhos para se ter a cronologia de deposição de sedimentos.
3. Incluir análise para sedimentação marinha dos Recifes Esquecidos, Timbebas e recifes de Guaratiba.
4. Utilizar esclerocronologia de corais das espécies *Mussismiliahartii* e *Siderastreaestellata* como ferramenta para se investigar o impacto de traços de rejeitos.
5. Incluir três pontos de razão isotópica na foz Norte do Rio Doce com o intuito de identificar a razão isotópica nesta área, e definir o gradiente e direção de deslocamento dos rejeitos.

Recomendações gerais para o Ambiente Marinho

1. Aplicar o sensoriamento remoto como ferramenta complementar às amostragens de campo.
2. Buscar a integração das coletas e análises físico-químicas em água e sedimentos com as de outros compartimentos ambientais.
3. Selecionar parâmetros indicadores que têm relação direta com o impacto, que sejam responsivos, e monitorá-los ao longo de todo o processo de reparação, tendo como base dados pretéritos ao rompimento da barragem de Fundão, quando disponíveis.
4. Criar metodologia para monitoramento de eventos extremos e do impacto de medidas de reparação e mitigação.
5. Integrar estudos e utilizar material e dados coletado pelos programas de condicionantes ambientais da Petrobras sobre animais encalhados na praia, para análises no âmbito do PMBA.
6. Reajustar a malha amostral estabelecendo um gradiente, a partir da fonte de impactos (foz do Rio Doce), elegendo áreas recifais a serem monitoradas.
7. As coletas deverão ser integradas entre as diferentes matrizes ambientais, evitando assim duplicidade de coletas.

Ambiente Costeiro

Para o ambiente costeiro, a metodologia atual é apresentada de forma sintética nas tabelas a seguir, com as recomendações advindas da Jornada de Revisão do TR4 que podem indicar alterações na metodologia:

Tabela 10 – Parâmetros monitorados nos estudos ecotoxicológicos do ambiente costeiro

Estudos Ecotoxicológicos – ambiente costeiro			
Matriz	Parâmetro	Malha Amostral	Periodicidade
Água	Temperatura	9 Praias 8 Manguezais	Semestral
	Salinidade		
	pH		
	Oxigênio dissolvido		
	Concentração total e dissolvida de Al, Ni, As, Cd, Pb, Cu, Cr, Fe, Mn, Hg e Zn		
Sedimento	Concentração dos elementos Al, Ni, As, Cd, Pb, Cu, Cr, Fe, Mn, Hg e Zn	9 Praias 8 Manguezais	Semestral
Cetáceos	Concentração dos elementos Al, Ni, As, Cd, Pb, Cu, Cr, Fe, Mn, Hg e Zn	Análises realizadas pelo Anexo 6	Análises realizadas pelo Anexo 6
	Concentrações de organoclorados, organobromados e HPAs		
Aves	Concentração dos elementos Al, Ni, As, Cd, Pb, Cu, Cr, Fe, Mn, Hg e Zn	Pontos em áreas de mangue, estuário e praia	Semestral

	Concentração dos compostos orgânicos (PCBs, HPAs, Pesticidas e PBDEs)		
	Proporções de isótopos estáveis de carbono e nitrogênio		
Tartarugas	Concentração dos elementos Al, Ni, As, Cd, Pb, Cu, Cr, Fe, Mn, Hg e Zn	<i>Caretta</i> : 2 pontos amostrais <i>Dermochelys coriacea</i> : 1 ponto amostral <i>Chelonia mydas</i> : 2 pontos amostrais	<i>Caretta</i> : 6 meses consecutivos (out - mar) em Povoação e 1 amostragem de 90 dias em Arembepé (nov-jan) <i>Dermochelys coriacea</i> : 6 meses consecutivos (out - mar) em Povoação <i>Chelonia mydas</i> : semestral (APA Costa das Algas, ES e Coroa Vermelha, BA)
	Concentrações de organoclorados, organobromados e HPAs		
Caranguejos	Concentração dos elementos Al, Ni, As, Cd, Pb, Cu, Cr, Fe, Mn, Hg e Zn	9 Praias 8 Manguezais	Semestral
	Biomarcadores		
Microcrustáceos (isópoda e anfípoda)	Concentração dos elementos Al, Ni, As, Cd, Pb, Cu, Cr, Fe, Mn, Hg e Zn	9 Praias 8 Manguezais	Semestral
	Biomarcadores		

Recomendações

1. Incluir análise de alumínio (Al) e diferenciar mercúrio (Hg) e arsênio (As) em orgânico e inorgânico, mantendo as concentrações de Hg e As total. Avaliar a mesma metodologia para o Estanho (Sn).
2. Avaliar a coleta com furo de sondagem para estudos cronológicos de deposição, mantendo a coleta de sedimento em superfície com o uso de draga.
3. Excluir a coleta do grupo Poliquetas para estudos ecotoxicológicos, mantendo-se apenas para fins de análise de diversidade de espécies.

4. Incluir espécies exóticas representativas e capturadas nos ambientes costeiros (tilápias, bagre africano, camarão da Malásia e outros), nas análises ecotoxicológicas, embasando os estudos de risco à saúde humana.
5. Incluir pelo menos uma espécie de peixe nativo representativa do ambiente costeiro.
6. Compatibilizar este monitoramento com o PMP-Programa de Monitoramento de Praias da Petrobras, executado por força de condicionante ambiental, cuja área amostral se sobrepõe a área do PMBA.
7. Os dados de bioacumulação de metais devem ser integrados em um índice (índice de bioacumulação) enquanto os dados de resposta dos biomarcadores devem ser integrados em um outro índice (índice de resposta biológica). Estes índices devem ser comparados de forma temporal. Indica-se para tanto, a aplicação do IBR (Resposta Integrada de Biomarcadores)
8. Para análise de bioacumulação, manter os elementos indicados e reduzir os biomarcadores, analisando somente Metalotioneína, Lipoperoxidação, Dano de DNA por sítio AP e Proteínas carboniladas.
9. Para identificar a tendência dos parâmetros monitorados ao longo do tempo e do espaço, utilizar ferramentas estatísticas, buscando compreender as relações dos resultados de bioacumulação e de respostas de biomarcadores com os pontos amostrais e como este padrão de distribuição se comporta ao longo do tempo.
10. Incluir pontos de amostragens dentro de UC que poderão ser comparados com pontos fora destas UC.

