



Abordagens fonte-mar e de paisagem

Integração da qualidade da água e conservação da
biodiversidade na restauração da bacia do Rio Doce

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



Sobre a UICN

A UICN é uma união de membros composta exclusivamente por organizações governamentais e da sociedade civil. Ela fornece às organizações públicas, privadas e não-governamentais uma série de conhecimentos e ferramentas que possibilitam que o progresso humano, o desenvolvimento econômico e a conservação da natureza ocorram juntos.

Criada em 1948, a UICN é hoje a maior e mais diversificada rede ambiental do planeta, reunindo os conhecimentos, os recursos e o alcance de mais de 1.400 organizações membros e cerca de 17.000 especialistas. A UICN é líder na produção de dados, avaliações e análises sobre conservação. Com um amplo quadro de membros, a UICN assume o papel de incubadora e de repositório confiável de melhores práticas, ferramentas e padrões internacionais.

A UICN oferece um espaço neutro para as diversas partes interessadas – incluindo governos, ONGs, cientistas, empresas, comunidades locais, organizações de povos indígenas e outros – trabalharem juntas para conceber e implementar soluções para os desafios ambientais e alcançar o desenvolvimento sustentável.

www.iucn.org

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

Abordagens fonte-mar e de paisagem

Integração da qualidade da água e conservação da
biodiversidade na restauração da bacia do Rio Doce

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

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

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

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

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

A UICN não se responsabiliza por erros ou omissões que possam ocorrer na tradução para o português deste documento, cuja versão original é em inglês. Em caso de discrepâncias, consulte a edição original. Título da edição original: *Source-to-sea and landscape approaches: integrating water quality and biodiversity conservation toward the restoration of the Rio Doce watershed*. Rio Doce Panel Thematic Report No. 3. (2021). Gland, Switzerland: IUCN. <https://doi.org/10.2305/IUCN.CH.2021.07.en>

Publicado por: UICN, Gland, Suíça

Direito Autoral: © 2021 UICN, União Internacional para a Conservação da Natureza e Recursos Naturais
© 2021 UICN, União Internacional para a Conservação da Natureza e Recursos Naturais, para a tradução em Português

A reprodução desta publicação para fins educacionais ou outros fins não comerciais é permitida sem autorização prévia por escrito do titular dos direitos autorais, desde que a fonte seja plenamente reconhecida.

É proibida a reprodução desta publicação para revenda ou outros fins comerciais sem autorização prévia por escrito do titular dos direitos autorais.

Citação: Brito, M. C. W., Barbosa, F. A. R., May, P., Maroun, C., Renshaw, J., Sánchez, L. E., Kakabadse, Y. (2021). *Abordagens fonte-mar e de paisagem: Integração da qualidade da água e conservação da biodiversidade na restauração da bacia do Rio Doce*. Relatório Temático Nº 3 do Paineiro do Rio Doce. Gland, Suíça: UICN.

ISBN: 978-2-8317-2106-4 (PDF)
978-2-8317-2170-5 (print)

DOI: <https://doi.org/10.2305/IUCN.CH.2021.07.pt>

Tradução: Leonardo Padovani

Revisão: Ana Terra

Foto da Capa: Foz do Rio Doce (NITRO, 2018)

Edição e Layout: Diwata Hunziker

Impresso por: Gráfica Qualytá

Disponível em: UICN (União Internacional para a Conservação da Natureza)
Programa Global de Negócios e Biodiversidade
Rue Mauverney 28
1196 Gland
Suíça

www.iucn.org/riodocepanel
www.iucn.org/resources/publications

O texto deste livro foi impresso em papéis off-set 240 g/m² (capa) e off-set 90 g/m² (miolo), ambos de acordo com as normas do Forest Stewardship Council (FSC).

Sumário

	Lista de quadros e figuras	iv
	Lista de siglas	iv
	Agradecimentos	v
	Apresentação	vi
	Prefácio	vii
	Sumário executivo	viii
1	Introdução	1
2	Situação atual da qualidade da água e da biodiversidade na bacia do Rio Doce	4
	2.1 Qualidade físico-química e biológica da água	4
	2.2 Visão geral da biodiversidade terrestre, de água doce e marinha	7
3	Abordagens integradas com o potencial de fortalecer os programas atuais do TTAC	11
	3.1 A abordagem fonte-mar	11
	3.2 A abordagem de paisagem	12
	3.3 A aplicação de abordagens de paisagem nos esforços de restauração do Rio Doce	15
	3.4 Outras abordagens integradas	15
4	Definição de uma abordagem combinada para restaurar a qualidade da água e a biodiversidade da bacia do Rio Doce	23
5	Conclusões	26
	Recomendações	27
	Referências	33

Lista de quadros e figuras

Quadro 1	A bacia do Rio Vu Gia-Thu Bon (Vietnã) – Fundamentos da Gestão Fonte-Mar
Quadro 2	Aplicação da análise de paisagem ao Rio Doce
Quadro 3	Metodologia de Avaliação de Oportunidades de Restauração e Pagamento por Serviços Ambientais
Figura 1	Estações de monitoramento de água do PMQQS
Figura 2	Área de monitoramento da biodiversidade terrestre pela Fundação Renova e parceiros
Figura 3	Pontos de monitoramento da biodiversidade aquática pela Fundação Renova e parceiros
Figura 4	Ilustração conceitual do sistema fonte-mar
Figura 5	Áreas onde a análise de paisagem da Fundação Renova foi aplicada
Figura 6	Áreas onde a metodologia ROAM foi adotada pela Fundação Renova e parceiros
Figura 7	Áreas onde o pagamento por serviços ambientais será adotado pela Fundação Renova e parceiros
Figura 8	Áreas onde a Fundação Renova e parceiros realizam ações de recuperação de nascentes e áreas de recarga de água

Lista de siglas

APP	Área de Preservação Permanente
CIF	Comitê Interfederativo
CIF-CTBIO	Câmara Técnica de Conservação da Biodiversidade do CIF
ES	Espirito Santo
GIZC	Gerenciamento Integrado de Zonas Costeiras
MG	Minas Gerais
PMBA	Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática
PIRH	Plano Integrado de Recursos Hídricos
PMQQS	Programa de Monitoramento Quali-Quantitativo Sistemático de água e sedimentos da bacia do Rio Doce
PNGC	Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro
PNRH	Plano Nacional de Recursos Hídricos
PSA	Pagamento por Serviços Ambientais
ROAM	Metodologia de Avaliação de Oportunidades de Restauração (Restoration Opportunities Assessment Methodology)
RPF	Restauração de Paisagens Florestais
RRDM	Rede Rio Doce Mar
TTAC	Termo de Transação e de Ajustamento de Conduta
UICN	União Internacional para a Conservação da Natureza
WRI	World Resources Institute
WWF	World Wide Fund for Nature

Agradecimentos

O Painel do Rio Doce agradece às seguintes pessoas que contribuíram com informações importantes e opiniões sobre análise da paisagem, iniciativas de uso sustentável da terra, água doce, biodiversidade marinha e terrestre e monitoramento da qualidade da água:

- equipes da Fundação Renova, atuando com o Conselho de Governança e técnicos dos Programas Socioeconômicos e Socioambientais, que forneceram informações e feedback; mais especificamente, as equipes de uso sustentável da terra, análise de paisagem, monitoramento da água, manejo de rejeitos, biodiversidade, retomada da pesca e atividades econômicas;
- membros da Câmara Técnica e do Conselho Consultivo da Fundação Renova;
- representantes de Comissões de Pessoas Afetadas de Minas Gerais e Espírito Santo;
- representantes dos estados de Minas Gerais e Espírito Santo;
- representantes de organizações não governamentais socioambientais que atuam na bacia hidrográfica; e
- Membros da UICN (União Internacional para a Conservação da Natureza) no Brasil que têm apoiado o trabalho do Painel. Os figuras deste relatório não teriam sido possíveis sem o apoio das equipes da Fundação Renova que elaboraram os diversos mapas.

Os mapas neste relatório não teriam sido possíveis sem o apoio de vários técnicos da Fundação Renova, que trabalham nos respectivos programas e iniciativas neles apresentados. O Painel também agradece ao WWF-Brasil pelos aportes técnicos e à equipe de comunicação da Fundação Renova, ao WRI Brasil e à Rede Rio Doce Mar (RRDM) pela autorização do uso de suas imagens no Relatório e em outros materiais de comunicação.

O Painel agradece, ainda, aos dois revisores externos e anônimos, cujo trabalho foi essencial para a elaboração deste Relatório.

Finalmente, agradece à equipe da UICN pelo apoio técnico contínuo, em particular pelo trabalho árduo na produção deste Relatório, especialmente Barbara Souza, Caroline Coguetto, Fabio Junior, Fernanda Maschietto, Florian Reinhard, Leigh Ann Hurt, Renata Bennet e Stephen Edwards.

Apresentação

Com o início da Década da Restauração de Ecossistemas das Nações Unidas, devemos intensificar os nossos esforços para dar nova vida aos ecossistemas degradados. Essa restauração exige tempo e investimentos, mas também traz enormes benefícios, que incluem a melhoria da segurança alimentar e hídrica das comunidades, a redução da pobreza e a proteção da biodiversidade, além de ajudar a mitigar a mudança climática.

No Brasil, a bacia hidrográfica do Rio Doce é um exemplo de restauração ecossistêmica em andamento. Nessa região, onde 3,6 milhões de habitantes dependem do rio para sua saúde, alimentação e sustento, há ações de restauração em andamento desde o rompimento da barragem de rejeitos de Fundão, que causou problemas sérios de poluição em mais de 650 quilômetros de uma paisagem outrora rica.

Neste relatório, publicado mais de cinco anos após o desastre, o Painel independente do Rio Doce contempla o futuro dessa bacia hidrográfica tão importante e o trabalho atual para restaurá-la. O Painel recomenda que o programa de restauração, além de restabelecer a integridade ecológica da bacia hidrográfica, considere também a paisagem como um todo – da fonte ao mar. Isso ajudaria a proteger os serviços que os ecossistemas proporcionam à população local e à região.

A bacia hidrográfica abrange mais de um estado e, por isso, a governança do programa de restauração é complexa. Entre as principais recomendações do relatório está a adoção de uma abordagem integrada de paisagem, da fonte ao mar, que ajudaria a identificar e priorizar as questões mais críticas. O Painel também defende a implementação de medidas de saneamento básico em toda a bacia hidrográfica e um programa ampliado de pesquisa para monitorar a saúde do ecossistema. Esse plano de monitoramento deve ser amplo e público e incluir uma amostragem melhorada da água e dos sedimentos, além de mais levantamentos da biodiversidade terrestre, marinha e de água doce.

Junto com os grandes benefícios para os ecossistemas, a implementação de um programa de restauração fonte-mar na bacia do Rio Doce também contribuirá para a economia regional e local: agricultores, pescadores, comunidades tradicionais e mineradores artesanais. Um ecossistema robusto e saudável também ajudará a proteger essas comunidades de desastres futuros. O rio não existe isoladamente e, portanto, a restauração não deve se encerrar em sua foz; deve incluir também as águas costeiras adjacentes. Para ter sucesso a longo prazo, o programa deve refletir as características sociais, econômicas, culturais e ambientais de toda a bacia hidrográfica.

Em um esforço de conservação desta escala temos a possibilidade de inovar, testar novas soluções e reunir mais conhecimentos para inspirar e orientar a restauração de ecossistemas em outras localidades. Talvez, com tempo e investimento, possamos construir uma paisagem mais biodiversa e sustentável do que a que existia antes do desastre. Um ecossistema próspero, restaurado da fonte ao mar, ajudará a garantir um futuro mais saudável para a população da região do Rio Doce, além de servir como um exemplo poderoso para outras bacias hidrográficas.

Dr. Bruno Oberle

Diretor Geral

UICN, União Internacional para a Conservação da Natureza

Prefácio

Nos últimos cinco anos desde o rompimento da barragem de rejeitos de Fundão, em 2015, as comunidades da bacia do Rio Doce vêm buscando restaurar suas vidas e seu ambiente natural, ambos centralizados no próprio rio. O Rio Doce é uma artéria vital da bacia, não apenas para sua rica biodiversidade, mas também para as diversas pessoas que dependem dele para subsistir. Os esforços para restaurar e fortalecer esse recurso natural indispensável devem evitar ações fragmentadas e adotar um ponto de vista inovador, que amplie o horizonte da restauração – por exemplo, com a adoção de uma perspectiva de paisagem da nascente ao mar. Trata-se de uma abordagem mais integrada, que considera os aspectos ambientais, sociais, financeiros, econômicos e culturais dessa região singular.

Neste relatório, analisamos dados sobre a qualidade da água e incorporamos outros elementos ainda não abordados, como a possibilidade de poluição crônica por metais, principalmente no estuário, e estudos sobre componentes distintos da biota para ilustrar a interligação entre a qualidade da água e a conservação da biodiversidade. Com base em nossas análises, propomos recomendações para aprimorar e priorizar os esforços de monitoramento de água e esgoto, restauração da mata ciliar e monitoramento da biodiversidade associado ao desenvolvimento de um banco de dados.

A maior parte dos esforços empreendidos pela Fundação Renova e demais partes interessadas, incluindo as próprias comunidades locais, tem produzido resultados visíveis que podem e devem ser reconhecidos e ampliados para outras áreas selecionadas para restauração. Aumentar e replicar essas atividades em toda a região ampliará as oportunidades de recuperação mais resiliente e sustentável em longo prazo.

Entre os desafios mais complexos agravados pelo desastre estão a melhoria da qualidade da água e a recuperação da biodiversidade, já que ambas proporcionam serviços ecossistêmicos essenciais. Embora o relatório reconheça os avanços de todos os 42 programas do Termo de Transação e de Ajustamento de Conduta, ainda existem muitas oportunidades de ação para restaurar a saúde e a abundância da bacia hidrográfica.

Buscar e construir sinergias para garantir a longevidade dos esforços atuais é o objetivo comum de todas as partes envolvidas direta e indiretamente na restauração da bacia do Rio Doce. Em última análise, este relatório é um convite para identificar caminhos comuns capazes de conservar a rica biodiversidade da região e restaurar os serviços ecossistêmicos, melhorando a qualidade do meio ambiente e, principalmente, trazendo segurança à população nos anos vindouros.

Painel do Rio Doce

Sumário executivo

A Fundação Renova tem investido um volume considerável de conhecimentos técnico-científicos e de recursos financeiros para mitigar os impactos do rompimento da Barragem de Fundão por meio da implementação de ações que visam à mitigação dos impactos socioeconômicos e ambientais decorrentes do desastre. Neste Relatório Técnico, o Painel do Rio Doce propõe que a Fundação Renova, organizações de partes interessadas e tomadores de decisão que atuam na bacia hidrográfica do Rio Doce adotem e integrem as abordagens fonte-mar e de paisagem para melhor avaliar as interações entre a qualidade da água e a conservação da biodiversidade na bacia em longo prazo.

O Relatório traz informações e dados selecionados sobre a qualidade física, química e biológica da água e uma visão geral da biodiversidade terrestre, de água doce e marinha na bacia do Rio Doce desde o rompimento da barragem até o momento atual. Também apresenta uma revisão das abordagens integradas já adotadas nas ações de restauração do Rio Doce, com foco nos programas do Termo de Transação e de Ajustamento de Conduta, cuja concepção incorpora, em alguns aspectos, as abordagens fonte-mar e de paisagem. O Relatório aponta caminhos para a criação de uma abordagem conjunta para restaurar a qualidade da água e a biodiversidade na bacia do Rio Doce, aproveitando as ações já implementadas pela Fundação Renova e seus parceiros.

O Painel do Rio Doce entende que a adoção de uma visão conjunta, pelas partes interessadas da bacia do Rio Doce, que integre a abordagem da paisagem e a abordagem fonte-mar é fundamental para restaurar a paisagem da bacia do Rio Doce, levando-a a uma situação ainda mais saudável e sustentável do que aquela de antes do desastre da Barragem de Fundão. Além disso, a adoção de uma abordagem de paisagem na restauração das áreas da bacia afetadas pelo desastre pode ajudar a atender às necessidades de planejamento de longo prazo e incentivar o envolvimento efetivo das partes afetadas. O Relatório chama atenção para a necessidade de integrar ações dentro da bacia hidrográfica, enfatizando não apenas o

escoamento essencial da água, mas também um fluxo de ações a partir da cabeceira e ao longo do canal do Rio Doce, com foco na restauração das matas ciliares. Essas ações não devem terminar na foz do rio; pelo contrário, devem ser ampliadas para as águas costeiras adjacentes, incluir os processos que ocorrem dentro do canal do rio e refletir as características sociais, econômicas, culturais e ambientais de toda a bacia hidrográfica.

Por fim, visando contribuir para a eficácia do processo de restauração da bacia hidrográfica como um todo, o Painel do Rio Doce apresenta cinco recomendações para consideração da Fundação Renova, do Comitê Interfederativo (CIF), dos governos federal, estaduais e municipais e de seus parceiros:

Recomendação 1 – Adotar a abordagem fonte-mar e uma abordagem integrada de paisagem nos esforços de restauração da bacia do Rio Doce.

Recomendação 2 – Garantir uma avaliação ampla e de longo prazo dos dados do Programa de Monitoramento Quali-Quantitativo Sistemático de Água e Sedimentos da bacia hidrográfica do Rio Doce (PMQQS) para priorizar as ações direcionadas à melhoria contínua das características ambientais do Rio Doce.

Recomendação 3 – Usar o programa de monitoramento da água existente para aumentar a capacidade da região de monitorar os impactos potenciais na qualidade da água e biota associados ao surgimento de compostos poluentes sinérgicos.

Recomendação 4 – Fortalecer o apoio técnico aos esforços dos municípios para implementar um programa abrangente inovador e customizado de saneamento básico na bacia hidrográfica.

