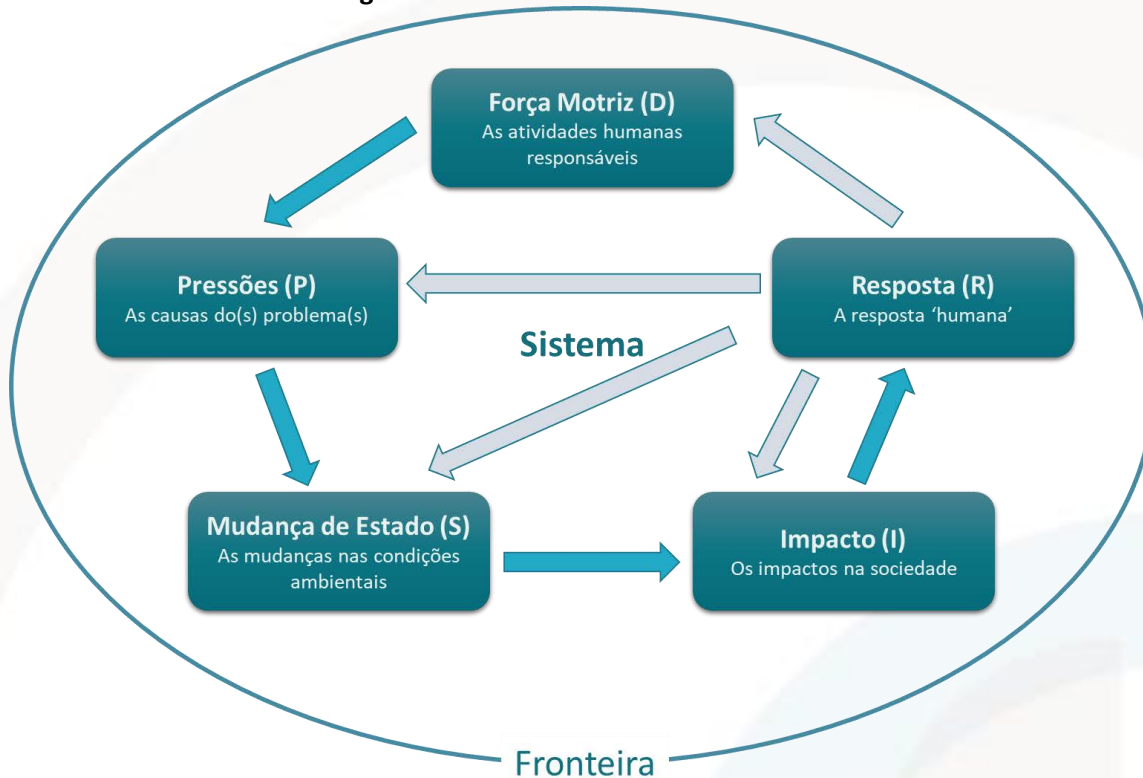


o caso tão complexo quanto o desastre da Samarco onde um evento ocasionou uma quantidade expressiva de mudanças socioambientais na Bacia Hidrográfica do rio Doce e região costeira adjacente.

Figura 127 - Estrutura do modelo DPSIR.

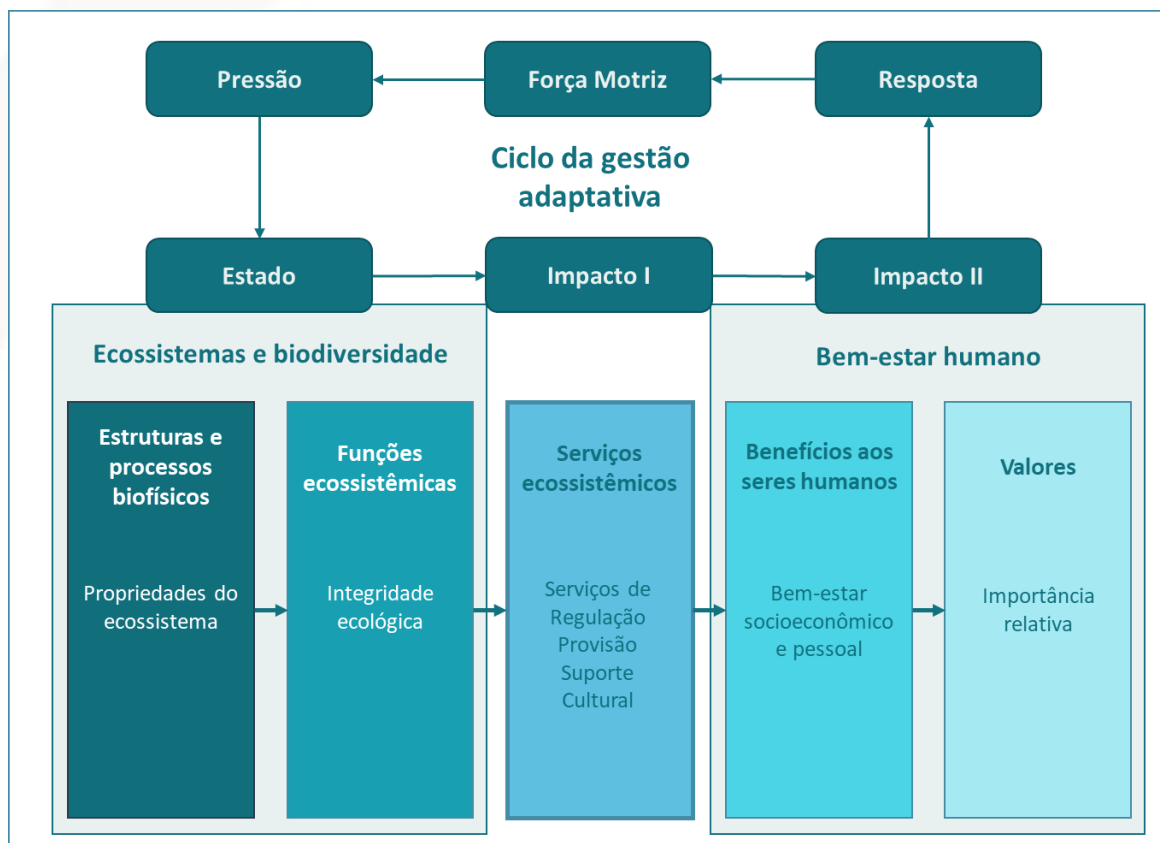


Fonte: Adaptado de Atkins et al. (2011).

Enquanto o método DPSIR relaciona causas e consequências frente a uma pressão, o enfoque sistêmico evidencia a relação entre as dimensões ecológicas, econômicas e sociais dos sistemas ambientais. A integração dessas abordagens já foi anteriormente proposta para auxiliar na gestão de ambientes complexos, definição de indicadores de serviços ecossistêmicos e delineamento das ações de gestão para ambientes marinhos (ATKINS et al., 2011; KEBLE et al., 2013; MULLER; BURKHARD, 2012). Na Figura 128 pode ser visualizada a estrutura DPSIR adaptada por Muller e Burkhard (2012), onde o estado do ambiente é descrito pelas propriedades do ecossistema (estruturas e suas funções ecológicas), sugerindo, assim, que sua integridade pode ser descrita e medida por meio de indicadores ambientais. De Groot et al. (2010) apontam que os serviços ecossistêmicos podem ser avaliados quali e quantitativamente por meio de indicadores do estado do ambiente. Na estrutura representada na Figura 128, uma mudança de estado causaria um impacto (Impacto I), que pode ser entendido como uma perda de serviço ecossistêmico e seu benefício a sociedade. Tal perda pode vir a afetar o bem estar humano, caso existam beneficiários direta ou indiretamente beneficiados pelo serviço ecossistêmico considerado. Esse efeito é entendido como o Impacto II na estrutura

e pode ser descrito por meio de indicadores sociais. A partir do entendimento das forças motrizes e das pressões que estão causando as alterações de estado e as perdas de serviço, podem ser formuladas respostas de gestão para prevenir, mitigar ou compensar tais perdas, configurando um ciclo ou um sistema de gerenciamento dos ecossistemas afetados.

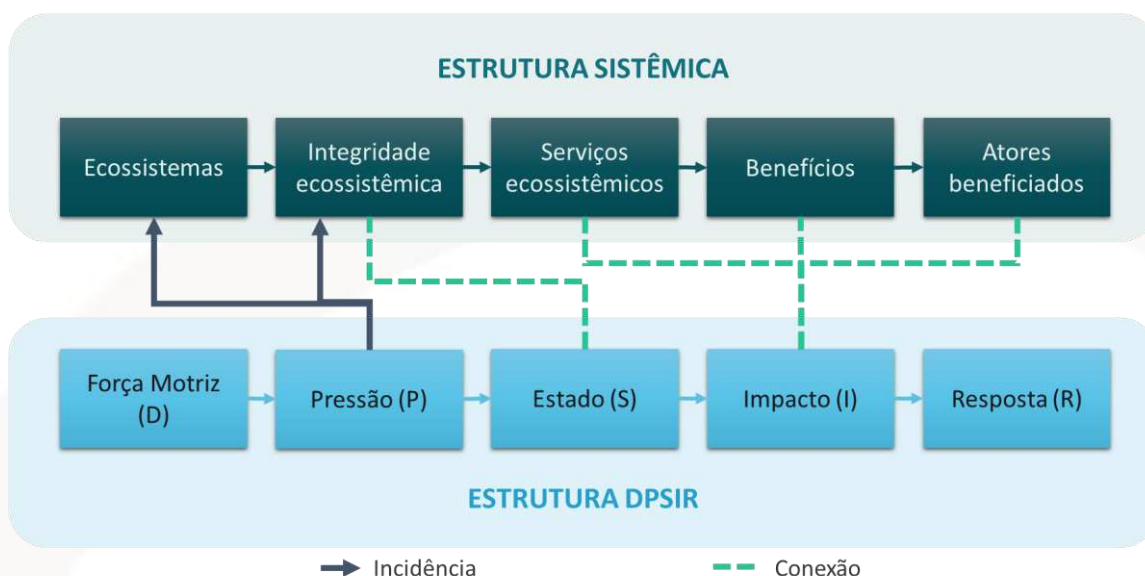
Figura 128 - Estrutura do DPSIR adaptada ao enfoque sistêmico e aos serviços ecossistêmicos. Os componentes ambientais constam ao lado esquerdo da figura, enquanto os componentes antrópicos estão no lado direito.



Fonte: Adaptado de Muller e Burkhard (2012).

No contexto do desastre da Samarco, o modelo DPSIR e os conceitos descritos anteriormente no presente documento foram utilizados para integrar os danos decorrentes do desastre (BRASIL (MPF)/LACTEC 2020c, 2020d, 2020e, 2020f, 2020g, 2020h). Nesse sentido, estabeleceu-se o objetivo de entender quais foram as perdas de serviços ecossistêmicos em decorrência das alterações ambientais causadas pelo rompimento da barragem. Dessa forma, a partir das relações estabelecidas na Figura 129 propôs-se o modelo DPSIR sistêmico apresentado na Figura 131.

Figura 129 - Relações entre a estrutura sistêmica e o modelo DPSIR utilizados para a adaptação do contexto do desastre da Samarco e o proposto DPSIR sistêmico.



Fonte: Lactec (2020).

A força motriz (D) no caso do desastre da Samarco foi considerada como o próprio rompimento da barragem de Fundão que veio a causar diversas pressões (P) sobre o estado dos sistemas ambientais afetados. Dentre essas pressões destacam-se ações mecânicas como o impacto físico da onda de lama e o soterramento de estruturas construídas e ecossistemas; a dispersão dos rejeitos na coluna d'água e na atmosfera; a deposição de rejeito sob o solo, na vegetação, em estruturas antrópicas, fundo do rio, várzeas de inundação e fundo do mar; a liberação de elementos potencialmente tóxicos para o ambiente (EPTs); ruídos e vibrações; e pressões psicológicas à população. As pressões aqui identificadas são semelhantes às causas para os danos ambientais advindos do rompimento da barragem de Fundão, como descritas em maiores detalhes no modelo conceitual do dano apresentado em Brasil (MPF)/LACTEC (2020b).

A incidência dessas pressões sobre os sistemas ambientais alterou o estado dos ambientes, na forma de mudanças na integridade das estruturas e processos físico-químicos e biológicos tomados como funções ecossistêmicas e, no caso da perspectiva do patrimônio cultural, da própria integridade dos componentes materiais e imateriais desse patrimônio. Nota-se que essa mudança de estado está relacionada a uma condição pré-desastre, descrita detalhadamente para os ambientes da área de estudo no relatório de atualização da linha base (BRASIL (MPF)/LACTEC, 2019a, 2019b, 2019c, 2019d). Os danos avaliados pelo Lactec descrevem um desvio ou uma mudança em relação a essa condição prévia como, por exemplo, o aumento da concentração de elementos potencialmente tóxicos na água, a perda de biodiversidade de flora, a alteração na composição e estruturas das comunidades de peixes e a alteração de práticas culturais. Desta forma, no

modelo DPSIR sistêmico proposto (Figura 131), os danos podem ser considerados como indicadores de mudança de estado (S), considerando que, desta forma, uma mudança de estado pode levar a um impacto funcional. No escopo da presente avaliação, o impacto é então considerado como uma perda de serviços ecossistêmicos e seus benefícios (Impacto I). A perda de serviços ecossistêmicos em decorrência de uma mudança de estado e a correspondência de indicadores de mudança de estado e serviço ecossistêmicos foi descrita por Atkins et al. (2011), Kelble et al. (2013), Muller e Burkhard (2012) e Böhnke-Henrichs et al. (2013). A partir dessa correspondência, é possível considerar os danos como possíveis indicadores de uma perda de serviços ecossistêmicos, caso exista a relação específica de dano e serviço, como no caso do serviço de provisão de alimentos e o dano de mortandade de peixes nos corpos d'água afetados, como demonstrado na Figura 130.

Figura 130 - Exemplo de aplicação do modelo DPSIR sistêmico ao desastre da Samarco.



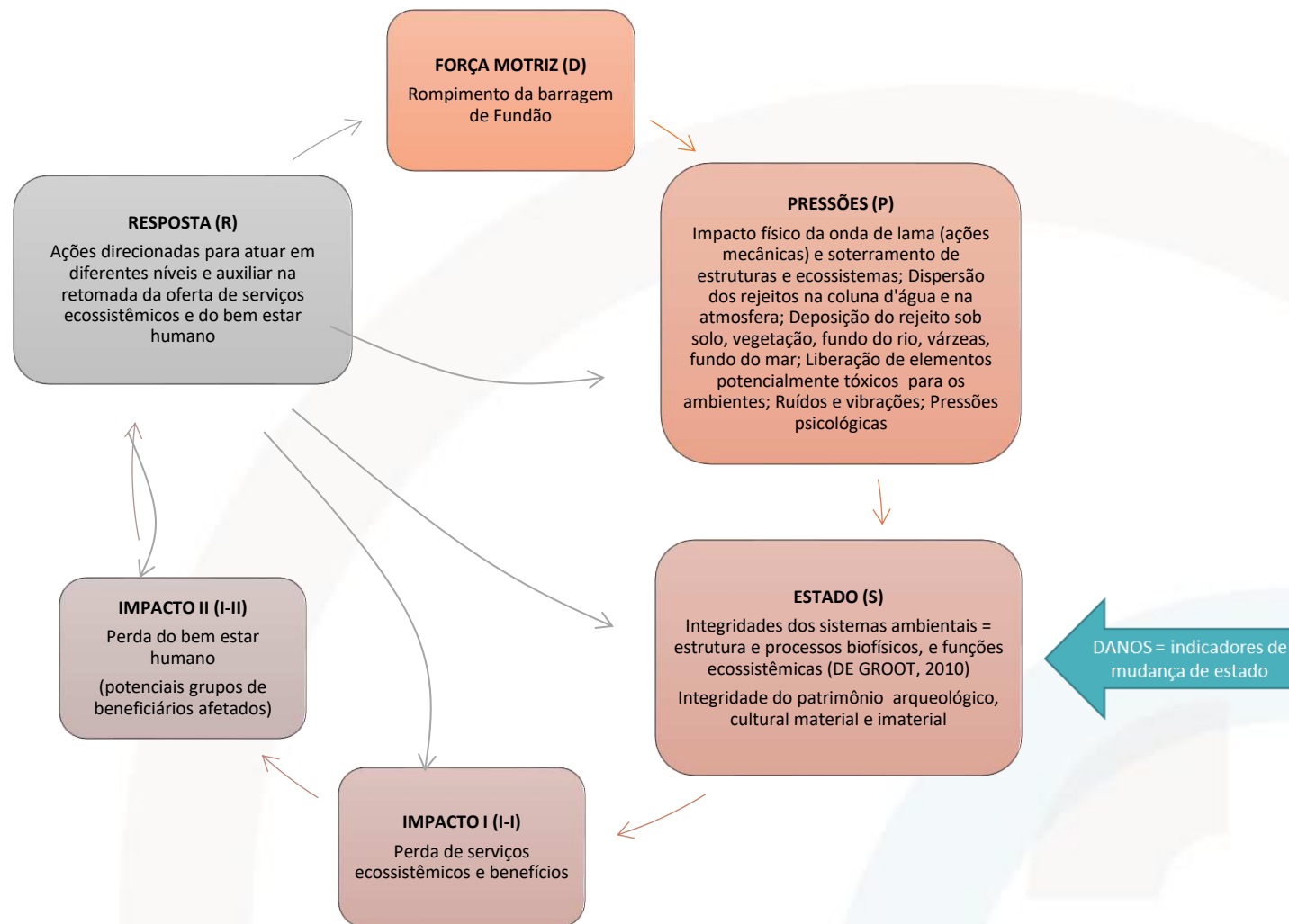
Fontes: Braga (2020), Ibama (2016), IUCN (2019), Lactec (2020), Merçon (2016) e Pimentel (2018).

As perdas de serviços ecossistêmicos afetam os beneficiários, levando a uma perda do bem estar humano e a perdas socioeconômicas (DE GROOT, 2010). No contexto de um desastre da magnitude e abrangência como o em estudo, os beneficiários são diversos ao longo do território e as relações entre beneficiários e serviços ecossistêmicos são complexas e variam de acordo com os sistemas ambientais e as características das populações existentes em cada local. Como o foco da presente avaliação é a perda de serviços ecossistêmicos, a falta de informações detalhadas sobre a relação dos beneficiários com tais serviços pode levar a um dimensionamento inadequado das consequências da perda de serviços para cada tipo de beneficiário. Considerando isso, no presente estudo, optou-se por relacionar os principais grupos de

beneficiários existentes ao longo da área de estudo com as eventuais perdas de serviços ecossistêmicos. Tal relacionamento permitiu a identificação dos potenciais grupos de beneficiários mais afetados, viabilizando que as respostas de gestão possam ser priorizadas a esses grupos. Importante destacar também que uma vez identificadas essas relações, novas avaliações podem ser conduzidas para uma identificação mais detalhada das perdas dos serviços ecossistêmicos para cada grupo de atingido pelo desastre.

O modelo DPSIR sistêmico proposto estrutura e elucida as relações de pressões-mudanças de estado-perda de serviços-beneficiários, permitindo a formulação de respostas (R) direcionadas não somente aos potenciais beneficiários afetados, mas também à diminuição da pressão e ao melhoramento de estado do ambiente para aumentar a oferta de serviços ecossistêmicos na região e resgatar os benefícios destes à população. A partir da aplicação deste modelo e do entendimento das relações descritas nesta seção, foi formulada a metodologia de avaliação das perdas relativas de serviços ecossistêmicos decorrentes do rompimento da barragem de Fundão, conforme descrito no próximo capítulo.

Figura 131 - Modelo da DPSIR sistêmica adaptada ao desastre da Samarco e a avaliação das perdas de serviços ecossistêmicos em decorrência do desastre.



Fonte: Lactec (2020).

8.3 METODOLOGIA PARA AVALIAÇÃO DAS PERDAS DE SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS

A abordagem ecossistêmica é baseada na aplicação de metodologias científicas apropriadas, focadas em níveis de organização ambiental que englobam a estrutura essencial, os processos, as funções e as interações entre os organismos e seu ambiente. Também reconhece que os seres humanos, com sua diversidade cultural, são um componente integrante de muitos ecossistemas (CBD, 2004). Assim, para realizar uma análise integrada, é necessário escolher um recorte espacial para a realização dos estudos ambientais que se enquadre na perspectiva sistêmica.

Considerando o acima exposto, no presente capítulo, primeiramente apresenta-se a descrição da metodologia para identificar e mapear os sistemas ambientais existentes na área de estudo e, posteriormente, a determinação dos serviços ecossistêmicos oferecidos pelos sistemas ambientais e identificação dos potenciais grupos de beneficiários dos serviços. Nesse sentido, foi desenvolvida uma metodologia específica para a avaliação da perda de serviços ecossistêmicos decorrentes do rompimento da barragem de Fundão, baseada no modelo de DPSIR sistêmico apresentado no capítulo 8.2, descrita na seção 8.3.3. Finalmente, é apresentado a forma como as perdas de serviços ecossistêmicos foram consideradas ao longo do espaço e como foi elaborada a estrutura que daria apoio na aplicação de uma eventual formulação de respostas em diferentes níveis para a retomada da oferta de serviços ecossistêmicos na área de estudo.

8.3.1 IDENTIFICAÇÃO DE SISTEMAS AMBIENTAIS E DIVISÃO DA ÁREA DE ESTUDO EM COMPARTIMENTOS

Segundo Christofolletti (1999), sistemas ambientais representam entidades correspondentes a unidades espaciais discerníveis na superfície terrestre, identificadas e circunscritas pelas suas fronteiras, com componentes e fluxos de matéria e energia característicos. Os ecossistemas variam muito em tamanho; um pequeno lago e uma bacia oceânica, podem ser ambos exemplos de sistemas ambientais (MEA, 2003). Tal diversidade parte das características físicas de cada ambiente e da capacidade dos sistemas ambientais em suportar, em diferentes níveis, as múltiplas necessidades ecossistêmicas e atividades socioeconômicas que, uma vez adequadamente ajustadas, permitem garantir condições de sustentabilidade nos âmbitos ambiental, econômico, social e cultural. Os sistemas são capazes de capturar a energia necessária para a manutenção, reprodução e continuidade de tais necessidades e atividades. Nesse processo, integram, a partir de funções ambientais, elementos físicos e biológicos que geram suporte e espaço para componentes socioeconômicos, que se estabelecem através do uso de serviços ecossistêmicos gerados.

Para os fins de análise e avaliação, uma visão pragmática das fronteiras dos sistemas ambientais deve ser adotada, de acordo com as perguntas a serem colocadas na análise desenvolvida. Um ecossistema bem

definido tem interações dominantes entre seus componentes e interações eventuais através das suas fronteiras. Uma escolha útil das fronteiras de um ecossistema é aquela em que uma série de descontinuidades coincidem, como na distribuição de organismos, no tipo de solo, nas bacias de drenagem ou na profundidade de um corpo de água.

O critério para a delimitação dos sistemas ambientais terrestres no presente estudo foi pautado no mapeamento de uso e ocupação do solo referente ao período pré-desastre, cuja metodologia está descrita no 1º Relatório Parcial de Resultados (BRASIL (MPF)/LACTEC, 2018d). O mapeamento de uso e ocupação do solo na escala 1:20.000 refere-se ao período pré-desastre e compreende o trecho das cabeceiras do rio Doce e entorno, desde a barragem de Fundão, no município de Mariana em Minas Gerais, até a foz do rio Doce, em Linhares no Estado do Espírito Santo. Adotou-se um raio de aproximadamente 500 metros a partir do eixo principal dos corpos d'água afetados até a UHE Risoleta Neves, e a jusante deste barramento foi adotado o raio de 500 metros a partir das margens da calha do rio Doce até sua foz, tais distâncias foram adotadas considerando o extravasamento dos rejeitos da calha do rio.

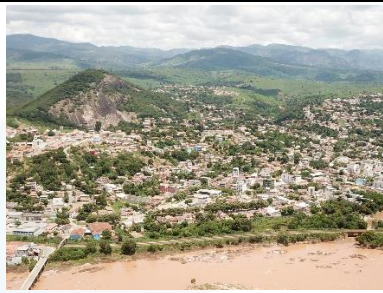
As diferentes classes de uso e ocupação do solo foram avaliadas em termos de componentes, fluxos de matéria e energia e funções ecossistêmicas. Nesta avaliação buscou-se identificar quais classes de uso do solo se diferenciavam nos termos avaliados visando identificar e delimitar os sistemas ambientais existentes na área de estudo. A fusão de duas classes de uso e ocupação do solo na delimitação de um sistema ambiental pode ser justificada pela semelhança estrutural e funcional, o que resulta numa oferta semelhante de serviços ecossistêmicos.