Tabela 11 – Parâmetros monitorados nos estudos da restinga no ambiente costeiro

Restinga		
Parâmetro	Malha Amostral	Periodicidade
Inventário florístico	9 estações	Mensal
Análises fotossintéticas <i>in situ</i> (fluorescência da clorofila a, trocas gasosas e teores de pigmentos fotossintéticos)	9 estações	Mensal
Coletas para inventário florístico e fotossíntese	9 estações	Trimestral
Viabilidade de Estrutura Reprodutivas	9 estações	Mensal
Sistema antioxidante	9 estações	Semestral
Metabolismo do nitrogênio e carbono <i>in vitro</i>	9 estações	Semestral

Análises físico-químicas do solo e tecido vegetal	9 estações	Semestral
---	------------	-----------

Recomendações

1. Estabelecer, se possível, uma área controle para o monitoramento.
2. Selecionar algumas espécies importantes, representativas ecologicamente, para análises fisiológicas mais aprofundadas, utilizando as diferentes partes das plantas.
3. Agregar biotestes com espécies potencialmente acumuladoras.
4. Avaliar a fauna polinizadora e dispersora para fins das estratégias de reparação.
5. Avaliar o impacto do spray marinho na vegetação, e a relação com os sedimentos da barragem de Fundão, com estabelecimento de uma área controle mais ao sul.
6. Verificar a cobertura histórica e atual do solo pela vegetação de restinga, através de imageamento de satélite, e outros dados, visando acompanhamento futuro.

Tabela 12 – Parâmetros monitorados nos estudos de praia no ambiente costeiro

Praias			
Matriz	Parâmetro	Malha Amostral	Periodicidade
Morfodinâmica	Topobatimetria		
	Granulometria	13 estações	Semestral
	Teor de carbonato	13 estações	Semestral
	Composição carbonática	13 estações	Semestral
	Teor de minerais pesados	13 estações	Semestral
	Classificação visual de minerais pesados	13 estações	Semestral
	Matéria orgânica	13 estações	Semestral
	Morfoscopia do grão de quartzo	13 estações	Semestral
Geoquímica	Metais - Fração total	13 estações	Semestral
	Metais - Fração Biodisponível	13 estações	Semestral
	Elementos Terras Raras (NÃO ANALISADO)	NÃO SE APLICA	NÃO SE APLICA
	Água (Metais - Fração Dissolvida) (NÃO ANALISADO)	NÃO SE APLICA	NÃO SE APLICA
	Água (Metais - Fração Total) (NÃO ANALISADO)	NÃO SE APLICA	NÃO SE APLICA
	Material Particulado em Suspensão	13 estações	Semestral
	Extração Sequencial (NÃO ANALISADO)	NÃO SE	NÃO SE

		APLICA	APLICA
	Análise de Sedimentos por Raio-X	13 estações	Semestral
Bentos	Macrofauna - Densidade, riqueza e diversidade	13 estações	Semestral
	Meiofauna - Densidade, riqueza e diversidade	13 estações	Semestral
	Nematofauna - Densidade, riqueza e diversidade	13 estações	Semestral

Recomendações

1. Determinar os elementos terras raras na fração total do sedimento e realizar análise por difração de raios-x.
2. Limitar os estudos da nematofauna a densidade total do grupo, retirando a descrição, e adicionando a Equitatividade de Pielou (J'), além da análise de decomposição da diversidade beta, inclusive nos dados pretéritos.
3. Incluir levantamento batimétrico e sedimentológico na antepraia nas adjacências dos setores com maior deposição de lama, incluindo a foz do Rio Doce e o SetorC (Rio Urussuquara, ponto RUR; Rio Mariricu, ponto RMA; Rio São Mateus, ponto RSM, e Rio Caravelas, ponto RCA).
4. Incluir mapeamento da variação da linha de costa nas últimas décadas (incluindo dados já resistrados e tendências) e após o evento, com recortes temporais menores, a fim de verificar a variação da linha de costa e dos pontos de arrebenção das ondas, avaliando as alterações morfodinâmicas das praias após a incorporação de alto volume de material lamoso ao sistema.

Tabela 13 – Parâmetros monitorados nos estudos do mangue no ambiente costeiro

Mangue		
Parâmetro	Malha Amostral	Periodicidade
Mapeamentos de parâmetros analisados.		Não se aplica
Mapeamento Dominância da flora por Estuário		Não se aplica
Mapeamento de metais e salinidade por Estuário		Não se aplica
Geomorfologia		Não se aplica
Dinâmica: Fluxos de água	3 estações	Mensal
Dinâmica: Salinidade/Temperatura	3 estações	Mensal
Dinâmica: Níveis d'água	3 estações	Mensal
Dinâmica: Coleta de sedimentos	3 estações	Mensal
Sedimento: metais	9 estações	Trimestral
Sedimento: granulometria	9 estações	Semestral
Sedimento: teor de matéria orgânica	9 estações	Semestral
Sedimento: carbonato de cálcio	9 estações	Semestral

Estrutura da vegetação halófito na foz do Rio Doce	1 estação	Anual
Estrutura das Florestas de manguezal no Piraquê-açu, Piraquê-mirim, Costa das Algas, Barra do Riacho, Mariricu, Barra Nova, São Mateus e Caravelas	8 estações	Anual
Radical DPPH	8 estações	Trimestral
Radical Superóxido (O ₂ ⁻)	8 estações	Trimestral
Radical Hidroxila (HO)	8 estações	Trimestral
Radical Peroxila (ROO)	8 estações	Trimestral
Macro e micronutrientes foliares	8 estações	Trimestral
Metais pesados nas folhas	8 estações	Trimestral
Pigmentos fotossintéticos (Clorofila a, Clorofila b e Carotenoides)	8 estações	Trimestral
Produção primária (fluorescência, fotossíntese, biometria)	8 estações	Trimestral
Cultivo: elaboração e controle dos experimentos <i>ex situ</i> ; biometria de propágulos; coleta e análise de dados de fluorescência e fotossíntese; planejamento estatístico; análise estatística da variabilidade espacial	Casa de vegetação (CEUNES/UFES). 5 tratamentos com 7 repetições cada	Mensal após etapa de coleta de propágulos
Cultivo: análises anatômicas (folhas e raízes)	6 folhas e 6 raízes de cada tratamento	Semestral
Cultivo: análise de metais	3 amostras da parte aérea e raiz de cada tratamento	Anual
Fauna: Densidade populacional	9 estações	Trimestral
Fauna: Estrutura populacional	9 estações	Trimestral
Fauna: Razão sexual	9 estações	Trimestral
Fauna: Fecundidade de <i>Ucidescordatus</i>	9 estações	Trimestral
Fauna: Fecundidade de <i>Cardisomaguanhum</i>	9 estações	Trimestral
Fauna: Abundância de decápodes na RVS de Santa Cruz	9 estações	Trimestral

Recomendações

1. Manter as áreas monitoradas onde há identificação de contaminação, ou registro do rejeito, como os rios Piraquê e somente as florestas impactadas nos estuários, priorizando os estuários do Rio São Mateus/ Barra Nova, Rio Doce e Rio Piraquê-açu.
2. Considerando a dificuldade na adoção de área controle para manguezais, a avaliação de impacto deve ser feita a partir da comparação com dados pretéritos e séries temporais dos parâmetros locais.