Recomendação 5 – Expandir o atual plano de monitoramento da biodiversidade visando desenvolver um banco de dados público para informar e priorizar as atividades de restauração.

1 Introdução

Com uma área de 86.715 km², a bacia do Rio Doce é a bacia hidrográfica mais importante da Região Sudeste do Brasil (ANA, 2015). Compartilhado por dois estados, Espírito Santo e Minas Gerais, o Rio Doce é considerado um rio de domínio federal.¹ Junto aos órgãos do governo federal, participam de sua gestão os governos estaduais e dos 228 municípios situados total ou parcialmente nos limites da bacia (28 no Espírito Santo e 200 em Minas Gerais).²

Ao longo dos anos, a bacia hidrográfica tem se caracterizado pela má qualidade da água, esparsa vegetação natural remanescente, erosão do solo (com o esgotamento de sua fertilidade) e formação de ravinas e assoreamento do canal do rio devido ao não cumprimento da Lei de Proteção da Vegetação Nativa.³ Além disso, houve a introdução de espécies invasoras (em terra e em sistemas de água doce) e deposição de poluentes químicos no delta e nas áreas marinhas adjacentes (ANA, 2013, 2015; Consórcio Ecoplan/Lume, 2010; Fragoso-Moura et al., 2016; Hatje et al., 2017).

Em resposta à Política Nacional de Recursos Hídricos, que estabeleceu a bacia hidrográfica como unidade de gestão dos recursos hídricos e propôs um sistema participativo de tomada de decisão nessa gestão, foi elaborado um Plano Integrado de Recursos Hídricos (PIRH) para a bacia do Rio Doce. O PIRH visa integrar os planos, programas, projetos e outros estudos

setoriais relacionados ao uso dos recursos hídricos. Ratificado em 2013 e atualmente em processo de revisão, o PIRH “define as medidas necessárias para proteger, restaurar e promover a qualidade dos recursos hídricos para a saúde humana, vida aquática e qualidade ambiental” (ANA, 2013, p. 19).⁴ O plano detalha as ações e os investimentos necessários para cumprir seus objetivos em cada uma das nove sub-bacias que compõem a bacia do Rio Doce, incluindo a criação de mais áreas protegidas e programas de saneamento básico e preparação para emergências.

A bacia hidrográfica do Rio Doce, principal região produtora de ferro e aço do Brasil, está exposta há mais de um século a atividades de mineração. Essas atividades intensificam a pressão sobre o rio e seus afluentes, que fornecem água para comunidades industriais e urbanas e atividades de produção rural. A mineração também gera sérios riscos ambientais, associados às infraestruturas de armazenamento de rejeitos de mineração, que ameaçam as comunidades a jusante (Espindola, 2019; ICMM, 2020).

Em 2015, o rompimento da barragem de rejeitos de Fundão, uma unidade de armazenamento construída como parte da operação de minério de ferro do Complexo Germano, pertencente à mineradora Samarco, no estado de Minas Gerais, culminou na homologação de um acordo extrajudicial. Esse acordo, conhecido como Termo de Transação e de

1 A Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei 9.433/97) instituiu os instrumentos de gestão dos recursos hídricos de domínio federal (que atravessam mais de um estado ou fronteira) e criou o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH). A lei determina a formação de comitês de bacias hidrográficas que reúnam os poderes públicos das três esferas de governo, bem como os usuários da água e a sociedade civil, na gestão dos recursos hídricos. Para mais informações, consultar: <https://www.ana.gov.br/gestao-da-agua/sistema-de-gerenciamento-de-recursos-hidricos>

2 Para mais informações, consultar: <http://www.cbhdoce.org.br/institucional/a-bacia>

3 O Código Florestal (Lei 4.711/65), substituído pela Lei de Proteção da Vegetação Nativa (Lei 12.651/12), historicamente não tem sido cumprido, principalmente no que diz respeito às disposições que definem as regras de permissão de uso e não uso das áreas designadas Reservas Legais (RL) e Áreas de Preservação Permanente (APPs).

4 O atual PIRH referente à bacia do Rio Doce possui metas abrangentes em sete áreas: qualidade da água; quantidade da água e balanço hídrico; suscetibilidade a inundações; universalização do saneamento; aumento das áreas protegidas por lei; implementação de instrumentos de gestão de recursos hídricos; e implantação das ações do PIRH do Rio Doce (Consórcio Ecoplan/Lume, 2010).



Rios Piranga e do Carmo fundem-se para formar o Rio Doce
Foto: NITRO (2018)

Ajustamento de Conduta (TTAC),⁵ foi assinado pela Samarco e suas mantenedoras, Vale e BHP, pelo governo federal e pelos governos dos estados de Minas Gerais e Espírito Santo em resposta à situação de emergência. O TTAC define as obrigações da Samarco e, posteriormente, da Fundação Renova de restaurar as áreas afetadas e os meios de subsistência na bacia do Rio Doce. Quarenta e dois programas foram criados e estão sendo implementados nos 670 km de área impactada ao longo do Rio Doce e seus afluentes, bem como na zona costeira adjacente.⁶ O acordo também motivou a formação do Comitê

Interfederativo (CIF), composto por órgãos ambientais e outros órgãos públicos signatários do TTAC. O CIF é responsável por orientar e validar as atividades da Fundação Renova, criada para administrar e executar as medidas de recuperação motivadas pela tragédia.⁷

Os 42 programas abarcam uma série de aspectos ambientais, sociais, culturais e econômicos do desastre e foram concebidos de forma compartimentada, gerando lacunas e sobreposições, sem levar em consideração a participação da população afetada durante os estágios iniciais de

5 Para mais informações, visitar: <https://www.samarco.com/reparacao/>

6 A Fundação Renova é a entidade responsável por mobilizar a reparação dos danos causados pelo rompimento da Barragem de Fundão. Para mais informações sobre a Fundação e os 42 programas, consultar: <https://www.fundacaorenova.org/en>

7 Para mais informações, consultar: <http://www.ibama.gov.br/cif>

implementação (Sánchez et al., 2018).⁸ A situação se soma ao cenário atual de governança complexa e atrasos constantes de implementação. Uma possível solução para integrar os programas de restauração atuais e melhorar sua implementação em toda a bacia hidrográfica é a adoção de uma abordagem integrada de paisagem dentro de uma abordagem fonte-mar. O PAINEL DO RIO DOCE acredita que essa abordagem ajudaria a restaurar a paisagem e os meios de subsistência, levando a um estado mais saudável, sustentável e resiliente do que antes do desastre.

Este Relatório Temático apresenta os potenciais benefícios e oportunidades ligados à adoção de uma abordagem fonte-mar e à implementação de uma abordagem de paisagem no processo de restauração do Rio Doce. Alguns dos benefícios que podem surgir do uso e da integração dessas abordagens incluem: melhor implementação; maior integração, eficácia e resiliência dos programas do TTAC; mais envolvimento das partes afetadas e outras partes interessadas; melhor mitigação e adaptação aos prováveis impactos da mudança climática (May et al., 2020); e planejamento de longo prazo para garantir a sustentabilidade dos esforços de restauração após o encerramento das atividades da Renova. Mais especificamente, o uso conjugado da abordagem fonte-mar e da abordagem de paisagem pode facilitar a compreensão das questões relacionadas às sub-bacias hidrográficas do Rio Doce e contribuir para sua resolução, incluindo soluções propostas no PIRH do Rio Doce (ANA, 2013). Entre elas, estão ações como proteção e restauração de APPs ribeirinhas, proteção e restauração de áreas degradadas e erodidas, gestão de resíduos sólidos e tratamento de esgoto.

O Relatório está organizado em seis seções, incluindo esta Introdução. A seção 2 apresenta os antecedentes e o contexto do Relatório, incluindo uma visão geral do estado atual da qualidade da água e da biodiversidade do Rio Doce. A seção 3 descreve as abordagens integradas que podem fortalecer os programas atuais do TTAC. A seção 4 explica como adotar uma abordagem combinada para restaurar a qualidade da água e a biodiversidade na bacia do Rio Doce, apontando para a necessidade de outras ações para aprimorar esses ativos. Por fim, as conclusões são apresentadas na seção 5, seguidas pelas recomendações do PAINEL À FUNDAÇÃO RENOVA e seus parceiros. Essa última seção propõe ações que podem ser adotadas para integrar, com sucesso, as abordagens fonte-mar e de paisagem para dar atenção à restauração da biodiversidade e melhoria da qualidade da água.

8 Em 2018 a Fundação Renova, suas empresas controladoras, as Defensorias Públicas e os Ministérios Públicos de âmbito federal e dos estados assinaram um segundo Termo de Ajustamento de Conduta, alterando as estruturas de governança e aumentando a representatividade das partes afetadas. Posteriormente, em 2019, os responsáveis pelas reparações no desastre da Barragem de Fundão tiveram que apresentar à Justiça Federal os eixos temáticos emergenciais prioritários e considerados essenciais para acelerar a implementação e concretizar a execução dos programas de reparação e compensação previstos (Decisão da 12ª Vara Federal Cível e Agrária de 19 de dezembro de 2019).

2 Situação atual da qualidade da água e da biodiversidade na bacia do Rio Doce

2.1 Nível de qualidade físico-química e biológica da água

Para entender melhor a situação atual da qualidade da água e como ela foi afetada pelo rompimento da Barragem de Fundão, é essencial descrever os impactos anteriores decorrentes da ocupação humana na bacia. O Rio Doce sofre com o impacto humano há mais de dois séculos, desde o aumento do assoreamento nas regiões montanhosas de seus trechos superior e médio até o desmatamento causado pela mineração de ouro e em razão da retirada da vegetação para fins agrícolas e plantações de eucaliptos (*Eucalyptus spp.*) para abastecer as siderúrgicas com carvão vegetal (Espindola et al., 2011). A erosão do solo é generalizada em toda a bacia hidrográfica: 58% da área da bacia apresenta potencial erosivo alto e 30%, potencial erosivo moderado (ANA, 2013).

Ademais, os principais formadores – os rios Piranga e do Carmo – recebem um volume considerável de esgoto não tratado, o que deteriora a qualidade da água com o tempo (ver foto página 2). Dos 228 municípios da bacia hidrográfica do Rio Doce, apenas 132 (58%) possuem algum grau de coleta de esgoto (a maioria conta apenas com tratamento primário); os outros 96 lançam o esgoto diretamente no rio sem qualquer tratamento (Consórcio Ecoplan/Lume, 2010). Como consequência de todos esses fatores, os ecossistemas de água doce foram severamente degradados e a saúde humana foi afetada.

Além disso, as barragens de usinas hidrelétricas construídas ao longo do Rio Doce e seus afluentes alteraram seu regime de vazão natural. Segundo relatório do Consórcio Ecoplan-Lume (2010), havia nove hidrelétricas de grande porte e 21

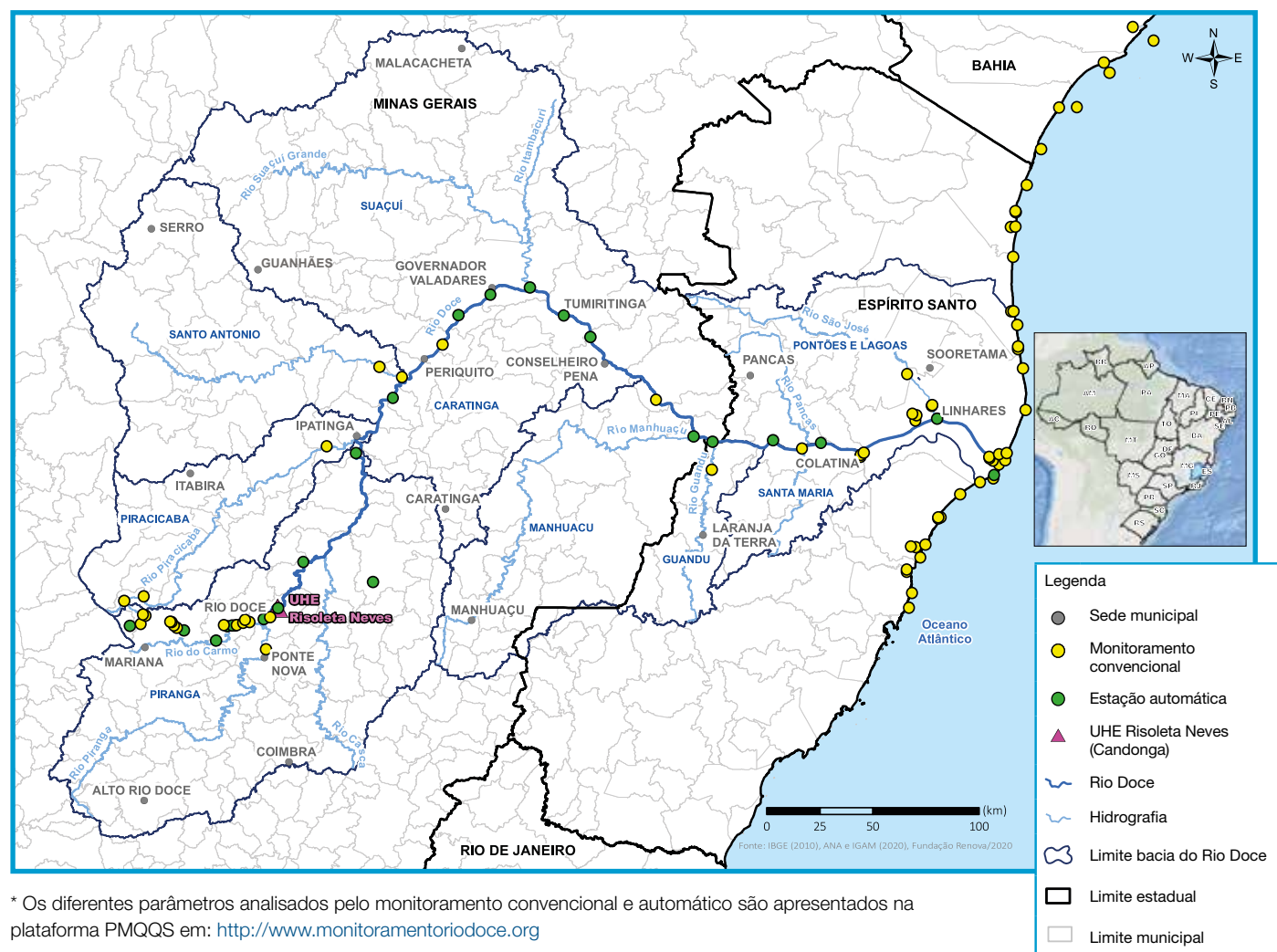
pequenas centrais hidrelétricas em operação na bacia hidrográfica e planos de construir mais duas hidrelétricas de grande porte e 33 pequenas centrais hidrelétricas por ocasião daquele estudo.

Desde o rompimento da Barragem de Fundão, em 2015, foi implementado um programa de monitoramento de emergência nos rios impactados. Análises de amostras de água e sedimentos ao longo da bacia do Rio Doce foram realizadas no âmbito do Programa 38 do TTAC, o Programa de Monitoramento Quali-Quantitativo Sistemático de Água e Sedimentos da Bacia do Rio Doce (PMQQS). O PMQQS monitora várias características físico-químicas⁹ importantes e alguns parâmetros bióticos relacionados à qualidade da água (Figura 1). Os resultados obtidos até 2018 mostram que algumas das condições detectáveis durante o período chuvoso na bacia do Rio Doce podem ser resumidas como de alta turbidez, com concentrações de metais e sólidos suspensos totais, e picos ocasionais acima dos limites legais registrados em 2018 (Fundação Renova, 2018). Da mesma forma, foram registrados alguns valores de oxigênio dissolvido abaixo de 5 mgL⁻¹, que é a concentração mínima permitida pelas normas brasileiras.

Em maio de 2019, o relatório parcial do PMQQS (CIF, 2019) registrou níveis de metais acima dos limites legais nos lagos Juparanã, Areão e Monsarás (Espírito Santo); e de manganês (Mn) e ferro dissolvido (Fe²⁺) nos rios Gualaxo do Norte, do Carmo e Doce (MG). Limites legais também foram excedidos em relação ao número de *E. coli*, uma bactéria cuja presença pode indicar riscos à saúde (com relação à qualidade da água e dos alimentos), tanto nesses três rios quanto na Lagoa Juparanã. Também foram detectadas baixas concentrações de oxigênio dissolvido nas lagoas Juparanã, Limão, Nova e Monsarás; e na Lagoa Nova

9 Características físico-químicas são utilizadas para indicar a qualidade da água, com a determinação de diversos parâmetros que representam, por exemplo, existência de impurezas quando atingem valores superiores aos estabelecidos para determinado uso.

Figura 1 Estações de monitoramento de água do PMQQS*



* Os diferentes parâmetros analisados pelo monitoramento convencional e automático são apresentados na plataforma PMQQS em: <http://www.monitoramentoriodoce.org>

Fonte: © Fundação Renova (2020).

o nível de nitrogênio total (N) também excedeu os limites legais.

A avaliação das condições da água e dos sedimentos ao longo da bacia hidrográfica sugere que os parâmetros analisados estavam em estado semelhante aos registrados antes do rompimento da Barragem do Fundão (de Carvalho et al., 2018; Fundação Renova, 2018). No entanto, isso não significa necessariamente que a água seja de boa qualidade, pois ela tem sido afetada por fontes difusas, incluindo o escoamento de

áreas dedicadas à agricultura, pecuária e silvicultura comercial, além do esgoto, que, na maioria das vezes, não recebe tratamento.¹⁰

Além disso, embora alguns indicadores biológicos sejam monitorados,¹¹ outros distintos componentes da biota, cuja avaliação não consta do PMQQS, precisariam ser analisados para investigar possíveis efeitos sinérgicos resultantes da combinação com os parâmetros físico-químicos individuais analisados pela Fundação Renova, o que representaria um avanço

10 O Plano Integrado de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Doce descreve a situação e a tendência da bacia em 2010: “a qualidade da água não respeita a expectativa de enquadramento. Essa situação deve permanecer em um cenário sem uma gestão integrada dos recursos hídricos” (ANA, 2013, p. 46). O mesmo documento afirma que a meta de categorizar o Rio Doce como Classe 2 seria atingida até 2030.