A classe de corpos d'água foi dividida nos sistemas ambientais denominados “sistemas fluviais”, “lacustres” e “reservatórios”, pois as diferentes características hídricas (com destaque aos padrões de fluxo) nestes sistemas influenciam diretamente suas variáveis físico-químicas, as comunidades biológicas neles presentes e as trocas com os ambientes terrestres circundantes. Na zona costeira, foram delimitados, de acordo com as características da região e com a dispersão dos rejeitos ao longo da costa, três sistemas ambientais aquáticos: “estuários”, “lagoas costeiras” e o “sistema marinho costeiro”.

A relação de todos os sistemas ambientais identificados na área de estudo é apresentada na Tabela 17 em conjunto com uma descrição sucinta de cada sistema.

Tabela 17 - Sistemas ambientais identificados na área de estudo e sua descrição.

Sistemas Ambientais	Descrição	Exemplo
Afloramento rochoso	Sistema caracterizado por afloramentos de materiais rochosos na superfície do solo. Devido a condições microclimáticas e pedológicas singulares, condiciona uma cobertura biótica descontínua e particularmente diferenciada do entorno.	
Solo exposto	Sistema majoritariamente composto por áreas degradadas pelo uso antrópico ou por efeitos naturais, caracterizadas por baixa cobertura vegetal e exposição dos solos aos agentes erosivos.	
Campos rupestres	Sistema caracterizado por formações campestres, sem cobertura arbórea, entremeadas de plantas lenhosas de pequeno porte.	
Mata nativa	Sistema formado por vegetação nativa de alto porte, caracterizado por duas formações vegetais: Floresta Estacional Semidecidual, com indivíduos arbóreos de até 30m de altura que não formam cobertura superior contínua, e Floresta Ombrófila Densa, com fanerófitos lianas lenhosas e epífitas em abundância.	
Vegetação Secundária	Sistema caracterizado por vegetação em estágio inicial de regeneração natural, com predominância de indivíduos jovens e espécies pioneiras.	

Sistemas Ambientais	Descrição	Exemplo
Produção Agropecuária	Sistema composto por terras cultivadas, incluindo lavouras temporárias e permanentes, e pastagens, onde o solo é coberto por vegetação de gramíneas ou leguminosas.	
Silvicultura	Sistema caracterizado por maciços de espécies florestais nativas ou exóticas, que podem ser homogêneos (plantios puros), heterogêneos (enriquecimento de florestas) ou consorciado (espécies florestais entremeadas de espécies agrícolas de ciclo curto).	
Urbano / construído	Sistema caracterizado pela concentração de pessoas em um determinado ambiente com complexa infraestrutura, no qual há trocas, ligações, transferência materiais e imateriais, que envolve fluxos, circulação e escalas variadas. Inclui metrópoles, cidades, vilas, polos industriais e infraestrutura relacionada.	
Mineração	Sistema caracterizado pela atividade de mineração, que abrange a lavra, a extração e o beneficiamento de jazidas minerais.	
Várzeas / Áreas úmidas	Sistemas desenvolvidos em áreas inundadas suficientemente rasas para suportar vegetação, como banhados. Localizadas junto a corpos hídricos, possuem grande biodiversidade e regulam o regime hídrico de vastas regiões.	

Sistemas Ambientais	Descrição	Exemplo
Restinga	Sistema dominado por comunidades vegetais que sofrem influência direta das águas do mar, apresentando gêneros característicos.	
Praias	Sistemas formados por depósitos de sedimentos, mais comumente arenosos, acumulados por ação de ondas que, por apresentar alta mobilidade, se ajustam às condições de ondas e maré atuando como um importante elemento de proteção do litoral.	
Reservatórios	Represas artificiais de água resultantes da construção de barragens na seção transversal de um curso de rio, que podem apresentar características lânticas ou lóticis, voltadas à produção de energia elétrica.	
Fluviais	Sistemas compostos por ambientes aquáticos lóticis.	
Lacustres	Sistemas compostos por ambientes aquáticos lânticos naturais, excluindo-se as lagoas costeiras.	

Sistemas Ambientais	Descrição	Exemplo
Ambientes estuarinos ou dulcícolas	Sistema composto por ambientes resultantes da interação entre a morfologia da região, o aporte fluvial e o regime de marés, associado à grande variabilidade temporal e espacial desses forçantes e dos processos a eles associados. Existe uma clara zonação nas regiões estuarinas devido ao gradiente de salinidade: as espécies dulcícolas diminuem com o aumento da salinidade e as espécies marinhas se tornam mais dominantes.	
Lagoas Costeiras	Sistema formado em corpos d'água lânticos, relativamente rasos, separados do oceano por uma barreira ou, em alguns casos, intermitentemente conectados ao oceano por um ou mais canais, onde ocorre a mistura de água doce e água salgada. Por exemplo, a Lagoa Monsarás é uma lagoa costeira de água salobra.	
Manguezal	Sistema costeiro de transição entre os ambientes terrestre e marinho, característico de regiões tropicais e subtropicais. São formados por uma série de fisionomias vegetais resistentes ao fluxo das marés e, portanto, ao sal, apresentando desde árvores e outras espécies arbustivas, passando por bancos de lama e de sal, salinas e pântanos salinos.	
Marinho costeiro	Sistema marinho costeiro adjacente a foz do rio Doce até a profundidade de 100 metros, delimitado ao sul pela Área de Proteção Ambiental Costa das Algas, Aracruz, ES e ao norte pela foz do rio Mariricu, afluente do rio São Mateus, Linhares, ES.	

A dinâmica dos rejeitos do rompimento da barragem de Fundão ao longo da bacia do rio Doce, influenciada por características geomorfológicas e presença de usinas hidrelétricas, levou à divisão da área de estudo, no âmbito do diagnóstico de danos socioambientais, em cinco compartimentos (BRASIL (MPF)/LACTEC, 2020b). O Compartimento 1 foi definido como o trecho de corpos d'água atingidos, e seu entorno no ambiente terrestre, desde a barragem de Fundão até a UHE Risoleta Neves, onde grande parte do volume de rejeitos ficou retido. O Compartimento 2 abrange o trecho do rio Doce, e seu entorno no ambiente terrestre, desde a UHE Risoleta Neves até a UHE Mascarenhas. Já, o Compartimento 3 inicia-se na UHE Mascarenhas até o limite com o Compartimento 4, definido como estuário do rio Doce e lagoas costeiras. Por sua vez, o Compartimento 5 é a porção marinha da área abrangida pelo diagnóstico, delimitada por um raio de

aproximadamente 80 km a partir da foz do rio Doce, incluindo a linha de praia.

Tal divisão se mostrou também adequada para a avaliação das perdas dos serviços ecossistêmicos de cada sistema ambiental, visto que foi realizada de acordo com as características geomorfológicas da área de estudo e tendo em conta a dinâmica dos ambientes aquáticos. É esperado que sistemas ambientais localizados próximos ao local do desastre e expostos aos efeitos intensos e diretos do rompimento tenham apresentado maiores perdas de serviços ecossistêmicos do que sistemas localizados mais à jusante. Por esta razão, a compartimentalização da área de estudo foi considerada com tal lógica proporcional de intensidade na avaliação das perdas nos serviços ecossistêmicos. Maiores detalhes sobre a compartimentalização da área de estudo podem ser encontrados em Brasil (MPF)/LACTEC (2020b).

Na Tabela 18 são apresentados os sistemas ambientais existentes em cada compartimento, onde o valor 1 representa a existência do sistema e o valor 0 representa que aquele sistema não é encontrado no compartimento considerado.

Tabela 18 - Distribuição dos sistemas ambientais em cada compartimento na área de estudo.

ID_SISTEMA	Sistema	Compartimento					
		C1	C2A	C2B	C3	C4	C5
1	Afloramento rochoso	1	1	1	1	0	0
2	Solo exposto	1	1	1	1	0	0
3	Campos rupestres	1	1	1	0	0	0
4	Mata nativa	1	1	1	1	0	0
5	Vegetação secundária	1	1	1	1	0	0
6	Produção agropecuária	1	1	1	1	0	0
7	Silvicultura	1	1	1	1	0	0
8	Urbano / construído	1	1	1	1	0	0
9	Mineração	1	1	1	0	0	0
10	Várzeas / áreas úmidas	1	1	1	1	0	0
11	Restinga	0	0	0	1	0	0
12	Reservatórios	1	1	1	1	0	0
13	Fluviais	1	1	1	1	0	0
14	Lacustres	1	1	1	1	0	0
15	Ambientes estuarinos ou dulcícolas	0	0	0	0	1	0
16	Lagoas costeiras	0	0	0	0	1	0
17	Praias	0	0	0	0	0	1
18	Manguezais	0	0	0	0	0	1
19	Marinho adjacente	0	0	0	0	0	1

8.3.2 IDENTIFICAÇÃO DE SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS, BENEFÍCIOS E BENEFICIÁRIOS

A identificação dos serviços ecossistêmicos e dos benefícios ofertados pelos sistemas ambientais presentes em cada compartimento foi embasada em classificações de serviços existentes para diferentes ecossistemas definidos nas seguintes publicações:

- Ecosystems and Human Well-being: A Framework for Assessment (MEA, 2003);
- Weaving Ecosystem Services into Impact Assessment: A Step-by-Step Method (LANDSBERG et al., 2013);
- Typology and indicators of ecosystem services for marine spatial planning and management (BÖHNKE-HENRICHS et al., 2013);
- Final Ecosystem Goods and Services Classification System (FEGS-CS), U.S. Environmental Protection Agency (LANDERS; NAHLIK, 2013);
- Ecosystem Services & Biodiversity (FAO, 2020);
- An Ecosystem Services Approach to Assessing the Impacts of the Deepwater Horizon Oil Spill in the Gulf of Mexico (MAYER et al., 2013);
- Zoneamento Ecológico Econômico do Rio Grande do Sul (SEMA, 2018).

Os serviços ecossistêmicos e benefícios deles decorrentes, conforme descritos nas publicações supracitadas foram adaptados para a bacia do rio Doce e a região costeira adjacente pela equipe de técnicos responsável pela elaboração deste estudo. Para efetuar tal adaptação, levou-se em consideração as características dos sistemas ambientais existentes na área de estudo, e que foram validadas pela equipe técnica responsável pela elaboração do diagnóstico dos danos ambientais. Como resultado, foram identificados no total 27 serviços ecossistêmicos, sendo 6 serviços de provisão, 11 serviços de regulação, 7 serviços de suporte e 3 serviços culturais. A descrição de cada um dos serviços identificados pode ser visualizada na Tabela 20.

Em uma área de estudo tão extensa como a em avaliação, os beneficiários são diversos ao longo do território e as relações entre beneficiários e serviços ecossistêmicos são complexas e variam de acordo com os sistemas ambientais e as características das populações existentes em cada local. Como o foco do presente estudo é a avaliação da perda de serviços ecossistêmicos, a falta de informações detalhadas sobre a relação dos beneficiários com tais serviços pode levar a um dimensionamento inadequado das consequências da perda de serviços para cada tipo de beneficiário. Nesse caso, optou-se por relacionar os principais grupos de beneficiários existentes, de forma agregada ao longo da área de estudo, com a perda da oferta de serviços ecossistêmicos e os benefícios que promovem. A identificação dos potenciais grupos de beneficiários foi embasada nas categorias de beneficiários descritas por Landers e Nahlik (2013), bem como nas outras publicações citadas anteriormente neste documento. Os potenciais grupos de beneficiários foram

apresentados à apreciação da equipe responsável pela elaboração do diagnóstico de danos e validadas de acordo com a percepção dos técnicos especialistas, que avaliaram as populações existentes ao longo da área de estudo e sua relação com os ecossistemas¹. Os potenciais grupos de beneficiários afetados pelo desastre da Samarco são apresentados na Tabela 19.

Tabela 19 - Grupos de beneficiários potencialmente afetados na área de estudo.

Grupos de Beneficiários	
Comunidade local	Comunidades tradicionais
	Produtores agropecuários
	Extrativistas
	Pescadores
	Comunidade urbana
	População residente próxima às margens do rio, estuários e oceano
Comunidade regional (residente na bacia hidrográfica e nos municípios costeiros adjacentes a foz do rio Doce)	
Mineradores	
Construção civil	
Indústria	
Turismo / Atividades recreacionais	
Pesquisa e desenvolvimento	

¹ Ressalta-se que o diagnóstico de danos socioeconômicos ainda está em andamento, por isso nesse estudo foi adotado um grupo de beneficiários simplificado para aplicação da metodologia.

Tabela 20 - Serviços ecossistêmicos existentes na área de estudo.

Categoria	Serviços ecossistêmicos	Descrição
Provisão	Provisão de alimento	Os ecossistemas fornecem condições para o cultivo e produtos para coleta ou caça de alimentos em habitats selvagens e ecossistemas agrícolas manejados.
	Provisão de recursos bioenergéticos	Provisão de material biológico utilizado como combustível/fonte de energia.
	Provisão de matéria-prima	Provisão de produtos como peles, conchas, penas e flores utilizados como ornamentos por determinadas culturas, ou outros produtos, como madeira, fibras e resinas, para fins domésticos ou industriais.
	Provisão de recursos minerais	Provisão de bens minerais metálicos e não-metálicos, cujas características e concentrações tornam sua extração técnica e economicamente viável.
	Provisão de água	Provisão de água, através da manutenção de fluxos e armazenamento de água, para usos consuntivos e não-consuntivos.
	Provisão de recursos genéticos e bioquímicos	Provisão de genes usados para reprodução/melhoramento de plantas e animais e na biotecnologia; materiais biológicos utilizados na fabricação de medicamentos, biocidas e aditivos de alimentos, entre outros.
Regulação	Sequestro e fixação de carbono	O sequestro e armazenamento de carbono da atmosfera é realizado por organismos fotossintetizantes e bactérias, que o fixam em seus tecidos e no solo.
	Retenção de solo e sedimentos	A cobertura vegetal evita o carreamento do solo e sedimentos por agentes erosivos.
	Retenção de material particulado da atmosfera	Interceptação e remoção de partículas em suspensão na atmosfera, realizado principalmente pela vegetação. Pequenas partículas são depositadas nas superfícies das folhas de modo mecânico ou por efeitos eletrostáticos.
	Regulação térmica	Regulação por elementos dos sistemas capazes de realizar interceptação da radiação solar e projeção de sombra, modificação da umidade do ar e a alteração da direção e velocidade do vento.
	Regulação hidrológica	A cobertura do solo e a configuração do terreno regulam os processos de evapotranspiração, escoamento superficial e infiltração e armazenamento da água.
	Tamponamento de mudanças hidrológicas/meteorológicas rápidas	Ecossistemas e organismos vivos criam buffers contra mudanças hidrológicas/meteorológicas rápidas, como inundações, tempestades, tsunamis, avalanches e deslizamentos de terra.
	Purificação de água	Processos físicos, químicos e biológicos atuam na remoção de poluentes da água, através de filtração, diluição e decomposição mediada por microrganismos.
	Decomposição de resíduos e remediação de contaminantes	Os solos são utilizados para a disposição de resíduos sólidos e líquidos. Solos naturais têm a capacidade de decomposição e transformação destes resíduos.
	Polinização	Interação entre plantas angiospermas e vetores bióticos e abióticos, que resulta na transferência de gametas masculinos da antera de uma flor para o estigma de outra flor de mesma espécie. Cerca de 87 dos 115 cultivos que lideram a produção global de alimentos dependem da polinização animal, incluindo as plantações de cacau e café.
	Regulação de teias tróficas e manutenção da biodiversidade	Cascatas tróficas são interações que regulam fortemente a biodiversidade e as funções ecossistêmicas.
	Regulação biológica (pragas, doenças, espécies invasoras)	Processos reguladores e homeostáticos nos ecossistemas evitam a prevalência de pragas em lavouras e criações animais, e podem reduzir a abundância de patógenos humanos e vetores de doenças, como mosquitos.

Categoria	Serviços ecossistêmicos	Descrição
Suporte	Disponibilidade de áreas vitais para espécies da flora e fauna	Disponibilidade de refúgio, alimentação, berçário e local para reprodução, necessários para a sobrevivência de indivíduos vegetais ou animais, inclusive de espécies migratórias.
	Base espacial para utilização e ocupação	Espaço adequado para a implantação de estruturas e comunidades e desenvolvimento de atividades.
	Formação de corredores de fluxo gênico	Corredores ecológicos que visam mitigar os efeitos da fragmentação dos ecossistemas, promovendo a ligação entre diferentes áreas, com o objetivo de proporcionar o deslocamento de animais, a dispersão de sementes, aumento da cobertura vegetal.
	Formação de solo	A pedogênese inclui o intemperismo químico de rochas, transporte e acumulação de matéria inorgânica e orgânica.
	Formação de substrato	Estrutura física na qual se estabelecem os organismos, com características específicas de homogeneidade/heterogeneidade e complexidade espacial.
	Ciclagem de nutrientes	Transferência e transformação de nutrientes nos e entre os ecossistemas.
Cultural	Produção primária	Formação de material biológico pelas plantas e outros organismos através da fotossíntese, fixação de energia e assimilação de nutrientes.
	Recreação, lazer e educação	Ecossistemas provêm espaços que facilitam a interação social, a interação com a natureza e o desenvolvimento de atividades de recreação e turismo. Ecossistemas contribuem para a formação de sistemas de conhecimento científico, tradicional e costumes associados.
	Herança e expressão cultural e espiritual	A natureza é elemento comum em muitas culturas e inspiração para diferentes práticas culturais e espirituais. Ambientes antropizados dispõem de diversos locais e artefatos que são considerados patrimônios culturais materiais e utilizados para práticas espirituais e culturais (patrimônio imaterial).
	Relações sociais e modo de vida	Os ecossistemas influenciam os tipos de relações sociais que se estabelecem em algumas culturas e o modo de vida destas culturas.

8.3.3 AVALIAÇÃO DAS PERDAS DE SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS EM DECORRÊNCIA DO ROMPIMENTO DA BARRAGEM DE FUNDÃO

A avaliação de perdas de serviços ecossistêmicos devido a alguma pressão oriunda de atividade humana ou alguma mudança do estado do sistema pode ser realizada tanto qualitativamente, a partir de uma relação de lógica sistêmica entre os componentes do modelo, quanto quantitativamente, a partir do dimensionamento da perda de quantidade de alimento de uma região ou da exportação de sedimentos por uma bacia. O presente trabalho se propôs a avaliar as perdas de serviços ecossistêmicos para os sistemas ambientais existentes na área de estudo, a partir de um enfoque sistêmico, onde se estabelecem relações entre os sistemas, os serviços oferecidos e os beneficiários, e as mudanças de estado dos sistemas em decorrência do rompimento da barragem de Fundão. Conforme apontado no capítulo 8.2, os danos quantificados por Brasil (MPF)/LACTEC (2020b, 2020c, 2020d, 2020e, 2020f, 2020g, 2020h) podem ser considerados como indicadores da mudança de estado, descrita por uma alteração na integridade das estruturas e processos físico-químicos e biológicos e das funções ecossistêmicas, permitindo avaliar qualitativamente as perdas de serviços ecossistêmicos na área de estudo, a partir do estabelecimento das relações entre os danos, os sistemas ambientais mapeados e os serviços ecossistêmicos identificados.

Primeiramente, foi realizada uma avaliação das características dos danos, no intuito de confirmar que o dano observado representa uma mudança de estado, podendo assim ser considerado como um indicador de perda de serviços ecossistêmicos. Dentre os mais de 90 danos identificados em Brasil (MPF)/LACTEC (2020c, 2020d, 2020e, 2020f, 2020g, 2020h), 89 foram considerados como indicadores de mudança de estado dos sistemas ambientais em avaliação. Os danos considerados na presente análise são apresentados no APÊNDICE B. Na mesma tabela pode ser visualizada a abrangência e a classificação da gravidade dos danos, baseada em quanto um determinado indicador variou entre a linha-base e o pós-desastre em cada compartimento, baseado no pior cenário encontrado para aquele indicador. A gravidade de um dano é considerada aqui como a capacidade de alteração de estado do ambiente, quanto mais grave é esperado uma mudança mais severa e como consequência um maior potencial de perda de serviços ecossistêmicos associada a esta mudança. Desse modo, foram associados valores para cada gravidade de dano, conforme apresentado na Tabela 21. Vale ressaltar que os danos não classificados representam que um indicador se alterou devido a algum efeito do desastre, porém não pode ser quantificado, assim atribuiu-se o mesmo valor de um dano pouco grave.

Tabela 21 - Valores associados a gravidade dos danos determinada em Brasil (MPF)/ Lactec (2020).

Gravidade	Valor associado
Não classificado	1
Pouco Grave	1
Grave	2
Gravíssimo	3

A descrição dos sistemas ambientais (item 8.3.1 do presente documento) e dos serviços ecossistêmicos (item 8.3.2 do presente documento) oferecidos por cada sistema na área de estudo foi também apresentada a equipe técnica responsável pelo diagnóstico dos danos, no intuito de identificar quais os danos que potencialmente afetaram cada um dos serviços ecossistêmicos e cada sistema ambiental. A partir da opinião dos especialistas construiu-se duas matrizes, sendo que na primeira podem ser visualizados quais os serviços ecossistêmicos foram afetados por cada dano (APÊNDICE C), ou seja, quais as potenciais perdas de serviços associadas a uma determinada mudança de estado, e na segunda matriz estão referenciadas quais mudanças de estado (danos) potencialmente ocorreram em cada sistema ambiental (APÊNDICE D). No intuito de permitir um relacionamento entre as tabelas criou-se matrizes booleanas de valores 0 e 1, onde 0 representa uma relação negativa e 1 uma relação positiva.

Após, realizou-se o cruzamento das informações obtidas nas matrizes de danos vs serviços ecossistêmicos (APÊNDICE C) e de danos vs sistemas ambientais (APÊNDICE D) com a distribuição dos sistemas ambientais ao longo da área de estudo (Tabela 18), os serviços oferecidos por cada sistema (Tabela 23) e a gravidade e abrangência dos danos, conforme Brasil (MPF)/Lactec (2020b, 2020c, 2020d, 2020e, 2020f, 2020g, 2020h) (APÊNDICE B). Este cruzamento permitiu obter informações em relação a quais os danos que ocasionaram uma perda de um determinado serviço ecossistêmico para cada um dos serviços oferecidos pelos 19 sistemas ambientais ao longo dos 5 compartimentos da área de estudo. Não somente é possível identificar quais danos afetaram um determinado serviço, mas também qual foi a gravidade dos danos que ocasionaram a perda desse serviço. A partir da atribuição dos valores associados a gravidade do dano descrita na Tabela 21, foi possível realizar o somatório de todos os danos e com que gravidade incidiram sobre a oferta de um serviço ecossistêmico.

Quanto maior a quantidade e gravidade de danos que incidiram sobre um determinado serviço ecossistêmico, maior a perda do serviço e dos benefícios oferecidos por aquele sistema ambiental, ou seja, um número maior de indicadores do estado do sistema ambiental (estado de integridade das estruturas e processos físico-químicos e biológicos e das funções ecossistêmicas) demonstrou uma alteração que afetou na oferta de um determinado serviço. A partir desta relação, elaborou-se o Índice de Perda de Serviço Ecossistêmico (IPSE), que descreve a magnitude da perda dos serviços baseada nas alterações das propriedades físico-químicas-biológicas e das funções ecossistêmicas e da integridade dos componentes do

patrimônio material e imaterial de um sistema ambiental. A partir da atribuição dos valores associados a gravidade do dano descrita na Tabela 21, o cálculo do IPSE é realizado através do somatório de todos os danos que ocasionarão uma alteração de estado que levou a uma perda de um serviço ecossistêmico em um sistema ambiental, que é calculado através da seguinte equação:

$$IPSE_x = \sum_{n=1}^{86} GD_n \times IDS_{ny} \times RDS_{nx} \times OS_{xy}$$

Onde:

IPSE_x = Índice de Perda do Serviço Ecossistêmico *x*;

GD = Valor associado a gravidade do dano *n* em um compartimento, determinado na tabela do APÊNDICE B;

IDS = Incidência do dano *n* no sistema *y*, podendo ter o valor de 0 (dano não incide no sistema) ou 1 (dano incide no sistema), determinado na tabela do APÊNDICE B;

RDS = Relação de dano *n* com o serviço ecossistêmico *x*, podendo ter o valor de 0 (a alteração de estado do ambiente indicada pelo dano não tem capacidade de influenciar a oferta do serviço) ou 1 (a alteração de estado do ambiente indicada pelo dano tem capacidade de influenciar a oferta do serviço, determinado na tabela do APÊNDICE B;

OS = oferta do serviço ecossistêmico *x* no sistema ambiental *y*, valor 0 (sistema oferece aquele serviço) ou 1 (sistema não oferece aquele serviço), conforme apresentado na Tabela 23.