3. Diferenciar impactos de outras origens antropogênicas, dissociando nas análises dos impactos provenientes do rejeito.
4. Incluir peixes de interesse comercial e ecológico.
5. Monitorar outras espécies vegetais típicas de manguezal além da *Rhizophora mangle*, como por exemplo *Talipariti pernambucensis*.

Recomendações Gerais para o ambiente costeiro

1. Identificar comprometimentos fisiológicos nos processos reprodutivos e persistência dos metais na zona costeira. Importante considerar os resultados de outros estudos conduzidos no sistema CIF, como os estudos de avaliação de risco à saúde humana e risco ecológico nesta questão.
2. Adequar a malha e frequência amostral para coincidir (quando possível) as áreas e pontos amostrais dos estudos de restinga com os de praias e mangues, incluindo também pontos em Unidades de Conservação, visando correlacionar dados.

Análise de Impactos e Integração dos Dados

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

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

O conceito de impacto empregado no âmbito do PMBA é aquele definido no Artigo 1º da Resolução n.º 001/86 do CONAMA, que define como impacto "*qualquer alteração das propriedades físicas, químicas, biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que afetem diretamente ou indiretamente: A saúde, a segurança, e o bem estar da população; As atividades sociais e econômicas; A biota; As condições estéticas e sanitárias ambientais; A qualidade dos recursos ambientais*".

Com o objetivo de entender as alterações na qualidade e na biodiversidade dos Ambientes Dulcícola, Costeiro e Marinho, os estudos consideraram o monitoramento e a avaliação de um enorme conjunto de

parâmetros e indicadores, abióticos e bióticos, nas diferentes matrizes ambientais (água, sedimento e biota) ao longo dos mais de dois anos de execução do PMBA. Com base nos resultados obtidos e a partir das análises realizadas, foram identificados os impactos nos Ambientes Dulcícola, Costeiro e Marinho, utilizando para tal os seguintes critérios: (A) comparação dos resultados obtidos no PMBA com dados pretéritos obtidos no período pré-rompimento da barragem de Fundão; (B) comparação dos obtidos no PMBA com dados pretéritos obtidos no período pós-rompimento da barragem de Fundão por pesquisadores membros da RRDM, porém anteriores ao PMBA; (C) análise espacial comparativa dos dados obtidos pelo PMBA entre pontos amostrais impactados e não impactados pelos rejeitos oriundos do rompimento da barragem de Fundão; (D) existência de correlação direta entre os impactos observados e a presença/concentração dos metais característicos do rejeito oriundo do rompimento da barragem de Fundão; (E) comparação dos dados obtidos pelo PMBA com aqueles disponíveis na literatura científica especializada; (F) comparação dos dados obtidos pelo PMBA com valores orientadores estabelecidos na legislação nacional vigente; e (G) comparação dos dados obtidos pelo PMBA com valores orientadores estabelecidos em normas e orientações reconhecidas internacionalmente.

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

Além da obtenção da Matriz de Resultados, o PMBA deverá atender as recomendações da Jornada de Revisão do TR4, para avaliação de impactos e integração de dados, listadas a seguir:

1. Elaborar uma metodologia para análise do grau de incerteza da relação com rompimento da barragem de Fundão na Matriz de Resultados, além das correlações estatísticas, e elaboração de modelo de atuação para cada cenário.
2. Evidenciar os impactos a partir da correlação e modelagem estatística, mantendo-se a abordagem atual.
3. Considerar como critérios a cumulatividade e a sinergia na avaliação de impactos, além de aprimorar a clareza desses critérios na Matriz de Resultados.

4. Analisar a interação dos fatores abióticos com os bióticos, apontando a bioacumulação nos organismos vivos e a biomagnificação nas distintas cadeias tróficas.
5. Utilizar uma Matriz de Resultados retrospectiva, para projeção dos resultados obtidos nos monitoramentos por ambiente, a qual foi modificada a partir da Matriz de Leopold (1971).
6. Avaliar na Matriz de Resultados a influência de impactos de outras fontes que tenham dados secundários disponíveis.
7. Elaborar Mapa de Interrelação entre os parâmetros e indicadores para todos os temas e ambientes, de modo a avaliar criticamente a eficiência efetiva e custo/benefício dos indicadores e parâmetros analisados, visando adequar continuamente a metodologia, garantindo assim a utilização de indicadores cada vez mais adequados aos objetivos do PMBA.
8. Utilizar abordagens etnobiológicas para ajudar a estabelecer marcos referenciais sobre a condição ambiental.
9. Determinar, a partir dos resultados do PMBA e de outros estudos no âmbito do sistema CIF, o quanto de rejeito ainda é disponibilizado no ambiente via Rio Doce em diferentes períodos do ano e como está ocorrendo a ressuspensão de sedimento e para onde ele está sendo transportado, incluindo aquelas originárias de medidas de mitigação e/ou reparação, como dragagens, fixação de margens, etc.
10. Apresentar um projeto para integração dos dados do PMQQS e PMBA.
11. Considerar que o período agudo do impacto não existe mais, contudo, podem existir períodos agudos dentro da fase crônica. Portanto, é importante monitorar eventos extremos (sobretudo os de alta vazão do rio Doce e os de alta energia – ventos, correntes e ondas – no ambiente marinho), para que se consiga caracterizar os pulsos de impactos agudos durante a fase crônica.
12. Buscar a integração dos estudos entre os compartimentos costeiros e entre os ambientes costeiro, marinho e dulcícola do ponto de vista amostral e de comparação de dados e ambientes, incluindo análises estatísticas desde os dados brutos até a avaliação final.
13. Os dados de deposição de sedimentos encontrados pelo PMBA devem ser informados à CT-GRSA para calibrar modelos de deposição de sedimentos.
14. Indicar os programas desenvolvidos no âmbito do sistema CIF que devem compartilhar dados com o PMBA. Inclusive para as questões de modelagem.
15. Incluir estudos de Modelagem Hidrossedimentológica para monitoramento de fluxos de sedimentos com objetivo de avaliação dos impactos à biodiversidade aquática.
16. Incluir ferramentas estatísticas multivariadas para avaliação de tendência como ferramenta de integração de dados, não se restringindo a análises de componentes principais - PCAs,

possibilitando assim que se possa fazer uso de outras ferramentas estatísticas disponíveis, conforme sua aplicação.