11 O PMQQS da Renova monitora os bioindicadores a seguir: fitoplâncton, perifíton e macroinvertebrados bentônicos. Além desses, o PMQQS inclui ensaios de toxicidade, como testes de ecotoxicidade crônica da água, utilizando *Ceriodaphnia dubia* e *Pseudokirchneriella subcapitata*; ecotoxicidade aguda da água, com *Danio rerio* e *Daphnia similis*; e testes de ecotoxicidade crônica em amostras de sedimentos, usando *Ceriodaphnia dubia* (CIF, 2019).

significativo nos programas de monitoramento da qualidade da água e um legado para o Rio Doce e o Brasil.

Outros estudos científicos em paralelo se concentraram na biota e nos parâmetros físico-químicos para avaliar, em mais detalhes, as condições das áreas afetadas pelo desastre, levando à conclusão de que a saúde ambiental da bacia ainda está em perigo. Os resultados e os diversos períodos e metodologias desses estudos são relevantes e devem ser considerados. A seguir, apresenta-se o resumo dos resultados de uma seleção desses estudos:

1) Diversidade microbiana e aumento das populações de bactérias. Estudos mostram que os efeitos dos rejeitos de minério de ferro liberados pelo rompimento da Barragem de Fundão podem ser uma fonte de contaminação crônica sobre a diversidade e a atividade microbiana em ecossistemas distintos indicando que, enquanto permanecerem dentro do rio e depositados nas terras adjacentes, os rejeitos representam uma questão a ser resolvida no processo de restauração (Cordeiro et al., 2019).

2) Aumento da frequência de aberrações cromossômicas e alterações nos índices mitóticos e de fase. Estudos sobre as concentrações de oligoelementos e efeitos citogenotóxicos (capazes de danificar materiais genéticos, inclusive o DNA) concluíram que os impactos ambientais do rompimento da barragem terão longo alcance e provavelmente serão de longa duração, persistindo nos sedimentos do Rio Doce (Quadra et al., 2019).

3) Potabilidade das águas do Rio Doce. Foram examinadas as concentrações químicas da água retirada de 48 pontos, incluindo poços, o próprio rio e a rede pública de abastecimento de três cidades – Belo Oriente, Governador Valadares e Colatina (de Carvalho et al., 2018). Os resultados indicam

que, à época do estudo, a água era imprópria para agricultura ou consumo humano se não recebesse um mínimo de tratamento convencional.

4) Potencial de toxicidade do manganês (Mn) nas cianobactérias. Em condições de laboratório, os efeitos tóxicos desse elemento em alta concentração causam uma redução do conteúdo de clorofila-a e das taxas de crescimento, além de alterações ultraestruturais (Moura et al., 2019).

5) Mudanças histológicas e moleculares nas brânquias e no fígado de *Astianax lacustris* (tetra). A água da bacia hidrográfica do Rio Doce pode promover alterações histológicas no fígado e nas brânquias dos peixes, bem como a modulação da ruptura do equilíbrio iônico, respostas celulares ao estresse e vias de desintoxicação celular (Macedo et al., 2020).

6) Mudanças na estrutura dos microbiomas aquáticos e dos sedimentos. Após o sequenciamento detalhado do gene 16S rRNA¹² a partir de amostras de dois rios impactados e um rio de referência (como medida de controle) colhidas 7,30 e 150 dias após o desastre, os resultados revelaram que a estrutura da comunidade impactada mudou muito nas escalas espaço-temporais, sendo menos diversa e mais irregular principalmente no sétimo dia no Rio do Carmo, situado mais próximo à barragem de rejeitos que se rompeu (Reis et al., 2020).

7) Contaminação de metais-traço e qualidade de sedimentos. Medições de sedimentos de 17 pontos dentro das áreas estuarinas indicam contaminação por cádmio (Cd), cromo (Cr), chumbo (Pb), arsênio (As), cobre (Cu) e zinco (Zn) em todos os 17 pontos, com potenciais efeitos nocivos em organismos estuarinos de importância comercial, como caranguejos, camarões e peixes (Gabriel et al., 2020). Além disso, os resultados alertam para a possibilidade

12 O uso de sequências do gene 16S rRNA para estudar a filogenia e taxonomia bacteriana tem sido o marcador genético de manutenção adotado com maior frequência por uma série de razões, incluindo (i) sua presença em quase todas as bactérias, muitas vezes na forma de família multigênica ou operons; (ii) a manutenção da função do gene 16S rRNA com o tempo, sugerindo que as mudanças aleatórias nas sequências são uma medida de tempo mais precisa (evolução); e (iii) o fato de que o gene 16S rRNA (1.500 bp) é grande o suficiente para fins de informática (Janda et al., 2007).

de que a contaminação e poluição crônicas dos sedimentos representem um risco ecológico adicional devido aos efeitos sub-letais da liberação lenta de nutrientes e elementos potencialmente tóxicos na coluna d'água, de acordo com informações sobre outras áreas (Gati et al., 2016) e sobre a bacia do Rio Doce (Queiroz et al., 2018).

Reforçando os resultados descritos acima, um dos estudos conclui que o estuário do Rio Doce apresentava uma contaminação geral de alta a moderada até 2,9 anos após o desastre da Barragem de Fundão, com poluição crônica atual por metal e risco moderado a alto de efeitos biológicos adversos à sua biota (Gabriel et al., 2020). Os resultados do estudo mostram que os impactos nas comunidades foram causados, principalmente, por oxidantes de Fe (II) e redutores de Fe (III), degradadores de compostos aromáticos e bactérias predadoras. Análises apontam para um microbioma altamente interconectado, cujas interações mudaram de positivas para negativas, ou vice-versa, entre as comunidades impactadas e de referência. O estudo revelou, ainda, potenciais assinaturas moleculares associadas a rios fortemente impactados por metais, que podem ser sentinelas úteis para prever a saúde ribeirinha (Gabriel et al., 2020).

Em suma, os estudos citados concluem que, apesar das melhorias registradas, a qualidade da água em diferentes partes da bacia do Rio Doce, bem como os sedimentos em áreas estuarinas, é motivo de preocupação, principalmente em relação a possíveis danos a diversos grupos de organismos, como micro-organismos, caranguejos, camarões e peixes.¹³ Além disso, mostram que as condições atuais ainda podem afetar a riqueza e a diversidade dos organismos aquáticos em comparação às áreas não impactadas pelos rejeitos. Dois estudos sugerem, ainda, que a qualidade das águas do rio pode representar um risco crônico para a saúde humana em longo prazo (Cordeiro et al., 2019; de Carvalho et al., 2018).

É importante ressaltar que os resultados podem variar dependendo do trecho da bacia em análise, mesmo nas áreas afetadas. Além disso, diversos estudos estão sendo realizados pela Fundação Renova, consultores e empresas de mineração e devem ser usados para comparação, assim que os resultados estiverem disponíveis ao público.

2.2 Visão geral da biodiversidade terrestre, de água doce e marinha

A biodiversidade de um rio reflete a diversidade dos ambientes através dos quais ele flui, incluindo áreas aquáticas e terrestres, e varia em diferentes setores devido à natureza dinâmica desses ambientes. No Rio Doce, o desmatamento da bacia hidrográfica intensificou o assoreamento do canal do rio, reduzindo sua profundidade e velocidade de vazão. Mudanças hidrológicas e morfológicas no rio têm causado alterações na biodiversidade e, conseqüentemente, mudanças na localização e abundância de algumas espécies endêmicas de peixes.

Um dos principais impactos decorrentes do rompimento da Barragem do Fundão em novembro de 2015 é a perda da biodiversidade terrestre e aquática. Ao longo da bacia hidrográfica, os impactos sobre a flora e os *habitats* aquáticos diferem em áreas específicas do segmento afetado do rio. Com a análise dos dados de refletância de superfície por meio de imagens Landsat-8 registradas nos dias seguintes ao desastre, foi possível medir a extensão e intensidade dos danos causados pelo lançamento de rejeitos (Hatje et al., 2017), que têm o potencial de persistir em toda a bacia hidrográfica a jusante.

Antes do desastre de 2015, foi realizada uma série de estudos detalhados ao longo de 20 anos para subsidiar a gestão da bacia do Rio Doce (ANA, 2013). No entanto, as informações disponíveis restringem-se a locais e/ou grupos de fauna e flora específicos.

13 Essas conclusões foram reforçadas pelo Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática da Área Ambiental 1, implantado pela Fundação Espírito-Santense de Tecnologia/Rede Rio Doce Mar, coordenado pelo Programa 28 da Renova (Conservação da Biodiversidade) (MMA, 2020).

A maioria dos dados vem de estudos de impacto ambiental e avaliações hidrológicas (Sunaga & Verani, 1987; Vieira, 1994; Barbosa et al., 1997; Barbosa et al. 2013a and 2013b; Barros et al., 2013; Maia-Barbosa et al., 2014; Reis et al., 2014; Fragoso-Moura et al., 2016). Por exemplo, ao identificar 71 espécies de peixes nativos no Rio Doce, Sales et al. (2018) chamaram a atenção para o fato de que a maioria das pesquisas disponíveis havia focado o trecho médio do rio, principalmente no interior do sistema de lagoas do Parque Estadual do Rio Doce e seu entorno.

Ainda assim, os conhecimentos disponíveis sobre a biodiversidade na bacia do Rio Doce são incompletos, sendo necessárias mais pesquisas (Hatje et al., 2017). Embora alguns estudos considerem que as espécies de peixes de água doce que habitam esse rio estejam amplamente distribuídas nas bacias adjacentes, evidências moleculares recentes revelam incertezas taxonômicas em relação ao grau de similaridade entre espécies de água doce (Hatje et al., 2017). Devido à alta frequência de espécies crípticas¹⁴ no Rio Doce, o impacto do desastre na biodiversidade de água doce ainda é desconhecido e espécies endêmicas não descritas podem ter sido extintas (Fernandes et al., 2016).

Do ponto de vista da conservação da biodiversidade marinha, foram levantadas questões sobre o impacto da pluma no estuário do Rio Doce e na área marinha adjacente, principalmente nas áreas protegidas. Uma avaliação do impacto de curto prazo foi realizada para

entender os efeitos da pluma de rejeitos e sedimentos associados no estuário do Rio Doce (Gomes et al., 2017).¹⁵

Desde 2018, a Rede Rio Doce Mar (RRDM) vem realizando análises semelhantes, que reforçam essas conclusões.¹⁶ A RRDM implementa o Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática (PMBA) na Área Ambiental 1, coordenado pelo Programa 28 do TTAC, de Conservação da Biodiversidade, que é por sua vez analisado pela Câmara Técnica de Conservação da Biodiversidade do CIF (CIF-CTBIO).¹⁷ O Relatório Anual do PMBA de 2018–2019 traz informações sobre as características dos ambientes estudados. De acordo com a Nota Técnica Interna do CIF-CTBIO 15/2020, o Relatório Anual do PMBA apontou mudanças negativas consideráveis em todos os ambientes estudados (água doce, áreas costeiras e marinhas, incluindo os compartimentos sedimentos, água e biota) em relação às condições presentes antes do rompimento da Barragem de Fundão. Após a ruptura da barragem de Fundão, estes estudos indicaram a existência de estresse ambiental nos três compartimentos analisados, alterações em sua composição e prevalência de espécies oportunistas (MMA, 2020). Por exemplo, o relatório descreve mudanças importantes na estrutura das comunidades bentônicas na maioria dos pontos amostrados, fenômeno que ocorreu em maior intensidade na foz do rio e nas estações de amostragem mais próximas da costa, localizadas nas áreas de maior influência da pluma do rio (MMA, 2020). A nota técnica reconhece

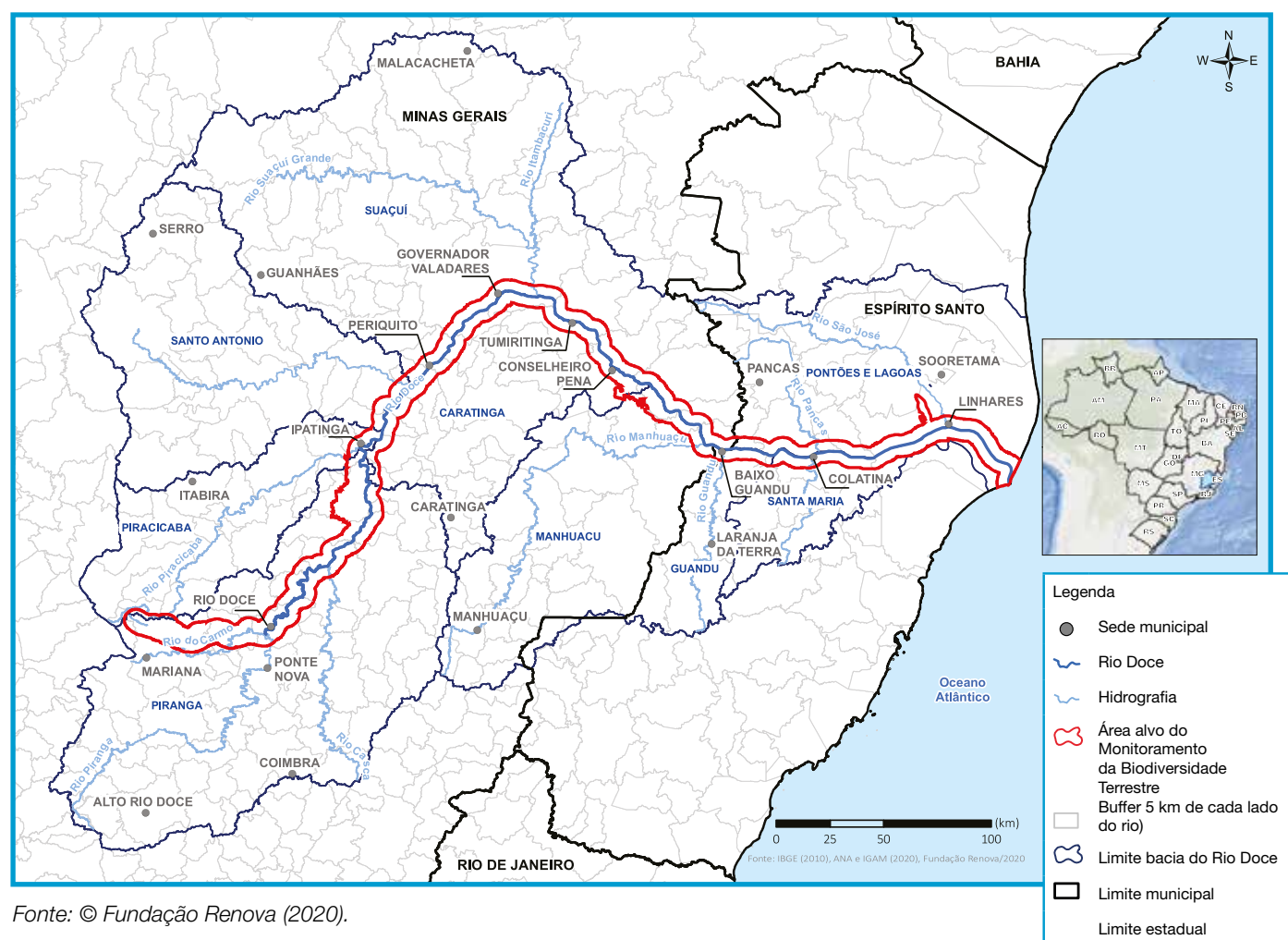
14 Indivíduos que parecem idênticos, mas são geneticamente distintos. Essas conclusões podem ter consequências importantes em diversas áreas, desde as estimativas de biodiversidade e gestão da vida selvagem até nossa compreensão de doenças infecciosas e da própria evolução. De acordo com Markus Pfenninger e Klaus Schwenk, da Goethe-Universität em Frankfurt (Alemanha), que analisaram todos os dados conhecidos sobre espécies animais crípticas, essas espécies aparecem em proporções iguais em todos os ramos principais do reino animal e ocorrem em números iguais em todas as regiões biogeográficas (Mckenna, 2007).

15 Os autores adotaram uma metodologia de BACI (before-and-after control impact, isto é, antes versus depois) limitado. “Dez locais foram distribuídos aleatoriamente pela região estuarina e amostrados 11 dias antes da chegada da pluma de rejeitos no estuário e, posteriormente, amostrados até dois dias após o impacto de curto prazo” (Gomes et al., 2017, p. 29).

16 Essa rede de universidades e pesquisadores foi implementada pelo Acordo de Cooperação Técnico-Científica firmado pela Fundação Espírito Santense de Tecnologia (FEST) e a Fundação Renova. A RRDM foi criada em julho de 2018 para apoiar ações corretivas de interesse público relacionadas aos impactos causados à biodiversidade aquática em ambientes continentais (rios, estuários, lagos) e marinhos (praias, litoral e mar) decorrentes do rompimento da Barragem de Fundão, em Mariana (MG). Para mais informações, visitar: <http://rrdm.net.br/>. Os relatórios semestrais e anuais da RRDM estão disponíveis no site do CIF: <https://www.ibama.gov.br/cif/notas-tecnicas/ct-bio/relatorios-da-rede-rio-doce-mar>.

17 A Área Ambiental 1 para o P28 compreende a área do Rio Doce no estado do Espírito Santo e a região marinha e costeira adjacente impactada pelo rompimento da Barragem de Fundão.