O IPSE foi calculado para os 243 serviços ecossistêmicos oferecidos pelos 19 sistemas ambientais identificados em cada um dos compartimentos da área de estudo e variou entre o valor 0 e 53. Quanto mais alto o valor do IPSE, maior a perda do serviço ecossistêmico ofertado pelo sistema naquele compartimento. Para facilitar a compreensão das perdas de serviços ecossistêmicos, o IPSE foi classificado em 6 classes, variando da classe 0, que representa que não houve perda detectada do serviço ofertado, até a classe 5, que corresponde a uma perda completa do serviço oferecido pelo sistema ambiental. As ponderações utilizadas para classificação do IPSE e a descrição da magnitude relativa da perda de serviços ecossistêmicos é apresentada na Tabela 22.

Tabela 22 - Classificação do Índice de Perda de Serviço Ecológico (IPSE).

Classe	Descrição da magnitude relativa de perda	Ponderação	Possibilidade de combinação de danos (indicadores de mudança de estado do sistema) para classificação no nível de perda de serviço
0	Não houve perda detectada do serviço ofertado pelo sistema. Não foi constatado nenhum dano ou indicador de alteração de estado possível de afetar o serviço naquele sistema.	0	-
1	Perda do serviço ecológico baixa. Poucos indicadores de estado do ambiente demonstraram alterações que levaram a uma perda de serviço baixa. Potenciais benefícios perdidos podem ter sido substituídos ou encontrados em outros locais/sistemas.	1 a 3	3 danos pouco graves ou não classificados 1 dano grave e 1 pouco grave (nenhum dano gravíssimo)
2	Perda de serviço ecológico mediana. Indicadores de estado demonstraram na maior parte alterações menos severas na escala de gravidade proposta, as mudanças de estado levaram a uma perda de serviço mediana.	4 a 9	9 danos pouco graves ou não classificados 4 danos graves e 1 pouco grave 3 danos gravíssimos
3	Perda de serviço ecológico significativa. Número maior de indicadores demonstraram alterações que levaram a uma perda do serviço e dos benefícios associados significativa.	10 a 18	18 danos pouco graves ou não classificados 9 danos graves 6 danos gravíssimos (pelo menos 2 danos gravíssimos)
4	Perda de serviço ecológico muito significativa. Número maior de indicadores demonstraram alterações mais severas na escala de gravidade proposta, as mudanças de estado levaram a uma perda de serviço e benefícios muito significativa, sistema ambiental ficou com a capacidade comprometida de oferecer o serviço e os benefícios nos locais afetados.	19 a 27	27 danos pouco graves ou não classificados 13 danos graves e 1 pouco grave 9 danos gravíssimos (pelo menos 4 danos gravíssimos)
5	Perda completa do serviço oferecido, o sistema ambiental ficou por um determinado tempo sem a capacidade de oferecer aquele serviço, um número grande de indicadores de estado demonstrou alterações severas que levaram a uma perda total do serviço e dos benefícios pelo sistema afetado.	acima de 27	mais de 28 danos pouco graves mais de 14 danos graves mais de 10 danos gravíssimos (no mínimo mais de 5 danos gravíssimos)

No presente documento, as perdas dos serviços ecológicos serão apresentadas classificadas de acordo com a Tabela 22 para cada sistema ambiental por compartimento, permitindo a avaliação de quais os serviços que tiveram uma maior redução em sua oferta e quais foram os sistemas que tiveram um maior decréscimo em número e qualidade de serviço oferecido. A partir disto podem ser estimados quais foram os benefícios mais afetados em cada compartimento e quais foram os potenciais grupos de beneficiários mais atingidos, a partir das relações de serviços ecológicos, benefícios e beneficiários estabelecidas.

Complementarmente, são apresentadas as relações dos danos com todos os serviços ecossistêmicos oferecidos para cada sistema ambiental em cada compartimento da área de estudo nas tabelas do APÊNDICE C. Nestas tabelas podem ser visualizados quais e quantos danos influenciaram na perda de um serviço ecossistêmico ofertado por um sistema ambiental. Além disso, no intuito de permitir a compreensão das potenciais perdas de serviços ecossistêmicos em um sistema ambiental ao longo da área de estudo, é apresentada a classificação do IPSE por sistema ambiental nas tabelas disponíveis no APÊNDICE E.

8.3.4 POTENCIAIS GRUPOS DE BENEFICIÁRIOS MAIS AFETADOS

Em uma área de estudo tão extensa como a em avaliação, os beneficiários e a sua relação com os serviços oferecidos são variáveis, podendo ser uma mais próxima ao local do rompimento da barragem e outra na região costeira. Desse modo, conforme descrito na seção 8.3.2, optou-se por relacionar os principais grupos de beneficiários existentes, de forma agregada ao longo da área de estudo, com a perda da oferta de serviços ecossistêmicos e os benefícios que promovem.

A partir da avaliação descrita na seção 8.3.3, é possível compreender quais os serviços que tiveram uma maior redução em sua oferta e quais foram os sistemas que tiveram um maior decréscimo em número e qualidade de serviço oferecido. Esta perda de serviços e benefícios oferecidos pelos sistemas causa uma perda do bem estar humano dos beneficiários que usufruem os serviços e benefícios ao longo da área de estudo. A partir do Índice de Perda de Serviços Ecossistêmicos determinado para cada serviço ao longo da área de estudo e das relações de dependência entre os grupos de beneficiários e os serviços ecossistêmicos apresentada na Tabela 23 do capítulo 8.4 a seguir, podem ser estimados quais foram os potenciais grupos de beneficiários mais afetados.

Para realização desta estimativa, primeiramente, para os 19 sistemas ambientais, realizou-se o cálculo da média do IPSE dos serviços oferecidos nos diferentes compartimentos, como exemplo, se o serviço de provisão de alimentos apresentou um IPSE de 5 no compartimento 1, um no C2A, um no C2B, dois no C3 e nenhum no C4, realizou-se a média destes valores (1,8) para avaliação dos beneficiários mais afetados pela perda deste serviço.

Após esta etapa, realizou-se o somatório das perdas médias em cada sistema, resultando em um valor único de perda de cada serviço em toda a área de estudo. Considerando que o grupo de beneficiários foi identificado como potencial usuário de um determinado serviço, ele potencialmente foi afetado pela perda daquele serviço com a magnitude aproximada pelo valor descrito anteriormente. Assim, foi realizada esta relação para todos os serviços e grupos de beneficiários (baseada nas dependências identificadas na Tabela 23), e realizada a soma das potenciais perdas de serviços que afetaram cada grupo de beneficiários, resultando em um valor total do efeito das perdas de serviço sobre o grupo de beneficiários. Para facilitar o entendimento

do resultado, os potenciais grupos de beneficiários foram qualificados através de uma escala relativa descrita pela equação a seguir, baseada no potencial efeito da perda de serviços.

$$IPEB = \frac{Máximo - V_{pot}}{Máximo - Mínimo}$$

Onde:

IPEB = Valor reclassificado do índice de potencial efeito da perda de serviço sobre o grupo de beneficiários;

V_{pot} = Valor do índice de potencial efeito da perda de serviço sobre o grupo de beneficiários antes da reclassificação;

Máximo = Valor máximo do índice de potencial efeito da perda de serviço sobre o grupo de beneficiários do grupo de dados;

Mínimo = Valor mínimo do índice de potencial efeito da perda de serviço sobre o grupo de beneficiários do grupo de dados.

8.3.5 RESPOSTAS

Dentro do modelo DPSIR sistêmico, as respostas são um componente que representa um mecanismo em que atividades ou ações humanas podem alterar as forças motrizes, as pressões, as mudanças de estado e os serviços ecossistêmicos do modelo, essas ações humanas podem ser executadas por indivíduos e organizações privadas, pelo estado e agências governamentais e pelos decisores políticos (KELBLE et al., 2013). As respostas geralmente se referem a esforços institucionais para lidar com as mudanças no estado, conforme priorizado por impactos (CARR et al., 2007). A gestão com base ecossistêmica considera que as respostas de gestão (dos ecossistemas frente a uma mudança de estado) devem ter como objetivo promover a sustentabilidade do nível de serviços ecossistêmicos desejado pela sociedade, estabelecendo uma conexão natural entre serviços e respostas (KELBLE et al., 2013). As respostas, de acordo com Elliot (2010), devem ser: ecologicamente sustentáveis, economicamente viáveis, socialmente desejáveis/toleráveis, legalmente permitidas, alcançáveis administrativamente e politicamente viáveis.

No contexto do desastre da Samarco, a partir do entendimento das forças motrizes e das pressões que causaram as alterações de estado diagnosticadas e de quais potenciais perdas de serviços na área de estudo, podem ser formuladas respostas para auxiliar na retomada da oferta de serviços pelos sistemas ambientais. Assim, conforme apresentado na Figura 128, as respostas podem ser direcionadas para atuar sobre as forças motrizes (barragem de rejeito da Samarco e outras barragens ligadas a atividade de mineração na bacia), sobre as pressões (através da retirada de rejeito dos rios, por exemplo), no estado dos sistemas ambientais

(repovoamento das populações de peixes, por exemplo), diretamente na oferta de serviços através da substituição dos benefícios fornecidos, se possível, e nos beneficiários (através de compensação pelas perdas, por exemplo). Além disso, as ações têm efeitos que se propagam nas estruturas da DPSIR, por exemplo, as ações para diminuição das pressões podem levar a uma melhora na oferta de serviços.

Esta potencial interação pode contribuir para o desenvolvimento de ações e políticas integradas e fornece a possibilidade de respostas efetivas para a retomada da oferta de serviços ecossistêmicos e os respectivos benefícios à população. Desta forma, considerando os relacionamentos propostos no modelo de DPSIR sistêmico (capítulo 8.2) e as potenciais perdas de serviços apresentadas nos resultados, será proposto uma estrutura para formulação de respostas e organização e integração das ações propostas, de forma que estas sejam conectadas não somente a algum objetivo específico, mas que também possam avaliar sua atuação sobre os serviços ecossistêmicos.

8.4 RESULTADOS

Foram identificados 19 sistemas ambientais no total, distribuídos nas porções terrestres, aquáticas continentais, costeiras e marinhas da área de estudo. A definição de sistemas ambientais adotada abrange os sistemas antrópicos, embora o número de serviços ecossistêmicos por eles ofertados seja limitado, quando comparado a sistemas naturais pouco antropizados. A inclusão destes sistemas é relevante numa abordagem ecossistêmica desta área, pois toda a extensão da bacia hidrográfica do rio Doce é caracterizada pela intensa ocupação humana, marcada pelo crescimento desordenado, uso inadequado do solo, intensa atividade industrial e minerária, além de uma agropecuária extensiva (BRASIL (MPF), LACTEC, 2020b).

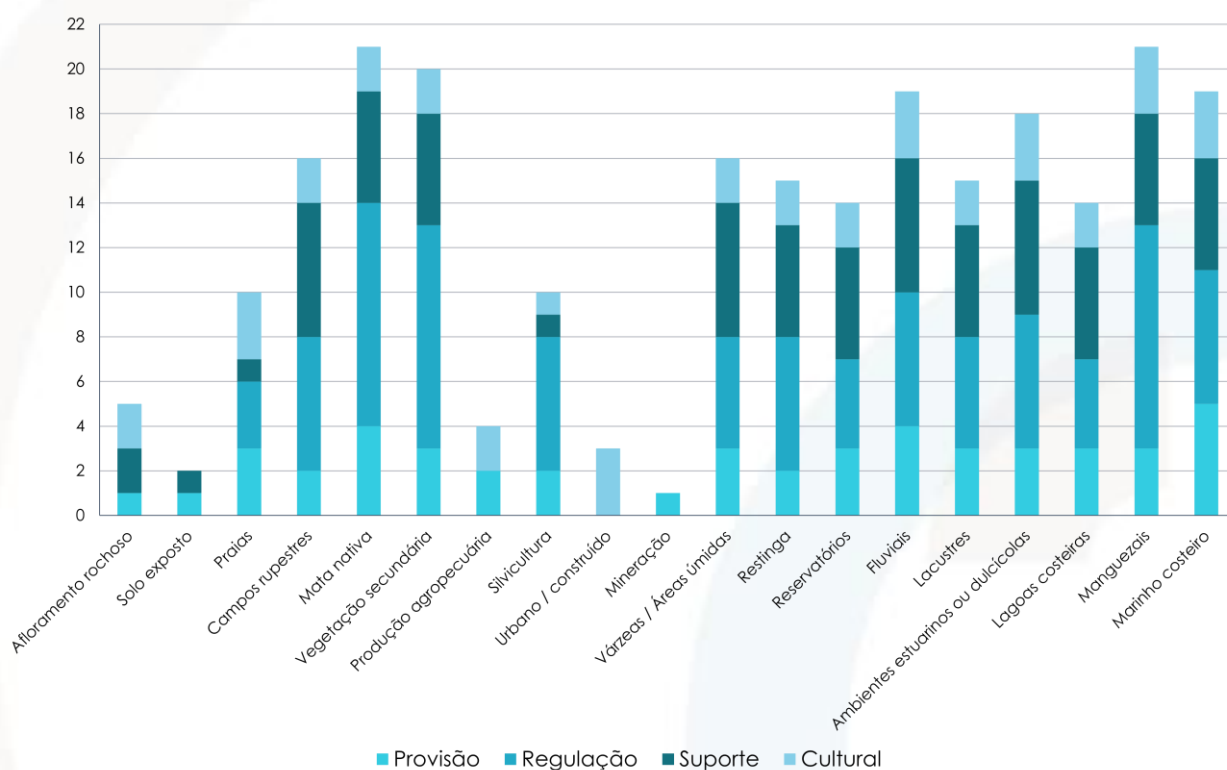
A atribuição de serviços ecossistêmicos aos diferentes sistemas foi realizada por equipe multidisciplinar de profissionais e validada por técnicos especialistas com conhecimento da área afetada, de forma a analisar o maior número de elementos para determinar as funções ecossistêmicas existentes antes do desastre. Os serviços ecossistêmicos oferecidos por cada sistema ambiental, derivados das funções ecossistêmicas identificadas, são apresentados na Tabela 23, assim como os seus benefícios e potenciais grupos de beneficiários.

Entre os sistemas ambientais terrestres, os sistemas de mata nativa e de manguezais apresentaram maior oferta de serviços ecossistêmicos, ambos totalizando 21. Embora a designação destes sistemas faça referência a sua composição florística, os serviços ecossistêmicos resultam de uma ampla gama de relações complexas entre os seus componentes físicos e bióticos. O entendimento multidisciplinar dentro da abordagem ecossistêmica foi essencial para a avaliação desde o solo e sua microbiota, que participam de etapas da ciclagem de nutrientes; das plantas, bases das cadeias tróficas que também têm importância em ciclos hidrológicos; da fauna, polinizadora e dispersora de sementes; até o conjunto de todos os elementos,

que formam a paisagem única. Complexidade semelhante foi observada no sistema fluvial, sistema aquático continental com maior oferta de serviços ecossistêmicos, totalizando 19, assim como no sistema de ambientes estuarinos ou dulcícolas, sistema costeiro para o qual foram contabilizados 18 serviços ecossistêmicos, e no sistema marinho costeiro, que totalizou 19 serviços ecossistêmicos (Figura 132).

No total os 19 sistemas ambientais identificados oferecem 243 serviços ecossistêmicos na área de estudo (Figura 133), sendo 87 serviços de regulação (36% do total), 69 serviços de suporte (28% do total), 48 serviços de provisão (20% do total) e 39 serviços culturais (16% do total).

Figura 132 - Número de serviços ecossistêmicos ofertados por cada sistema ambiental.



Fonte: Lactec (2020).

Figura 133 - Distribuição dos serviços ecossistêmicos nas diferentes categorias.

Fonte: Lactec (2020).

Os serviços ecossistêmicos resultam em benefícios diretos, usufruídos por beneficiários como pescadores e turistas, mas também resultam em benefícios indiretos, como é o caso dos serviços da classe de suporte. Serviços de suporte são necessários para a geração de todos os outros serviços ecossistêmicos. Por exemplo, a formação de solo não beneficia diretamente os seres humanos, embora alterações neste serviço os afetem através da redução do serviço de provisão de alimentos (MEA, 2003). Na Tabela 23 foram identificados apenas os potenciais beneficiários diretos dos serviços ecossistêmicos oferecidos por cada sistema.

O rompimento da barragem de Fundão, força motriz (D) do modelo DPSIR, liberou 33 hm³ de rejeitos no ambiente, em uma onda de lama que alcançou a UHE Risoleta Neves, no rio Doce, depositando parte do rejeito e demais detritos em seu reservatório (BRASIL (MPF)/LACTEC, 2018d). A fração mais fina do rejeito seguiu o curso do rio Doce, passando por outras 3 hidrelétricas até chegar à foz, no município de Regência, no Espírito Santo, de onde se dispersou no mar, gerando uma pluma de rejeitos sob as águas marinhas. O período chuvoso contribuiu para que, após o rompimento da barragem, mais 11 hm³ de rejeitos fossem liberados. Os danos causados tiveram origem nas ações mecânicas da onda, interações físicas, químicas e/ou biológicas com o rejeito e ações emergenciais e reparatórias instauradas após o desastre, como a implantação de infraestrutura, aqui designados como pressões (P). As características do rio Doce e de alguns de seus afluentes foram alteradas e mais de 40 municípios foram afetados, causando a morte de 19 pessoas e de animais domésticos e silvestres, além de inúmeros danos ambientais (BRASIL (MPF)/LACTEC, 2020b).

O modelo DPSIR adotado no presente estudo de avaliação de perda de serviços ecossistêmicos procurou integrar a avaliação dos danos ambientais gerados pelo desastre, descrita na Contextualização do Diagnóstico de Danos (BRASIL (MPF)/ LACTEC, 2020b), à perda de serviços ecossistêmicos. Os danos avaliados (S) foram relacionados às perdas de serviços ecossistêmicos e benefícios oferecidos pelos sistemas ambientais (I-I). Desta forma, os resultados das perdas de serviços ecossistêmicos são apresentados com a mesma compartimentação.

Tabela 23 - Sistemas ambientais na área de estudo, serviços ecossistêmicos e benefícios providos pelos sistemas ambientais e potenciais grupos de beneficiários dos serviços.

SISTEMAS AMBIENTAIS	SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS		BENEFÍCIOS	GRUPOS DE BENEFICIÁRIOS
	CATEGORIA	SERVIÇO		
Afloramento rochoso	Provisão	Provisão de recursos minerais	Matéria prima para indústria e para construção	Mineradores
	Regulação	-	-	-
	Suporte	Disponibilidade de áreas vitais para espécies flora e fauna	Suporte à qualidade dos habitats, aos processos e interações ecossistêmicas, manutenção da qualidade dos atributos de integridade ecossistêmica, manutenção da integridade ambiental	Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais, Pesquisa e desenvolvimento
		Formação de solo		Comunidade local, Comunidade regional, Turismo / Atividades recreacionais, Pesquisa e desenvolvimento
	Cultural	Recreação, lazer e educação	Reprodução cultural, identidade cultural, Identidade espiritual, Inspiração cultural, Beleza cênica, Recreação e turismo, Educação e pesquisa	Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais, Pesquisa e desenvolvimento
		Herança e expressão cultural e espiritual		
Solo exposto	Provisão	Provisão de recursos minerais	Matéria prima para indústria e para construção	Indústria, Construção civil
	Regulação	-	-	-
	Suporte	Base espacial para utilização e ocupação	Suporte à qualidade dos habitats, aos processos e interações ecossistêmicas, manutenção da qualidade dos atributos de integridade ecossistêmica, manutenção da integridade ambiental	Comunidade local, Comunidade regional, Turismo / Atividades recreacionais, Pesquisa e desenvolvimento
	Cultural	-	-	-
Campos rupestres	Provisão	Provisão de matéria-prima	Matéria-prima para construção tradicional e para atividades fabris e artesanais	Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais
		Provisão de recursos genéticos e bioquímicos	Matéria-prima para a indústria	Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais. Pesquisa e desenvolvimento
	Regulação	Sequestro e fixação de carbono	Qualidade do ar	Comunidade regional
		Retenção de solo e sedimentos	Controle de erosão, qualidade da água	Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais, Pesquisa e desenvolvimento
		Polinização	Manutenção e promoção da biodiversidade, aumento da produtividade de culturas	Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais, Pesquisa e desenvolvimento
		Decomposição de resíduos e remediação de contaminantes	Disponibilidade para áreas de disposição de resíduos sólidos e líquidos	Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais, Pesquisa e desenvolvimento
		Regulação de teias tróficas e manutenção da biodiversidade	Manutenção de teias tróficas e regulação de funções ecossistêmicas	Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais, Pesquisa e desenvolvimento
		Regulação biológica (pragas, doenças, espécies invasoras)	Controle de pragas e redução da disponibilidade de organismos patogênicos	Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais, Pesquisa e desenvolvimento
	Suporte	Disponibilidade de áreas vitais para espécies flora e fauna	Suporte à qualidade dos habitats, aos processos e interações ecossistêmicas, manutenção da qualidade dos atributos de integridade ecossistêmica, manutenção da integridade ambiental	Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais, Pesquisa e desenvolvimento
		Base espacial para utilização e ocupação		Comunidade local, Comunidade regional, Turismo / Atividades recreacionais, Pesquisa e desenvolvimento
		Formação de corredores de fluxo gênico		Comunidade local, Comunidade regional, Turismo / Atividades recreacionais, Pesquisa e desenvolvimento
		Formação de solo		Comunidade local, Comunidade regional, Turismo / Atividades recreacionais, Pesquisa e desenvolvimento
		Produção primária		Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais, Pesquisa e desenvolvimento
		Ciclagem de nutrientes		Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais, Pesquisa e desenvolvimento

SISTEMAS AMBIENTAIS	SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS		BENEFÍCIOS	GRUPOS DE BENEFICIÁRIOS
	CATEGORIA	SERVIÇO		
	Cultural	Recreação, lazer e educação Herança e expressão cultural e espiritual		
Mata nativa	Provisão	Provisão de alimento	Alimentação, matéria prima para indústria extrativista	Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais, Pesquisa e desenvolvimento
		Provisão de matéria-prima	Matéria-prima para construção tradicional e para atividades fabris e artesanais	Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais
		Provisão de recursos bioenergéticos	Combustíveis e outros recursos energéticos	Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais
		Provisão de recursos genéticos e bioquímicos	Matéria-prima para a indústria	Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais. Pesquisa e desenvolvimento
	Regulação	Sequestro e fixação de carbono	Qualidade do ar	Comunidade regional
		Retenção de solo e sedimentos	Controle de erosão, qualidade da água	Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais, Pesquisa e desenvolvimento
		Retenção de material particulado da atmosfera	Qualidade do ar	Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais, Pesquisa e desenvolvimento
		Regulação térmica	Conforto térmico	Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais, Pesquisa e desenvolvimento
		Regulação hidrológica	Qualidade e quantidade de água	Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais, Pesquisa e desenvolvimento
		Tamponamento de mudanças hidrológicas/meteorológicas rápidas	Atenuação de eventos extremos	Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais, Pesquisa e desenvolvimento
		Decomposição de resíduos e remediação de contaminantes	Disponibilidade para áreas de disposição de resíduos sólidos e líquidos	Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais, Pesquisa e desenvolvimento
		Regulação de teias tróficas e manutenção da biodiversidade	Manutenção de teias tróficas e regulação de funções ecossistêmicas	Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais, Pesquisa e desenvolvimento
		Polinização	Manutenção e promoção da biodiversidade, aumento da produtividade de culturas	Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais, Pesquisa e desenvolvimento
		Regulação biológica (pragas, doenças, espécies invasoras)	Controle de pragas e redução da disponibilidade de organismos patogênicos	Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais, Pesquisa e desenvolvimento
	Suporte	Disponibilidade de áreas vitais para espécies flora e fauna	Suporte à qualidade dos habitats, aos processos e interações ecossistêmicas, manutenção da qualidade dos atributos de integridade ecossistêmica, manutenção da integridade ambiental	Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais, Pesquisa e desenvolvimento
		Formação de corredores de fluxo gênico		Comunidade local, Comunidade regional, Turismo / Atividades recreacionais, Pesquisa e desenvolvimento
		Formação de solo		Comunidade local, Comunidade regional, Turismo / Atividades recreacionais, Pesquisa e desenvolvimento
		Produção primária		Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais, Pesquisa e desenvolvimento
		Ciclagem de nutrientes		Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais, Pesquisa e desenvolvimento
	Cultural	Recreação, lazer e educação		