17. Comparar a série temporal dos resultados dos parâmetros físico-químicos medidos na água.
18. As métricas devem ser agrupadas em índices como: índice da diversidade microbiana na água e índice de toxicidade da água (ver anexo 4).
19. Os dados de bioacumulação de metais e arsênio devem ser integrados em um índice (índice de bioacumulação), assim como os dados de biomarcadores (índice de resposta biológica) e que se compare estes índices de forma temporal. Indica-se para tanto a aplicação do IBR (Resposta Integrada de Biomarcadores) (ver anexo 4).
20. Reduzir alguns biomarcadores, com exceção: Metalotioneína e Lipoperoxidação, pois eles compõem o índice de resposta de biomarcadores (IBR).

Medidas Reparatórias

Outra evolução possível após dois anos de execução do PMBA consiste na proposição de medidas reparatórias, visando a recuperação dos ecossistemas e da biodiversidade aquática impactada pelo rompimento da barragem de Fundão. O TR4 referenciou um diagnóstico bastante complexo e abrangente tanto em território quanto em componentes, para identificar e evidenciar os impactos na biodiversidade. Portanto, durante os dois anos de execução do PMBA, todo o investimento foi direcionado para identificar alterações ambientais e analisar se tais alterações estavam relacionadas com o rompimento da barragem de Fundão, estabelecendo as evidências dos impactos causados pelo rompimento da barragem de Fundão sobre a qualidade ambiental e a saúde da biodiversidade aquática.

Após dois anos de estudos, com evidências de impacto já bem definidas, é possível e necessário propor e monitorar medidas de reparação ambiental.

O monitoramento com o objetivo de avaliação de impactos do rompimento da barragem de Fundão deve continuar, pois podem surgir novas alterações ambientais que tenham relação com o evento, especialmente pela mobilização do rejeito que permanece no ambiente aquático, além de impactos que podem ser percebidos em mais longo prazo, diante da persistência dos contaminantes advindos do rompimento da barragem de Fundão, bem como de outros contaminantes que foram mobilizados e carreados pelo arraste ocasionado pelo fluxo de lama de rejeito, incluindo a incorporação destes na cadeia trófica.

Portanto, o PMBA deverá propor medidas de reparação ambiental, a partir dos dados obtidos nos dois primeiros anos de estudos, considerando também os novos dados gerados no âmbito do monitoramento. Além de propor medidas reparatórias, o PMBA deverá avaliar a efetividade de tais medidas na composição, estrutura e saúde da biodiversidade aquática, assim como monitorar efeitos de outras medidas reparatórias desenvolvidas no âmbito do Sistema CIF, que tenham objetivo de melhoria ambiental, com

potencial repercussão na biodiversidade aquática. Nesse sentido, espera-se que os indicadores que determinaram as evidências de impactos nos dois primeiros anos de execução do PMBA apresentem melhora significativa a partir da implementação das ações reparatórias.

O PMBA deverá atender as recomendações da Jornada de Revisão do TR4 para este tópico, listadas a seguir:

1. Identificar ameaças e oportunidades às ações de reparação direta, voltadas para a conservação da biodiversidade, ou indireta, adotadas em demais programas.
2. Considerar a conectividade dos diversos trechos do Rio Doce e da costa.
3. Monitorar a qualidade ambiental levando em consideração a ocorrência e a predominância de espécies nativas e exóticas.
4. Realizar eventos, reuniões, workshops integradores de grupos de interesse para avaliar ameaças e oportunidades às estratégias de reparação.
5. Avaliar os impactos na biodiversidade levando em consideração os impactos antrópicos oriundos de outros programas, como mitigação, reparação e indenização.
6. Utilizar modelos geoestatísticos para determinar as áreas mais impactadas e prioritárias para reparação.

Considerações Complementares

Sem prejuízo ao atendimento das recomendações citadas anteriormente, o PMBA deverá seguir as seguintes diretrizes:

1. Garantir a continuidade da metodologia já adotada nos estudos em desenvolvimento, sem prejuízo para as recomendações de alteração aqui estabelecidas, para fins de comparação em séries históricas de dados, avaliando se a tendência da condição ambiental é de melhora ou piora da qualidade ambiental e da saúde da biodiversidade, e se tal tendência está relacionada com a persistência dos impactos do rompimento da barragem de Fundão e/ou com as medidas reparatórias. Inovações metodológicas são bem-vindas e podem ser propostas pelos pesquisadores à frente do PMBA, a serem aprovadas pela CTBio.
2. As coletas de dados deverão ser compatibilizadas, sempre que possível, visando a otimização do esforço amostral, bem como a integração dos resultados no âmbito de cada ambiente (dulcícola, costeiro ou marinho) e entre os ambientes (dulcícola, costeiro e marinho), bem como do PMBA com os demais programas já executados no âmbito do sistema CIF.
3. Os organismos coletados deverão ser obrigatoriamente tombados em coleções de referência, preferencialmente localizadas no Estado do Espírito Santo, e apresentados em tabelas de dados, seguindo

o formato *Darwin Core* (<https://dwc.tdwg.org/>). A instituição depositária deverá apresentar carta de aceite e recebimento da instituição recebedora, em papel timbrado, e assim que o material estiver tombado, os respectivos números de tomo deverão ser informados ao Sistema CIF.

4. Durante o desenvolvimento do estudo, a metodologia poderá ser adaptada, desde que devidamente justificada e aprovada pela CTBio.

5. Todo o PMBA deverá ser executado pelo mesmo grupo de pesquisa, ou diferentes grupos de pesquisa organizados em rede ou coordenação, visando garantir a efetiva integração dos dados e a uniformização das metodologias empregadas. Portanto, os estudos referenciados no TR4 revisado não poderão ser fragmentados para sua execução.

6. Os estudos devem ser executados por instituição (ou instituições) de pesquisa públicas preferencialmente da região afetada pelo rompimento da barragem de Fundão, envolvendo a sociedade local, gerando conhecimento local e deixando legado, e ainda diminuindo custos, com menores deslocamentos de equipes, etc. Recomenda-se que o trabalho continue sendo desenvolvido sob a liderança da Universidade Federal do Espírito Santo (Ufes), garantindo que todo o aprendizado acumulado, assim como o grande investimento em laboratórios analíticos sejam aproveitados.

7. As comparações, resultados e conclusões devem acontecer mediante suporte e amparo em método científico, sempre que possível com análises estatísticas e embasadas pelos resultados obtidos.

8 Sempre que possível estabelecer relação entre a presença do rejeito e o impacto associado ao rompimento da barragem de Fundão.