Figura 2 Área onde a Fundação Renova e parceiros realizam o monitoramento da biodiversidade terrestre



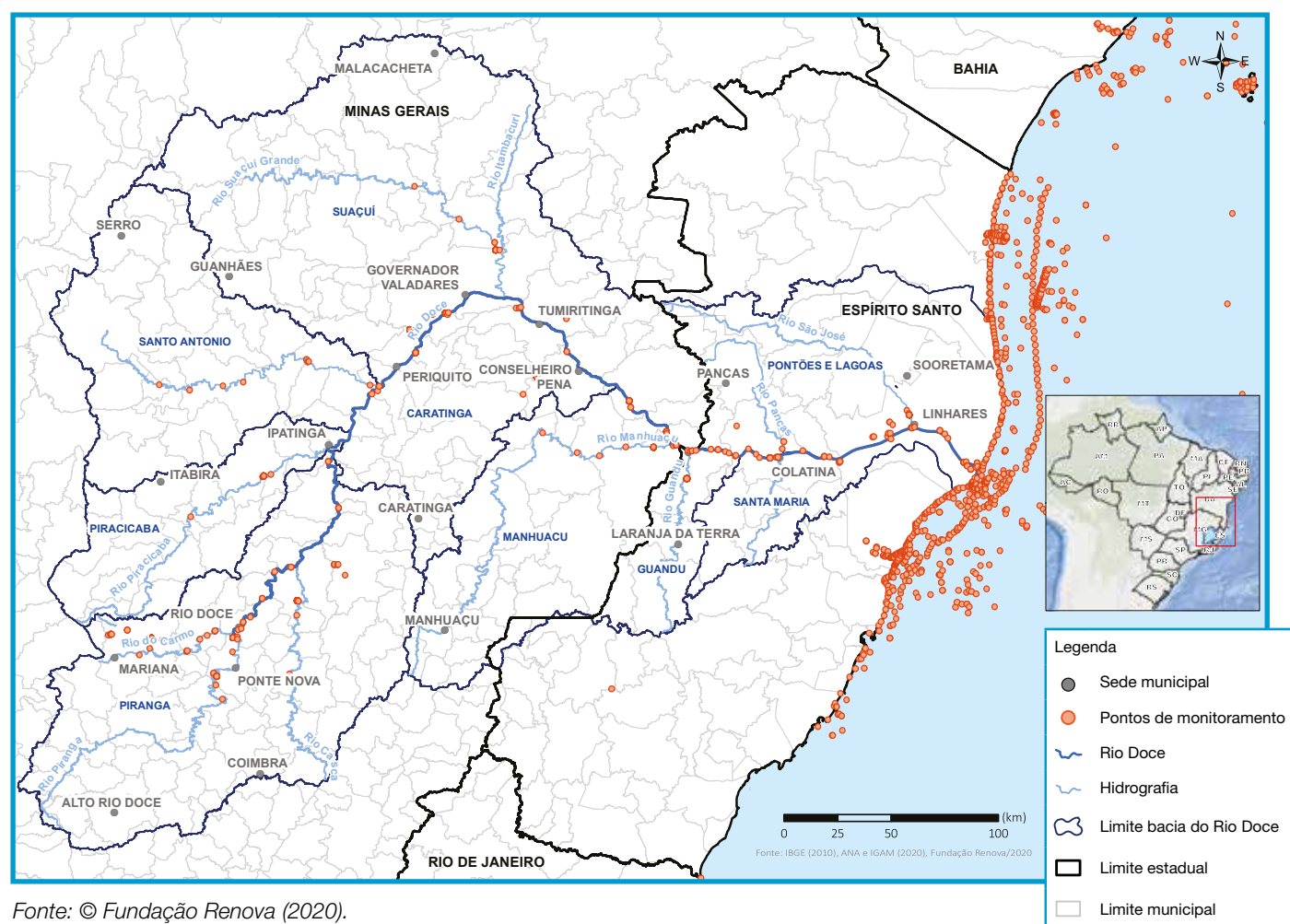
que a falta de dados prévios sobre muitos parâmetros estudados impossibilita análises comparativas entre as situações pré e pós-desastre (atual). Ainda assim, o relatório traz conclusões relevantes sobre cada ambiente estudado e seus compartimentos, revelando impactos importantes e duradouros que precisam ser mitigados e monitorados

Outro estudo teve como foco os padrões temporais e espaciais de dispersão da descarga do rio no oceano (Marta-Almeida et al., 2016). A pluma do rio foi monitorada por dois meses após a chegada dos rejeitos ao oceano. Esse estudo indicou que o “padrão de dispersão observado e modelado da pluma mostrou que a plataforma interna entre a foz do rio e a cidade de Vitória foi a região que esteve em contato mais frequente com as águas ribeirinhas. [...] A Reserva

Biológica (REBIO) de Comboios, na foz do rio, a Área de Proteção Ambiental da Costa das Algas (APA) e o Refúgio de Vida Silvestre de Santa Cruz (RVS), ocupando a plataforma 26 km ao sul, estavam bem no centro da região mais afetada” (Marta-Almeida et al., 2016, p. 362-363). Esses resultados foram confirmados pelo Relatório Anual do PMBA (2018–2019). Outras zonas costeiras protegidas mais ao sul ficaram intocadas, pois a pluma que seguia em direção ao sul desviou da área costeira perto da cidade de Vitória.

Embora o impacto do desastre da Barragem de Fundão sobre a biodiversidade ainda não seja totalmente conhecido, as ações de monitoramento da Fundação Renova devem permitir a continuidade da mitigação dos impactos crônicos e incluir medidas concretas de ampla divulgação das informações sobre a restauração

Figura 3 Pontos onde a Fundação Renova e parceiros realizam o monitoramento da biodiversidade aquática



Fonte: © Fundação Renova (2020).

da biodiversidade (Figuras 2 e 3). Além do Programa 28 do TTAC (*Conservação da Biodiversidade*), os Programas 30 (*Fauna e Flora Terrestre*), 38 (*Monitoramento da Bacia Hidrográfica do Rio Doce*) e 39 (*Unidades de Conservação*) são de extrema importância para as atividades de monitoramento.

A biodiversidade sustenta a estabilidade dos ecossistemas e serve como possível ponto de partida para a gestão integrada da paisagem (UICN-Holanda, s.d.). Além de ser um indicador importante da qualidade da água, um programa de monitoramento abrangente, sistemático e de longo prazo de monitoramento da

biodiversidade agregaria mais informações estratégicas à medição dos resultados da restauração.

Ao mesmo tempo em que se reconhecem os esforços da Fundação Renova nos cinco anos desde o desastre, bem como as dificuldades de avaliar os impactos do rompimento da Barragem de Fundão sobre a biodiversidade terrestre e aquática, é chegado o momento de uma transição estratégica, passando-se da avaliação dos impactos para o monitoramento da eficácia da implementação dos programas focados na biodiversidade.¹⁸

18 Além dos Programas 28, 30 e 38, os programas do TTAC relacionados à restauração, à conservação e ao monitoramento da biodiversidade são: 25 – Área Ambiental 1, nos municípios de Mariana, Barra Longa, Rio Doce e Santa Cruz do Escalvado (MG); 26 – Recuperação de Áreas de Preservação Permanente e Áreas de Recarga Degradadas; 27 – Recuperação de Nascentes; 39 – Consolidação de Unidades de Conservação; e 40 – Promoção do Cadastro Ambiental Rural (CAR) e do Programa de Regularização Ambiental (PRA)

3 Abordagens integradas com o potencial de fortalecer os programas atuais do TTAC

3.1 A abordagem fonte-mar

Fonte-mar é uma abordagem ampla usada para analisar uma bacia hidrográfica em seu nível mais alto de interdependência e influência ecológica (Granit et al., 2017). Um sistema fonte-mar inclui toda a área de terra drenada por determinado sistema fluvial, seus lagos e afluentes (a bacia do rio), aquíferos conectados e reservatórios a jusante, incluindo deltas e estuários, áreas e águas costeiras, o mar adjacente e a plataforma continental, bem como o oceano aberto. Os principais fluxos – de água, sedimentos, poluentes, biota, materiais e serviços ambientais – conectam os subsistemas no *continuum*

fonte-mar em diferentes escalas (Figura 4). Além disso, a abordagem fonte-mar expressa a escala e os elementos necessários para lidar com sistemas complexos de governança e territórios vastos (Granit et al., 2017).¹⁹

Os ecossistemas fluviais no *continuum* fonte-mar vêm sofrendo uma degradação intensa e progressiva ao redor do planeta, principalmente devido à intensificação das atividades humanas e às mudanças climáticas. Isso decorre, em parte, da falta de compreensão de como esses ecossistemas estão ligados por fluxos de água, biota e processos ecossistêmicos (Palmer & Ruhi, 2019). Além disso,

Figura 4 Ilustração do sistema fonte-mar



Fonte: © Painel do Rio Doce (2021).

19 A abordagem fonte-mar usada neste documento foi originalmente proposta pelo Fundo Global para o Meio Ambiente (GEF, *Global Environmental Facility*) para uso em seus projetos de gestão integrada da água de modo a consolidar a análise, o planejamento, a formulação de políticas e a tomada de decisões em todos os setores e escalas (Granit et al., 2017).

os acordos atuais de governança e gestão não são adequados para lidar com esses fluxos e para garantir a sustentabilidade e resiliência do conjunto de sistemas fonte-mar.²⁰

No contexto da bacia do Rio Doce, o rompimento da Barragem de Fundão deixou clara a necessidade de lidar conjuntamente com a terra e o mar ao enfrentar a magnitude e as consequências de longo prazo do desastre.

A aplicação da abordagem fonte-mar é uma alternativa para integrar as questões que afetam a qualidade da bacia hidrográfica e das áreas costeiras e marinhas adjacentes. Diferentemente da abordagem fragmentada dos 42 programas, a abordagem fonte-mar traria uma perspectiva mais integrada, incluindo:

- uma caracterização do sistema fonte-mar, exibindo a interconexão entre os principais fluxos ao longo do *continuum* e destacando questões sistêmicas de fonte-mar e de segmentos específicos;
- uma análise mais abrangente das questões de governança, principalmente a capacidade dos sistemas de governança anteriores e atuais de resolver as questões identificadas;
- uma definição das escalas adequadas para os diversos níveis de análise (a escala pode variar de um ou mais segmentos intimamente conectados até uma bacia hidrográfica inteira e seus recipientes a jusante);
- a facilitação do engajamento das principais partes interessadas de diferentes setores e domínios; e
- a aplicação de uma teoria da mudança para orientar as respostas de governança e gestão em longo prazo e acompanhar os avanços em direção às

metas acordadas e as mudanças positivas nas condições sociais, econômicas e ambientais do *continuum* (Granit et al., 2017).

O **Quadro 1** mostra um exemplo de como a abordagem foi aplicada para fortalecer a cooperação e a coordenação entre as partes interessadas a montante e a jusante na região central do Vietnã para lidar com o desafio dos resíduos plásticos.

3.2 A abordagem de paisagem

As abordagens integradas não são novidade na gestão de paisagens. A necessidade de integração decorre do reconhecimento de que as abordagens setoriais convencionais não produzem resultados satisfatórios ao tratar de questões sociais, ambientais, econômicas e culturais complexas e interligadas dentro de um contexto espacial (Arts et al., 2017; Reed et al., 2016). Ademais, a definição da escala adequada e dos elementos fonte-mar²¹ é de suma importância para a consecução dos resultados pretendidos com esse tipo de abordagem.

Compromissos globais como a Declaração de Brisbane por exemplo, que reconhece a conexão entre os fluxos de recursos hídricos terrestres e seus ambientes a jusante – vêm sendo cada vez mais aplicados (Granit et al., 2017).²² Compromissos semelhantes ressaltam os importantes vínculos entre os sistemas a montante e a jusante a partir de perspectivas diversas, como o Programa de Ação Global (GPA, Global Programme of Action) para a Proteção do Ambiente Marinho de Atividades Baseadas em Terra para o Meio Ambiente da ONU (GPA, 2012)²³ e a definição de abordagem

20 O próximo Relatório Temático do Painel do Rio Doce (nº 4) terá como foco a governança de longo prazo da Bacia Hidrográfica do Rio Doce e discutirá como os esforços de restauração podem ajudar a resolver alguns dos problemas sistêmicos, já presentes na bacia antes do rompimento da Barragem de Fundão.

21 Elementos fonte-mar: fluxos de água, sedimentos, poluentes, biota, materiais e serviços ecossistêmicos.

22 De acordo com a Declaração de Brisbane (2007), os fluxos ambientais descrevem a quantidade, o tempo e a qualidade dos fluxos de água necessários para sustentar os ecossistemas de água doce e estuarinos e os meios de subsistência e bem-estar humanos que dependem desses ecossistemas. A Declaração foi lançada no 10º Simpósio Internacional de Rios e Conferência Internacional de Fluxos Ambientais em Brisbane, na Austrália. Uma versão atualizada está disponível em: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fenvs.2018.00045/full>

23 Os objetivos do GPA são: identificar as fontes e os impactos da poluição marinha provenientes da superfície terrestre; identificar os problemas prioritários e realizar ações; definir os objetivos de gestão referentes aos problemas prioritários; identificar, avaliar e selecionar estratégias e medidas para atingir os objetivos; e avaliar os impactos dessas estratégias. Para mais informações, ver: <https://www.unenvironment.org/explore-topics/oceans-seas/what-we-do/addressing-land-based-pollution/governing-global-programme>.

QUADRO 1

A bacia do Rio Vu Gia-Thu Bon (Vietnã) – Fundamentos da Gestão Fonte-Mar

A bacia do Rio Vu Gia-Thu Bon é uma das nove maiores bacias hidrográficas do Vietnã, com um litoral de mais de 200 km e área de cobertura de 10.350 km².

Devido às suas características geomorfológicas e hidrológicas – bacias hidrográficas curtas e íngremes com fluxo sazonal altamente variável –, a bacia apresenta eventos de escoamento rápido capazes de transportar rapidamente os resíduos sólidos de áreas terrestres para corpos d'água, da bacia hidrográfica superior à inferior. Entre esses poluentes, o vazamento de plásticos foi identificado como um problema crítico: em 2019, a quantidade estimada de resíduos plásticos não coletados nessa bacia era de 13.524 toneladas (SIWI, 2020).

O projeto Foundations for Source-to-Sea Management (Fundamentos da Gestão Fonte-Mar), desenvolvido pelo Stockholm International Water Institute (Instituto Internacional da Água de Estocolmo, SIWI) com o apoio da UICN Viet Nam, aplicou as etapas iniciais da abordagem fonte-mar à bacia hidrográfica:

- i) identificar as fontes terrestres de poluição por plástico e compreender seus impactos da fonte ao mar;
- ii) envolver as partes interessadas locais e globais para obter o controle dos resíduos plásticos; e
- iii) desenvolver governança, gestão e financiamento coerentes em todos os setores e escalas.

A Etapa 1 ajudou a definir e priorizar os investimentos que vão resolver os principais impactos do poluente. A Etapa 2 proporcionou um melhor entendimento dos pontos fortes e fracos das diversas partes ligadas à gestão de resíduos sólidos, um entendimento comum das fontes de poluição e um desejo conjunto de encontrar soluções, destacando-se a importância do setor informal, que é fundamental para a coleta e reciclagem de resíduos. A Etapa 3 possibilitou a identificação dos diversos órgãos de governo responsáveis pelo tema, evidenciando a existência de sobreposições e lacunas de gestão. Ao melhorar a linha de base de governança, a abordagem fonte-mar possibilita o desenvolvimento de estratégias e o preenchimento de lacunas, além de criar um conjunto de instrumentos em todos os níveis para concretizar as mudanças de comportamento que se fazem necessárias.

A fase inicial da aplicação da abordagem fonte-mar na bacia do Rio Vu Gia-Thu Bon reforça a necessidade de cooperação entre os atores a montante e a jusante, além da importância de mais coordenação em todos os setores.

Até o momento, o projeto conseguiu: ampliar o conhecimento dos desafios locais prioritários que restringem o desenvolvimento sustentável; conscientizar sobre os vínculos entre as atividades a montante e a jusante e seus impactos; destacar as oportunidades e os desafios associados à implementação da abordagem fonte-mar em matéria de gestão; e desenvolver a capacidade local de empregar uma abordagem holística dos recursos naturais e do desenvolvimento econômico.

Fonte: Paineis do Rio Doce (2020).

de ecossistema²⁴ adotada pela Convenção sobre Diversidade Biológica (SCBD, 2004).

A abordagem de paisagem é uma das formas de integrar diferentes elementos e vem sendo empregada para analisar a inter-relação entre as dimensões ecológica, econômica e de desenvolvimento, sociocultural e política em uma variedade de campos científicos. As abordagens de paisagem evoluíram a partir de um foco principal no planejamento do uso da terra na Europa Central e Oriental, com base nas perspectivas geoecológicas e da ecologia da paisagem. Na América do Norte, surgiram com uma orientação mais forte para a ecologia da paisagem, conservação e gestão da vida selvagem, enfatizando a conectividade entre áreas protegidas e outras áreas de florestas naturais (Klink et al., 2002; Naveh & Lieberman, 1994). Nessa direção, a abordagem adotou uma perspectiva mais integrada em relação à restauração de terras degradadas e recursos hídricos (Arts et al., 2017).

Globalmente, as preocupações com essas questões motivaram compromissos internacionais como o *Bonn Challenge* e a Declaração de Nova York sobre Florestas²⁵ (Arts et al., 2017; Erbaugh & Agrawal, 2017). Esses compromissos refletem perspectivas integradas ao promover uma “abordagem de paisagem na restauração” que tem por objetivo restaurar as paisagens degradadas por meio do uso equitativo e sustentável da terra de forma a intensificar a mitigação e adaptação às mudanças climáticas. O emprego de abordagens de paisagem exige uma mudança de ações orientadas por projetos, para atividades mais orientadas por processos (Sayer et al., 2013).