SISTEMAS AMBIENTAIS	SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS		BENEFÍCIOS	GRUPOS DE BENEFICIÁRIOS
	CATEGORIA	SERVIÇO		
		Herança e expressão cultural e espiritual	Reprodução cultural, identidade cultural, Identidade espiritual, Inspiração cultural, Beleza cênica, Recreação e turismo, Educação e pesquisa	Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais, Pesquisa e desenvolvimento
Vegetação Secundária	Provisão	Provisão de matéria-prima	Matéria-prima para construção tradicional e para atividades fabris e artesanais	Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais
		Provisão de recursos bioenergéticos	Combustíveis e outros recursos energéticos	Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais
		Provisão de recursos genéticos e bioquímicos	Matéria-prima para a indústria	Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais. Pesquisa e desenvolvimento
	Regulação	Sequestro e fixação de carbono	Qualidade do ar	Comunidade regional
		Retenção de solo e sedimentos	Controle de erosão, qualidade da água	Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais, Pesquisa e desenvolvimento
		Retenção de material particulado da atmosfera	Qualidade do ar	Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais, Pesquisa e desenvolvimento
		Regulação térmica	Conforto térmico	Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais, Pesquisa e desenvolvimento
		Regulação hidrológica	Qualidade e quantidade de água	Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais, Pesquisa e desenvolvimento
		Tamponamento de mudanças hidrológicas/meteorológicas rápidas	Atenuação de eventos extremos	Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais, Pesquisa e desenvolvimento
		Decomposição de resíduos e remediação de contaminantes	Disponibilidade para áreas de disposição de resíduos sólidos e líquidos	Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais, Pesquisa e desenvolvimento
		Regulação de teias tróficas e manutenção da biodiversidade	Manutenção de teias tróficas e regulação de funções ecossistêmicas	Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais, Pesquisa e desenvolvimento
		Polinização	Manutenção e promoção da biodiversidade, aumento da produtividade de culturas	Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais, Pesquisa e desenvolvimento
		Regulação biológica (pragas, doenças, espécies invasoras)	Controle de pragas e redução da disponibilidade de organismos patogênicos	Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais, Pesquisa e desenvolvimento
	Suporte	Disponibilidade de áreas vitais para espécies flora e fauna	Suporte à qualidade dos habitats, aos processos e interações ecossistêmicas, manutenção da qualidade dos atributos de integridade ecossistêmica, manutenção da integridade ambiental	Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais, Pesquisa e desenvolvimento
		Formação de corredores de fluxo gênico		Comunidade local, Comunidade regional, Turismo / Atividades recreacionais, Pesquisa e desenvolvimento
		Formação de solo		Comunidade local, Comunidade regional, Turismo / Atividades recreacionais, Pesquisa e desenvolvimento
		Produção primária		Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais, Pesquisa e desenvolvimento
		Ciclagem de nutrientes		Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais, Pesquisa e desenvolvimento
	Cultural	Recreação, lazer e educação	Reprodução cultural, identidade cultural, Identidade espiritual, Inspiração cultural, Beleza cênica, Recreação e turismo, Educação e pesquisa	Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais, Pesquisa e desenvolvimento
		Herança e expressão cultural e espiritual		

SISTEMAS AMBIENTAIS	SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS		BENEFÍCIOS	GRUPOS DE BENEFICIÁRIOS
	CATEGORIA	SERVIÇO		
Produção Agropecuária	Provisão	Provisão de alimento	Alimentação, matéria-prima para indústria extrativista	Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais
		Provisão de matéria-prima	Matéria-prima para a indústria	Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais
	Regulação	-	-	-
	Suporte	-	-	-
	Cultural	Herança e expressão cultural e espiritual	Reprodução cultural, identidade cultural, Identidade espiritual, Inspiração cultural, Beleza cênica, Recreação e turismo, Educação e pesquisa	Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais, Pesquisa e desenvolvimento
		Relações sociais e modo de vida	Pequenas comunidades estabelecem suas relações sociais e seu modo de vida no entorno de áreas agrícolas e dos seus produtos	
Silvicultura	Provisão	Provisão de matéria-prima	Matéria-prima para a indústria	Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais
		Provisão de recursos bioenergéticos	Combustíveis e outros recursos energéticos	Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais
	Regulação	Sequestro e fixação de carbono	Qualidade do ar	Comunidade regional
		Retenção de solo e sedimentos	Controle de erosão, qualidade da água	Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais, Pesquisa e desenvolvimento
		Retenção de material particulado da atmosfera	Qualidade do ar	Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais, Pesquisa e desenvolvimento
		Regulação térmica	Conforto térmico	Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais, Pesquisa e desenvolvimento
		Regulação hidrológica	Qualidade e quantidade de água	Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais, Pesquisa e desenvolvimento
		Tamponamento de mudanças hidrológicas/meteorológicas rápidas	Atenuação de eventos extremos	Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais, Pesquisa e desenvolvimento
	Suporte	Formação de corredores de fluxo gênico	Suporte à qualidade dos habitats, aos processos e interações ecossistêmicas, manutenção da qualidade dos atributos de integridade ecossistêmica, manutenção da integridade ambiental	Comunidade local, Comunidade regional, Turismo / Atividades recreacionais, Pesquisa e desenvolvimento
	Cultural	-	-	-
Urbano / construído	Provisão	-	-	-
	Regulação	-	-	-
	Suporte	-	-	-
	Cultural	Recreação, lazer e educação	Reprodução cultural, identidade cultural, Identidade espiritual, Inspiração cultural, Beleza cênica, Recreação e turismo, Educação e pesquisa	Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais, Pesquisa e desenvolvimento
		Herança e expressão cultural e espiritual		
Mineração	Provisão	Provisão de recursos minerais	Matéria prima para indústria e para construção	Mineradores
	Regulação	-	-	-
	Suporte	-	-	-
	Cultural	-	-	-
Várzeas / Áreas úmidas	Provisão	Provisão de alimento	Alimentação, matéria-prima para indústria extrativista	Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais
		Provisão de matéria-prima	Matéria-prima para construção tradicional e para atividades fabris e artesanais	Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais

SISTEMAS AMBIENTAIS	SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS		BENEFÍCIOS	GRUPOS DE BENEFICIÁRIOS
	CATEGORIA	SERVIÇO		
		Provisão de recursos genéticos e bioquímicos	Matéria-prima para a indústria	Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais, Pesquisa e desenvolvimento
	Regulação	Sequestro e fixação de carbono	Qualidade do ar	Comunidade regional
		Retenção de solo e sedimentos	Controle de erosão, qualidade da água	Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais, Pesquisa e desenvolvimento
		Regulação hidrológica	Qualidade e quantidade de água	Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais, Pesquisa e desenvolvimento
		Tamponamento de mudanças hidrológicas/meteorológicas rápidas	Atenuação de eventos extremos	Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais, Pesquisa e desenvolvimento
		Purificação de água	Diluição e depuração de efluentes/poluentes	Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais, Pesquisa e desenvolvimento
		Regulação biológica (pragas, doenças, espécies invasoras)	Controle de pragas e redução da disponibilidade de organismos patogênicos	Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais, Pesquisa e desenvolvimento
	Suporte	Disponibilidade de áreas vitais para espécies flora e fauna	Suporte à qualidade dos habitats, aos processos e interações ecossistêmicas, manutenção da qualidade dos atributos de integridade ecossistêmica, manutenção da integridade ambiental	Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais, Pesquisa e desenvolvimento
		Formação de corredores de fluxo gênico		Comunidade local, Comunidade regional, Turismo / Atividades recreacionais, Pesquisa e desenvolvimento
		Formação de solo		Comunidade local, Comunidade regional, Turismo / Atividades recreacionais, Pesquisa e desenvolvimento
		Formação de substrato		Comunidade local, Comunidade regional, Turismo / Atividades recreacionais, Pesquisa e desenvolvimento
		Produção primária		Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais, Pesquisa e desenvolvimento
		Ciclagem de nutrientes		Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais, Pesquisa e desenvolvimento
	Cultural	Recreação, lazer e educação	Reprodução cultural, identidade cultural, Identidade espiritual, Inspiração cultural, Beleza cênica, Recreação e turismo, Educação e pesquisa	Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais, Pesquisa e desenvolvimento
		Herança e expressão cultural e espiritual		
Restinga	Provisão	Provisão de recursos genéticos e bioquímicos	Matéria-prima para a indústria	Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais, Pesquisa e desenvolvimento
	Regulação	Sequestro e fixação de carbono	Qualidade do ar	Comunidade regional
		Regulação térmica	Conforto térmico	Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais, Pesquisa e desenvolvimento
		Regulação hidrológica	Qualidade e quantidade de água	Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais, Pesquisa e desenvolvimento
		Regulação de teias tróficas e manutenção da biodiversidade	Controle de pragas e redução da disponibilidade de organismos patogênicos	Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais, Pesquisa e desenvolvimento
		Retenção de solo e sedimentos	Controle de erosão, qualidade da água	Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais, Pesquisa e desenvolvimento

SISTEMAS AMBIENTAIS	SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS		BENEFÍCIOS	GRUPOS DE BENEFICIÁRIOS
	CATEGORIA	SERVIÇO		
		Tamponamento de mudanças hidrológicas/meteorológicas rápidas	Atenuação de eventos extremos	Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais, Pesquisa e desenvolvimento
		Polinização	Manutenção e promoção da biodiversidade, aumento da produtividade de culturas	Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais, Pesquisa e desenvolvimento
	Suporte	Disponibilidade de áreas vitais para espécies flora e fauna	Suporte à qualidade dos habitats, aos processos e interações ecossistêmicas, manutenção da qualidade dos atributos de integridade ecossistêmica, manutenção da integridade ambiental	Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais, Pesquisa e desenvolvimento
		Formação de solo		Comunidade local, Comunidade regional, Turismo / Atividades recreacionais, Pesquisa e desenvolvimento
		Ciclagem de nutrientes		Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais, Pesquisa e desenvolvimento
		Produção primária		Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais, Pesquisa e desenvolvimento
		Formação de corredores de fluxo gênico		Comunidade local, Comunidade regional, Turismo / Atividades recreacionais, Pesquisa e desenvolvimento
	Cultural	Recreação, lazer e educação	Reprodução cultural, identidade cultural, Identidade espiritual, Inspiração cultural, Beleza cênica, Recreação e turismo, Educação e pesquisa	Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais, Pesquisa e desenvolvimento
		Herança e expressão cultural e espiritual		
Praias	Provisão	Provisão de recursos minerais	Matéria prima para indústria e para construção	Mineradores
		Provisão de alimentos	Alimentação, matéria-prima para indústria extrativista	Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais
		Provisão de recursos genéticos e bioquímicos	Matéria prima para a indústria	Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais. Pesquisa e desenvolvimento
	Regulação	Retenção de solo e sedimentos	Controle de erosão, qualidade da água	Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais, Pesquisa e desenvolvimento
		Regulação hidrológica	Qualidade e quantidade de água	Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais, Pesquisa e desenvolvimento
		Tamponamento de mudanças hidrológicas/meteorológicas rápidas	Atenuação de eventos extremos	Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais, Pesquisa e desenvolvimento
	Suporte	Disponibilidade de áreas vitais para espécies flora e fauna	Suporte à qualidade dos habitats, aos processos e interações ecossistêmicas, manutenção da qualidade dos atributos de integridade ecossistêmica, manutenção da integridade ambiental	Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais, Pesquisa e desenvolvimento
	Cultural	Recreação, lazer e educação	Reprodução cultural, identidade cultural, Identidade espiritual, Inspiração cultural, Beleza cênica, Recreação e turismo, Educação e pesquisa	Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais, Pesquisa e desenvolvimento
		Herança e expressão cultural e espiritual		
		Relações sociais e modo de vida		
Reservatórios	Provisão	Provisão de alimento	Alimentação, matéria prima para indústria extrativista	Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais
		Provisão de água	Água para abastecimento público, dessedentação animal, irrigação, indústria, geração de energia	Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais
		Provisão de recursos genéticos e bioquímicos	Matéria prima para a indústria	Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais. Pesquisa e desenvolvimento
	Regulação	Regulação térmica	Conforto térmico	Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais, Pesquisa e desenvolvimento

SISTEMAS AMBIENTAIS	SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS		BENEFÍCIOS	GRUPOS DE BENEFICIÁRIOS
	CATEGORIA	SERVIÇO		
		Regulação hidrológica	Qualidade e quantidade de água	Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais, Pesquisa e desenvolvimento
		Regulação biológica (pragas, doenças e espécies exóticas)	Manutenção de teias tróficas e regulação de funções ecossistêmicas	Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais, Pesquisa e desenvolvimento
		Tamponamento de mudanças hidrológicas/meteorológicas rápidas	Atenuação de eventos extremos	Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais, Pesquisa e desenvolvimento
	Suporte	Disponibilidade de áreas vitais para espécies flora e fauna	Suporte à qualidade dos habitats, aos processos e interações ecossistêmicas, manutenção da qualidade dos atributos de integridade ecossistêmica, manutenção da integridade ambiental	Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais, Pesquisa e desenvolvimento
		Base espacial para utilização e ocupação	Base para implantação de sistema produtivos e navegação	Comunidade local, Comunidade regional, Turismo / Atividades recreacionais, Pesquisa e desenvolvimento
		Formação de substrato	Suporte à qualidade dos habitats, aos processos e interações ecossistêmicas, manutenção da qualidade dos atributos de integridade ecossistêmica, manutenção da integridade ambiental	Comunidade local, Comunidade regional, Turismo / Atividades recreacionais, Pesquisa e desenvolvimento
		Ciclagem de nutrientes		Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais, Pesquisa e desenvolvimento
		Produção primária		Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais, Pesquisa e desenvolvimento
	Cultural	Recreação, lazer e educação	Reprodução cultural, identidade cultural, Identidade espiritual, Inspiração cultural, Beleza cênica, Recreação e turismo, Educação e pesquisa	Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais, Pesquisa e desenvolvimento
		Herança e expressão cultural e espiritual		
Fluviais	Provisão	Provisão de alimento	Alimentação, matéria prima para indústria extrativista	Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais
		Provisão de recursos minerais	Matéria prima para indústria e para construção	Mineradores
		Provisão de água	Água para abastecimento público, dessedentação animal, irrigação, indústria, geração de energia	Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais
		Provisão de recursos genéticos e bioquímicos	Matéria prima para a indústria	Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais. Pesquisa e desenvolvimento
	Regulação	Regulação térmica	Conforto térmico	Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais, Pesquisa e desenvolvimento
		Regulação hidrológica	Qualidade e quantidade de água	Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais, Pesquisa e desenvolvimento
		Tamponamento de mudanças hidrológicas/meteorológicas rápidas	Atenuação de eventos extremos	Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais, Pesquisa e desenvolvimento
		Regulação de teias tróficas e manutenção da biodiversidade	Manutenção de teias tróficas e regulação de funções ecossistêmicas	Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais, Pesquisa e desenvolvimento
		Purificação de água	Diluição e depuração de efluentes/poluentes	Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais, Pesquisa e desenvolvimento
		Regulação biológica (pragas, doenças, espécies invasoras)	Controle de pragas e redução da disponibilidade de organismos patogênicos	Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais, Pesquisa e desenvolvimento

SISTEMAS AMBIENTAIS	SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS		BENEFÍCIOS	GRUPOS DE BENEFICIÁRIOS
	CATEGORIA	SERVIÇO		
	Suporte	Disponibilidade de áreas vitais para espécies flora e fauna	Suporte à qualidade dos habitats, aos processos e interações ecossistêmicas, manutenção da qualidade dos atributos de integridade ecossistêmica, manutenção da integridade ambiental	Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais, Pesquisa e desenvolvimento
		Formação de corredores de fluxo gênico		Comunidade local, Comunidade regional, Turismo / Atividades recreacionais, Pesquisa e desenvolvimento
		Ciclagem de nutrientes		Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais, Pesquisa e desenvolvimento
		Produção primária		Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais, Pesquisa e desenvolvimento
		Formação de substrato		Comunidade local, Comunidade regional, Turismo / Atividades recreacionais, Pesquisa e desenvolvimento
		Base espacial para utilização e ocupação	Base para implantação de sistema produtivos e navegação	Comunidade local, Comunidade regional, Turismo / Atividades recreacionais, Pesquisa e desenvolvimento
	Cultural	Recreação, lazer e educação	Reprodução cultural, identidade cultural, Identidade espiritual, Inspiração cultural, Beleza cênica, Recreação e turismo, Educação e pesquisa	Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais, Pesquisa e desenvolvimento
		Herança e expressão cultural e espiritual		
		Relações sociais e modo de vida	Comunidades estabelecem suas relações no entorno de rios e outros ecossistemas que provem água e alimento	
Lacustres	Provisão	Provisão de alimento	Alimentação, matéria prima para indústria extrativista	Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais
		Provisão de água	Água para abastecimento público, dessedentação animal, irrigação, indústria, geração de energia	Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais
		Provisão de recursos genéticos e bioquímicos	Matéria prima para a indústria	Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais. Pesquisa e desenvolvimento
	Regulação	Regulação térmica	Conforto térmico	Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais, Pesquisa e desenvolvimento
		Regulação hidrológica	Qualidade e quantidade de água	Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais, Pesquisa e desenvolvimento
		Regulação biológica (pragas, doenças, espécies invasoras)	Controle de pragas e redução da disponibilidade de organismos patogênicos	Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais, Pesquisa e desenvolvimento
		Regulação de teias tróficas e manutenção da biodiversidade	Manutenção de teias tróficas e regulação de funções ecossistêmicas	Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais, Pesquisa e desenvolvimento
		Tamponamento de mudanças hidrológicas/meteorológicas rápidas	Atenuação de eventos extremos	Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais, Pesquisa e desenvolvimento
	Suporte	Disponibilidade de áreas vitais para espécies flora e fauna	Suporte à qualidade dos habitats, aos processos e interações ecossistêmicas, manutenção da qualidade dos atributos de integridade ecossistêmica, manutenção da integridade ambiental	Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais, Pesquisa e desenvolvimento
		Produção primária		Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais, Pesquisa e desenvolvimento
		Formação de corredores de fluxo gênico		Comunidade local, Comunidade regional, Turismo / Atividades recreacionais, Pesquisa e desenvolvimento
		Formação de substrato		Comunidade local, Comunidade regional, Turismo / Atividades recreacionais, Pesquisa e desenvolvimento
		Ciclagem de nutrientes		Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais, Pesquisa e desenvolvimento

SISTEMAS AMBIENTAIS	SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS		BENEFÍCIOS	GRUPOS DE BENEFICIÁRIOS
	CATEGORIA	SERVIÇO		
	Cultural	Recreação, lazer e educação Herança e expressão cultural e espiritual	Reprodução cultural, identidade cultural, Identidade espiritual, Inspiração cultural, Beleza cênica, Recreação e turismo, Educação e pesquisa	Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais, Pesquisa e desenvolvimento
Ambientes estuarinos ou dulcícolas	Provisão	Provisão de alimento	Alimentação, matéria prima para indústria extrativista	Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais
		Provisão de água	Água para abastecimento público, dessedentação animal, irrigação, indústria, geração de energia	Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais
		Provisão de recursos genéticos e bioquímicos	Matéria prima para a indústria	Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais. Pesquisa e desenvolvimento
	Regulação	Regulação térmica	Conforto térmico	Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais, Pesquisa e desenvolvimento
		Regulação hidrológica	Qualidade e quantidade de água	Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais, Pesquisa e desenvolvimento
		Tamponamento de mudanças hidrológicas/meteorológicas rápidas	Atenuação de eventos extremos	Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais, Pesquisa e desenvolvimento
		Purificação de água	Diluição e depuração de efluentes/poluentes	Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais, Pesquisa e desenvolvimento
		Regulação de teias tróficas e manutenção da biodiversidade	Manutenção de teias tróficas e regulação de funções ecossistêmicas	Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais, Pesquisa e desenvolvimento
		Regulação biológica (pragas, doenças, espécies invasoras)	Controle de pragas e redução da disponibilidade de organismos patogênicos	Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais, Pesquisa e desenvolvimento
	Suporte	Disponibilidade de áreas vitais para espécies flora e fauna	Suporte à qualidade dos habitats, aos processos e interações ecossistêmicas, manutenção da qualidade dos atributos de integridade ecossistêmica, manutenção da integridade ambiental	Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais, Pesquisa e desenvolvimento
		Ciclagem de nutrientes		Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais, Pesquisa e desenvolvimento
		Produção primária		Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais, Pesquisa e desenvolvimento
		Formação de substrato		Comunidade local, Comunidade regional, Turismo / Atividades recreacionais, Pesquisa e desenvolvimento
		Formação de corredores de fluxo gênico		Comunidade local, Comunidade regional, Turismo / Atividades recreacionais, Pesquisa e desenvolvimento
		Base espacial para utilização e ocupação	Base para implantação de sistema produtivos e navegação	Comunidade local, Comunidade regional, Turismo / Atividades recreacionais, Pesquisa e desenvolvimento
	Cultural	Recreação, lazer e educação	Reprodução cultural, identidade cultural, Identidade espiritual, Inspiração cultural, Beleza cênica, Recreação e turismo, Educação e pesquisa	Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais, Pesquisa e desenvolvimento
		Herança e expressão cultural e espiritual		
		Relações sociais e modo de vida	Comunidades estabelecem suas relações no entorno de rios e outros ecossistemas que provem água e alimento	
Lagoas Costeiras	Provisão	Provisão de alimento	Alimentação, matéria prima para indústria extrativista	Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais
		Provisão de água	Água para abastecimento público, dessedentação animal, irrigação, indústria, geração de energia	Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais
		Provisão de recursos genéticos e bioquímicos	Matéria prima para a indústria	Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais. Pesquisa e desenvolvimento

SISTEMAS AMBIENTAIS	SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS		BENEFÍCIOS	GRUPOS DE BENEFICIÁRIOS
	CATEGORIA	SERVIÇO		
	Regulação	Regulação térmica	Conforto térmico	Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais, Pesquisa e desenvolvimento
		Regulação hidrológica	Qualidade e quantidade de água	Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais, Pesquisa e desenvolvimento
		Purificação de água	Diluição e depuração de efluentes/poluentes	Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais, Pesquisa e desenvolvimento
		Tamponamento de mudanças hidrológicas/meteorológicas rápidas	Atenuação de eventos extremos	Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais, Pesquisa e desenvolvimento
		Regulação de teias tróficas e manutenção da biodiversidade	Manutenção de teias tróficas e regulação de funções ecossistêmicas	Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais, Pesquisa e desenvolvimento
		Regulação biológica (pragas, doenças, espécies invasoras)	Controle de pragas e redução da disponibilidade de organismos patogênicos	Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais, Pesquisa e desenvolvimento
	Suporte	Disponibilidade de áreas vitais para espécies flora e fauna	Suporte à qualidade dos habitats, aos processos e interações ecossistêmicas, manutenção da qualidade dos atributos de integridade ecossistêmica, manutenção da integridade ambiental	Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais, Pesquisa e desenvolvimento
		Produção primária		Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais, Pesquisa e desenvolvimento
		Formação de substrato		Comunidade local, Comunidade regional, Turismo / Atividades recreacionais, Pesquisa e desenvolvimento
		Formação de corredores de fluxo gênico		Comunidade local, Comunidade regional, Turismo / Atividades recreacionais, Pesquisa e desenvolvimento
		Ciclagem de nutrientes		Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais, Pesquisa e desenvolvimento
	Cultural	Recreação, lazer e educação	Reprodução cultural, identidade cultural, Identidade espiritual, Inspiração cultural, Beleza cênica, Recreação e turismo, Educação e pesquisa	Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais, Pesquisa e desenvolvimento
		Herança e expressão cultural e espiritual		
		Relações sociais e modo de vida	Comunidades estabelecem suas relações no entorno de rios e outros ecossistemas que provem água e alimento	
Manguezal	Provisão	Provisão de alimento	Alimentação, matéria-prima para indústria extrativista	Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais
		Provisão de matéria-prima	Matéria prima para construção tradicional e para atividades fabris e artesanais	Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais
		Provisão de recursos genéticos e bioquímicos	Matéria prima para a indústria	Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais. Pesquisa e desenvolvimento
	Regulação	Sequestro e fixação de carbono	Qualidade do ar	Comunidade regional
		Retenção de solo e sedimentos	Controle de erosão de áreas costeiras	Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais, Pesquisa e desenvolvimento
		Retenção de material particulado da atmosfera	Qualidade do ar	Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais, Pesquisa e desenvolvimento
		Regulação térmica	Conforto térmico	Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais, Pesquisa e desenvolvimento