9. Sempre que possível estabelecer comparação com dados pretéritos para evidenciar os impactos associados ao rompimento da barragem de Fundão.

EXECUÇÃO

Prazos

Conforme definido nos termos da Cláusula 165 do TTAC, o PMBA deverá ser executado por um período de cinco (5) anos. Sendo assim, devem ser executados mais três (3) anos de estudos, podendo este período ser prorrogado mediante deliberação do CIF.

Entregas e Produtos

A CTBio deverá realizar a avaliação contínua do PMBA, a partir da análise de relatórios, documentos sintéticos e workshops.

A cada ano de execução do PMBA, deverá ser apresentado um relatório técnico-científico com o detalhamento dos estudos realizados e todos os respectivos resultados obtidos.

Acompanhado do relatório anual deverá ser apresentado um documento sintético de fácil leitura e bem ilustrado com os principais resultados do programa, de forma a proporcionar aos atingidos e público leigo em geral um resumo dos principais resultados do PMBA em linguagem acessível.

Semestralmente, deverão ser apresentados relatórios executivos do PMBA para acompanhamento do CIF, da CT-Bio e da sociedade em geral.

Além disso, um sistema de acompanhamento online da execução do PMBA deverá ser elaborado, permitindo aos técnicos da CTBio acompanhar o desenvolvimento das atividades, campanhas de campo, laboratórios, análises, assim como as intercorrências, para que medidas corretivas sejam tomadas tempestivamente e não se perca qualidade das coletas e informações, ou até mesmo acompanhar os trabalhos presencialmente.

Anualmente, deverá ser realizado um workshop de avaliação técnico-científica dos resultados obtidos, visando dar publicidade científica ao PMBA, assim como atualizar e fazer adequações ao Programa, se necessário.

Os resultados parciais poderão ser submetidos para publicação em revistas científicas sem autorização da CTBio, mas deverão ser encaminhados à CTBio assim que publicados.

Qualquer artigo publicado com os dados do PMBA deve garantir os devidos créditos ao sistema CIF e CTBio.

Instituição responsável

O PMBA será executado por uma instituição de pesquisa líder, que poderá ter apoio de outras instituições, mas que se responsabilizará pela execução integral do Programa, incluindo a seleção e gerenciamento da equipe; desenvolvimento das metodologias; coleta e análise das amostras; organização, análise e integração dos dados, gerenciamento de execução de objetivos e metas bem como a pela apresentação dos produtos descritos no item anterior. Sempre que solicitada, a instituição deverá esclarecer e responder à CTBio com as informações pertinentes sobre o PMBA, podendo ser chamada para apresentar ou esclarecer resultados parciais a qualquer tempo.

O PMBA deverá ser conduzido na sua integralidade por instituições de pesquisa públicas, preferencialmente locais, com experiência de atuação no território, segundo as diretrizes do TTAC, com expertise comprovada quanto ao desenvolvimento de estudos, geração e difusão de conhecimento, bem como formação de recursos humanos nos temas relacionados ao PMBA, com histórico de trabalhos de pesquisa já realizados na região, visando:

1. Formar conhecimento local para responder aos impactos do evento atual em longo prazo, deixando a comunidade científica da região mais preparada para situações semelhantes no futuro.
2. Garantir credibilidade e transparência nos dados coletados e resultados apresentados.
3. Garantir publicidade e publicação dos resultados, ou seja, não serão aceitas cláusulas de sigilo de dados.
4. Contribuir para a formação e a qualificação de quadros profissionais necessários para a execução e continuidade do PMBA, sobretudo aqueles diretamente vinculados à geração do conhecimento (pesquisa científica).

Pelo exposto acima, recomenda-se que a execução do Programa se dê pelas equipes de pesquisa já envolvidas nos estudos em curso, assegurando a continuidade do PMBA, com as melhorias indicadas nesta nova versão do TR4, para avaliação dos impactos à biodiversidade associados ao rompimento da barragem de Fundão na região de estudo.

Qualificação da equipe e laboratórios

Deverá ser garantida uma equipe multidisciplinar composta por pesquisadores com experiência de no mínimo 10 anos em estudos relacionados e desenvolvimento de projetos integrados de pesquisa para avaliação e monitoramento da biodiversidade nos ambientes dulcícola, marinho e costeiro. Considerando que o estudo proposto depende de um conhecimento da área prévio ao desastre, a preferência deve ser dada a pesquisadores que tenham comprovada experiência em estudos na região de impacto, com dados pretéritos ao evento, os quais devem ser disponibilizados e apresentados no âmbito deste Programa.

A equipe deverá ser liderada por profissionais com titulação de Doutor, reconhecidos nacionalmente e internacionalmente, com ampla experiência no desenvolvimento de estudos e pesquisas, formação de recursos humanos de alta qualificação e difusão de conhecimento nos temas relacionados ao PMBA, com publicações em revistas internacionais. Para tal, todas as equipes envolvidas deverão comprovar publicações técnico-científicas em veículos reconhecidos nacional e internacionalmente de alto grau de impacto.

Pesquisadores líderes

Para a liderança da equipe deverão constar pesquisadores, com titulação de Doutor, com no mínimo 10 anos de experiência em pesquisa, sendo esta comprovada por publicações de artigos científicos, sendo no mínimo:

- Um pesquisador com capacidade comprovada na liderança de estudos de ecotoxicologia, com orientação na formação de mestres e doutores em temas relacionados à ecotoxicologia de contaminantes químicos aquáticos, incluindo metais.
- Um pesquisador com experiência em estudos e levantamentos relacionados à dinâmica sedimentar e processos sedimentares, com experiência em estudos e levantamentos relacionados a geoquímica de

sedimentos e análise e interpretação de dados geoquímicos orgânico e inorgânico, com competência na execução, processamento e interpretação de dados de séries temporais e análise sedimentológica.

- Um pesquisador com experiência sobre mapeamento do fundo marinho, ecologia de comunidades bentônicas, incluindo zoobentos e fitobentos.
- Um pesquisador com experiência em estudos e levantamentos relacionados à dinâmica marinha e meteorológica, além de processos físicos de mesoescala.
- Um pesquisador com experiência em estudos e levantamentos relacionados a ecologia do fitoplâncton.
- Um pesquisador com experiência comprovada em estudos de ecologia do zooplâncton.
- Um pesquisador com experiência comprovada em estudos de ecologia do ictioplâncton.
- Um pesquisador com experiência comprovada em estudos de ecologia de bentos.
- Um pesquisador com experiência em estudos de ictiofauna estuarina e marinha, principalmente relacionados à taxonomia, ecologia de comunidades e populações.
- Um pesquisador com experiência em estudos de taxonomia e ecologia de peixes de água doce, com experiência na realização de diagnósticos e monitoramentos ambientais.
- Um pesquisador com experiência em temas envolvendo organismos nectônicos.
- Um pesquisador com experiência em estudos e levantamentos relacionados à dinâmica sedimentar, morfodinâmica de praias, com competência na execução, processamento e interpretação de dados de séries temporais e análise morfodinâmica praial.
- Um pesquisador com experiência em estudos e levantamentos relacionados à ecologia do ecossistema manguezal (flora e fauna), em germinação e cultivo de espécies vegetais, ecofisiologia de plantas de manguezal, biodiversidade da fauna de manguezal.