As abordagens de paisagem contemporâneas têm sido associadas principalmente à conservação e ao desenvolvimento da natureza, ao desenvolvimento sustentável, à gestão integrada de recursos naturais, ao planejamento do uso da terra, a sistemas socioecológicos e às mudanças climáticas. Nesse

contexto, a “abordagem de paisagem pode ser definida como uma estrutura usada para integrar as políticas e práticas de diversos usos concorrentes da terra, por meio da implementação de sistemas de gestão adaptativos e integrados, com o envolvimento das partes interessadas” (Reed et al., 2016, p. 2544). Portanto, essa abordagem também pode ajudar a compreender as relações entre as pessoas e o espaço e seu desenvolvimento a partir de uma perspectiva histórica, dando mais respaldo à gestão e governança ambiental. Ela busca minimizar *trade-offs* e maximizar as sinergias por meio de negociações participativas e planejamento para aprimorar o uso e a gestão de determinado território.

O termo “paisagem” pode se referir a diversos aspectos: geomorfologia formas de relevo, componentes biofísicos (por exemplo, espécies, *habitats* e ecossistemas), produção e consumo (por exemplo, agricultura, minas, indústrias e lojas) e locais relevantes (por exemplo, vilas e bairros). Pode ser definida também como um sistema socioecológico composto por um mosaico de ecossistemas naturais e/ou modificados pelo ser humano, com uma configuração particular de topografia, vegetação, uso do solo e assentamentos, todos influenciados pelas atividades e pelos processos ecológicos, históricos, econômicos e culturais da área (Scherr et al., 2013).

Embora todos os aspectos que definem a paisagem sejam relevantes, nem todas as abordagens de paisagem incluem todos estes aspectos. Além disso, as diversas abordagens têm como foco a coordenação entre os setores, o que significa que, em cada caso, haverá um setor atuando como ponto focal, normalmente dentro de uma unidade espacial definida, embora não abarque, necessariamente, todas as ligações mais amplas do sistema (Arts et al., 2017). Da mesma forma, devido à natureza dinâmica das paisagens, esta abordagem não segue o tradicional ciclo de projeto unidirecional; em vez disso, requer um

24 “Muitos profissionais da área usam os termos ‘abordagem de paisagem’ e ‘abordagem de ecossistema’ da mesma forma para descrever de maneira ampla qualquer tentativa espacialmente explícita de abordar, ao mesmo tempo, os objetivos de conservação e desenvolvimento” (Sayer et al., 2013, p. 8).

25 Para mais informações, ver: <https://forestdeclaration.org/>

processo iterativo de negociação, teste e adaptação (Sayer et al., 2013, 2014).

Uma abordagem de paisagem pode ser descrita como "uma estratégia integrada multifacetada que visa reunir várias partes interessadas de vários setores para fornecer soluções em várias escalas e para enfrentar desafios ambientais, econômicos, sociais e políticos cada vez mais complexos e generalizados" (Reed et al., 2016, p. 2551). Da mesma forma, devido à natureza dinâmica das paisagens, a abordagem não segue a abordagem do ciclo de projeto unidirecional tradicional, mas requer um processo iterativo de negociação, teste e adaptação (Sayer et al., 2013 e 2014).

No Brasil, a importância de uma abordagem de paisagem nos esforços de restauração está clara no Plano Nacional de Recursos Hídricos (PNRH). Um dos aspectos mais importantes dessa política é a adoção da bacia hidrográfica como unidade de planejamento e gestão territorial, visto que o PNRH menciona a indispensabilidade de estudos sistêmicos que vinculem a gestão da água à gestão ambiental, além do desenvolvimento e da implementação de um plano integrado de recursos hídricos para cada bacia hidrográfica. Da mesma forma, o PNRH deve induzir e/ou restringir o uso do solo, levando à implementação de planos sustentáveis de desenvolvimento econômico em seus territórios. Portanto, a gestão da água e das bacias hidrográficas requer a consideração de diversos processos naturais e sociais interligados, adotando uma abordagem holística e sistêmica e visando garantir que o uso do solo na bacia seja compatível com a disponibilidade de água em volume suficiente, a fim de assegurar a sustentabilidade do desenvolvimento econômico e social.

3.3 A aplicação de abordagens de paisagem nos esforços de restauração do Rio Doce

À frente dos esforços de restauração do Rio Doce, a Fundação Renova adotou uma análise da paisagem com foco nos recursos terrestres, desenhada e aplicada por meio de acordos, parcerias e contratação

de estudos e instrumentos. O **Quadro 2** sintetiza a iniciativa de análise da paisagem da Renova e o **Quadro 3** resume as atividades da abordagem de paisagem destinadas à restauração de áreas rurais.

Outros exemplos de iniciativas da Renova inspiradas na abordagem de paisagem são aquelas sob coordenação da Equipe de Uso Sustentável do Solo, de aplicação da Metodologia de Avaliação de Oportunidades de Restauração (ROAM) e as experiências iniciais com Pagamento por Serviços Ambientais (PSA), ambas apresentadas no **Quadro 3**. Conduzidas pela Renova em diferentes partes da bacia do Rio Doce, as duas iniciativas visam integrar a conservação ambiental e a melhoria dos meios de subsistência, por meio da adoção de uma estratégia territorial e de trabalho em estreita colaboração com as partes interessadas. Os resultados e as lições aprendidas podem ser replicados em processos de restauração em toda a bacia.

3.4 Outras abordagens integradas

Outras abordagens integradas que podem ser aplicadas aos processos de restauração da bacia do Rio Doce incluem a Restauração de Paisagens Florestais (RPF) e a Gestão Integrada de Zonas Costeiras (GIZC). Essas abordagens reconhecem a conexão entre os fluxos de recursos hídricos terrestres e os ambientes a jusante e abordam a necessidade de recuperar a biodiversidade.

Como processo contínuo de recuperação da funcionalidade ecológica, a RPF aumenta o bem-estar das pessoas que vivem em áreas florestais desmatadas ou degradadas (UICN, s.d.). Os processos da RPF incluem: plantio de árvores, regeneração natural, agrossilvicultura ou melhor manejo da terra para acomodar todo um mosaico de usos da terra, incluindo agricultura, áreas protegidas, plantações manejadas e plantio de florestas nas margens dos rios. Os princípios norteadores da RPF focam as paisagens de maneira integral, a manutenção e melhoria dos ecossistemas naturais dentro das paisagens, o envolvimento das partes interessadas, o apoio à governança participativa, e a adaptação ao contexto local, por meio do uso de

QUADRO 2

Aplicação da análise de paisagem ao Rio Doce*

A análise da Fundação Renova considerou a paisagem como uma interface entre “o tempo, o espaço e as pessoas”, com ênfase nas percepções e representações das pessoas sobre seu ambiente físico e o significado que ele traz para suas vidas, ou seja, seu “sentido de lugar” (Tuan, 1977). Essa análise da paisagem é apresentada como uma forma integrada de compreender a relação entre as pessoas e o espaço e sua formação a partir de uma perspectiva histórica (Figura 5).

A metodologia tem três fases:

- i) pré-inventário da paisagem (coleta e análise de dados secundários dos municípios onde a Renova atua);
- ii) inventário da paisagem (caracterização da paisagem por meio de trabalho de campo e entrevistas); e
- iii) análise da paisagem (análise e integração das informações e descrição dos tipos de paisagem).

Ela foi aplicada inicialmente como teste metodológico no entorno da Lagoa Juparanã, no Espírito Santo, e apresentou 19 tipos de paisagem identificadas pelos próprios moradores. Os tipos variam de um continuum de recursos naturais (por exemplo, águas, áreas inundadas, pontos de pesca etc.) até recursos decorrentes da intervenção humana, como fazendas, áreas urbanas e tanques de peixes. Foram mapeados os usos atuais e passados de cada tipo de paisagem, bem como informações colhidas em entrevistas com usuários. O resultado foi um dossiê de mapas e imagens históricas e atuais que descrevem a paisagem e as percepções dos usuários sobre os conflitos e as interfaces entre os tipos de uso do solo.

Outro teste metodológico foi realizado no município de Mutum, na bacia do Rio Manhuaçu, uma sub-bacia do Rio Doce em Minas Gerais. As informações foram organizadas em mapas, descrições e imagens (fotos e obras de arte) que mostram a evolução da interação das pessoas com o espaço biológico, físico e cultural ao longo do tempo.

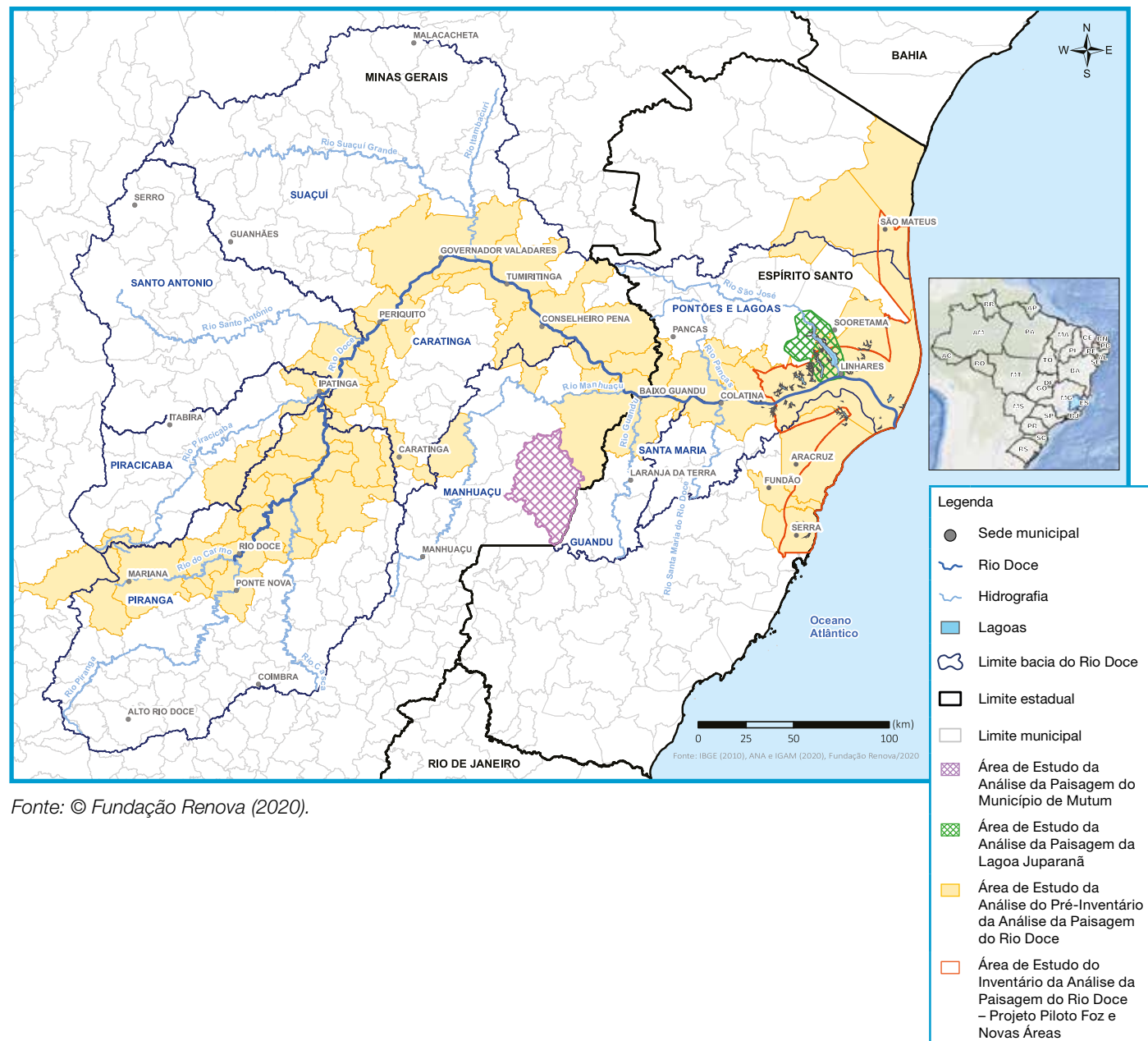
Em janeiro de 2020, foi realizada a fase de inventário de paisagem na área que se estende desde 15 km do leito e litoral do Rio Doce até a sua foz.

A Figura 5 apresenta as áreas que já passaram por pré-inventário, testes metodológicos e inventário de paisagem.

* As informações deste quadro foram fornecidas pelas equipes técnicas da Renova em reuniões em 2020. A expectativa é de que os resultados da análise de paisagem sejam publicados e disponibilizados no site da Renova em 2021.

Fonte: Paineis do Rio Doce (2020).

Figura 5 Áreas onde a análise de paisagem da Fundação Renova foi aplicada



QUADRO 3

Metodologia de Avaliação de Oportunidades de Restauração (ROAM) e Pagamento por Serviços Ambientais (PSA)

A Fundação Renova testou duas estratégias em paralelo para restaurar encostas e margens de rios degradadas e promover a recuperação agrícola. Com base nos resultados, a previsão é de que as lições aprendidas possam ser replicadas nos 40 mil hectares de propriedades localizadas nas áreas de recarga da bacia hidrográfica e nas áreas em torno das 5 mil nascentes que serão recuperadas no âmbito do TTAC.

Uma estratégia promovida pelo World Resources Institute (WRI) com base no ROAM é uma abordagem que visa capacitar as comunidades locais para atender às necessidades práticas de restauração da paisagem (Figura 6). A metodologia avalia o máximo de benefícios econômicos que podem ser alcançados, incluindo o retorno às atividades produtivas, a recarga local de água e o potencial de sequestro global de carbono. A partir de 2018, a metodologia foi aplicada na sub-bacia do Gualaxo do Norte, em 25 unidades agrícolas demonstrativas incluindo atividades de reflorestamento, agrossilvicultura e manejo regenerativo de pastagens, definidas pelos proprietários. A análise econômica das opções propostas mostrou que os agricultores podem conseguir taxas de retorno de até 20% sobre esses investimentos, com variação do Valor Presente Líquido de R\$ 313 a R\$ 912 por hectare por ano, entre outras diversas oportunidades. O potencial total de sequestro de carbono dessas opções de uso da terra seria 281.000 tCO₂eq se toda a sub-bacia fosse restaurada usando a metodologia ROAM (IUCN & WRI, 2014; WRI & Fundação Renova, 2020) (Figura 6).

Da mesma forma, a Fundação Renova e o WWF–Brasil estão desenvolvendo um projeto-piloto de recuperação florestal em grande escala, integrando o desenvolvimento rural sustentável e uma abordagem inclusiva direcionada às comunidades na bacia do Rio Doce.^{a)} O projeto-piloto utiliza modelos de recuperação florestal para aumentar os fluxos hídricos e melhorar a qualidade da água. Segundo as equipes da Renova, ele está sendo implantado em uma área de 810 hectares (APPs e demais áreas de recarga de água) nas regiões de Coimbra (sub-bacia do Rio Piranga), Galileia, Governador Valadares e Periquito (sub-bacia do Rio Suaçuí), Pancas, Colatina e Marilândia (sub-bacia de Pontões e Lagoas do Doce).

Os resultados e as lições desse projeto-piloto devem ser replicados nos 40.000 hectares de APPs a serem recuperados na bacia do Rio Doce, conforme estipula o TTAC. Em fevereiro de 2018, a Renova pediu aos proprietários de terras locais que apresentassem propostas de restauração de APPs e atividades agrícolas que pudessem ser remuneradas por prestarem serviços ambientais.^{b)} Os proprietários poderiam receber Pagamentos por Serviços Ambientais (PSA) de até R\$ 252 por hectare por ano, referentes a áreas em zonas de recarga de aquíferos restauradas no âmbito do programa, e metade desse valor por práticas de conservação do solo aplicadas em áreas sujeitas à erosão.