SISTEMAS AMBIENTAIS	SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS		BENEFÍCIOS	GRUPOS DE BENEFICIÁRIOS
	CATEGORIA	SERVIÇO		
		Regulação hidrológica	Qualidade e quantidade de água	Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais, Pesquisa e desenvolvimento
		Tamponamento de mudanças hidrológicas/meteorológicas rápidas	Atenuação de eventos extremos	Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais, Pesquisa e desenvolvimento
		Purificação da água	Depuração de efluentes/poluentes	Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais, Pesquisa e desenvolvimento
		Regulação de teias tróficas e manutenção da biodiversidade	Manutenção de teias tróficas e regulação de funções ecossistêmicas	Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais, Pesquisa e desenvolvimento
		Regulação biológica (pragas, doenças, espécies invasoras)	Controle de pragas e redução da disponibilidade de organismos patogênicos	Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais, Pesquisa e desenvolvimento
		Polinização	Manutenção e promoção da biodiversidade, aumento da produtividade de culturas	Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais, Pesquisa e desenvolvimento
	Suporte	Disponibilidade de áreas vitais para espécies flora e fauna	Suporte à qualidade dos habitats, aos processos e interações ecossistêmicas, manutenção da qualidade dos atributos de integridade ecossistêmica, manutenção da integridade ambiental	Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais, Pesquisa e desenvolvimento
		Formação de corredores de fluxo gênico		Comunidade local, Comunidade regional, Turismo / Atividades recreacionais, Pesquisa e desenvolvimento
		Formação de substrato		Comunidade local, Comunidade regional, Turismo / Atividades recreacionais, Pesquisa e desenvolvimento
		Ciclagem de nutrientes		Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais, Pesquisa e desenvolvimento
		Produção primária		Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais, Pesquisa e desenvolvimento
	Cultural	Recreação, lazer e educação	Reprodução cultural, identidade cultural, Identidade espiritual, Inspiração cultural, Beleza cênica, Recreação e turismo, Educação e pesquisa	Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais, Pesquisa e desenvolvimento
		Herança e expressão cultural e espiritual		
		Relações sociais e modo de vida	Comunidades estabelecem suas relações no entorno de rios e outros ecossistemas que provem água e alimento	
Marinho costeiro	Provisão	Provisão de alimento	Alimentação, matéria prima para indústria extrativista	Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais
		Provisão de recursos genéticos e bioquímicos	Matéria prima para a indústria	Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais. Pesquisa e desenvolvimento
		Provisão de matéria-prima	Matéria prima para construção tradicional e para atividades fabris e artesanais	Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais
		Provisão de água	Água para abastecimento público, dessedentação animal, irrigação, indústria, geração de energia	Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais
		Provisão de recursos minerais	Petróleo e matéria-prima para a indústria	Mineradores
	Regulação	Sequestro e fixação de carbono	Qualidade do ar	Comunidade regional
		Regulação térmica	Conforto térmico	Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais, Pesquisa e desenvolvimento
		Regulação hidrológica	Qualidade e quantidade de água	Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais, Pesquisa e desenvolvimento

SISTEMAS AMBIENTAIS	SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS		BENEFÍCIOS	GRUPOS DE BENEFICIÁRIOS
	CATEGORIA	SERVIÇO		
		Regulação de teias tróficas e manutenção da biodiversidade	Manutenção de teias tróficas e regulação de funções ecossistêmicas	Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais, Pesquisa e desenvolvimento
		Purificação da água	Diluição e depuração de efluentes/poluentes	Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais, Pesquisa e desenvolvimento
		Regulação biológica (pragas, doenças, espécies invasoras)	Controle de pragas e redução da disponibilidade de organismos patogênicos	Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais, Pesquisa e desenvolvimento
		Tamponamento de mudanças hidrológicas/meteorológicas rápidas	Atenuação de eventos extremos	Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais, Pesquisa e desenvolvimento
	Suporte	Disponibilidade de áreas vitais para espécies flora e fauna	Suporte à qualidade dos habitats, aos processos e interações ecossistêmicas, manutenção da qualidade dos atributos de integridade ecossistêmica, manutenção da integridade ambiental	Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais, Pesquisa e desenvolvimento
		Formação de substrato		Comunidade local, Comunidade regional, Turismo / Atividades recreacionais, Pesquisa e desenvolvimento
		Formação de corredores de fluxo gênico		Comunidade local, Comunidade regional, Turismo / Atividades recreacionais, Pesquisa e desenvolvimento
		Ciclagem de nutrientes		Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais, Pesquisa e desenvolvimento
		Produção primária		Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais, Pesquisa e desenvolvimento
		Base espacial para utilização e ocupação	Base para implantação de sistema produtivos e navegação	Comunidade local: pescadores, Comunidade regional
	Cultural	Recreação, lazer e educação	Reprodução cultural, identidade cultural, Identidade espiritual, Inspiração cultural, Beleza cênica, Recreação e turismo, Educação e pesquisa	Comunidade local, Comunidade regional, Mineradores, Construção civil, Indústria, Turismo / Atividades recreacionais, Pesquisa e desenvolvimento
		Herança e expressão cultural e espiritual		
		Relações sociais e modo de vida	Comunidades estabelecem suas relações no entorno do mar e outros ecossistemas que provem água e alimento	

8.4.1 COMPARTIMENTO 1

O Compartimento 1 (C1) foi definido como o trecho de corpos d'água atingidos e seu entorno no ambiente terrestre, desde a barragem de Fundão até a UHE Risoleta Neves, onde grande parte do volume de rejeitos ficou retido. Nesse trecho, houve extravasamento da calha dos corpos hídricos e as áreas afetadas pela passagem e deposição da lama foram identificadas em cada sistema (Tabela 24), a partir do mapeamento de uso e ocupação do solo, comparando os períodos pré e pós-desastre (BRASIL (MPF)/LACTEC, 2020b). As pressões, como o impacto físico da onda de lama, soterramento de estruturas e ecossistemas, dispersão dos rejeitos na coluna d'água e na atmosfera, deposição dos rejeitos sobre solo, vegetação e fundo do rio, liberação de EPTs para o ambiente, ruídos e vibrações, incidiram diretamente sobre os sistemas ambientais destas áreas.

Tabela 24 - Área afetada por sistema ambiental pela passagem e deposição da lama no Compartimento 1.

Sistema	Área afetada (hectares) - C1
Afloramento rochoso	16,52
Praias e bancos de areia	35,82
Campos rupestres	18,21
Mata nativa	583,92
Vegetação secundária	457,78
Produção agropecuária	686,82
Silvicultura	13,71
Urbano / construído	38,15
Mineração	13,71
Solo exposto	10,82
Áreas úmidas / várzeas de inundação	75,95
Corpos d'água (rios, reservatórios e ambientes lacustres)	702,17

Os sistemas ambientais aquáticos continentais tiveram a maior área afetada pela passagem e deposição da lama, conforme esperado, em decorrência da força da passagem da onda, que levou a alterações na morfologia dos corpos d'água e na dinâmica de transporte de sedimentos ao longo dos rios, e das propriedades físico-químicas e biológicas dos sistemas aquáticos. Nos sistemas terrestres, em especial nos sistemas de produção agropecuária e de mata nativa e vegetação secundária, houve supressão de vegetação e das produções, perda da conectividade da paisagem e deposição do rejeito de mineração com formação do Tecnosolo. Diferentes espécies químicas foram depositadas nos mais variados meios, estando a sua disponibilidade e toxicidade relativas às dinâmicas ambientais ocorrentes (BRASIL (MPF)/LACTEC, 2020b).

É importante salientar que os limites das áreas diretamente afetadas pela passagem e deposição de rejeito não representam barreiras para as perdas de serviços ecossistêmicos. Sistemas ambientais são abertos,

recebendo *inputs* de energia e matéria, transformando-os e gerando produtos como *outputs*. Como os sistemas ambientais são abertos, estão continuamente recebendo novas cargas de energia, recuperando a capacidade de trabalho ou de troca de calor e a sua estabilidade mantém-se em estado constante, em face da variabilidade dos fluxos de energia e matéria. Nesses processos de interação, uma mudança observável em uma parte do sistema ou do universo sistêmico, é correlacionada com uma mudança correspondente em outra (CHRISTOFOLETTI, 1999). Portanto, a pressão em um sistema ambiental pode levar a mudanças de estado e, conseqüentemente, perdas de serviços ecossistêmicos oferecidos pelo sistema cujos benefícios transcendem os limites do sistema. A classificação do Índice de Perda de Serviços Ecossistêmicos (IPSE) é apresentada na Tabela 25 para cada serviço oferecido pelos sistemas ambientais existentes no C1.

Tabela 25 - Perda relativa dos serviços ecossistêmicos no Compartimento 1.

Categoria	Serviços Ecossistêmicos	Classificação do IPSE												
		Afloramento rochoso	Solo exposto	Campos rupestres	Mata nativa	Vegetação secundária	Produção agropecuária	Silvicultura	Urbano / construído	Mineração	Várzeas / Áreas úmidas	Reservatórios	Fluviais	Lacustres
Provisão	Provisão de recursos bioenergéticos				3	3		2						
	Provisão de alimentos				5		2				4	5	5	1
	Provisão de matéria-prima			3	4	4	2	2			3			
	Provisão de recursos minerais	1	1							0			1	
	Provisão de água											3	3	1
	Provisão de recursos genéticos e bioquímicos			3	5	5					4	5	5	0
Regulação	Sequestro e fixação de carbono			3	4	4		2			3			
	Retenção de solo e sedimentos			4	5	5		3			4			
	Retenção de material particulado da atmosfera				3	3		0						
	Regulação térmica				3	3		0				0	0	0
	Regulação hidrológica				3	3		2			3	2	2	1
	Tamponamento de mudanças hidrológicas/meteorológicas rápidas				3	3		0			2	2	2	1
	Purificação da água										3		4	
	Decomposição de resíduos e remediação de contaminantes			3	3	3								

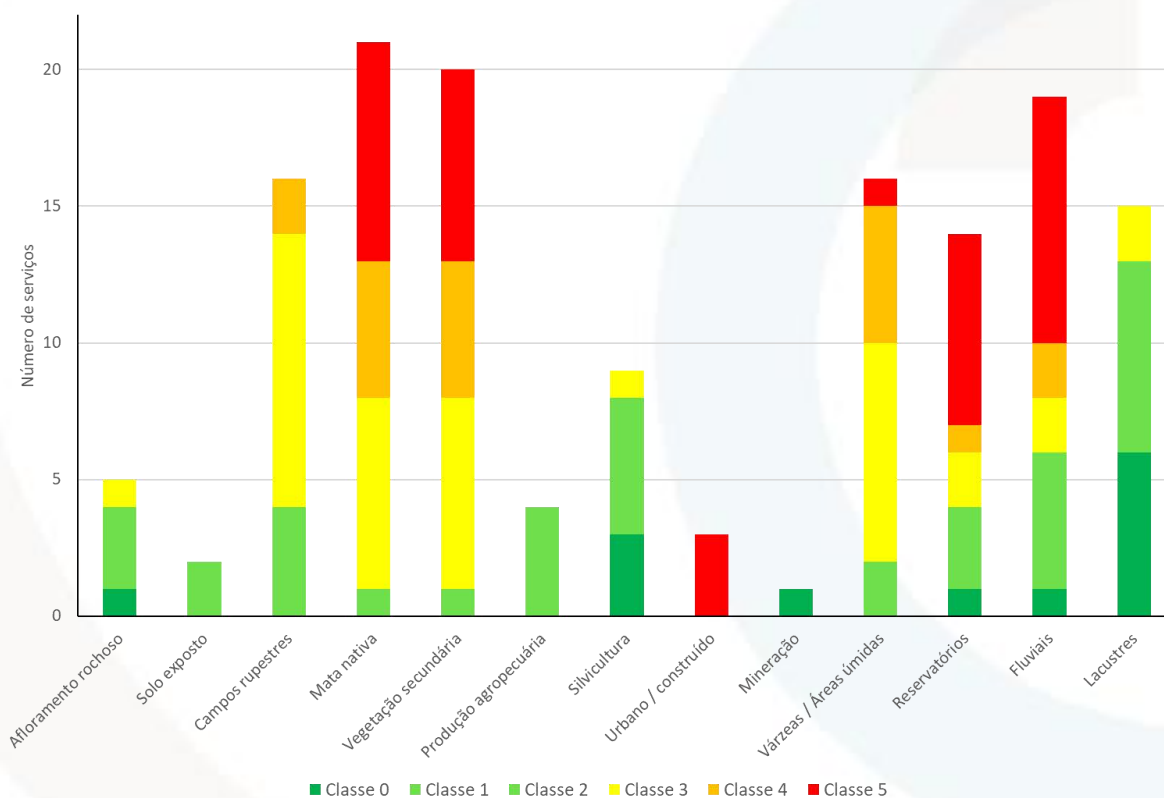
Categoria	Serviços Ecosistêmicos	Classificação do IPSE												
		Afloramento rochoso	Solo exposto	Campos rupestres	Mata nativa	Vegetação secundária	Produção agropecuária	Silvicultura	Urbano / construído	Mineração	Várzeas / Áreas úmidas	Reservatórios	Fluviais	Lacustres
	Regulação biológica (pragas, doenças e espécies exóticas)			3	5	5					4		5	1
	Regulação de teias tróficas e manutenção da biodiversidade			3	5	5						4	4	0
	Polinização			2	4	4								
Suporte	Disponibilidade de áreas vitais para espécies flora e fauna	3		4	5	5					5	5	5	1
	Base espacial para utilização e ocupação		1	1								1	1	
	Formação de corredores de fluxo gênico			3	5	5		2			4		2	0
	Formação de solo	0		3	4	4					3			
	Formação de substrato											3	3	1
	Ciclagem de nutrientes			3	5	5					3	5	5	0
	Produção primária			3	4	4					3	5	5	0
Cultural	Recreação, lazer e educação	2		2	3	3			5		3	5	5	3
	Herança e expressão cultural e espiritual	1		1	2	2	1		5		2	5	5	3
	Relações sociais e modo de vida						1		5				5	

O sistema com maior número de serviços com índice de perda máximo foi o fluvial (9 serviços na classe 5), conforme pode ser visualizado na Figura 134. Este resultado é esperado, devido ao caminho percorrido pela onda de rejeitos, que majoritariamente se dispersou sobre a coluna d'água do rio Gualaxo do Norte, Rio do Carmo e do Rio Doce. A classe 5 indica uma perda total da oferta do serviço oferecido pelo sistema, ou seja, os reservatórios e os rios afetados no C1 ficaram sem a capacidade de oferecer os serviços de provisão de alimentos, provisão de recursos genéticos e bioquímicos, regulação biológica (pragas, doenças e espécies exóticas), disponibilidade de áreas vitais para espécies flora e fauna, ciclagem de nutrientes, produção primária, recreação, lazer e educação, herança e expressão cultural e espiritual e relações sociais e modo de vida, este último somente no caso do rio Doce. As mudanças de estado foram mensuradas por diversos indicadores físico, químicos e biológicos e de integridade do patrimônio cultural material e imaterial. Os benefícios que deixaram de ser oferecidos por esses sistemas com a perda dos serviços foram: alimentos,

matéria-prima para indústria, controle de pragas e redução da disponibilidade de organismos patogênicos, suporte à qualidade dos habitats, manutenção da integridade ambiental, reprodução cultural, identidade cultural e espiritual, beleza cênica, recreação, turismo, educação e pesquisa. As comunidades locais (tradicionais, de pescadores e urbana) foram as mais afetadas com a perda destes benefícios.

Nos dois sistemas (fluviais e reservatórios), 3 dos serviços ecossistêmicos com classificação máxima do IPSE pertencem à categoria de suporte. A perda do serviço de disponibilidade de áreas vitais para espécies de flora e fauna foi relacionada à 23 diferentes danos, dentre os quais destaca-se a alteração na área de drenagem dos cursos d'água, aumento nas concentrações de sólidos e EPTs na água, perda de biodiversidade de flora aquática e assoreamento do canal do rio. A perda do serviço de ciclagem de nutrientes foi relacionada à 13 danos e a perda do serviço de produção primária foi associada à 19 danos. O alto índice de perda dos serviços provisão de alimentos e de recursos genéticos e bioquímicos, além de ser consequência da perda dos serviços de suporte, foi relacionada principalmente ao aumento da concentração de sólidos e EPTs na água, mortandade de peixes, alteração da composição, estrutura e dinâmica populacional da ictiofauna, alteração das comunidades fito e zooplancônicas e perda de diversidade da flora aquática.

Figura 134 - Número de serviços ecossistêmicos por classe de IPSE em cada sistema ambiental no Compartimento 1.



Fonte: Lactec (2020).

A deposição de lama e o soterramento de nascentes e córregos diminuiu a capacidade do sistema hídrico de cabeceiras da bacia do Rio Gualaxo do Norte em fornecer água de boa qualidade e em fluxos normais para a rede de drenagem do Alto Rio Doce, comprometendo o serviço de ecossistêmico de provisão de água, o que resultou no IPSE classe 3 para os sistemas fluviais e de reservatórios. Segundo Agência Brasil (2017), a Fundação SOS Mata Atlântica fez uma avaliação ao longo dos trechos de rios afetados pela lama dois anos após o desastre da Samarco, e constatou que a qualidade da água dos rios afetados na bacia do rio Doce estava ruim ou péssima em 88,9% dos pontos de coleta analisados e regular em 11,1% dos pontos.

Após extravasar a calha dos rios, a lama primeiramente atingiu as várzeas, ocasionando a diminuição da oferta dos 15 serviços oferecidos por este sistema, destacando uma perda completa (IPSE classe 5) do serviço de disponibilidade de áreas vitais para fauna e flora, para então atingir os sistemas do ambiente terrestre. Neste ambiente, os sistemas que ofertam mais serviços ecossistêmicos, mata nativa e vegetação secundária, apresentaram perdas em todos os serviços ofertados. O IPSE atingiu a categoria 5 para os serviços de disponibilidade de áreas vitais para espécies de flora e fauna, formação de corredores de fluxo gênico, provisão de alimentos e de recursos genéticos e bioquímicos, retenção de solo e sedimentos e regulação biológica e de teias tróficas, que de forma geral podem ser associados à supressão de vegetação na área diretamente afetada e as alterações relacionadas a estrutura dos solos. A classificação da magnitude relativa da perda de serviço pode ser visualizada para todos os serviços oferecidos pelos sistemas de mata nativa e vegetação secundária na Tabela 25. Embora as pressões tenham sido similares nos sistemas mata nativa e várzeas, é possível observar que as perdas de alguns serviços foram classificadas em classes mais altas para a mata nativa, visto que um número maior de indicadores demonstrou alterações de estado que levaram a perda do serviço e/ou aquele serviço era ofertado em menor quantidade pelas várzeas, como por exemplo o serviço de sequestro e fixação de carbono e de retenção de solos e sedimentos. Além disso, vale lembrar que alguns indicadores de estado do sistema não foram possíveis de serem mensurados seja pela não coleta de dados logo após o desastre ou pela inexistência de dados pré-desastre, dessa forma, a partir dos danos que representam diferenças comprovadas em algum indicador, é possível entender que aqui estão sendo mensuradas a magnitude relativa das perdas de serviços que puderam ser comprovadas pelos danos.

Por outro lado, não foi detectada perda do único serviço ofertado pelo sistema de mineração, pois não houve dano associado à provisão de recursos minerais, visto que foram utilizados indicadores majoritariamente ambientais para determinação das perdas de serviços e não indicadores socioeconômicos como a parada das atividades de mineração na própria mina da Samarco, ou seja, este serviço também foi potencialmente afetado, mas não foi detectado perda pelos indicadores utilizados. Os danos relacionados aos índices de perda de serviços ecossistêmicos gerados para cada sistema ambiental estão apresentados no APÊNDICE F.

De forma geral, os sistemas menos afetados pela perda de serviços ecossistêmicos foram os sistemas mais antropizados. Isto ocorreu porque estes sistemas ofertam menos serviços e, ou apresentam menor dependência de funções ecológicas do que os sistemas naturais, ou esta dependência é parcialmente suprida de outras formas, como, por exemplo, a utilização da irrigação, o uso de fertilizantes químicos e defensivos agrícolas e a introdução de abelhas de espécies exóticas para a polinização de culturas específicas.

Embora o sistema urbano/construído apresente somente serviços culturais, o soterramento de bens arqueológicos e a interrupção do acesso e/ou uso de bens culturais materiais no C1, com consequente alteração de espaços de referência de memória, alteração de práticas culturais, sofrimento social e alteração da rede de relações comunitárias, descritos em detalhe no TOMO V do Diagnóstico socioambiental (BRASIL (MPF)/LACTEC, 2020f), resultaram em valores de IPSE classe 5. O rio Doce, como parte integrante do patrimônio cultural material e imaterial da região, também apresentou classificação máxima do IPSE, indicando que os serviços culturais oferecidos pelos sistemas foram afetados em magnitude similar a alguns serviços de suporte e de provisão. Além da degradação ambiental evidente dos sistemas, estes também ficaram sem a capacidade de oferecer espaços para lazer, recreação e turismo; os componentes materiais e imateriais relacionados a herança e expressão cultural e espiritual dos sistemas ficaram indisponíveis, e o modo de vida e as relações sociais proporcionados pelo sistema urbano (Bento Rodrigues) ou pelo rio Doce foi completamente perdido.

De acordo com a classificação da magnitude das perdas relativas de serviços ecossistêmicos apresentadas na Tabela 25 e com os benefícios e beneficiários identificados para cada serviço na Tabela 23, é possível considerar que os potenciais grupos de beneficiários mais afetados no C1 são as comunidades locais e regionais, que mantinham maiores relações com os sistemas e os serviços mais afetados.

8.4.2 COMPARTIMENTO 2

O Compartimento 2 (C2) compreende o trecho do rio Doce e seu entorno, da UHE Risoleta Neves até a UHE Mascarenhas. Este compartimento foi dividido em:

- Compartimento 2A (C2A) – trecho do rio Doce e seu entorno, compreendido entre a UHE Risoleta Neves e a UHE Baguari;
- Compartimento 2B (C2B) – trecho do rio Doce e seu entorno, compreendido entre a UHE Baguari e a UHE Mascarenhas.

No C2, houve extravasamento do rejeito da calha do rio Doce, e a área diretamente afetada pela passagem e deposição da lama (Tabela 26) foi estimada a partir do mapeamento de uso e ocupação do solo no período pré-desastre e modelagem computacional (BRASIL (MPF), LACTEC 2020).

Tabela 26 - Área afetada por sistema ambiental pela passagem e deposição da lama no Compartimento 2.

Sistema	Área afetada (hectares) – C2
Afloramento rochoso	415,97
Praias e bancos de areia	477,38
Campos rupestres	3,17
Mata nativa	2414,53
Vegetação secundária	616,67
Produção agropecuária	3453,54
Silvicultura	56,06
Urbano / construído	181,45
Mineração	0,21
Solo exposto	254,23
Áreas úmidas / várzeas de inundação	505,75
Corpos d'água (rios, reservatórios e ambientes lacustres)	12776,83

Assim como no C1, o desastre (força motriz) gerou pressões nas áreas diretamente afetadas, que alteraram o estado dos sistemas (danos), levando a perdas de serviços ecossistêmicos e benefícios (Impacto I). Entretanto, as pressões no C2 tiveram menor magnitude pois a UHE Risoleta Neves reteve grande parte dos detritos e rejeitos. A classificação das perdas de serviços ecossistêmicos para o C2A, que fica imediatamente à jusante da UHE Risoleta Neves, é apresentada na Tabela 27.

Tabela 27 - Perda relativa dos serviços ecossistêmicos no Compartimento 2A.