Equipe de pesquisa

Além dos pesquisadores líderes, a equipe deverá contar com profissionais com, no mínimo, as seguintes capacidades:

- Experiência na definição dos aspectos mineralógicos em sedimentos marinhos, interpretação de difratometria de Raio-X, estudos de proveniência de sedimentos, processamento de dados de séries temporais para análise de transporte de sedimento, análise sedimentológica e mineralógica, análise integrada de comportamento de material particulado em suspensão e processos de ressuspensão e transporte de sedimento.
- Experiência em mapeamento de habitats e/ou estudos específicos de avaliação e mapeamento de fundo de rodolitos, recifes e lama; ecologia marinha e taxonomia de algas calcáreas. Também deverão ter experiência em aquisição, processamento e interpretação de dados geofísicos (incluindo batimetria de varredura, sonar de varredura lateral e perfilhadores de fundo), desenvolvimento de

estratégias de mapeamento de habitats, aquisição, processamento e descrição de imagens de filmagem submarina (descrição de macrobentos, caracterização de fundos de rodolito e regiões recifais),

- Competência comprovada na execução, processamento e interpretação de dados de séries temporais da hidrodinâmica marinha, além de experiência com a coleta, análise e interpretação de dados termohalinos e meteorológicos, e na interpretação e análise de informações oriundas de sensoriamento remoto.
- Experiência na implementação de modelos numéricos hidrodinâmicos e bio-geo-químicos com resolução espaço-temporal compatível com a dinâmica local.
- Experiência em análises quantitativas e qualitativas do fitoplâncton e interpretação dos dados relativos às variações espaço-temporais e ecológicas do fitoplâncton.
- Experiência na identificação e quantificação do zooplâncton, bem como na interpretação de resultados qualitativos e quantitativos relacionados aos parâmetros ambientais.
- Experiência na identificação e quantificação do ictioplâncton, bem como na interpretação de resultados qualitativos e quantitativos relacionados aos parâmetros ambientais.
- Especialistas em taxonomia de algas, crustáceos, poliquetas e/ou moluscos, interpretação de resultados qualitativos e quantitativos relacionados aos parâmetros ambientais e sua influência na biodiversidade, bem como a aplicação de análises multivariadas.
- Experiência no uso de ICP-MS, ICP-OES, abertura de metais por vários protocolos, processamento e preparação de amostras para análises orgânicas e isotópicas e elementares.
- Experiência comprovada em estudos ictiofaunísticos, incluindo taxonomia, ecologia e biogeografia de peixes estuarinos ou marinhos.
- Experiência em estudos de carcinofauna, incluindo identificação taxonômica e ecologia.
- Experiência em estudos de taxonomia e/ou ecologia da ictiofauna continental.
- Experiência em aquisição e processamento de dados de séries temporais para análise de morfodinâmica praial e tratamento de dados de ondas e sedimentos, além de aspectos de hidrodinâmica e clima de ondas para interpretação de séries temporais e modelagem hidrodinâmica, bem como por profissionais com experiência em ecologia aquática e/ou oceanografia biológica e com capacidade de realizar análise de macro e meiofauna.
- Experiência em geoquímica de sedimentos e capacidade de realizar as diversas análises químicas requeridas.

- Experiência na execução de levantamentos de mamíferos marinhos através de censos aéreos e biologia de mamíferos marinhos; na execução de levantamentos de aves marinhas e biologia e ecologia de aves marinhas; e na área de biologia e ecologia de tartarugas marinhas.
- Experiência em aquisição e processamento de dados de séries temporais para análise de ecofisiologia vegetal, cultivo vegetal *in vitro*, *ex situ* e *in situ* e dinâmica populacional (fauna e flora de manguezal), análise integrada de ecologia do ecossistema manguezal e relações com comunidade tradicional.
- Experiência na elaboração de banco dados e geoprocessamento em ambiente SIG.

Laboratórios

Em relação aos laboratórios para análise dos dados, deverão ser usados preferencialmente os laboratórios estruturados nos dois primeiros anos de execução do PMBA para este fim, garantindo o uso dos recursos de grande monta já investidos no âmbito do Sistema CIF sendo obrigatório, as seguintes especificações, pelo menos:

- O laboratório de ecotoxicologia deverá comprovar atuação em estudos de acumulação, toxicidade e resposta de biomarcadores bioquímicos/fisiológicos à contaminação química, incluindo metais em organismos aquáticos, por pelo menos 10 anos. Para tal, deve demonstrar experiência comprovada nestes temas através da execução de projetos de pesquisa e de publicações em revistas científicas de circulação internacional e de impacto reconhecido na área de ecotoxicologia aquática. O laboratório deve comprovar que tem capacidade instalada, infraestrutura adequada e pessoal qualificado para análises de metais em amostras ambientais e biológicas, bem como para avaliação da resposta de biomarcadores bioquímicos/fisiológicos à contaminação por metais em organismos aquáticos. Assim, o laboratório deve dispor minimamente dos seguintes equipamentos: forno de micro-ondas para digestão de amostras para análise de metais (por exemplo: Multiwave 300), espectrômetro de absorção atômica de alta resolução com fonte contínua, espectrômetro de massa com fonte de plasma (ICP-MS), cromatógrafos líquidos (HPLC), cromatógrafos a gás, leitoras de microplacas, espectrofluorímetro, espectrofotômetros UV-visível, centrífugas refrigeradas, ultracentrífugas, balanças eletrônicas, osmômetro, fotômetro de chama, ultrafreezers, freezers, geladeiras, capelas de fluxo laminar, centrífugas de placa, centrífugas refrigeradas, homogeneizadores mecânicos e por ultrassom, agitadores magnéticos, estufas, termocicladores, PCR em tempo real, microscópios binoculares, microscópios de fluorescência, centrífugas de microhematócrito, pHmetros, medidores de oxigênio dissolvido, sonda multiparâmetros, cubas de eletroforese, western blot, estufas incubadoras, banhos termostatizados e autoclave. Além disso, deve contar com infraestrutura

adequada para a conservação e preservação de amostras ambientais e biológicas, tais como container refrigerado, estufas incubadoras, geladeiras, freezers e ultrafreezers.