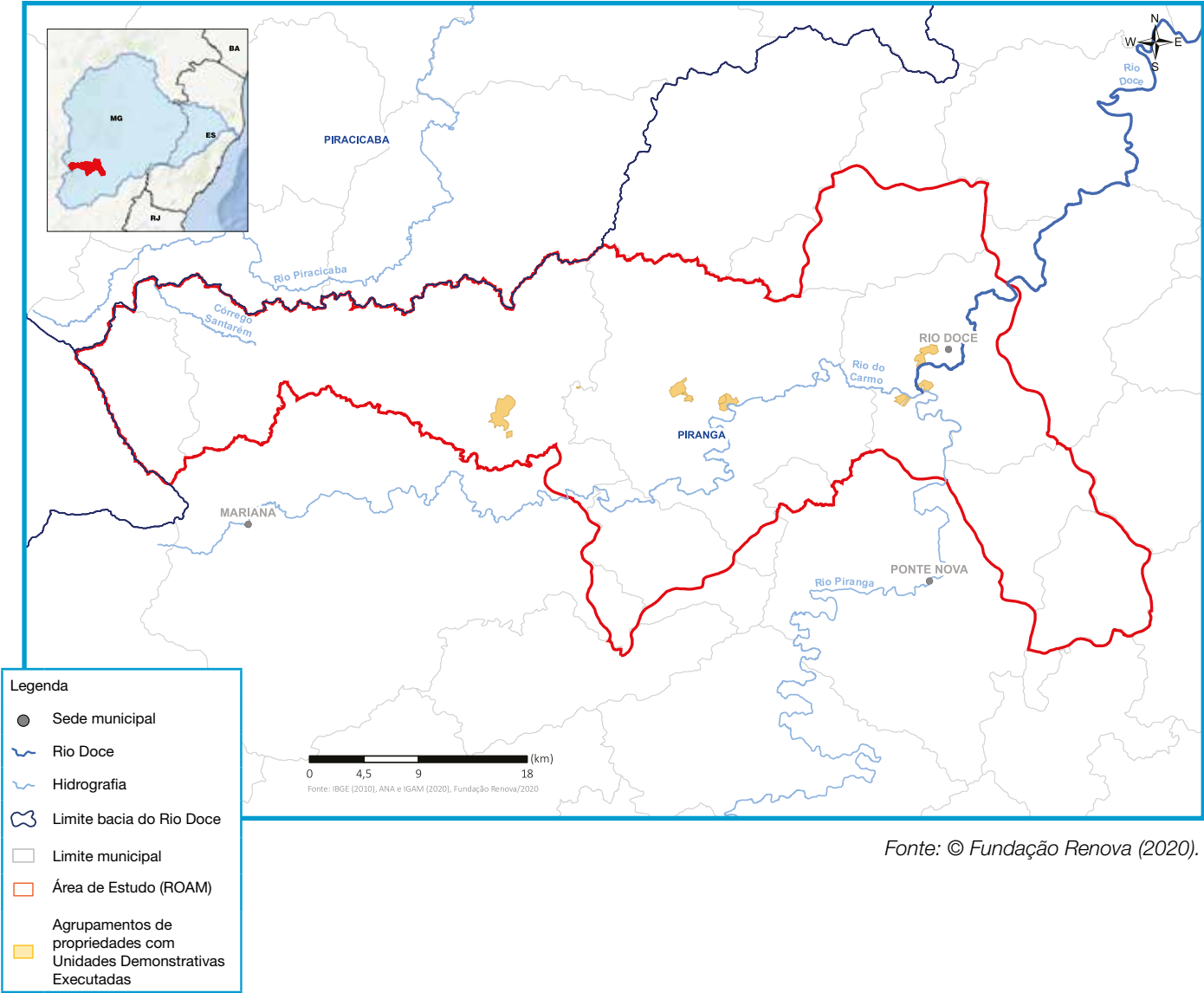
As Figuras 7 e 8 apresentam a localização dos trabalhos da Renova nas áreas de recuperação de nascentes e recarga de água, além das iniciativas de PSA.

^{a)} Para mais informações, ver: <https://www.wwf.org.br/?66162/renova-e-wwf-brasil>

^{b)} O edital do programa de PSA está disponível em: <https://www.fundacaorenova.org/paineis/edital-para-pagamento-por-servicos-ambientais-psa/>

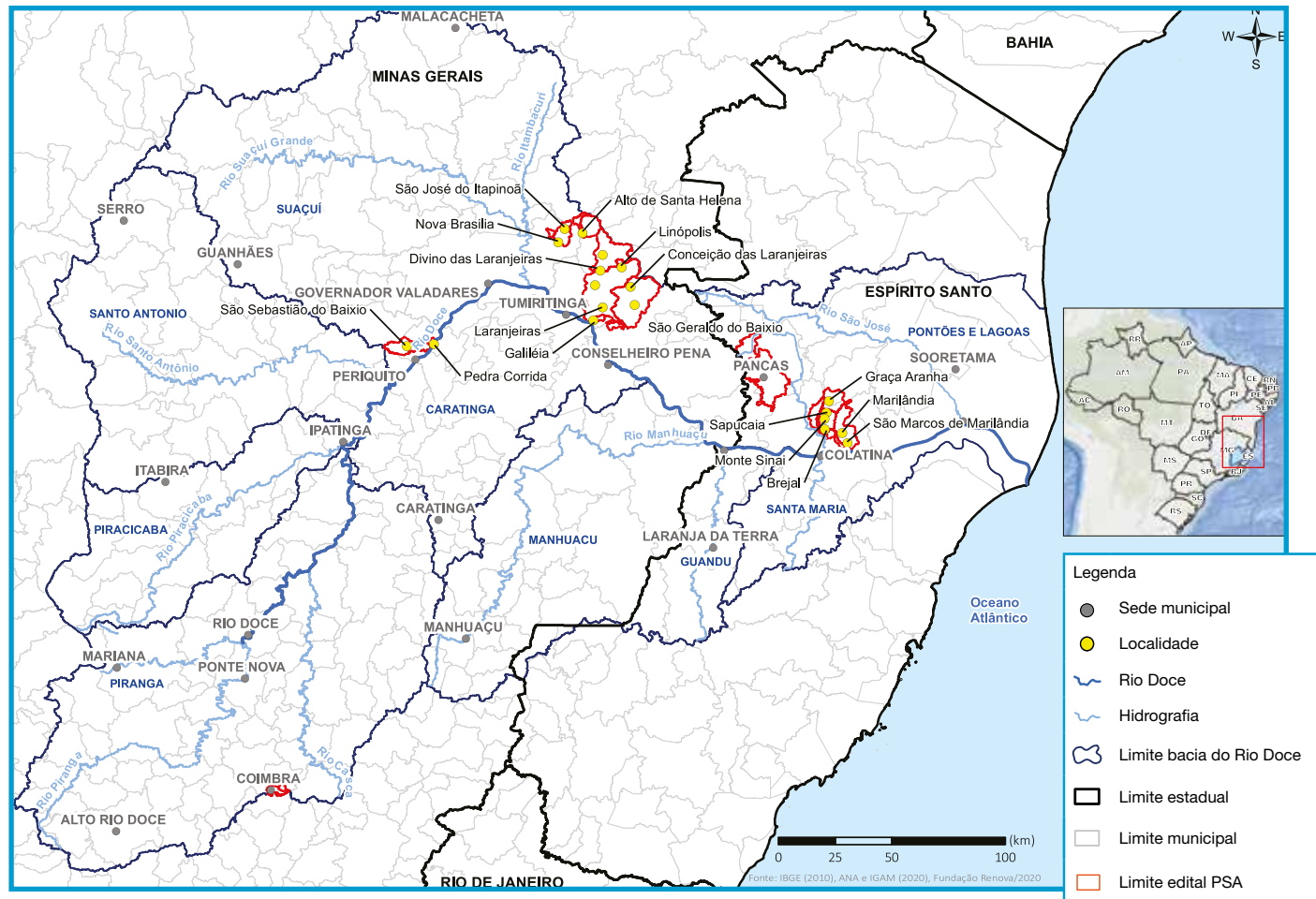
Fonte: Painel do Rio Doce (2020).

Figura 6 Áreas onde a Fundação Renova e parceiros aplicaram a metodologia ROAM



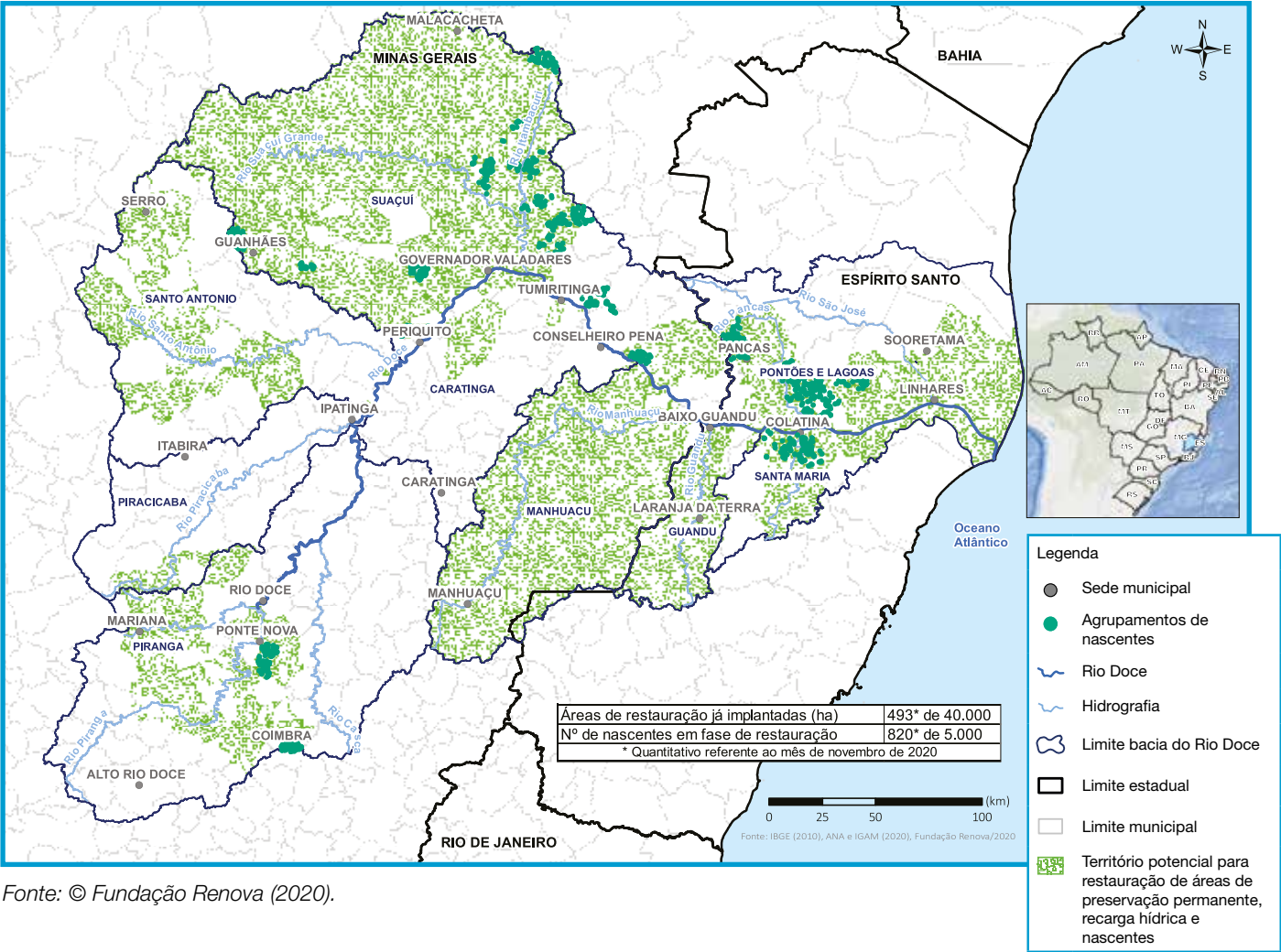
Fonte: © Fundação Renova (2020).

Figura 7 Áreas onde o pagamento por serviços ambientais será adotado pela Fundação Renova e parceiros



Fonte: © Fundação Renova (2020).

Figura 8 Áreas onde a Fundação Renova e parceiros realizam ações de recuperação de nascentes e áreas de recarga de água



Fonte: © Fundação Renova (2020).



Na imagem, pesquisadores monitoram a fauna e a flora no Parque Estadual do Rio Doce (setembro de 2018).

Foto: Gustavo Baxter/NITRO



Monitoramento da biodiversidade aquática Rede Rio Doce Mar – Foz do Rio Piraquê Açú – rea de manguezal afetada pelos rejeitos de mineração decorrentes do rompimento da Barragem de Fundão.

Foto: Saulo Ronconi/Rede Rio Doce Mar (março de 2018)

uma série de abordagens e da restauração da sua multifuncionalidade para auferir benefícios múltiplos.

A GIZC é um processo de governança que define a estrutura legal e institucional necessária para garantir que os planos de desenvolvimento e gestão das zonas costeiras sejam integrados a objetivos ambientais e sociais, e que sejam desenvolvidos com a participação das pessoas que serão afetadas por estes planos (Post & Lundin, 1996). A GIZC deve maximizar os benefícios proporcionados pela zona costeira e minimizar os conflitos e efeitos prejudiciais das atividades, umas sobre as outras, sobre os recursos e o meio ambiente. A abordagem reconhece que os impactos negativos do aumento dos assentamentos humanos e do desenvolvimento industrial são mais agudos na zona costeira, pois esta recebe poluentes de origem terrestre e hídrica. Além de receber fluxos terrestres e hídricos, a zona costeira tem chamado atenção devido aos impactos das mudanças climáticas, que devem causar alterações importantes nessas regiões – por exemplo, aumento do nível do mar e erosão costeira. A GIZC deve ir além das abordagens setoriais tradicionais e adotar uma visão que contemple a gestão da zona costeira como um todo.

No Brasil, a Constituição inclui a zona costeira entre os bens da União e contempla o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro (PNGC) como forma de implementar seus estatutos (Brasil, 1988a, 1988b). Os

objetivos do PNGC são: desenvolver uma estratégia nacional de conservação do litoral brasileiro, incluindo ações para reduzir os riscos associados à mudança climática e os impactos causados por eventos extremos; manter a qualidade ambiental da zona costeira de modo a reduzir os riscos para a saúde; e combater o despejo de resíduos no mar e a poluição de esgoto residencial e industrial. O plano parte do princípio de que só é possível resolver os impactos da poluição marinha por meio da integração da gestão das bacias hidrográficas e zonas costeiras. É importante ressaltar que os estados e municípios devem desenvolver seus próprios planos de manejo costeiro, a exemplo do Espírito Santo.

Assim, no contexto da restauração do Rio Doce, a abordagem de paisagem deve ser adaptada às necessidades e à dinâmica dos processos específicos em questão. A adoção da abordagem fonte-mar, um processo que combina a RPF e a GIZC com a escala da bacia hidrográfica, seria muito útil para a restauração do Rio Doce.

Ambientes de água doce (como rios) são de importância global para a vida selvagem e essenciais para todas as atividades econômicas e o bem-estar humano. As comunidades de plantas e animais associadas aos rios são ricas e variadas graças às muitas oportunidades de abrigo, locais de procriação e alimentação oferecidas pelos *habitats* ribeirinhos (Addy et al., 2016).

4 Definição de uma abordagem combinada para restaurar a qualidade da água e a biodiversidade da bacia do Rio Doce

Os ecossistemas fluviais sustentam um alto nível de biodiversidade e proporcionam serviços ambientais essenciais para o bem-estar humano e para todas as atividades econômicas. Além disso, os rios são as principais fontes de matéria orgânica e sedimentos dos ambientes estuarino e marinho, influenciando a qualidade da água nas regiões costeiras e oceânicas adjacentes.

Assim como o Rio Doce, muitos ecossistemas fluviais, seus deltas e áreas marinhas adjacentes têm sofrido cada vez mais com a degradação causada por fatores como esgoto ²⁶ e descargas de resíduos sólidos, desvio ou captação de água, desmatamento, assoreamento e mudança climática. O objetivo dos esforços de restauração deve ser o restabelecimento das características físicas, químicas e ecológicas do rio, todas contribuindo para o bem-estar humano.

Entre os aspectos físicos, também se deve dar atenção, por exemplo, à variação da vazão (latitudinal e longitudinal), ao movimento dos sedimentos e ao tamanho e ao porte e formato do rio. Além disso, “embora a conectividade longitudinal fonte-mar seja uma característica definidora dos rios, eles têm muitas outras conexões hidrológicas e biológicas próprias, como conexões hidrológicas laterais com várzeas e *habitats* costeiros. Mais especificamente, a importância das conexões rio-várzea é amplamente reconhecida para a sustentação de funções naturais, como a oferta de nutrientes a partir do ambiente terrestre, essencial para diversas espécies ribeirinhas” (Addy et al., 2016, p. 16). Igualmente importantes são as características químicas e ecológicas, que incluem a qualidade da água, a riqueza da biodiversidade e a presença de espécies invasoras (Addy et al., 2016).

Utilizando-se de abordagem hidrológica, foram realizados estudos sobre a influência da vazão de rios em processos ecossistêmicos, como a absorção de nutrientes, a transformação de matéria orgânica e o metabolismo do ecossistema (Palmer & Ruhi, 2019). A vazão dos rios é responsável direta e indiretamente pela composição, estrutura e dinâmica das comunidades, do nível local ao regional. Os padrões de vazão ditam a estrutura e o funcionamento dos rios, além da adaptação de uma variedade de espécies aquáticas e ribeirinhas. O regime de vazão também influencia os processos ecossistêmicos no rio e na planície de inundação, incluindo a produção primária e ciclagem de nutrientes, e quando a vazão é alterada, uma combinação de respostas bióticas e abióticas é acionada (Barbosa et al., 2019; Granit et al., 2017; Palmer & Ruhi, 2019). Diferentes regimes de fluxo fluvial – por exemplo, rápido ou extremamente baixo – podem causar mudanças expressivas no ecossistema do rio, aumentando os sedimentos em suspensão, inibindo a alimentação e reprodução dos organismos ou elevando a temperatura da água e as concentrações de poluentes a níveis que impossibilitam a sobrevivência ou reprodução de diversas espécies (Palmer & Ruhi, 2019).

Os estudos também indicam que, embora a maioria das práticas de restauração tenham se concentrado em melhorar a morfologia do canal ou *habitat*, a recuperação da biodiversidade ou de espécies de interesse tem se revelado mais difícil. Os autores dos estudos chamam a atenção para a necessidade de mudar o foco do canal do rio para a bacia hidrográfica de forma a possibilitar a recuperação de alguns ou todos os processos ecossistêmicos. Para que isso seja possível, deve-se dar mais atenção à interação entre os processos de vazão-biota-ecossistema, ao

26 A Organização Mundial da Saúde (OMS) estima que cada R\$ 1 investido em saneamento básico economiza R\$ 4 em gastos com saúde. Ainda de acordo com a OMS, 15.000 pessoas morrem anualmente e 350.000 são hospitalizadas no Brasil devido a doenças ligadas à falta de saneamento básico adequado (Ordem dos Advogados do Brasil, 2020).

uso atual da terra e às principais atividades humanas na bacia hidrográfica.