Categoria	SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS	NÍVEL DE PERDA DO SERVIÇO												
		Afloramento rochoso	Solo exposto	Campos rupestres	Mata nativa	Vegetação secundária	Produção agropecuária	Silvicultura	Urbano / construído	Mineração	Várzeas / Áreas úmidas	Reservatórios	Fluviais	Lacustres
Provisão	Provisão de recursos bioenergéticos				0	0		0						
	Provisão de alimentos				2		0				1	5	5	0
	Provisão de matéria-prima			0	1	1	0	0			0			
	Provisão de recursos minerais	0	0							0			1	
	Provisão de água											3	3	0
	Provisão de recursos genéticos e bioquímicos			1	2	2					2	5	5	0
Regulação	Sequestro e fixação de carbono			0	0	0		0			0			
	Retenção de solo e sedimentos			0	0	0		0			0			
	Retenção de material particulado da atmosfera				0	0		0						
	Regulação térmica				0	0		0				0	0	0
	Regulação hidrológica				0	0		0			0	1	1	0
	Tamponamento de mudanças hidrológicas/meteorológicas rápidas				0	0		0			0	2	1	0
	Purificação da água										0		3	
	Decomposição de resíduos e remediação de contaminantes			0	0	0								
	Regulação biológica (pragas, doenças e espécies exóticas)			1	2	2					2		4	0
	Regulação de teias tróficas e manutenção da biodiversidade			1	2	2						4	4	0
Polinização			1	2	2									
Suporte	Disponibilidade de áreas vitais para espécies flora e fauna	1		1	2	2					2	5	5	0
	Base espacial para utilização e ocupação		0	0								1	1	
	Formação de corredores de fluxo gênico			0	1	1		1			1		2	0
	Formação de solo	0		0	0	0					0			
	Formação de substrato											2	2	0
	Ciclagem de nutrientes			0	1	1					1	5	5	0
	Produção primária			0	0	0					0	5	5	0
Cultural	Recreação, lazer e educação	0		0	1	1			4		1	4	4	2
	Herança e expressão cultural e espiritual	0		0	1	1	0		4		1	4	4	2
	Relações sociais e modo de vida						0		4				5	

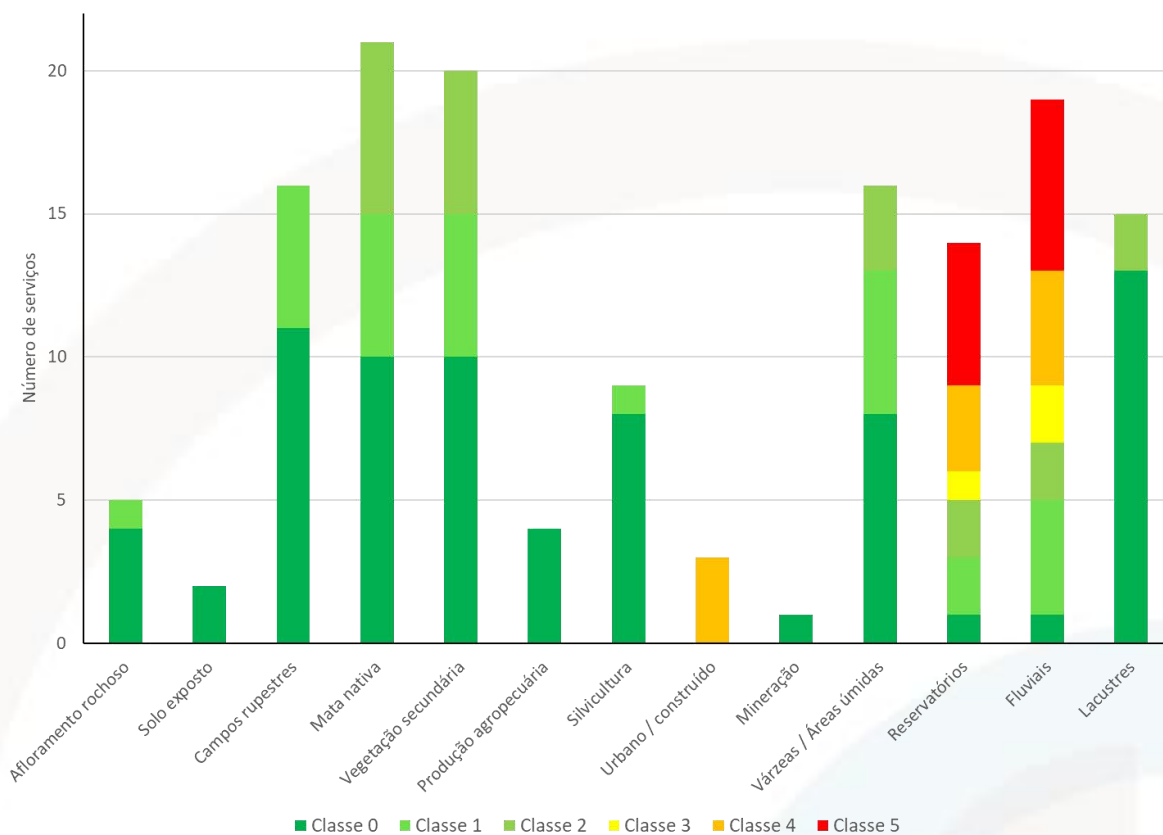
Quando comparadas ao C1, as perdas dos serviços ecossistêmicos nos sistemas terrestres foram menores no C2A, mesmo havendo o extravasamento do rejeito da calha do rio. As maiores perdas de serviços detectadas nestes sistemas (maior classificação do IPSE) foram registradas para o serviço de disponibilidade de áreas vitais para espécies de flora e fauna, serviços de regulação e serviços de provisão de alimentos e de recursos genéticos e bioquímicos da mata nativa e vegetação secundária. Entretanto, os níveis de IPSE apresentados foram obtidos com base em danos levantados e avaliados dois anos após o desastre. Portanto, é possível que algumas das perdas ocorridas imediatamente após o desastre não tenham sido contabilizadas no presente estudo.

Os sistemas fluviais e de reservatório apresentaram perdas similares aquelas verificadas no C1, sendo que o IPSE foi classificado na classe 5 para os serviços de disponibilidade de áreas vitais para espécies de flora e fauna, produção primária e ciclagem de nutrientes, relacionados principalmente ao aumento das concentrações de sólidos e EPTs na água, à alteração da comunidade fitoplanctônica da comunidade de macroinvertebrados bentônicos, à perda da diversidade de flora e ao assoreamento do canal do rio. O suporte à qualidade dos habitats, processos e interações ecológicas e a manutenção da integridade ambiental foram prejudicados com a perda destes serviços, afetando a oferta de outros serviços, especialmente os serviços de provisão, prejudicados pela mortalidade de peixes e pela alteração na composição, estrutura e dinâmica populacional da ictiofauna. A lama de rejeitos, em associação com a elevada carga de sedimentos e outros elementos carregados ao longo do rio Doce, causou a morte de inúmeras espécies de peixes, muitas delas endêmicas da bacia. Com base em dados secundários, estimou-se que a quantidade de peixes mortos em decorrência da passagem da lama foi de 10 toneladas (BRASIL (MPF)/LACTEC, 2020b).

As áreas de vegetação natural que tiveram contato direto com a onda de lama e rejeitos desempenharam papel providencial para os ecossistemas naturais e as populações humanas, por conta do processo de amortecimento da força mecânica e do impacto físico (“efeito barreira”). Entretanto, a supressão da vegetação ciliar e a redução na capacidade de resiliência da mata nativa as tornaram não efetivas para a mitigação de posteriores desastres (naturais ou não) até sua recuperação, havendo aí uma fase de perda temporal de serviços ecossistêmicos de regulação de desastres naturais (BRASIL (MPF)/LACTEC, 2020b).

O desastre comprometeu significativamente a oferta de serviços culturais no C2A, especialmente pelos sistemas fluviais, de reservatórios e urbano, conforme pode ser visualizado no gráfico da Figura 135. Os principais danos associados a estas perdas são: alterações de práticas culturais, alteração da rede de relações comunitárias, sofrimento social, alteração de espaços relacionados às práticas culturais e de referência de memória. Como consequência, a comunidade local deixou de desfrutar dos benefícios potencialmente ofertados pelos serviços, representados pela reprodução cultural, identidade cultural e espiritual, beleza cênica, inspiração cultural, recreação e turismo, educação e pesquisa.

Figura 135 - Número de serviços ecossistêmicos por classe de IPSE em cada sistema ambiental no Compartimento 2A.



Fonte: Lactec (2020).

No C2B, à jusante da UHE Baguari, também foram identificadas áreas diretamente afetadas pela passagem e deposição da lama. As perdas mais importantes de serviços ocorreu nos sistemas fluviais e de reservatórios, como pode ser observado na Tabela 28 e na Figura 136, similar ao registrado nos compartimentos à montante.

Tabela 28 - Perda relativa dos serviços ecossistêmicos no Compartimento 2B.

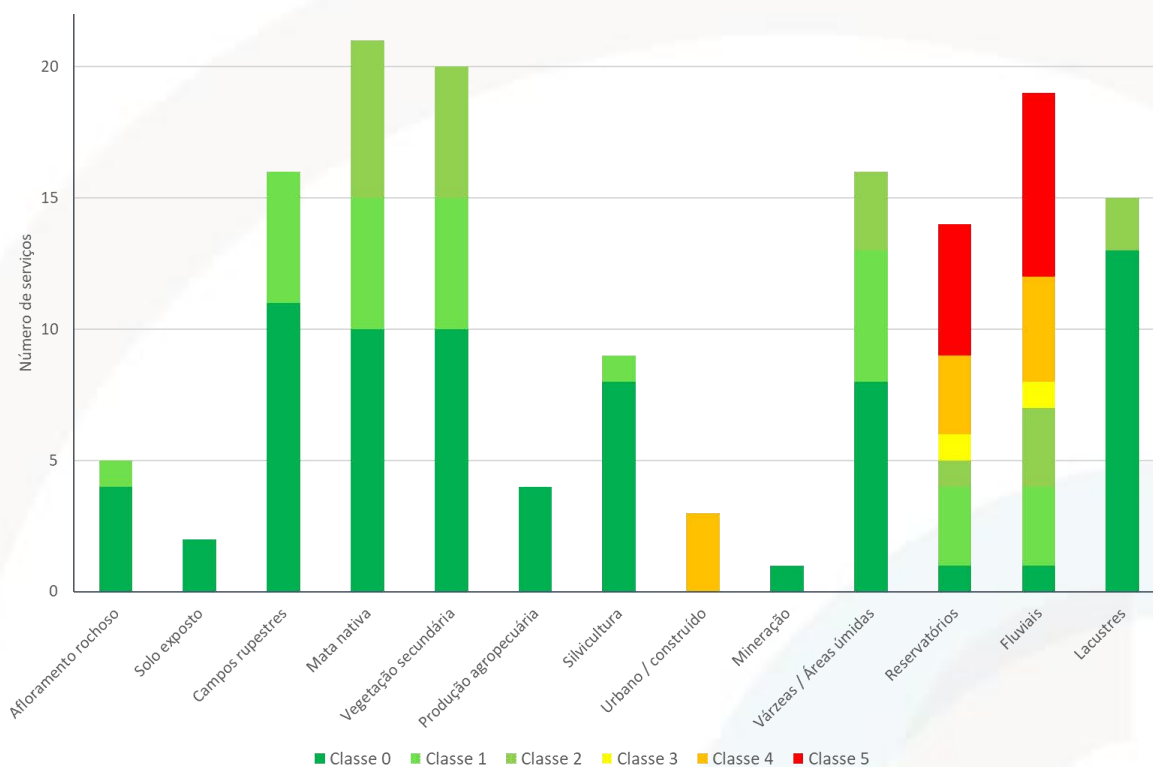
Tabela 20 - Perda relativa dos serviços ecossistêmicos no Compartmento 2B:														
Categoria	SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS	NÍVEL DE PERDA DO SERVIÇO												
Provisão	Provisão de recursos bioenergéticos				0	0	0							
	Provisão de alimentos				2		0			1	5	5	0	
	Provisão de matéria-prima			0	1	1	0	0		0				
	Provisão de recursos minerais	0	0						0			2		
	Provisão de água										3	3	0	
	Provisão de recursos genéticos e bioquímicos			1	2	2				2	5	5	0	
Regulação	Sequestro e fixação de carbono			0	0	0		0		0				
	Retenção de solo e sedimentos			0	0	0		0		0				
	Retenção de material particulado da atmosfera				0	0		0						
	Regulação térmica				0	0		0			0	0	0	0
	Regulação hidrológica				0	0		0		0	1	1	0	
	Tamponamento de mudanças hidrológicas/meteorológicas rápidas				0	0		0		0	1	1	0	
	Purificação da água								0			4		
	Decomposição de resíduos e remediação de contaminantes			0	0	0								
	Regulação biológica (pragas, doenças e espécies exóticas)			1	2	2				2		4	0	
	Regulação de teias tróficas e manutenção da biodiversidade			1	2	2					4	4	0	
	Polinização			1	2	2								
Suporte	Disponibilidade de áreas vitais para espécies flora e fauna	1		1	2	2				2	5	5	0	
	Base espacial para utilização e ocupação		0	0							1	1		
	Formação de corredores de fluxo gênico			0	1	1		1		1		2	0	
	Formação de solo	0		0	0	0				0				
	Formação de substrato										2	2	0	
	Ciclagem de nutrientes			0	1	1				1	5	5	0	
	Produção primária			0	0	0				0	5	5	0	
Cultural	Recreação, lazer e educação	0		0	1	1			4	1	4	5	2	
	Herança e expressão cultural e espiritual	0		0	1	1	0		4	1	4	4	2	
	Relações sociais e modo de vida						0		4			5		

A menor declividade do relevo, encontrada neste compartimento, favoreceu a deposição de sedimentos nos cursos d'água. Os danos associados a estas perdas são semelhantes aos já descritos para o C2A. Os sistemas adjacentes aos fluviais e de reservatórios foram afetados, como mata nativa, áreas úmidas, vegetação secundária e produção agropecuária, embora o IPSE nestes sistemas tenha atingido no máximo a classe 2. Da mesma forma que nos demais compartimentos, a perda de serviços de suporte, como produção primária e disponibilidade de áreas vitais para espécies de flora e fauna, acarretou perdas de serviços dependentes destes, como a provisão de alimentos e de recursos genéticos e bioquímicos.

O “medo da água”, recorrente em diversos relatos coletados em campo, tem afetado de forma sensível diferentes práticas culturais que eram comuns até o desastre, evidenciando o dano aos bens culturais imateriais no C2 (BRASIL (MPF)/LACTEC, 2020g). Os serviços culturais apresentaram perdas em 7 dos 13

sistemas presentes neste compartimento. A perda foi mais significativa nos sistemas fluviais, urbanos e de reservatórios.

Figura 136 - Número de serviços ecossistêmicos por classe de IPSE em cada sistema ambiental no Compartimento 2B.



Fonte: Lactec (2020).

A semelhança dos índices apresentados nas Tabela 27 e Tabela 28 é reflexo da metodologia empregada, que depende da avaliação de danos realizada para cada compartimento na geração do Índice de Perda de Serviços Ecossistêmicos (IPSE). Além disso, embora tenha sido detectado o extravasamento de rejeitos no compartimento C2, algumas mudanças de estado (danos) registradas no C1 não foram registradas no C2, seja pela não ocorrência destas mudanças de estado, seja pela impossibilidade de comparação dos valores dos indicadores dos danos com valores ocorrentes anteriormente ao desastre. Portanto, a possível existência de valores subestimados entre os índices de perdas de serviços ecossistêmicos no C2, especialmente no ambiente terrestre, pode estar relacionada à indisponibilidade de indicadores de danos naquele compartimento.

8.4.3 COMPARTIMENTO 3

O Compartimento 3 (C3) compreende o trecho do rio Doce e seu entorno terrestre entre a UHE

Mascarenhas até o estuário do rio Doce, no Espírito Santo. As áreas diretamente afetadas pela passagem e deposição da lama são apresentadas na Tabela 29. O C3 apresenta topografia suave a plana, onde dominam os processos de deposição sobre os de erosão. Há presença de muitos bancos de areia, ilhas fluviais e lagoas. Desta forma, os danos no ambiente aquático foram mais graves e em maior número que no ambiente terrestre. Houve alteração significativa da água devido à alta turbidez e entrada do fluxo de lama em algumas lagoas. Neste compartimento houve deposição de rejeito nas margens e ao longo do canal praticamente até a foz do rio Doce, no distrito de Regência (BRASIL (MPF)/LACTEC, 2020b).

Tabela 29 - Área afetada por sistema ambiental pela passagem e deposição da lama no Compartimento 3.

Sistema	Área afetada (hectares) – C3
Afloramento rochoso	3,25
Praias e bancos de areia	1763,64
Mata nativa	10022,65
Vegetação secundária	920,28
Produção agropecuária	14554,65
Silvicultura	254,58
Urbano / construído	166,17
Restinga	3,63
Solo exposto	38,46
Áreas úmidas / várzeas de inundação	27051,13
Corpos d'água (rios, reservatórios e ambientes lacustres)	8841,51

Assim como nos demais compartimentos, os danos ao patrimônio cultural foram significativos. Associadas às mudanças de estado dos sistemas ambientais representadas pelos danos, os níveis de perda classe 5 foram restritos aos sistemas fluviais, de reservatórios e ao sistema urbano/construído, como pode ser observado na Tabela 30.

Tabela 30 - Perda relativa dos serviços ecossistêmicos no Compartimento 3.

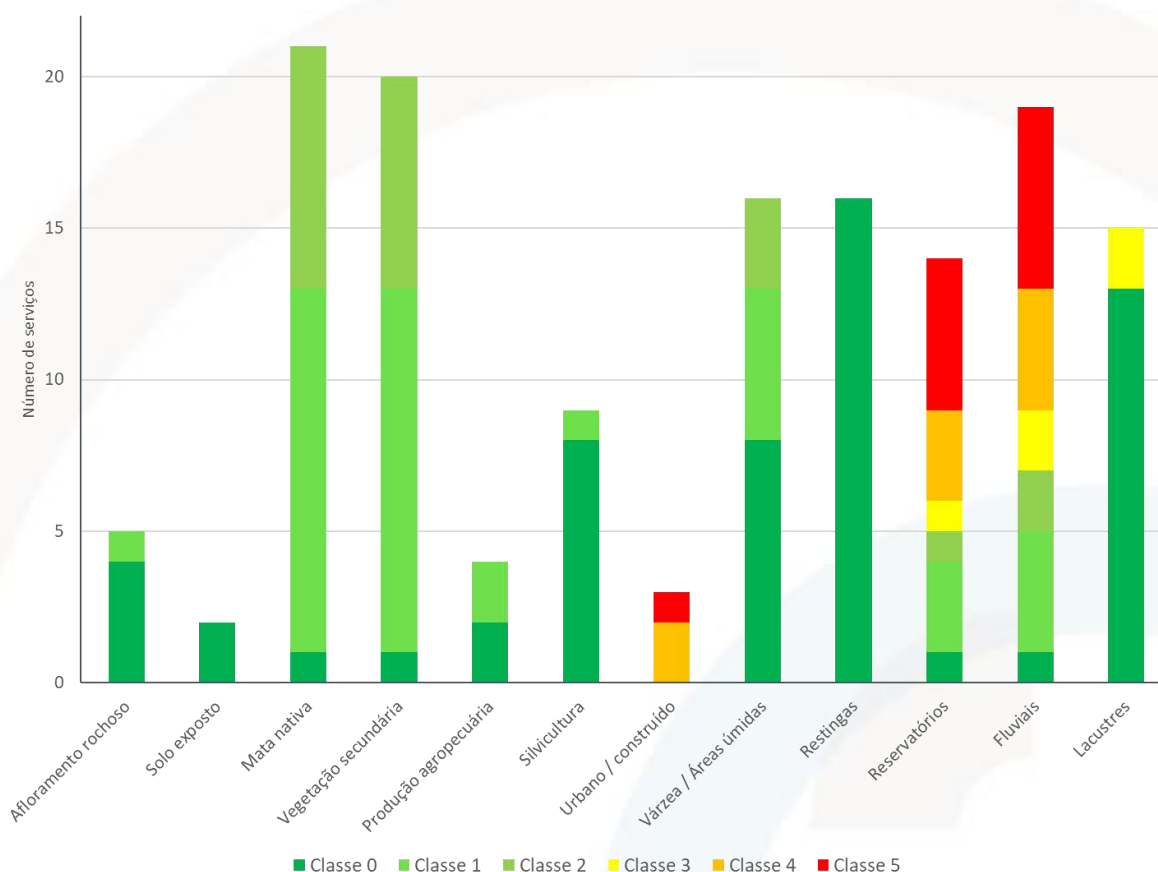
Categoria	SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS	NÍVEL DE PERDA DO SERVIÇO									
Provisão	Provisão de recursos bioenergéticos			1	1	0					
	Provisão de alimentos			2	0			1	0	5	5
	Provisão de matéria-prima			1	1	0	0	0	0		
	Provisão de recursos minerais	0	0								1
	Provisão de água									3	3
	Provisão de recursos genéticos e bioquímicos			2	2			2	0	4	4
Regulação	Sequestro e fixação de carbono			1	1	0		0	0		
	Retenção de solo e sedimentos			1	1	0		0	0		
	Retenção de material particulado da atmosfera			1	1	0					
	Regulação térmica			1	1	0				0	0
	Regulação hidrológica			1	1	0		0	0	1	1
	Tamponamento de mudanças hidrológicas/meteorológicas rápidas			1	1	0		0	0	1	1
	Purificação da água							0	0		3
	Decomposição de resíduos e remediação de contaminantes			0	0						
	Regulação biológica (pragas, doenças e espécies exóticas)			2	2			2	0		4
	Regulação de teias tróficas e manutenção da biodiversidade			2	2					4	4
	Polinização			2	2						
Suporte	Disponibilidade de áreas vitais para espécies flora e fauna	1		2	2			2	0	5	5
	Base espacial para utilização e ocupação		0							1	1
	Formação de corredores de fluxo gênico			2	2	1		1	0		2
	Formação de solo	0		1	1			0	0		
	Formação de substrato									2	2
	Ciclagem de nutrientes			2	2			1	0	4	4
	Produção primária			1	1			0	0	5	5
Cultural	Recreação, lazer e educação	0		1	1		4	1	0	5	5
	Herança e expressão cultural e espiritual	0		1	1	1	5	1	0	5	5
	Relações sociais e modo de vida				1		4				5

O sistema fluvial apresentou o maior número de serviços ecossistêmicos em classe 5 (6 serviços), seguido do sistema de reservatórios (5 serviços), conforme pode ser visualizado na Figura 137. É possível observar que as perdas de serviços ecossistêmicos no C3 para esses dois sistemas foram semelhantes às perdas do C2, mas inferiores em número às perdas do C1. Ainda, vale mencionar as maiores perdas de serviços culturais nos sistemas lacustres, que não tinham sido registradas nos compartimentos C2A e C2B.

Tendo em vista a contaminação da água, diminuição e/ou remoção de pessoas circulando nas áreas atingidas, dificuldades de acesso, aumento das distâncias e a quebra dos laços existentes, diversas celebrações, festividades, encontros religiosos, atividades esportivas/de lazer e atividades tradicionais foram afetados (tais como farsagem e pesca), o que levou a alterações das práticas culturais no C3. O bem paisagístico Lagoa Juparanã (sistema lacustre), localizado neste compartimento, em Linhares/ES, foi afetado tanto na sua dimensão paisagística como no lazer/turismo (praias de água doce), em decorrência do barramento do rio Pequeno junto à foz do rio Doce (BRASIL (MPF)/ LACTEC, 2020b), o que resultou no IPSE

classe 3 para os serviços culturais por ela oferecidos.

Figura 137 - Número de serviços ecossistêmicos por classe de IPSE em cada sistema ambiental no Compartimento 3.



Fonte: Lactec (2020).

As perdas dos serviços de suporte de disponibilidade de áreas vitais para espécies de flora e fauna, ciclagem de nutrientes e produção primária foram associadas a 16, 9 e 15 danos, respectivamente, com destaque ao aumento da concentração de sólidos e EPTs na água, alteração nas comunidades fitoplanctônicas e perda da diversidade da flora aquática. As perdas completas dos serviços de provisão de alimentos e de recursos genéticos e bioquímicos estão associadas à perda dos serviços de suporte e a 14 e 17 danos, respectivamente, sendo os mais importantes a perda da biodiversidade de flora, a alteração nas comunidades fito e zooplanctônicas, a perda de recursos florestais não madeireiros, as alterações na composição e estrutura das comunidades e na dinâmica populacional da ictiofauna.

As perdas dos serviços culturais de recreação, lazer e educação e de relações sociais e modo de vida, no sistema fluvial foram relacionadas a 13 e 14 danos, respectivamente, destacando-se a interrupção ou cessão de acesso e/ou uso dos bens culturais materiais, alterações de práticas culturais e seus espaços,

alterações da rede de relações comunitárias, sofrimento social e alteração de espaços de referência de memória. O sistema urbano apresentou perdas significativas dos serviços de recreação, lazer e educação, herança e expressão cultural e espiritual e relações sociais e modo de vida, principalmente relacionadas à perturbação de camadas sedimentares associadas a bem arqueológico, modificação da paisagem de implantação de bem, interrupção ou cessão de acesso e/ou uso dos bens culturais materiais, alteração de práticas culturais e seus espaços, alteração da rede de relações comunitárias, sofrimento social e alteração de espaços de referência de memória.