- O laboratório de sedimentologia e mineralogia deverá ser capaz de realizar as análises sedimentológicas por métodos tradicionais e granulometria a laser para sedimentos finos. As análises mineralógicas deverão seguir a aplicação de equipamentos de fluorescência e difratometria de Raio X. Para o mapeamento de habitats e avaliação do impacto é necessário que a equipe possua estrutura mínima com sonar de varredura lateral, ecobatímetro multi-feixe, perfilador de fundo multifrequência e ROV semi-profissional com no mínimo duas câmeras e propulsão de controle.
- O laboratório de análises físicas deverá possuir infraestrutura compatível com o desenvolvimento de modelagem numérica de alta performance (capacidade de processamento e armazenamento de resultado), bem como na obtenção e no processamento de dados *in situ* e *ex-situ*.
- O laboratório de fitoplâncton deverá ser capaz de realizar as análises qualitativas e quantitativas do fitoplâncton, utilizando-se microscópios biológicos comuns, microscópios biológicos invertidos e microscópios de fluorescência, todos equipados com capturas de imagens, além de análise e quantificação de pigmentos (clorofila a e feopigmentos) através dos métodos da espectrofotometria e fluorimetria. Também deverá possuir equipamento de citometria de fluxo equipado com captura de imagens e fluorimetria.
- O laboratório de zooplâncton deverá ser capaz de realizar as análises qualitativas e quantitativas do zooplâncton através de microscopia óptica e estereoscópica, bem como de analisar imagens digitais de organismos obtidos através de mecanismos de coleta e análise.
- O laboratório de ictioplâncton deverá ser capaz de realizar as análises qualitativas e quantitativas de ovos e larvas de peixes através de microscopia óptica e estereoscópica, bem como de analisar imagens digitais de organismos obtidos através de mecanismos de coleta e análise.
- O laboratório de bentos deverá ter comunicação direta com a equipe de mapeamento de habitats e laboratório de geoquímica e deverá ser capaz de aplicar pirosequenciamento para análise genética e posterior definição das comunidades presentes. O laboratório também deverá ser capaz de fazer a triagem e classificação dos grupos taxonômicos presentes e preparar as amostras para tombamento.
- O laboratório de análises químicas deverá ter experiência na análise de água do mar, incluindo química orgânica e inorgânica. Para evitar divergências, o mesmo laboratório deve ser usado para a realização de todos os parâmetros solicitados, podendo haver um segundo e até terceiros laboratórios para intercalibração e contraprova das análises. O laboratório deverá estar preparado para executar análises utilizando diferentes metodologias e protocolos.

- O laboratório destinado aos estudos de ictiofauna e carcinofauna dos ambientes estuarinos e marinhos deverá estar equipado para as atividades de campo, tais como: coletas (redes de espera, arrasto de fundo com portas, jequis, espinheis, anzóis, arpões) e censos visuais (equipamentos de mergulho). Ainda, para o monitoramento dos parâmetros ambientais, o laboratório deverá contar com multiparâmetros, refratômetros. Da mesma forma, o laboratório deverá estar equipado para a conservação do material (geladeiras e freezers) e para o processamento das amostras dos parâmetros populacionais (balanças de precisão, ictiômetros, microscópios ópticos e estereoscópicos), bem como para a análise e interpretação de dados.
- O laboratório de ictiologia para este trabalho deverá ser capaz de realizar as atividades primárias de coleta de campo e taxonomia, tais como todo o equipo de coletas de peixes e monitoramento dos fatores abióticos (tais como redes, puçás, tarrafas, aparelhos de pesca elétrica, medidores multiparâmetros digitais de campo, etc.), bem como à preservação dos espécimes previamente fixadas em campo e sua ulterior triagem e identificação dos exemplares por meio de equipamentos ópticos de qualidade e suficiência informatização para pesquisa nos bancos de dados *online*. Da mesma forma, tal laboratório deverá ser dotado de recursos que permitam as análises e interpretações de ecologia populacional de peixes e de comunidades, o que se dá por meio de balanças analíticas de precisão (com duas e quatro casas decimais), paquímetros digitais e eletrônicos e todo o equipo de dissecação, vidraria e química para análise. Preferencialmente, este laboratório deve ser integrado a uma coleção zoológica, o que permitirá um mais breve processo de registro de tombamento do material.
- O laboratório de ecologia do ecossistema manguezal deverá ser capaz de realizar os estudos de fisiologia vegetal envolvendo assimilação de carbono e eficiência fotossintética. Os cultivos relacionados à avaliação do crescimento da vegetação de mangue em resposta aos possíveis efeitos tóxicos dos rejeitos deverão ser realizados em câmara climática sob condições controladas de emissão de CO₂, temperatura e umidade. As análises de produção primária deverão envolver aquisição de dados em equipamentos de fluorescência e do *pool* de pigmentos fotossintéticos em HPLC. O monitoramento da ecologia da floresta deverá envolver a delimitação da área com uso de tecnologia SIG em tempo real (aquisição de dados por RTK). Para o monitoramento das parcelas relacionadas à fauna, a equipe deverá enfocar a gestão dos recursos extrativistas. Para execução dos estudos que combinam a caracterização da sedimentação por Isótopos Radiogênicos bem como o acompanhamento em tempo real da turbidez oceânica e sensoriamento remoto, os laboratórios devem comprovar atuação em estudos ambientais, destacando-se análises de proveniência para sedimentos em estuários e oceano e de origem de poeira mineral na atmosfera por pelo menos 10 anos. Deve ainda ter experiência comprovada no desenvolvimento de projetos de pesquisa na

temática de Recursos Minerais, Petróleo/Gás, Meio Ambiente e Evolução Crustal, através das metodologias de datação de rochas e minerais e de geoquímica de isótopos radiogênicos (U- Pb, Pb-Pb, Sm-Nd, Rb-Sr, U-Pb-Th, Re-Os) e para datação de rochas, estudos geoquímicos no âmbito de pesquisas sobre a evolução da crosta terrestre durante o tempo Proterozóico e sedimentologia por Pb-210. O laboratório deve comprovar que possui as seguintes características: (1) Laboratório Analítico classe 100 para processar amostras ambientais; (2) Laboratório de Computação e Imagem para se desenvolver o processamento de dados e imagens voltados para o estudo ambiental. Deve possuir pelo menos os seguintes equipamentos: sistema de espectroscopia gama de alta e baixa resoluções; ambiente ultra-limpo, pressão positiva voltado à destilação de reagentes, solubilização de amostras de rocha e de minerais e separação química por colunas de troca catiônica, ambientes de análises isotópicas por termo-ionização, equipados com o espectrômetro de massa de última geração (ex.: Finnigan TRITON).