Além da vazão dos rios, outra influência importante na qualidade da água doce e na biodiversidade é a presença de florestas ou vegetação natural ao longo do canal do rio (corredor de mata ciliar) e, mais amplamente, na bacia. Quando bem conservado, o corredor de mata ciliar atua como uma área protegida em paisagens manejadas e promove um efeito positivo nas condições do rio, aumentando a resistência e a resiliência da bacia hidrográfica nas estações de chuva e seca, respectivamente (Pires et al., 2017).²⁷ Os corredores de mata ciliar proporcionam abrigo e recursos importantes para as diferentes espécies que dependem direta e indiretamente do rio. Eles também influenciam a vazão e a temperatura, a estrutura do *habitat*, o crescimento dos peixes e a biodiversidade, servindo como alicerces para a vida selvagem em áreas fragmentadas ou degradadas (Addy et al., 2016; Pires et al., 2017).

As regiões ciliares florestadas influenciam a qualidade da água, que, por sua vez, influencia a biodiversidade. Em relação à bacia do Rio Doce, Pires et al. (2017) concluem que a melhoria da qualidade da água foi três vezes mais rápida nos locais onde a cobertura das matas ciliares atendia ao previsto na Lei de Proteção da Vegetação Nativa (LPVN).²⁸ Também observaram que a qualidade da água é um dos melhores indicadores da restauração florestal, pois revela os efeitos de múltiplos processos integrados.²⁹

Em outro estudo, uma revisão sistemática da influência das florestas tropicais sobre os peixes de água doce concluiu que a diversidade de peixes é maior onde há mais cobertura florestal, devido à existência de uma

maior gama de recursos que, consequentemente, sustentam mais espécies (Lo et al., 2020). Em contraste, rios com margens não florestadas ou desmatadas não têm materiais de substrato grandes e apresentam níveis mais altos de sedimentação e assoreamento. Esses fatores contribuem para homogeneizar a condição dos habitats ribeirinhos e, com isso, também as comunidades de água doce (Zeni & Cassati, 2014). Enquanto a existência de florestas nas zonas ribeirinhas contribui para a redução do assoreamento e da sedimentação, preservando a complexidade e disponibilidade de micro-habitats para a biota do rio, os rios em áreas de pastagem estão associados à simplificação da cadeia trófica (Lo et al., 2020).

Embora os esforços da Fundação Renova sejam norteados pelos programas estipulados no TTAC e se concentrem nos impactos diretos do desastre e na área afetada, é possível aplicar uma abordagem de paisagem para melhor integrar os programas e incentivar os governos federal e estaduais e outras partes interessadas a priorizar a restauração dos principais corredores de mata ciliar do canal do Rio Doce, incluindo o estuário, e posteriormente ampliar a cobertura da restauração para outros corredores de mata ciliar em toda a bacia hidrográfica. Alguns programas do TTAC, como o **25** (*Revegetação, Enrocamento e Outros Métodos*), o **26** (*Recuperação de Áreas de Preservação Permanente*), o **27** (*Recuperação de Nascentes*) e o **40** (*Cadastro Ambiental Rural e Programa de Regularização Ambiental*), poderiam compartilhar seus resultados e proporcionar informações e metodologias importantes para ajudar as partes interessadas a implementar esse passo crucial da restauração da bacia do Rio Doce.

27 Para Pires et al. (2017), a resistência da bacia hidrográfica é definida como a capacidade de manter a qualidade da água mais próxima de seu comportamento temporal médio; já a resiliência da bacia hidrográfica é a capacidade do sistema de retornar a uma condição natural hipotética de qualidade da água.

28 A Lei de Proteção da Vegetação Nativa (Lei 12.561/12) exige que as matas ciliares dos cursos d'água e das nascentes em propriedades rurais sejam integralmente protegidas como APPs.

29 Para medir a qualidade da água, foi utilizado o índice de qualidade das águas (IQA) sugerido pela Fundação Nacional de Saneamento dos Estados Unidos (Pires et al., 2017). O IQA integra nove variáveis limnológicas (por exemplo, coliformes termotolerantes, oxigênio dissolvido, turbidez, nitratos, fósforo total, sólidos suspensos totais, demanda biológica de oxigênio, variação de temperatura e pH) para calcular um único valor representativo da qualidade da água (Pires et al., 2017).

Devido ao estado degradado da bacia do Rio Doce e à má qualidade da água, o cumprimento da LPVN com a restauração dos corredores de mata ciliar não será, por si só, suficiente para garantir melhorias substanciais na qualidade da água e no estado da biodiversidade. A Fundação Renova está implantando o Programa **31** (Coleta e Tratamento de Esgoto) para prestar assistência técnica e ajudar os municípios afetados a desenvolverem e implementarem projetos de infraestrutura e tratamento de esgoto e resíduos sólidos. O programa atua junto de bancos públicos de fomento, que verificam os processos licitatórios e os projetos dos governos, e desembolsam os pagamentos à medida que as fases dos projetos são concluídas.

³⁰ Até dezembro de 2020, a Renova já havia investido R\$ 19 milhões dos R\$ 600 milhões alocados para ações de esgotamento sanitário e resíduos sólidos, em 18 localidades nos estados de Minas Gerais e Espírito Santo. Esse valor faz parte das medidas compensatórias acordadas para essas atividades no processo de restauração do Rio Doce.³¹

Apesar dos avanços do Programa **31**, essas medidas poderiam ser reforçadas por um programa complementar de tratamento de esgoto para melhorar a qualidade da água em longo prazo. O Congresso Nacional aprovou recentemente o Novo Marco Regulatório do Saneamento Básico (Lei 14.026/2020), que traz inovações para o tratamento de esgoto no Brasil, incluindo: o objetivo de universalizar o serviço; a regionalização do serviço de tratamento de esgoto; e licitações entre prestadores de serviços públicos ou privados.³² A lei prevê o aumento do volume de recursos a serem investidos no tratamento de

esgoto no país, com o potencial de oferecer novas oportunidades para os municípios da bacia do Rio Doce aumentarem seus investimentos e atrair recursos financeiros da iniciativa privada (junto de recursos do setor público) para desenvolver sua rede de esgoto e sistemas de tratamento de esgoto. O Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Doce é uma das principais partes interessadas na ajuda e coordenação dos esforços para melhorar o tratamento de esgoto na bacia.

Dois dos programas do TTAC têm como foco toda a extensão do canal do Rio Doce, seu delta e áreas marinhas adjacentes: o **28** (Conservação da Biodiversidade) e o **38** (Monitoramento da Bacia Hidrográfica do Rio Doce).³³ Esses programas podem servir como ponto focal setorial de uma abordagem fonte-mar (Granit et al., 2017) que, como primeira etapa, pode envolver a implementação de uma abordagem integrada de paisagem. Isso implicaria considerar as vazões e a morfologia do Rio Doce, além das características de sua biodiversidade e mata ciliar. Se os programas do TTAC fossem mais integrados, intensificariam sua contribuição para a melhoria da qualidade da água do rio e a integridade de seu habitat e ecossistema – um passo crítico do processo de restauração da bacia hidrográfica do Rio Doce e dos meios de subsistência que dependem dela.

³⁰ Para mais informações, ver: <https://www.fundacaorenova.org/en/program/collection-and-sewage-treatment/>.

³¹ Para mais informações e últimas notícias, consulte: <https://www.fundacaorenova.org/dadosdareparacao/reconstrucao-e-infraestrutura/#saneamento>

³² De acordo com a lei, o saneamento básico compreende os serviços públicos, as infraestruturas e as instalações operacionais usados no abastecimento de água potável, no tratamento de esgoto, no saneamento urbano e manejo de resíduos sólidos e na drenagem e gestão de águas pluviais urbanas.

³³ O objetivo do Programa **28** (*Conservação da Biodiversidade*) é identificar e medir os impactos agudos e crônicos sobre a biota e os ambientes do Rio Doce, incluindo sua foz e áreas costeiras, estuarinas e marinhas, e implementar medidas para recuperar e conservar essa biota. O Programa **38** (*Investigação e Monitoramento da Bacia do Rio Doce*) tem como objetivo geral desenvolver e implementar um programa de pesquisa e monitoramento na bacia hidrográfica do Rio Doce e nas áreas estuarinas, costeiras e marinhas impactadas, gerando informações sobre a qualidade da água e sedimentos para subsidiar as decisões tomadas por outros programas do TTAC e órgãos ambientais e de recursos hídricos. Para mais informações sobre os programas, visite: <https://www.fundacaorenova.org/conheca-os-programas/>.

5 Conclusões

A abordagem fonte-mar expressa a escala e os elementos necessários para lidar com sistemas de governança complexos e territórios vastos, como é o caso da bacia do Rio Doce. Ela chama atenção para a necessidade de integrar ações dentro da bacia hidrográfica, enfatizando não apenas o escoamento essencial da água, mas também um fluxo de ações começando na cabeceira, passando pela foz do rio e expandindo-se pelas águas costeiras adjacentes. Essas ações devem incluir não apenas os processos que ocorrem dentro do canal do rio, mas também as características sociais, econômicas, culturais e ambientais de toda a bacia hidrográfica. Nesse sentido, uma abordagem integrada de paisagem pode contribuir para um melhor entendimento da relação entre governança, pessoas e espaço e permitir que as partes interessadas minimizem *trade-offs*.

O Painel do Rio Doce reconhece que a chave para restaurar a paisagem a um estado mais saudável e sustentável do que aquele de antes do desastre, e contribuir para a resiliência dos ecossistemas e dos meios de subsistência locais é a implementação de uma visão combinada, que integre as abordagens da paisagem e a abordagem fonte-mar. Além disso, a adoção de uma abordagem de paisagem na restauração das áreas da bacia hidrográfica do Rio Doce afetadas pelo desastre da Barragem de Fundão pode ajudar a atender às necessidades de planejamento de longo prazo e o envolvimento efetivo das partes afetadas.

O Painel reconhece que algumas ações desenvolvidas pela Fundação Renova são passos importantes para a aplicação da abordagem de paisagem. Os programas sob a égide da iniciativa 'Uso Sustentável do Solo e análise da paisagem', por exemplo, demonstram ligações claras entre os aspectos socioeconômicos e ambientais que têm o potencial de causar um impacto positivo nas condições ambientais e de

subsistência, em combinação com os efeitos positivos na qualidade da água e biodiversidade dentro da bacia hidrográfica. Essas iniciativas foram iniciadas por meio de um processo de consulta em nível de sub-bacia hidrográfica, envolvendo os governos municipais, a Renova e as comunidades afetadas para melhor responder às preocupações locais.

Para operacionalizar a combinação de abordagem integrada de paisagem e abordagem fonte-mar nos esforços de restauração da bacia do Rio Doce, é essencial definir o enfoque setorial. Uma possibilidade poderia ser a restauração do canal do Rio Doce como um corredor de mata ciliar para melhorar a qualidade da água e promover a conservação da biodiversidade. O monitoramento da qualidade da água e da biodiversidade produz informações vitais sobre o processo de restauração, principalmente sobre a influência que um exerce no outro. Em termos práticos, isso significa que é necessário melhorar a coordenação entre os programas do TTAC para que haja um impacto positivo na bacia do rio e nas áreas costeiras e marinhas adjacentes. Por exemplo, restauração de nascentes e florestas, estações de tratamento de água e esgoto, conservação da biodiversidade terrestre e aquática, monitoramento da biodiversidade e reforço de áreas protegidas e restauração das margens de rios, entre outras áreas programáticas do TTAC, são esforços que só terão maior sinergia se estiverem vinculados e fortalecidos em termos espaciais.

Outros aspectos dessa abordagem integrada que podem ser agregados à restauração da bacia hidrográfica do Rio Doce estão relacionados à melhoria dos meios de subsistência, como sistemas de irrigação, manejo de gado, pesca e piscicultura. O envolvimento dos comitês de bacias e sub-bacias do Rio Doce, além de grupos de atores associados à melhoria dos meios de subsistência, também deve



Projeto Renovando Paisagens – Região de Mariana, MG (25 a 27 de Novembro de 2019)

Foto: Daniel Hunter/WRI Brasil

focar as sinergias e possíveis conflitos que possam surgir, além da necessidade de negociar usos complementares da água.

A transição para a operacionalização de uma abordagem de paisagem requer atenção ao desenho e à implementação do processo, uma definição clara dos objetivos, participação colaborativa, abordagens transdisciplinares e intersetoriais, gerenciamento da capacidade adaptativa e um processo iterativo para lidar com a complexidade inerente ao sistema.

Em vista de seus objetivos e com base em recomendações anteriores, o PAINEL DO RIO DOCE busca contribuir para a recuperação da bacia hidrográfica do Rio Doce a partir de uma perspectiva interdisciplinar e integrativa.³⁴

Recomendações

Visando contribuir para o objetivo de garantir a restauração eficaz da bacia hidrográfica como um todo, o PAINEL DO RIO DOCE faz as seguintes recomendações à Fundação Renova, ao CIF e aos governos federal, estaduais e municipais e seus parceiros:

34 Consulte a Recomendação 6 do Relatório Temático 1, o Relatório Temático 2 e artigos da série Questões em Foco 1, 2, 3, 4 e 5, disponíveis em: <https://www.iucn.org/rio-doce-panel/resources>

Recomendação 1

Adotar a abordagem fonte-mar e uma abordagem integrada de paisagem nos esforços de restauração da bacia do Rio Doce

A Fundação Renova, em parceria com o CIF, os governos estaduais e municipais, o Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Doce e outros parceiros, deveria ampliar suas iniciativas relacionadas ao uso sustentável da terra e análise de paisagem, adotando a abordagem fonte-mar e uma abordagem integrada de paisagem na implementação dos programas do TTAC. Subsidiada pelas referências e reflexões do presente relatório, essa medida poderá ajudar a identificar e priorizar os trechos mais relevantes do Rio Doce e sua foz para receberem suporte técnico e financeiro em prol da restauração da biodiversidade e dos benefícios da qualidade da água (áreas de mata ciliar, manguezais e outros tipos de vegetação), visando criar ou reforçar os corredores biológicos da fonte ao mar.

Recomendação 2

Realizar uma ampla avaliação dos dados do Programa de Monitoramento Quali-Quantitativo Sistemático de Água e Sedimentos da Bacia Hidrográfica do Rio Doce (PMQQS) para priorizar as ações direcionadas à melhoria contínua das características ambientais do Rio Doce

O CIF poderia revisar o PMQQS e incluir em seu escopo uma avaliação abrangente das mudanças na qualidade da água ao longo da bacia hidrográfica para que, orientar a atuação da Fundação Renova, no sentido de garantir a restauração das características físico-químicas e ecológicas do Rio Doce. Embora o PMQQS tenha possibilitado o monitoramento regular desses parâmetros, é necessária uma perspectiva integrada para identificar as melhores formas de usar esses dados para informar as ações de restauração.

Recomendação 3

Usar o programa de monitoramento da água existente para aumentar a capacidade da região de monitorar os impactos potenciais na qualidade da água e biota associados ao surgimento de compostos poluentes sinérgicos

Com base na estrutura desenvolvida e na experiência acumulada na implementação do PMQQS, o CIF, por meio de suas câmaras técnicas, e a Fundação Renova podem apoiar os órgãos federais e estaduais de governo na implementação de um programa específico de monitoramento em nível de bacia hidrográfica para examinar a potencial formação de efeitos sinérgicos a partir da combinação de poluentes e seus impactos na qualidade da água e na biota do Rio Doce. Considerando-se que as metodologias de avaliação de efeitos sinérgicos não são muito bem difundidas no Brasil, a implementação desta recomendação pode servir como referência para o monitoramento das condições hídricas em outros rios. Representaria um grande avanço para os programas de monitoramento da qualidade da água e um legado para o Rio Doce e o Brasil como um todo.

Recomendação 4

Fortalecer o apoio técnico aos esforços dos municípios para implementar um programa abrangente inovador e customizado de saneamento básico na bacia hidrográfica

Cientes dos avanços em matéria de saneamento básico capitaneados pelos investimentos do Programa 31 do TTAC (Coleta e Tratamento de Esgoto), o CIF, a Fundação Renova e o Comitê de Bacia Hidrográfica poderiam fortalecer o apoio técnico os governos municipais para que estes intensifiquem os esforços de implementação de um programa abrangente, inovador e modular de saneamento básico para melhorar a qualidade da água e a saúde ambiental da bacia do Rio Doce. Esses esforços devem levar em consideração as soluções baseadas na natureza e as especificidades das áreas urbanas e rurais. O programa pode ser facilitado com o investimento de bancos estaduais de desenvolvimento e o envolvimento de investidores do setor privado, agora motivados pela promulgação do Novo Marco Regulatório do Saneamento Básico.

Recomendação 5

Expandir o atual plano de monitoramento da biodiversidade visando desenvolver um banco de dados público para informar e priorizar as atividades de restauração

A Fundação Renova, em conjunto com o CIF e sua Câmara Técnica de Biodiversidade, deveriam expandir o monitoramento robusto e de longa duração da biodiversidade terrestre, de água doce e marinha, refletindo os impactos do desastre e a eficácia dos esforços de restauração. O monitoramento deveria incluir as áreas protegidas marinhas, costeiras e terrestres que constituem o repositório natural de biodiversidade da bacia do Rio Doce. Além do plano, deveria ser criado um banco de dados público para armazenar, analisar, sintetizar e compartilhar os resultados do monitoramento. Finalmente, esta recomendação é uma oportunidade de envolver membros das comunidades de toda a bacia hidrográfica no plano de monitoramento, adotando atividades práticas dentro da abordagem de ciência cidadã.