8.4.4 COMPARTIMENTO 4

O Compartimento 4 (C4) é definido neste estudo como estuário do rio Doce e a lagoa Monsarás (sistema de lagoas costeiras). Para a zona costeira, como não existe uma delimitação clara do estuário do rio Doce, adotou-se como iniciando a aproximadamente 7 km da linha da costa, abrangendo a calha do rio Doce e entorno até a sua foz, em Regência, no Espírito Santo. A área diretamente afetada em cada sistema pela passagem e deposição da lama neste compartimento é apresentada na Tabela 31.

Tabela 31 - Área afetada por sistema ambiental pela passagem e deposição da lama no Compartimento 4.

Sistema	Área afetada (hectares) – C3
Bancos de areia	167,72
Corpos d'água (ambientes estuarinos e lagoa costeira)	1901,17

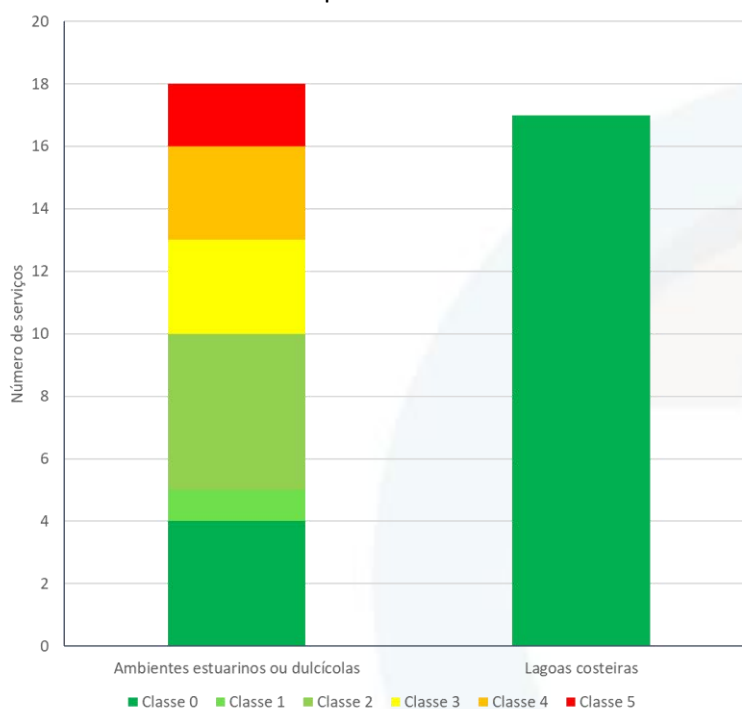
Os danos identificados para o C4 foram descritos principalmente para o ambiente aquático. Dentre os danos aos sistemas estuarinos ou dulcícolas, destacam-se a alteração da qualidade da água (alterações de OD, Turbidez e EPTs), e dos sedimentos (granulometria e EPTs), que apresentaram danos graves e gravíssimos, danos refletidos diretamente sobre a qualidade de vida e o ótimo reprodutivo e de crescimento dos organismos existentes nesse compartimento, descritas pelos danos de alteração na estrutura das comunidades bênticas de fundos inconsolidados, redução da riqueza e diversidade da ictiofauna e aumento da bioacumulação em organismos aquáticos. Os danos gerados ao ambiente aquático e suas margens no C4 também desencadeiam danos à sociedade, que tiveram suas práticas culturais, seus espaços de referência de memória e sua organização social alterados.

Ao traçar um olhar dos danos que resultaram numa mudança de estado no C4 e, conseqüentemente, uma alteração sobre os sistemas ambientais ali delimitados, é possível verificar a perda de serviços nos ambientes estuarinos ou dulcícolas, conforme pode ser visualizado na Figura 138 e na Tabela 32. Em consonância com o conhecimento sobre os danos descritos no diagnóstico (BRASIL (MPF)/LACTEC, 2020b,

2020e), o sistema mais afetado no C4 está relacionado ao caminho percorrido pelo rejeito nesse compartimento, que ficou restrito a calha do rio e sua planície de inundação, afetando diretamente o ambiente aquático estuarino.

O ambiente estuarino sofreu perda de seus serviços, tanto para provisão, quanto para regulação, suporte e aspectos culturais (Figura 138). O ambiente estuarino apresentou um número elevado de perdas de serviços e alguns deles em alta magnitude, podendo ser destacadas as seguintes perdas: provisão de alimentos e recursos genéticos e bioquímicos; disponibilidade de áreas vitais para espécies flora e fauna; ciclagem de nutrientes; produção primária; recreação e lazer; e relações sociais e modo de vida. A Tabela 32 apresenta os resultados de perda relativa dos serviços ecossistêmicos no C4.

Figura 138 - Número de serviços ecossistêmicos por classe de IPSE em cada sistema ambiental no Compartimento 4.



Fonte: Lactec (2020).

Tabela 32 - Perda relativa dos serviços ecossistêmicos no Compartimento 4.

Categoria	Serviços Ecossistêmicos	Classificação do IPSE	
		Ambientes estuarinos ou dulcícolas	Lagoas costeiras
Provisão	Provisão de recursos bioenergéticos		
	Provisão de alimentos	4	0
	Provisão de matéria-prima		
	Provisão de recursos minerais		
	Provisão de água	2	0
	Provisão de recursos genéticos e bioquímicos	4	0
Regulação	Sequestro e fixação de carbono		
	Retenção de solo e sedimentos		
	Retenção de material particulado da atmosfera		
	Regulação térmica	0	0
	Regulação hidrológica	0	0
	Tamponamento de mudanças hidrológicas/meteorológicas rápidas	1	0
	Purificação da água	2	0
	Decomposição de resíduos e remediação de contaminantes		
	Regulação biológica (pragas, doenças e espécies exóticas)	2	0
	Regulação de teias tróficas e manutenção da biodiversidade	2	0
	Polinização		
Suporte	Disponibilidade de áreas vitais para espécies flora e fauna	4	0
	Base espacial para utilização e ocupação	0	
	Formação de corredores de fluxo gênico	0	0
	Formação de solo		
	Formação de substrato	2	0
	Ciclagem de nutrientes	3	0
	Produção primária	3	0
Cultural	Recreação, lazer e educação	5	0
	Herança e expressão cultural e espiritual	3	0
	Relações sociais e modo de vida	5	0

A perda de serviços ecossistêmicos está sempre relacionada a uma resposta negativa aos usos do ambiente pelo homem, no caso do C4, a comunidade local inserida nessa região e que apresenta seu sustento direcionado aos bens que o ambiente aquático estuarino proporciona, sendo os mais afetados, como por exemplo a pesca. Assim como aqueles que utilizam esse espaço para fins culturais, mesmo que de forma esporádica (comunidade regional), algumas delas relacionadas ao turismo.

As tabelas das perdas por sistema ambiental podem ser visualizadas integralmente no APÊNDICE F, com o detalhamento das perdas ao longo para todos os compartimentos para cada sistema ambiental. Assim também, maiores informações sobre as alterações dos indicadores de função, integridade e qualidade ecossistêmica são detalhados no diagnóstico dos danos (BRASIL (MPF)/LACTEC, 2020b, 2020e).

8.4.5 COMPARTIMENTO 5

O Compartimento 5 (C5) é composto pela porção marinha da área abrangida pelo diagnóstico,

delimitado a partir da foz do rio Doce, por um raio de 80 km, incluindo os sistemas: marinho costeiro; de praias; e de manguezais. A decisão de tratar todo ambiente marinho costeiro como um único sistema se deve ao fato do ambiente ser altamente dinâmico e interconectado. Embora os serviços determinados para o sistema marinho serem os mesmos ao longo do sistema, eles podem variar em sua quantidade de oferta e a forma como são ofertados, de acordo com as características de fundo.

Os danos identificados para o C5 foram descritos tanto para o meio físico, biótico e socioeconômico na área de abrangência da pluma de rejeitos que foram extravasados pela foz do rio Doce para o oceano Atlântico. As alterações de estado do sistema marinho costeiro foram primeiramente identificadas para coluna da água que apresentou danos graves e gravíssimos, principalmente para os indicadores: turbidez e concentração de EPTs. Alguns organismos presentes na coluna da água sofreram danos imediatamente a chegada a pluma, como é o caso das comunidades planctônicas. A composição dos sedimentos foi alterada em seguida tendo danos graves e gravíssimo mensurados, podendo ser citados a alteração da granulometria e a presença anormal de EPTs nos sedimentos superficiais. E consequentemente os demais organismos presentes próximos ao fundo oceânico (comunidade bentônica) e todos os demais organismos presentes na coluna da água também foram afetados. Danos graves e gravíssimos identificados no meio biótico alteraram a dinâmica populacional e seus ótimos para reprodução e crescimento. Os danos gerados ao sistema marinho costeiro também desencadeiam danos a sociedade, que tiveram suas práticas econômicas, culturais, seus espaços de referência de memória e sua organização social alterados. Consequentemente as mudanças de estado identificadas para o sistema marinho costeiro afetaram os sistemas de praias e manguezais, que estão diretamente relacionados e interconectados, através do aumento das alterações na condição de saúde e contaminação por EPTs em invertebrados bênticos de fundos inconsolidados.

A análise desenvolvida neste estudo busca demonstrar as perdas de serviços ecossistêmicos frente aos danos sofridos pelo ambiente marinho costeiro. A Tabela 33 apresenta o índice de perda de cada serviço identificado para o sistema marinho costeiro, já o detalhamento de cada indicador pode ser visualizado nas tabelas encontradas em anexo. O sistema de praias apresentou perda de serviços para provisão (alimentos e recursos genéticos e bioquímicos), suporte (disponibilidade de áreas vitais para espécies flora e fauna) e todos os serviços culturais. Cabe destacar que as maiores perdas estão relacionadas aos serviços culturais que dependiam da qualidade do sistema de praias para os usos antrópicos. Já o sistema de manguezais apresentou perdas para provisão (alimentos; e recursos genéticos e bioquímicos), suporte (disponibilidade de áreas vitais para espécies flora e fauna e de ciclagem de nutrientes) e quanto ao serviço cultural de relações sociais e modo de vida. Contudo, as perdas mensuradas foram relativamente baixas.

O sistema marinho costeiro apresentou perda de serviços tanto para provisão, quanto para regulação, suporte e cultural, conforme pode ser visualizado na Figura 139. Dentre os serviços de provisão, a de alimentos

e de recursos genéticos e bioquímicos apresentaram perdas mais expressivas, atingindo nível 5 (valor máximo de perda) na classificação do Índice de Perda de Serviço Ecosistêmico (IPSE). A regulação do sistema marinho costeiro teve perdas em maior intensidade, atingindo nível 3, para purificação da água e nível 4 para regulação de teias tróficas e manutenção da biodiversidade. Já os serviços de suporte apresentaram o maior número de serviços com alto nível de perda (junto aos culturais), como: ciclagem de nutrientes (nível 4); produção primária (nível 4); e disponibilidade de áreas vitais para espécies flora e fauna, atingindo nível 5. Quanto aos serviços culturais, todos os serviços avaliados apresentaram perdas altas, sendo, recreação, lazer e educação (nível 5); herança e expressão cultural e espiritual (nível 4) e relações sociais e modo de vida (nível 5).

Figura 139 - Número de serviços ecosistêmicos por classe de IPSE em cada sistema ambiental no Compartimento 5.



Fonte: Lactec (2020).

Tabela 33 - Índice de perda dos serviços ecossistêmicos no Compartimento 5.

Categoria	SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS	Classificação do IPSE		
		Marinho costeiro	Praias	Manguezais
Provisão	Provisão de recursos bioenergéticos			
	Provisão de alimentos	4	1	1
	Provisão de matéria-prima	0		0
	Provisão de recursos minerais	0	0	
	Provisão de água	2		
	Provisão de recursos genéticos e bioquímicos	5	2	1
Regulação	Sequestro e fixação de carbono	1		0
	Retenção de solo e sedimentos		0	0
	Retenção de material particulado da atmosfera			0
	Regulação térmica	0		0
	Regulação hidrológica	1		0
	Tamponamento de mudanças hidrológicas/meteorológicas rápidas	2	0	0
	Purificação da água	3		0
	Decomposição de resíduos e remediação de contaminantes			
	Regulação biológica (pragas, doenças e espécies exóticas)	2	1	0
	Regulação de teias tróficas e manutenção da biodiversidade	4		0
	Polinização			0
Suporte	Disponibilidade de áreas vitais para espécies flora e fauna	5	1	1
	Base espacial para utilização e ocupação	0		
	Formação de corredores de fluxo gênico	0		0
	Formação de solo			
	Formação de substrato	2		0
	Ciclagem de nutrientes	4		1
Cultural	Produção primária	4		0
	Recreação, lazer e educação	5	2	0
	Herança e expressão cultural e espiritual	4	2	0
	Relações sociais e modo de vida	5	2	1

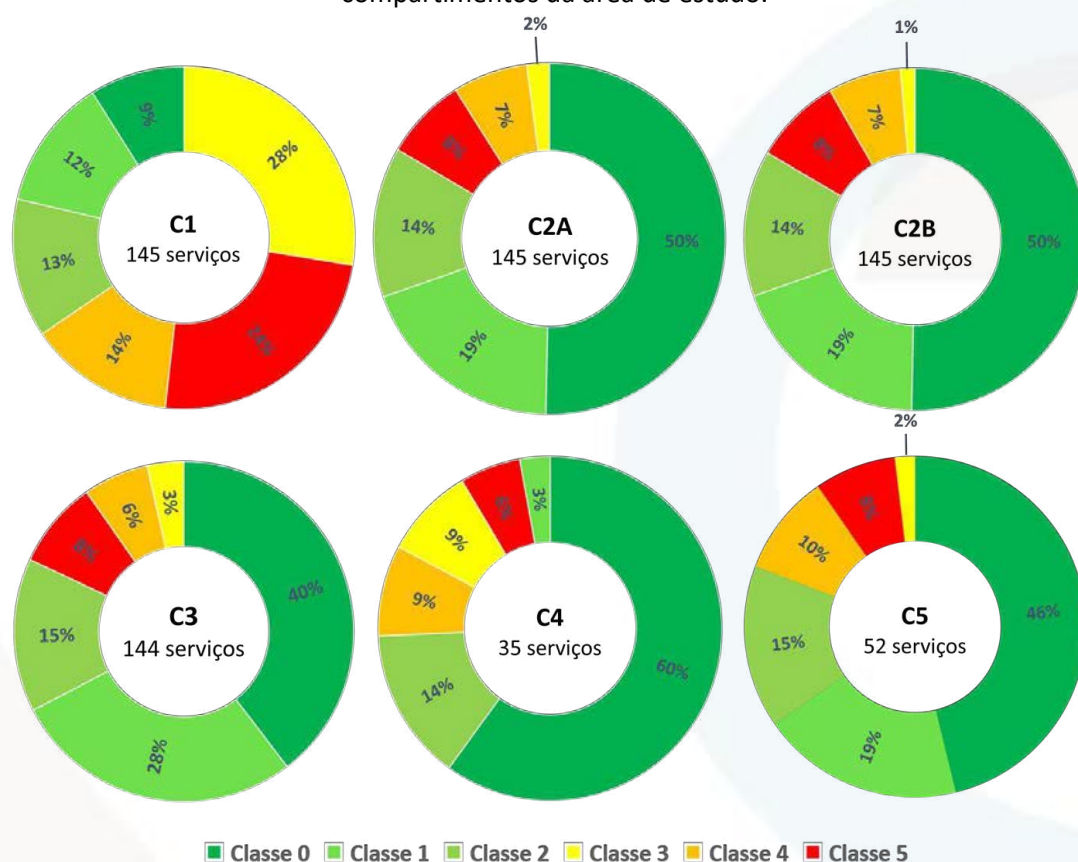
O sistema ambiental marinho costeiro apresentou perdas em vários serviços ecossistêmicos, muitos destes simultaneamente e possivelmente agravados pelos efeitos sinérgicos dos danos ocorridos. Tal panorama demonstra a fragilidade do sistema marinho costeiro frente à entrada da pluma de rejeito que, temporariamente, diminuiu ou até mesmo pode ter colapsado sua funcionalidade ecossistêmica nas proximidades da foz do rio Doce.

Os sistemas de praias e manguezais apresentaram perdas dos serviços de provisão de alimento e recursos genéticos e bioquímicos, de suporte a disponibilidade de áreas vitais para espécies de flora e fauna e de relações sociais e modo de vida. Especificamente o sistema de praias ainda apresentou a perda de serviços culturais relacionados a recreação, lazer e educação e a herança e expressão cultural e espiritual.

8.4.6 INTEGRAÇÃO DOS RESULTADOS DA PERDA RELATIVA DE SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS

Nesta seção serão apresentados os resultados de perda de serviços ecossistêmicos ao longo de toda a área de estudo que anteriormente tinham sido apresentados por compartimento, bem como os potenciais grupos de beneficiários mais afetados pelas perdas de serviços. A classificação do IPSE é apresentada para os serviços oferecidos pelos sistemas ambientais em cada compartimento na Figura 140. É possível visualizar que os compartimento C1, C2A e C2B oferecem uma maior quantidade de serviços (145 serviços ecossistêmicos) do que os outros compartimentos visto que nestas regiões existe uma maior quantidade de sistemas ambientais diferentes. O compartimento onde ocorreram as maiores perdas de serviços ecossistêmicos foi o Compartimento 1, tanto em abrangência de serviços quanto na intensidade da perda (um maior número de serviços apresentou classificações mais altas de IPSE), visto que nos locais mais próximos ao rompimento da barragem o extravasamento de rejeitos da calha do rio Doce foi maior atingindo uma maior quantidade de sistemas ambientais e causando uma maior perda de serviços.

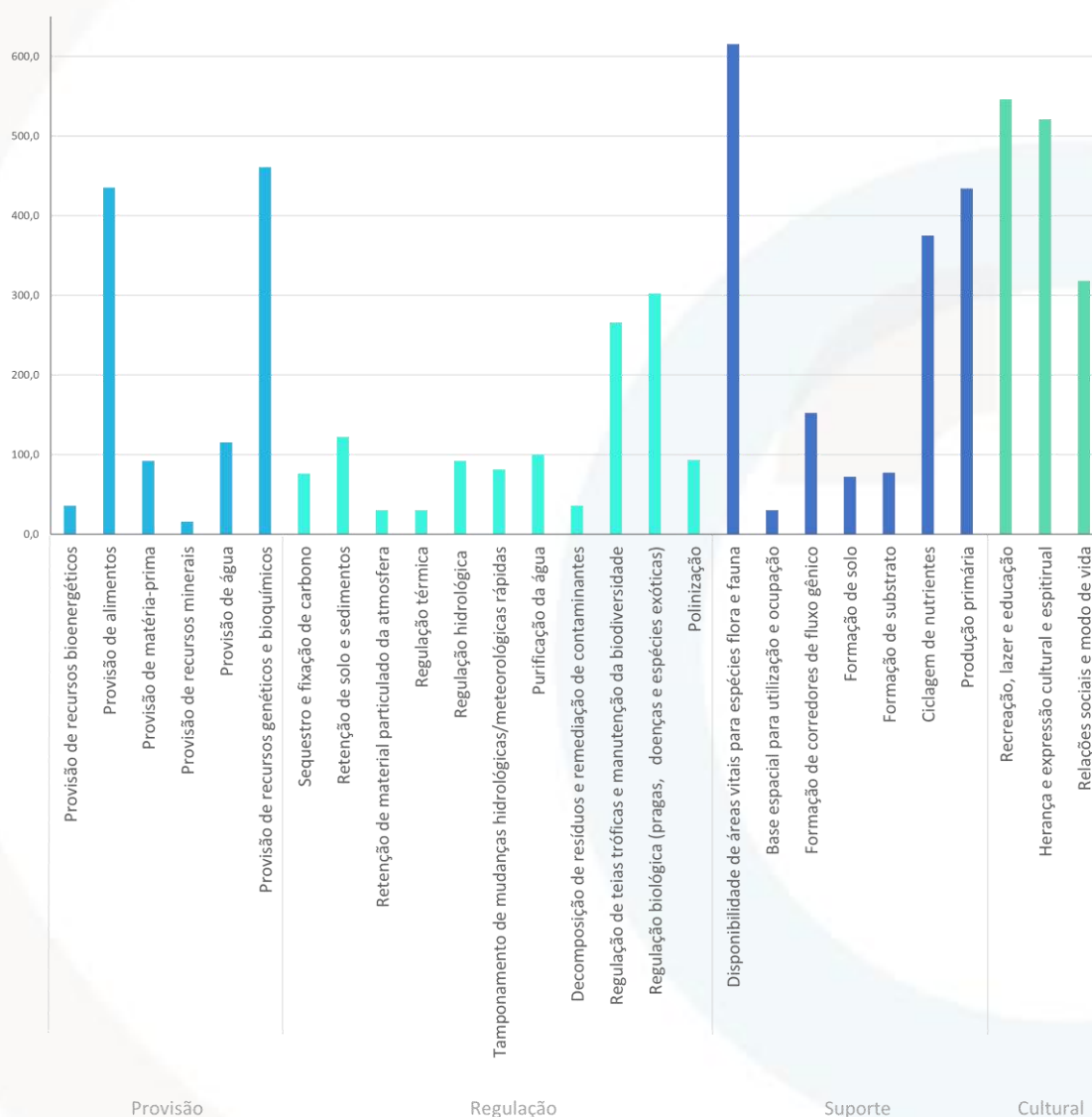
Figura 140 - Distribuição da classificação do IPSE dos serviços ofertados pelos sistemas ambientais nos 5 compartimentos da área de estudo.



Fonte: Lactec (2020).

Na Figura 141 pode ser visualizado o IPSE acumulado para os serviços oferecidos nos 5 compartimentos da área de estudo. Dentre os serviços que apresentaram as maiores perdas potenciais destacam-se os serviços de suporte de disponibilidade de áreas vitais para espécies de flora e fauna, ciclagem de nutrientes e produção primária; os serviços de regulação biológica (pragas, doenças e espécies exóticas), de regulação e teias tróficas e manutenção da biodiversidade e purificação da água; os serviços de provisão de alimentos, de água e de recursos genéticos e bioquímicos; e todos os três serviços culturais: recreação, lazer e educação, herança e expressão cultural e espiritual e o serviço de relações sociais e modo de vida.

Figura 141 - Somatório do Índice de Perda de Serviços Ecosistêmico (IPSE) para todos os serviços oferecidos nos 5 compartimentos da área de estudo.