- Os laboratórios de sedimentologia e morfodinâmica praial, de geoquímica e de ecologia aquática deverão ter condições de executar os levantamentos dos dados, processá-los e integrá-los, de forma apropriada, permitindo a interpretação dos diversos resultados. Ferramentas computacionais e equipamentos específicos também deverão estar disponíveis.
- Os laboratórios deverão garantir a qualidade das análises das amostras pelos métodos QA e QC.

A garantia de qualidade - QA (*"Quality Assurance"*) refere-se ao planejamento de métodos e técnicas e a sistematização das etapas que visam garantir a confiança no processo analítico. As atividades de controle de qualidade – QC (*"Quality Control"*) objetivam encontrar problemas específicos ao processo de medição, análise e geração de resultados.

Desta forma, no que concerne os processos QA e QC, devem ser adotados as seguintes diretrizes:

- Aplicar protocolos de garantia e controle de qualidade de dados, onde os padrões de amostragem e análise sigam procedimentos técnicos descritos de acordo com as normas e diretrizes oficiais aplicáveis para cada metodologia.
- A garantia da qualidade (QA) no processo de amostragens e análises laboratoriais deverá ser assegurada pela: (i) verificação e/ou ajuste de instrumento de medição para desempenho compatível ao seu uso; (ii) descontaminação dos equipamentos, instrumentos e materiais de coleta (não descartáveis) e calibração de equipamentos.
- Deverá ser adotado procedimento de validação de dados, a fim de determinar a qualidade analítica do conjunto de dados, baseado no objetivo de qualidade da medição desenvolvido no plano de garantia da qualidade (QA), que inclua a determinação, sempre que possível, dos motivos de

qualquer falha no atendimento de métodos ou procedimentos e uma avaliação do impacto de tal falha no conjunto de dados. A validação de dados é aplicável às atividades no campo e no laboratório analítico.

- Devem ser componentes dos documentos técnicos produzidos, a descrição dos procedimentos e avaliações em relação às etapas que envolvem a Garantia de Qualidade (QA), tais como: certificação de laboratórios, capacitação de equipe, manutenção e calibração de equipamentos e o Controle de Qualidade (QC), que compreende procedimentos de campo (brancos, fichas de campo, cadeias de custódia, entre outros), laboratório (branco de métodos, ensaios interlaboratoriais, laudos de análise, entre outros) e a etapa final de análise de todo o processo (validação e qualificação dos dados, avaliação geral da consistência dos dados), assim como bancos de dados, planilhas de consistência e demais documentos (laudos analíticos, cadeias de custódia, fichas de campo, relatórios fotográficos e certificados de calibração e acreditação) que justifiquem eventuais falhas nas coletas e/ou análises.
- Os dados deverão ser validados seguindo critérios de avaliação automática dos dados brutos obtidos pelas equipes técnicas para que possam ser implementados de forma que, ao fim do processo, obtenha-se um banco com dados verificados. Ou seja, cada parâmetro ou conjunto de parâmetros será considerado aceitável, dentro de limites estipulados ou de resultados textuais pré-definidos de acordo como os valores apresentados no documento: Descrição dos Validadores de Dados Brutos (Anexo 6).

Recepção, armazenamento e divulgação dos dados

Os dados brutos deverão ser entregues a CTBio a cada dois meses e deverão estar disponíveis para acesso por outros pesquisadores ou interessados, mediante solicitação e com autorização da CTBio;

Os resultados do PMBA serão divulgados pela CTBio para toda sociedade através da internet, incluindo a produção de boletins ou similares acessíveis para a comunidade atingida pelo rompimento da barragem de Fundão, sendo que para atender a esse propósito a instituição responsável pelo PMBA deverá:

- Implantar um repositório de dados, hospedado em instituição pública e baseado em software livre, para armazenamento e disponibilização dos dados brutos já produzidos, dos relatórios técnicos científicos e demais resultados do PMBA. O acesso a essa plataforma tecnológica será segmentado e controlado mediante a definição e criação de contas individuais e perfis diferenciados para cada público-alvo, como por exemplo: (1) comunidade científica; (2) tomadores de decisão e gestores ambientais, formuladores de políticas públicas; (3) comunidade em geral; (4) órgãos de controle;
- Desenvolver um banco de dados relacional, utilizando software livre (preferencialmente PostGre+PostGIS), estando os dados e metadados formatados e padronizados segundo linguagem

adequada a cada tema (Darwin Core, Dublin Core, Plinian Core, Lantana Core, Thalassia Core ou outro correspondente).

- Desenvolver um WebGis de acesso público associado ao Banco de Dados criado, que permita sua publicação online, e utilizando padrões de interoperabilidade Open Geospatial Consortium (OCG): WMS, WFS e CSW.

Os esforços e recursos direcionados para atender a demanda do banco de dados já apresentada no TR4 original poderão ser aproveitados, contudo a demanda apresentada se consiste em um banco de dados relacional para os dados, análises e resultados deste PMBA, independente de outros bancos de dados em desenvolvimento para os demais programas existentes no sistema CIF.

Com o intuito de orientar a implantação do referido portal, será discutida e elaborada uma Política de Dados e Informações, visando regulamentar a disponibilização, o acesso e o uso dos dados e informações produzidos e custodiados no âmbito da CTBIO.

Plano de Trabalho e continuidade do PMBA

A instituição responsável pelo PMBA deverá apresentar em 60 (sessenta dias) o Plano de Trabalho para execução dos estudos referenciados no TR4 revisado, com a metodologia detalhada, incorporando as recomendações aqui apresentadas, e com cronograma de execução para aprovação da CTBIO.

O Plano de Trabalho passará a ser parte integrante do TR4, assim que aprovado.

Dúvidas sobre detalhes metodológicos poderão ser solicitadas a CTBIO antes da apresentação do plano de trabalho.

Até que o Plano de Trabalho seja aprovado pela CTBIO o PMBA deve continuar a ser executado nos atuais moldes vigentes.

GLOSSÁRIO

A instituição responsável pelo PMBA deverá apresentar uma proposta de glossário com o conceito dos principais termos citados no TR4 revisado, para aprovação da CTBIO, o qual passará então a ser parte integrante do TR4. Este glossário deve incluir termos tais como: impacto agudo, impacto crônico, eventos extremos, grandes cheias, mortandades, frentes frias, estiagem, picos de inundação do Rio Doce, frentes frias extremas, eventos de ressuspensão críticos, mortandade de peixes, picos de alguns parâmetros de qualidade de água monitorados automaticamente, pulso, medidas de reparação ou mitigação, entre outros.