Referências

- Addy, S., Cooksley, S., Dodd, N., Waylen, K., Stockan, J., Byg, A., & Holstead, K. (2016). *River restoration and biodiversity: Nature-based solutions for restoring rivers in the UK and Republic of Ireland*. IUCN. https://www.crew.ac.uk/sites/www.crew.ac.uk/files/sites/default/files/publication/River%20Restoration%20and%20biodiversity_web.pdf
- Agência Nacional de Águas (ANA) (2013). *Plano integrado de recursos hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Doce: Relatório executivo*. <https://arquivos.ana.gov.br/institucional/sge/CEDOC/Catalogo/2013/planoIntegrado-DeRecursosHidricosDaBaciaHidrograficaDoRioDoce.pdf>
- _____. (2015). *Encarte especial sobre a qualidade das águas do Rio Doce após 2 anos do rompimento de Barragem do Fundão*. <https://www.ana.gov.br/sala-de-situacao-migrada/rio-doce/documentos-relacionados/encarte-qualidade-da-gua-do-rio-doce-dois-anos-apos-rompimento-de-barragem-de-fundao-1.pdf>
- Arts, B., Buizer, M., Horlings, L., Ingram, V., van Oosten, C., & Opdam, P. (2017). Landscape approaches: A state-of-the-art review. *Annual Review of Environmental Resources*, 42, 439–463. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-102016-060932>
- Barbosa, L.G., Barbosa, F.A.R., & Bicudo, C.E.M. (2013a). Adaptive strategies of desmids in two tropical monomictic lakes in southeast Brazil: do morphometric differences promote life strategies selection? *Hydrobiologia*, 710, 157–171. <https://doi.org/10.1007/s10750-013-1458-0>
- Barbosa, L.G., Barbosa, F.A.R., Araujo, G.J.M., & Bicudo, C.E.M. (2013b). The dominance of desmids in tropical monomictic lakes (SE Brazil). *Limnética*, 32(1), 71–86. <https://doi.org/10.23818/limn.32.08>
- Brasil (1988a). *Constituição da República Federativa do Brasil*. http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm
- _____. (1988b). Lei n. 7.661, de 16 de maio de 1988. http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l7661.htm
- Comitê Interfederativo (CIF). (2019). *Nota técnica n. 46 do Grupo Técnico de Acompanhamento do Programa de Monitoramento Quali – Quantitativo Sistemático de Água e Sedimentos do Rio Doce, Zona Costeira e Estuários, instituído pelo Comitê Interfederativo – Termo de Transação e Ajustamento de Conduta*. <https://gis.fundacaorenova.org/portal/sharing/rest/content/items/efbce5674fbb44f894db9849067d0b32/data>
- Consórcio Ecoplan/Lume (2010). *Plano integrado de recursos hídricos da Bacia do Rio Doce (vol. 1, Relatório final)*. http://www.cbhdoce.org.br/wp-content/uploads/2014/10/PIRH_Doce_Volume_I.pdf
- Cordeiro, M. C., Garcia, G. D., Rocha, A. M., Tschoeke, D. A., Campeão, M. E., Appolinario, L. R., Soares, A. C., Leomil, L., Froes, A., Bahiense, L. et al. (2019). Insights on the freshwater microbiomes metabolic changes associated with the world's largest mining disaster. *Science of the Total Environment*, 654, 1209–1217. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.11.112>
- de Carvalho, G.O., Pinheiro, A.A., Sousa, D.M., Padilha, J.A., Souza, J.S., Galvão, P.M., Paiva, T.C., Freire, A.S., Santelli, R.E., Malm, O., & Machado, J.P.T. (2018). Metals and arsenic in water supply for riverine communities affected by the largest environmental disaster in Brazil: The dam collapse on Doce River. *Orbital: The Electronic Journal of Chemistry*, 10 (4), 299–307. <http://dx.doi.org/10.17807/orbital.v10i4.1081>
- Erbaugh, J., Arawal, A. (2017). Clarifying the landscape approach: A Letter to the Editor on “Integrated landscape approaches to managing social and environmental issues in the tropics”. *Global Change Biology*, 23(11): 4453–4454. <https://doi.org/10.1111/gcb.13788>
- Espindola, H.S., Moraes, J.C. P.P., Aquino, B.P., Esteves, A.C.G., & Marins, R.F. (2011, julho). Nada se perde, tudo se consome: mercantilização dos recursos florestais e ocupação de terras em Minas Gerais. *Anais do XXVI Simpósio Nacional de História da Associação Nacional dos Professores Universitários de História (ANPUH)*, São Paulo. www.snh2011.anpuh.org/resources/anais/14/1300218568_ARQUIVO_NadasePerdeTudoseConsome.pdf
- Espindola, H.S., Nodari, E.S., & dos Santos, M.A. (2019). Rio Doce: riscos e incertezas a partir do desastre de Mariana (MG). *Revista Brasileira de História*, 39 (81). Dossiê: Rios e Sociedades. <https://doi.org/10.1590/1806-93472019v39n81-07>
- Fernandes, G.W., Goulart, F.F., Ranieri, B.D., Coelho, M.S., Dales, K., Boesche, N., Bustamante, M., Carvalho, F. A., Carvalho, D. C., Dirzo, R., et al. (2016). Deep into the mud: ecological and socio-economic impacts of the dam breach in Mariana, Brazil. *Natureza & Conservação*, 14(2), 35–45. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ncon.2016.10.003>

- Fragoso-Moura, E. N., Oporto, L. T., Maia-Barbosa, P.M., Barbosa, F. A. R. (2016). Loss of biodiversity in a conservation unit of the Brazilian Atlantic Forest: the effect of introducing non-native fish species. *Brazilian Journal of Biology*, 76(1), 18–27. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.07914>
- Fundação Renova (2018). *Programa de Monitoramento Quali-Quantitativo Sistemático de Água e Sedimentos (PMQQS), Relatório Parcial*. <https://www.fundacaorenova.org/wp-content/uploads/2018/07/relatorio-parcial-pmqqs-final.pdf>
- Fundação Renova & World Resources Institute (WRI) Brasil (2020). *Relatório de oportunidades de restauração na bacia hidrográfica do rio Gualaxo do Norte, Minas Gerais, Brasil: Resultados da aplicação da ROAM*. Belo Horizonte (MG). <https://www.fundacaorenova.org/wp-content/uploads/2020/06/relatoriooambaciagualaxo.pdf>
- Gabriel, F. A., Silva, A. G., Queiroz, H. M., Ferreira, T. O., Hauser-Davis, R. A., Bernardino, A. F. (2020). Ecological risks of metal and metalloid contamination in the Rio Doce Estuary. *Integrated Environmental Assessment and Management*, 16(5): 1–6. <https://doi.org/10.1002/ieam.4250>
- Gati, G., Pop, C., Brudaşcă, F., Gurzău, A.E., Spînu, M. (2016). The ecological risk of heavy metals in sediment from the Danube Delta. *Ecotoxicology*, 25(4), 688–696. <https://doi.org/10.1007/s10646-016-1627-9>
- Gomes, L.E.O., Correa, L.B., Sá, F., Neto, R.R. & Bernardino, A. F. (2017). The impacts of the Samarco mine tailing spill on the Rio Doce estuary, Eastern Brazil. *Marine Pollution Bulletin*, 120(1-2), 28–36. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.04.056>
- Granit, J., Liss Lymer, B., Olsen, S., Tengberg, A., Nömmann, S., & Clausen, T. J. (2017). A conceptual framework for governing and managing key flows in a source-to-sea continuum. *Water Policy* 19: 673–691 <https://doi.org/10.2166/wp.2017.126>
- Hatje, V., Pedreira, R. M. A., de Rezende, C. E., Schettini, C. A. F., de Souza, G. C., Marin, D. C., & Hackspacher, P. C. (2017). The environmental impacts of one of the largest tailing dam failures worldwide. *Scientific Reports*, 7, 10706. <http://www.nature.com/articles/s41598-017-11143-x>
- International Council on Mining and Metals (ICMM) (2020). *Global Industry Standard on Tailings Management*. https://globaltailingsreview.org/wp-content/uploads/2020/08/global-industry-standard_EN.pdf
- International Union for Conservation of Nature (IUCN) (n.d.). Forest landscape restoration. *IUCN Forests*. <https://www.iucn.org/theme/forests/our-work/forest-landscape-restoration>
- International Union for Conservation of Nature (IUCN) – Holanda (n.d.). Landscape approach. <https://www.iucn.nl/en/solutions/landscape-approach>
- International Union for Conservation of Nature (IUCN) & World Resources Institute (WRI) (2014). *A guide to the restoration opportunities assessment methodology (ROAM): Assessing forest landscape restoration opportunities at the national or sub-national level*. IUCN. <https://portals.iucn.org/library/node/44852>
- Janda, J. M., & Abbott, S. L. (2007). 16S rRNA Gene sequencing for bacterial identification in the diagnostic laboratory: Pluses, perils, and pitfalls. *Journal of Clinical Microbiology*, 45(9), 2761–2764. <https://doi.org/10.1128/JCM.01228-07>
- Klink, H. J., Potschin, M., Tress, B., Tress, G., Volk, M., & Steinhardt, U. (2002). Landscape and landscape ecology. In: O. Bastian & U. Steinhardt (eds.), *Development and perspectives of landscape ecology*, pp. 1–47. Springer. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-94-017-1237-8_1
- Lo, M., Reed, J., Castello, L., Steel, E. A., Frimpong, E. A., Ickowitz, A. (2020). The influence of forests on freshwater fish in the tropics: A systematic review. *BioScience*, 70(5), 404–414. <https://doi.org/10.1093/biosci/biaa021>
- Macedo, A. K. S., dos Santos, K. P. E., Brighenti, L. S., Windmöller, C. C., Barbosa, F. A. R., Ribeiro, R. I. M. A., dos Santos, H. B., Thomé, R. G. (2020). Histological and molecular changes in gill and liver of fish (*Astyanax lacustris* Lütken, 1875) exposed to water from the Doce basin after the rupture of a mining tailings dam in Mariana, MG, Brazil. *Science of the Total Environment*, 735: 139505. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139505>
- Maia-Barbosa, P. M., Menendez, R. M., Pujoni, D. G., Brito, S. L., Aoki, A. (2014). Zooplankton (Copepoda, Rotifera, Cladocera and Protozoa: Amoeba Testacea) from natural lakes of the middle Rio Doce basin, Minas Gerais, Brazil. *Biota Neotropica*, 14(1): e20134040. <https://doi.org/10.1590/S1676-06034040>
- Marta-Almeida, M., Mendes, R., Amorim, F.N., Cirano, M., Dias, J.M. (2016). Fundão Dam collapse: Oceanic dispersion of River Doce after the greatest Brazilian environmental accident. *Marine Pollution Bulletin*, 112(1-2), 359–364. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.07.039>

- May, P., Alonso, L., Barbosa, F.A.R., Brito, M.C.W., Laureano, F.V., Maroun, C., Sánchez, L.E., Kakabadse, Y. (2020). *Mainstreaming climate change in the Rio Doce watershed restoration*. Rio Doce Panel Thematic Report 2. IUCN. <https://doi.org/10.2305/IUCN.CH.2020.06.en>
- Mckenna, P. (2007). 'Hidden' species may be surprisingly common. *New Scientist* [artigo online], 19 de Julho 2007. <https://www.newscientist.com/article/dn12293-hidden-species-may-be-surprisingly-common/>
- Ministério do Meio Ambiente (MMA) (2020). *Nota Técnica n. 15/2020 CTBio/DIBIO/GANI – SEI/ICMBio*. <https://www.ibama.gov.br/cif/notas-tecnicas/ct-bio>
- Moura, K.A.F., Lizieri, C., Franco, M.W., Vaz, M.G.M.V., Araújo, W.L., Convey, P., & Barbosa, F.A.R. (2019). Physiological and thylakoid ultrastructural changes in cyanobacteria in response to toxic manganese concentrations. *Ecotoxicology*, 28, 1009–1021. <https://doi.org/10.1007/s10646-019-02098-y>
- Naveh, Z., & Lieberman, A.S. (1994). *Landscape ecology: Theory and application*. Springer.
- Ordem dos Advogados do Brasil (OAB) (2020). *O Novo Marco Legal do Saneamento Básico. Comissão Especial de Saneamento, Recursos Hídricos e Sustentabilidade. Lei No 14.026/2020*. Conselho Federal da Ordem dos Advogados do Brasil. <https://www.oab.org.br/Content/pdf/cartilhasaneamento5.pdf>
- Palmer, M., & Ruhi, A. (2019). Linkages between flow regime, biota, and ecosystem processes: Implications for river restoration. *Science*, 365(6459): eaaw2087. <https://doi.org/10.1126/science.aaw2087>
- Pires, A.P.F., Rezende, C.L., Assad, E.D., Loyola, R., & Scarano, F.R. (2017). Forest restoration can increase the Rio Doce watershed resilience. *Perspectives in Ecology and Conservation*, 15(3), 187–193. <https://doi.org/10.1016/j.pecon.2017.08.003>
- Post, J. C., & Lundin, C.G. (eds.). (1996). *Guidelines for integrated coastal zone management*. The International Bank for Reconstruction and Development/World Bank. <http://documents1.worldbank.org/curated/en/754341468767367444/pdf/multi-page.pdf>
- Quadra, G.R., Roland, F., Barros, N., Malm, O., Lino, A.S., Azevedo, G.M., Thomaz, J.R., Andrade-Vieira, L.F., Praça-Fontes, M.M., Almeida, R.M., et al. (2019). Far-reaching cytogenotoxic effects of mine waste from the Fundão dam disaster in Brazil. *Chemosphere*, 215, 753–757. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.10.104>
- Queiroz, H.M., Nóbrega, G.N., Ferreira, T.O., Almeida, L.S., Romero, T.B., Santaella, S.T., Bernardino, A.F., & Otero, X.L. (2018). The Samarco mine tailing disaster: A possible time-bomb for heavy metals contamination? *Science of The Total Environment*, 637–638, 498–506. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.04.370>
- Reed, J., Van Vianen, J.V., Deakin, E.L., Barlow, J., Sunderland, T. (2016). Integrated landscape approaches to managing social and environmental issues in the tropics: learning from the past to guide the future. *Global Change Biology*, 22, 2540–2554. <https://doi.org/10.1111/gcb.13284>
- Reis, M.P., Ávila, M., Costa, P.S., Barbosa, F.A.R., Laanbroek, H.J., Chartone-Souza, E., Nascimento, A.M.A. (2014). The influence of human settlement on the distribution and diversity of iron-oxidizing bacteria belonging to the Gallionellaceae in tropical streams. *Frontiers in Microbiology*, 5, 630. <https://dx.doi.org/10.3389/fmicb.2014.00630>
- Reis, M.P., Suhadolnik, M.L.S., Dias, M.F., Ávila, M.P., Motta, A., Barbosa, F.A.R., & Nascimento, A.M.A. (2020). Characterizing a riverine microbiome impacted by extreme disturbance caused by a mining sludge tsunami. *Chemosphere*, 253: 126584. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.126584>
- Sánchez, L.E., Alger, K., Alonso, L., Barbosa, F.A.R., Brito, M.C.W., Laureano, F.V., May, P., Roeser, H., Kakabadse, Y. (2018). *Impacts of the Fundão Dam failure: A pathway to sustainable and resilient mitigation*. Rio Doce Panel Thematic Report 1. IUCN. <https://doi.org/10.2305/IUCN.CH.2018.18.en>
- Sayer, J., Margules, C., Boedhihartono, A.K., Dale, A., Sunderland, T., Supriatna, J., & Saryanthi, R. (2014). Landscape approaches: what are the pre-conditions for success? *Sustainability Science*, 10(2), 345–355(2015). <https://doi.org/10.1007/s11625-014-0281-5>
- Sayer, J., Sunderland, T., Ghazoul, J., Pfund, J.-L., Sheil, D., Meijaard, E., Venter, M., Boedhihartono, A.K., Day, M., Garcia, C. et al. (2013). Ten principles for a landscape approach to reconciling agriculture, conservation, and other competing land uses. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(21), 8349–8356. <https://doi.org/10.1073/pnas.1210595110>
- Scherr, S.J., Shames, S., Friedman, R. (2013). Defining integrated landscape management for policy makers. *Ecoagriculture Policy Focus No. 10*. <https://ecoagriculture.org/wp-content/uploads/2015/08/DefiningILMforPolicyMakers.pdf>

Secretariat of the Convention on Biological Diversity (SCBD) (2004). The Ecosystem Approach (CBD Guidelines). <https://www.cbd.int/doc/publications/ea-text-en.pdf>

Sunaga T., Verani J.R. (1987). Second report of comparative study on fish community of the Rio Doce Valley lakes. In: Y. Saijo, J. G. Tundisi (eds.), *Limnological Studies in Rio Doce Valley Lakes and Pantanal Wetland* (Brasil 1: 129–135). Universidade de Nagoya.

The Brisbane Declaration (2007). 10th International Riversymposium and Environmental Flows Conference, 3–6 September 2007, Brisbane, Australia. <https://www.conservationgateway.org/ConservationPractices/Freshwater/EnvironmentalFlows/MethodsandTools/ELOHA/Pages/Brisbane-Declaration.aspx> e <https://doi.org/10.3389/fenvs.2018.00045> (versão atualizada)

Tuan, Y.-F. (1977). *Space and place: The perspective of experience*. University of Minnesota Press. https://www.academia.edu/attachments/40876701/download_file?st=MTYwMzYyNzlwMSwxNzguMTk1LjcuMTk0&s=swp-splash-header

Vieira, F. (1994). Estrutura de comunidade e aspectos da alimentação e reprodução dos peixes em dois lagos do Médio Rio Doce, MG [Tese de Doutorado, Universidade Federal de Minas Gerais]. http://pos.icb.ufmg.br/pgecologia/dissertacoes/D19_Fabio_Vieira.pdf

Zeni, J.O., Cassati, L. (2014). The influence of habitat homogenisation on the trophic structure of fish fauna in tropical streams. *Hydrobiologia*, 726. <https://doi.org/10.1007/s10750-013-1772-6>



UNIÃO INTERNACIONAL PARA A
CONSERVAÇÃO DA NATUREZA

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

www.iucn.org/pt/painel-do-rio-doce
www.iucn.org