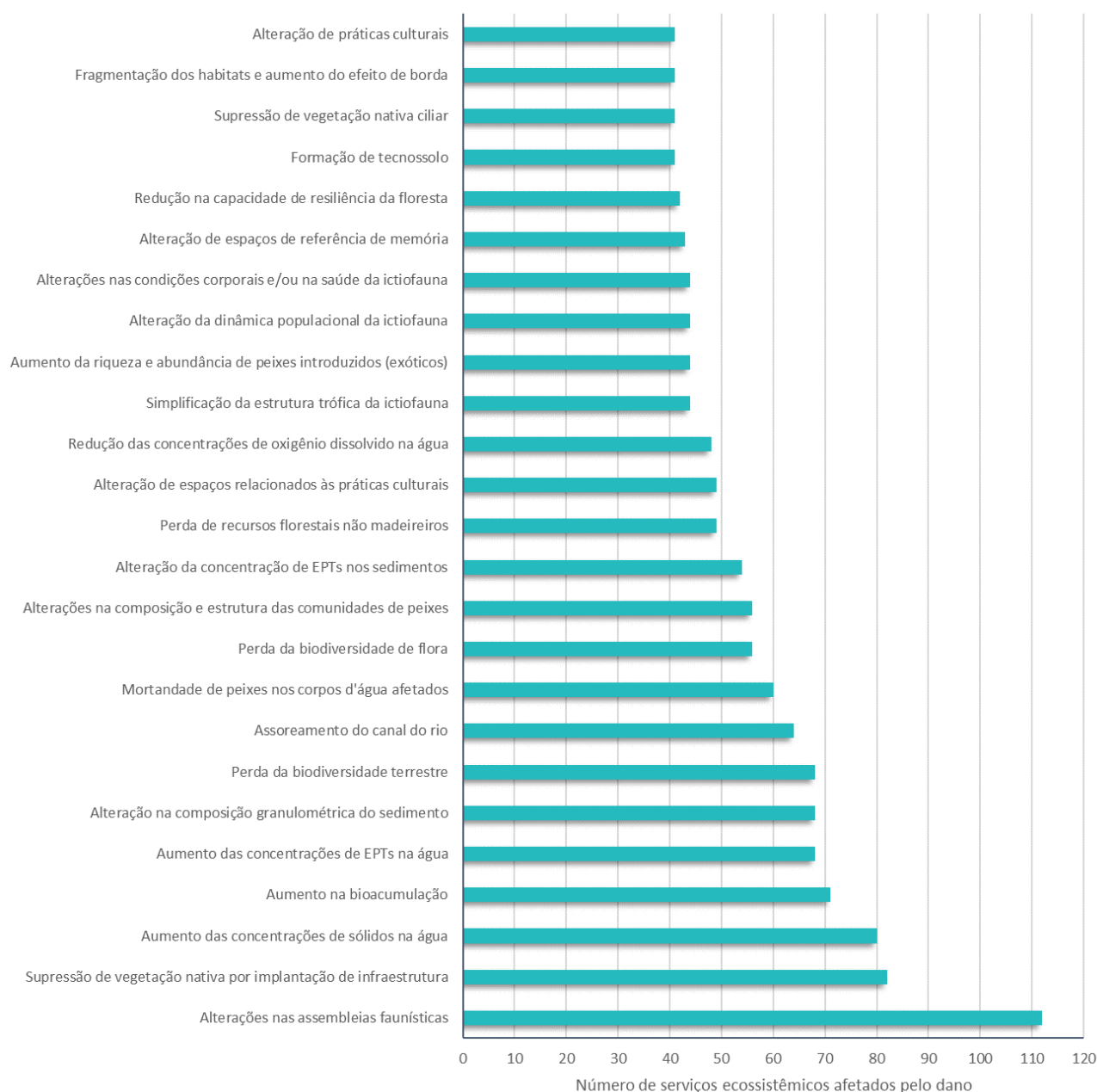
Fonte: Lactec (2020).

Quanto aos potenciais grupos de beneficiários mais afetados, determinado a partir da metodologia descrita na seção 8.3.4 deste documento, destacam-se os pescadores e os extrativistas, entretanto todas as comunidades locais foram potencialmente muito afetadas pela perda de serviços ecossistêmicos, conforme pode ser visualizado na Tabela 34. Vale ressaltar que a comunidade regional e os turistas apresentaram valores altos na escala relativa dos potenciais efeitos da perda de serviços sobre os grupos de beneficiários.

Tabela 34 - Potenciais grupos de beneficiários mais afetados.

Grupo de Beneficiários		Escala relativa dos potenciais efeitos da perda de serviço sobre os grupos de beneficiários
Comunidade Local	Comunidades tradicionais	4,5
	Produtores agropecuários	4,6
	Extrativistas	4,9
	Pescadores	5,0
	Comunidade urbana	4,5
	População residente próxima às margens do rio	4,6
Comunidade Regional	Comunidade regional (residente na bacia hidrográfica e nos municípios costeiros adjacentes)	4,2
	Mineradores	2,7
	Construção civil	2,7
	Indústria	3,1
	Turismo / Atividades recreacionais	4,5
	Pesquisa e desenvolvimento	3,3

Ainda, é importante ressaltar quais foram os danos (aqui entendidos como mudanças de estado dos sistemas ambientais) que potencialmente causaram uma maior perda de serviços ecossistêmicos. Para isso, foram contabilizados todos os danos que afetaram algum serviço em algum sistema ambiental existente em um dos 5 compartimentos na área de estudo, como descrito na seção 4.3. Os 25 danos (dentre os 89 danos avaliados) que influenciaram na perda de mais serviços ecossistêmicos são apresentados no gráfico da Figura 142. Nota-se que os danos que influenciaram a perda de mais serviços ecossistêmicos foram mudanças de estado que ocorreram na maior parte dos compartimentos da área de estudo, como alterações na qualidade da água e nas assembleias de fauna, bem como potencialmente afetaram mais de um sistema. Observou-se uma variabilidade na tipologia dos danos, sendo as mudanças de estado relacionadas a diversas áreas temáticas como água, sedimento, fauna terrestre, flora, solos, ictiofauna, patrimônio cultural material e imaterial.

Figura 142 - Danos (mudanças de estado) que causaram a maior perda potencial de serviços ecossistêmicos.

Fonte: Lactec (2020).

8.4.7 RESPOSTAS

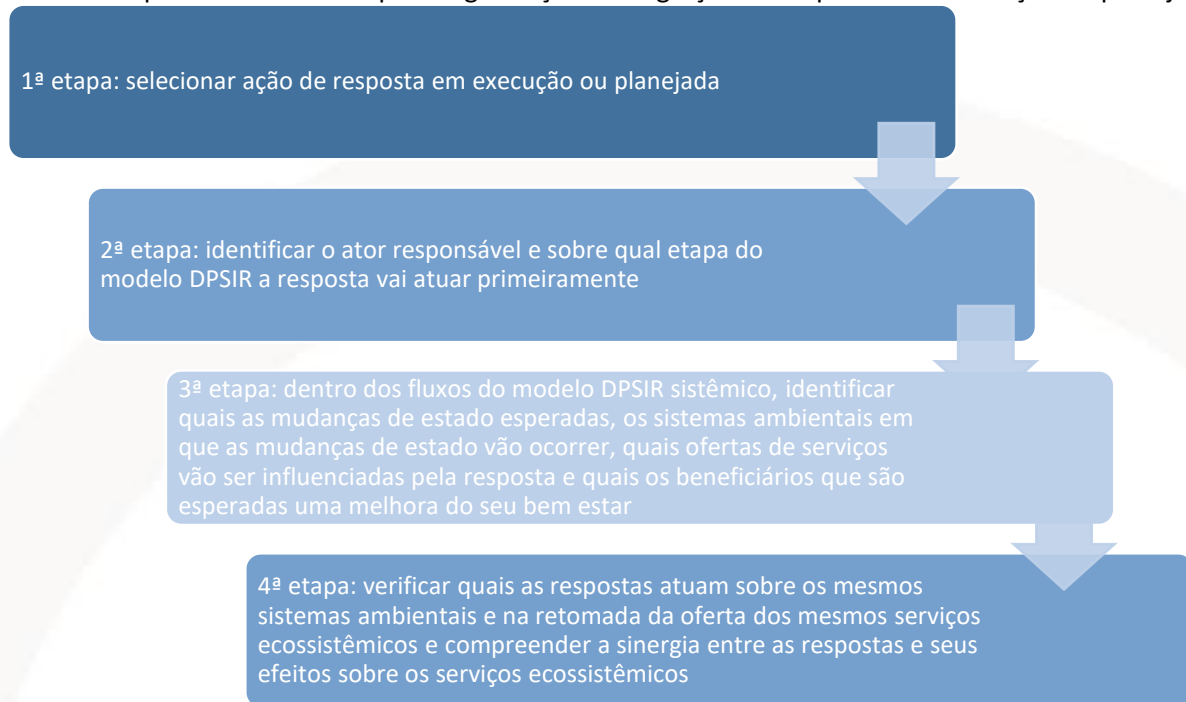
Desde o rompimento da barragem, em 05 de novembro de 2015, até o momento atual (dezembro de 2020) foram planejadas e executadas diversas ações de resposta para retomada da qualidade ambiental da área afetada pelos rejeitos e do bem-estar dos atingidos. As ações foram desenvolvidas pela Fundação Renova e por diversos outros atores envolvidos no processo como os governos federais, estaduais e municipais, agências governamentais como os órgãos ambientais, inclusive a própria ação do Ministério Público Federal

(MPF) as quais, através da contratação dos experts, podem ser entendidas como uma ação ou várias ações dentro do modelo DPSIR apresentado. Diante de um espectro tão amplo de atores envolvidos e de ações de resposta realizadas ou planejadas para a recuperação dos danos associados ao rompimento de barragens, é complexo o entendimento de como essas ações vão interagir entre si e quais os efeitos sinérgicos sobre a recuperação ambiental e do bem-estar humano.

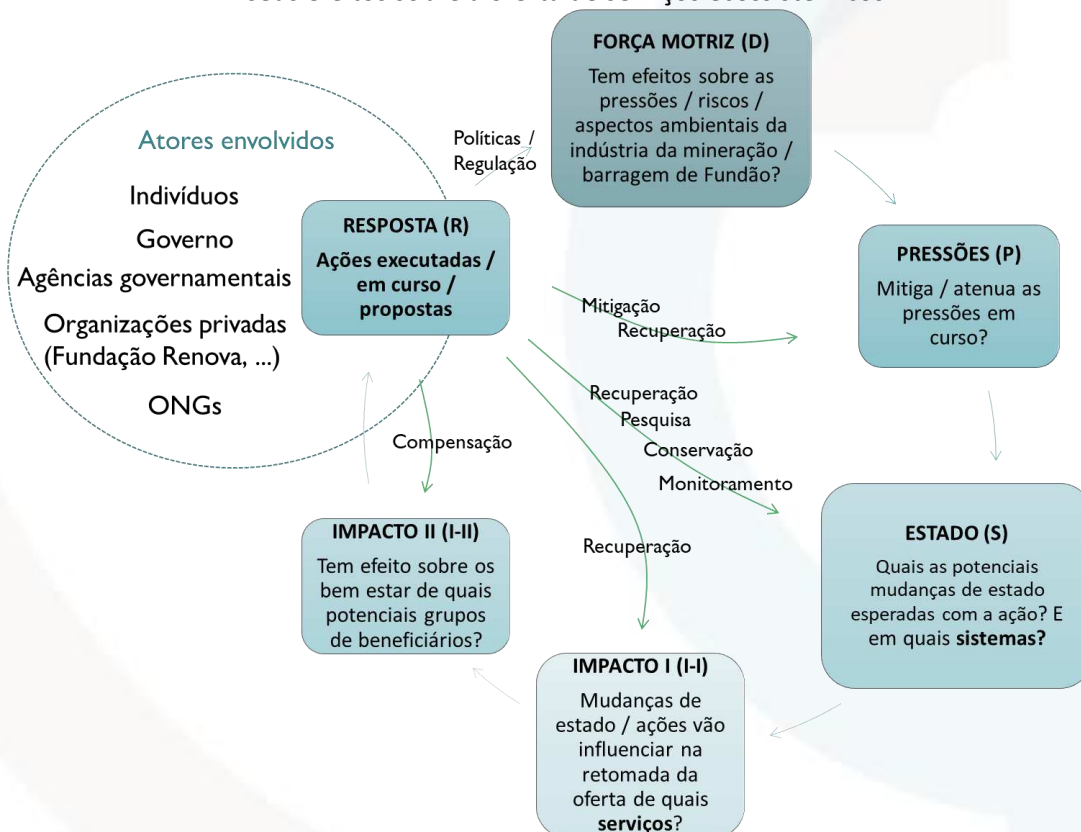
Na perspectiva da gestão baseada em ecossistemas e de serviços ecossistêmicos, esta complexidade está relacionada ao entendimento de como as ações propostas ou planejadas vão atuar sobre a oferta de serviços ecossistêmicos e na retomada dos benefícios e do bem-estar dos beneficiários. A maior parte das respostas tem algum objetivo específico, seja a recuperação das matas ciliares ou a retirada de rejeitos de algumas áreas. Entretanto, não são identificados quais os serviços ecossistêmicos que estas ações podem auxiliar na retomada da oferta existente em um nível pré-desastre. A formulação e o planejamento de novas ações muitas vezes não envolvem os efeitos destas sobre os serviços ecossistêmicos e sobre o bem-estar dos beneficiários.

Baseado no modelo DPSIR sistêmico, o presente estudo apresenta aqui duas estruturas para gestão e desenvolvimento de respostas ao desastre da Samarco. Uma primeira provê a organização e integração de respostas, visando auxiliar no entendimento dos efeitos das sinergias entre as respostas em desenvolvimento ou planejadas e sua atuação sobre a oferta de serviços ecossistêmicos e do bem-estar dos beneficiários. A segunda tem como objetivo auxiliar na formulação de novas repostas para atuar sobre as mudanças de estados nos sistemas ambientais e na retomada da oferta dos serviços por estes sistemas, e, também auxiliar para que possam ser identificados os efeitos sobre os serviços ecossistêmicos das novas respostas formuladas para algum objetivo específico ou para integração de novas respostas que vão atuar sobre os mesmos sistemas e serviços.

A estrutura para organização e integração de resposta é apresentada na Figura 143, na qual podem ser visualizadas as etapas para entendimento de quais serviços ecossistêmicos vão ser influenciadas por uma determinada ação. Em conjunto é apresentado na Figura 144 o modelo de DPSIR sistêmico com alguns exemplos de atores envolvidos, de tipos de respostas e onde elas vão atuar primeiramente dentro da DPSIR.

Figura 143 - Esquema da estrutura para organização e integração de respostas em execução ou planejadas.

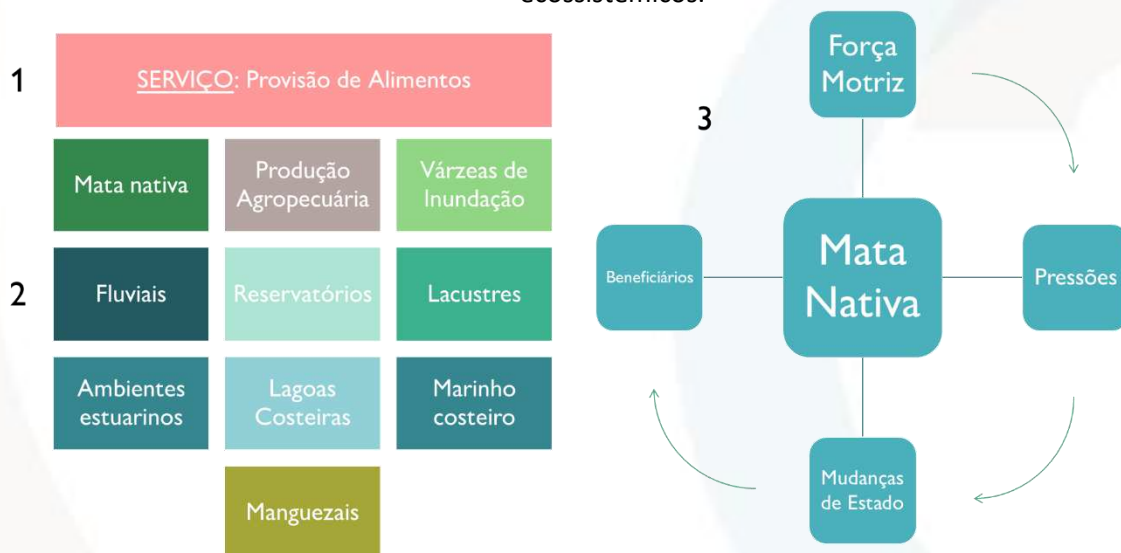
Fonte: Lactec (2020).

Figura 144 - Modelo DPSIR sistêmico e exemplos para o entendimento das respostas dentro do modelo e seus efeitos sobre a oferta de serviços ecossistêmicos.

Fonte: Lactec (2020).

A estrutura de auxílio a formulação de respostas para a retomada da oferta de serviços ecossistêmicos na área de estudo é apresentada na Figura 145 a seguir, e prevê um caminho inverso da estrutura apresentada anteriormente. Primeiramente deve-se olhar para o serviço ecossistêmico (1) que é desejado a retomada da oferta (exemplo de provisão de alimentos no caso da Figura 145) e após verificar quais os sistemas que oferecem esse serviço (2). Para cada um dos sistemas que se verificou perda do serviço de provisão de alimentos podem então ser elaboradas respostas que vão atuar sobre o sistema, sobre a perspectiva da DPSIR entende-se como as respostas vão atuar sobre o sistema e como elas podem ser integradas com outras ações que atuam sobre as mesmas etapas do DPSIR (3). No caso da mata nativa, as respostas podem ser amplas como políticas e regulações voltadas para a segurança de barragens que vão gerar segurança ao serviço de provisão de alimentos pelas matas nativas, sobre as pressões como a retiradas de rejeitos do solo das matas nativas, diretamente sobre o estado do sistema através da recuperação das matas perdidas (cabe aqui olhar para os danos relacionados ao serviço de provisão de alimentos e ao sistema de matas nativas, permitindo desenvolver ações que melhorem o indicador do dano que demonstrou uma mudança de estado no sistema), ou podem atuar sobre os serviços, benefícios e beneficiários através da substituição de alimentos que eram fornecidos pelas matas ou outras formas de compensação aos beneficiários.

Figura 145 - Esquema da estrutura para auxílio a formulação de respostas para retomada de serviços ecossistêmicos.



Fonte: Lactec (2020).

8.5 CONCLUSÕES ACERCA DOS SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS

O presente trabalho se propôs a realizar uma avaliação quali-quantitativa das perdas de serviços ecossistêmicos ocorridas na área afetada pela passagem e deposição de rejeitos oriundos do rompimento da barragem de Fundão, a partir de um enfoque sistêmico. Para tal, foram identificados os sistemas ambientais afetados e suas funções ecológicas. Foi identificado a ocorrência da oferta de 27 serviços ecossistêmicos distintos na área de estudo, pertencentes a quatro categorias diferentes (provisão, regulação, suporte e cultural). Determinou-se quantos e quais serviços eram ofertados por cada sistema antes do desastre, quais eram seus benefícios e quem eram seus potenciais beneficiários. O modelo DPSIR foi aplicado para estabelecer as relações entre o rompimento da barragem de rejeitos, os danos levantados e as perdas de serviços ecossistêmicos. Ao final, foi apresentada uma estrutura de auxílio para a formulação de respostas, que possibilita a avaliação de cada medida tomada no reestabelecimento de serviços ecossistêmicos.

Dentre os 19 sistemas ambientais presentes na área de estudo, os sistemas de mata nativa e de manguezais apresentaram a maior oferta de serviços ecossistêmicos (ambas com 21 serviços), corroborando sua importância no mosaico da paisagem da bacia do rio Doce. Outros sistemas ecologicamente complexos, como o de vegetação secundária, os fluviais e o marinho costeiro, também apresentaram elevada oferta de serviços ecossistêmicos (20, 19 e 19 serviços, respectivamente), quando comparados a sistemas altamente antropizados, como o sistema de solo exposto (2 serviços). Somando-se o número de serviços ofertados por todos os sistemas ambientais na área de estudo, obteve-se um total de 243 serviços, sendo mais da metade (156) serviços de regulação e suporte, cujos benefícios são muitas vezes subestimados por serem indiretos e menos percebidos pelos beneficiários.

Através do Índice de Perda de Serviços Ecossistêmicos (IPSE), a quantidade e gravidade dos danos foram relacionadas às perdas de serviços ecossistêmicos, estabelecendo-se uma escala que facilitasse a interpretação dos resultados, sendo a classe 0 indicativa que não houve perda do serviço e a classe 5 indicativa de perda total do serviço. O C1, localizado imediatamente à jusante da barragem de Fundão, apresentou maior número de serviços com perda total (35 serviços em classe 5). A partir da UHE Risoleta Neves, que deteve parte dos detritos e rejeitos oriundos do rompimento, observou-se menor perda total de serviços ecossistêmicos, tendo o C2A apresentado 11 serviços na classe 5, a maioria nos sistemas aquáticos. O C2B e o C3 apresentaram ambos 12 serviços em classe 5, um número maior que o apresentado pelo C2A, possivelmente porque, nestes sistemas, a declividade favoreceu a deposição dos rejeitos, causando efeitos deletérios nas comunidades aquáticas. O C4 apresentou apenas 2 serviços em classe 5 e o C5 apresentou 4 serviços em classe 5. Entretanto, é importante

observar que o número de sistemas ambientais considerados nesses dois compartimentos foi inferior aos demais.

De forma geral, o serviço mais afetado foi o de disponibilidade de áreas vitais para espécies de fauna e flora, seguido do serviço de recreação, lazer e educação. Os danos que afetaram o maior número de serviços ambientais foram as alterações nas assembleias faunísticas, seguido da supressão de vegetação por implantação de infraestrutura e do aumento da concentração de sólido na água. O grupo de beneficiários potenciais mais afetado pela perda dos serviços ecossistêmicos foi a comunidade local de pescadores, seguido dos extrativistas. Ao longo de toda a área de estudo, constatou-se que as perdas mais importantes de serviços ecossistêmicos ocorreram nos sistemas aquáticos, sendo estes compostos principalmente pelo rio Doce, o seu estuário e a região marinha adjacente a este.

Dada a dimensão do desastre, que abrange áreas em dois estados (Minas Gerais e Espírito Santo), com consequências para as comunidades locais e regionais, o extenso diagnóstico danos elaborado por Brasil (MPF)/Lactec (2020b) e a determinação das alterações de diversos indicadores destes danos trouxe robustez a avaliação quali-quantitativa realizada. Neste estudo avaliou-se a perda de serviços ecossistêmicos a partir de uma visão holística dos ambientes afetados, considerando os fluxos existentes dentro e entre os sistemas. Desta forma, pretendeu-se dar uma maior abrangência ao diagnóstico, relacionando os danos às mudanças de estado, que resultaram em perda de funções ecossistêmicas e, conseqüentemente, de serviços ecossistêmicos. A partir dos resultados obtidos é possível compreender quais e com que magnitude foram as perdas de serviços ecossistêmicos em decorrência do desastre, bem como identificar quais os sistemas ambientais que tiveram as maiores perdas de serviços.

Assim, o modelo utilizado pode auxiliar na elaboração, priorização e integração de respostas ao desastre para a retomada oferta de serviços pelos sistemas ambientais afetados. As respostas podem atuar em diferentes segmentos do modelo DPSIR proposto, podendo ser amplas, atuando sobre a força motriz, ou mais específicas, atuando diretamente sobre a mudança de estado verificada em um determinado sistema ambiental. Finalmente, possibilita também a avaliação das respostas em curso ou planejadas, permitindo verificar se estão sendo realizadas ações para a retomada da oferta de todos os serviços perdidos ou se ainda existem serviços ofertados por algum sistema que não estão compreendidos dentre as ações em curso.

9 ESTUDO DE ÁREAS COM ALTO VALOR PARA CONSERVAÇÃO

A Triagem de AVC (Altos Valores de Conservação), do termo em inglês HCV (*High Conservation Value*) *Screening*, foi aplicada em unidade da paisagem na bacia hidrográfica do Rio Doce. Este estudo fez parte de uma série de pesquisas e avaliações, com o objetivo de estimar os danos do colapso da barragem de Fundão nas questões ambientais e sociais de alto valor de conservação, que se encontram presentes na área atingida.

Inúmeros estudos, com foco em diversos aspectos ambientais e sociais, foram realizados pelos experts do Ministério Público Federal no âmbito da força tarefa Rio Doce, visando diagnosticar os danos do rompimento da barragem de Fundão, tanto sobre o meio ambiente, quanto sobre aspectos socioeconômicos da região.

As informações obtidas durante esses estudos formaram a base para avaliar a probabilidade de presença de AVCs na região, entender como eles foram atingidos pelo desastre e apontar recomendações para identificá-los de fato, onde ainda houver lacunas de informações, e de gerenciamento e monitoramento para mantê-los. A abordagem para condução desse estudo foi desenhada utilizando o guia metodológico *High Conservation Value (HCV) Screening: Guidance for identifying and prioritising action for HCVs as part of jurisdictional and landscape approaches* (WATSON et al., 2019), e aplicada nesse relatório para:

- Desenvolver um conjunto de indicadores a serem usados como proxies para AVCs ao longo da área atingida pelo colapso da barragem de Fundão na bacia do Rio Doce;
- Avaliar a probabilidade da presença de AVCs na área usando estas proxies e determinar a localização geográfica destes AVCs em potencial;
- Identificar quaisquer lacunas de informação para identificação das AVCs;
- Realizar uma análise de ameaça dos AVCs identificados como potencialmente presentes na área; e,
- Formular recomendações gerais de gerenciamento e monitoramento para o aprimoramento e/ou manutenção dos AVC com maior probabilidade de ocorrência na área de influência (AI), cujos danos tenham sido registrados, tanto pelos efeitos diretos do rompimento da barragem, quanto às ameaças decorrentes de outras atividades antrópicas. Esta etapa inclui as recomendações sobre a necessidade de coleta de dados adicionais para confirmar a presença de AVCs, assim como sugestões de ações para manter os indicadores aqui utilizados.

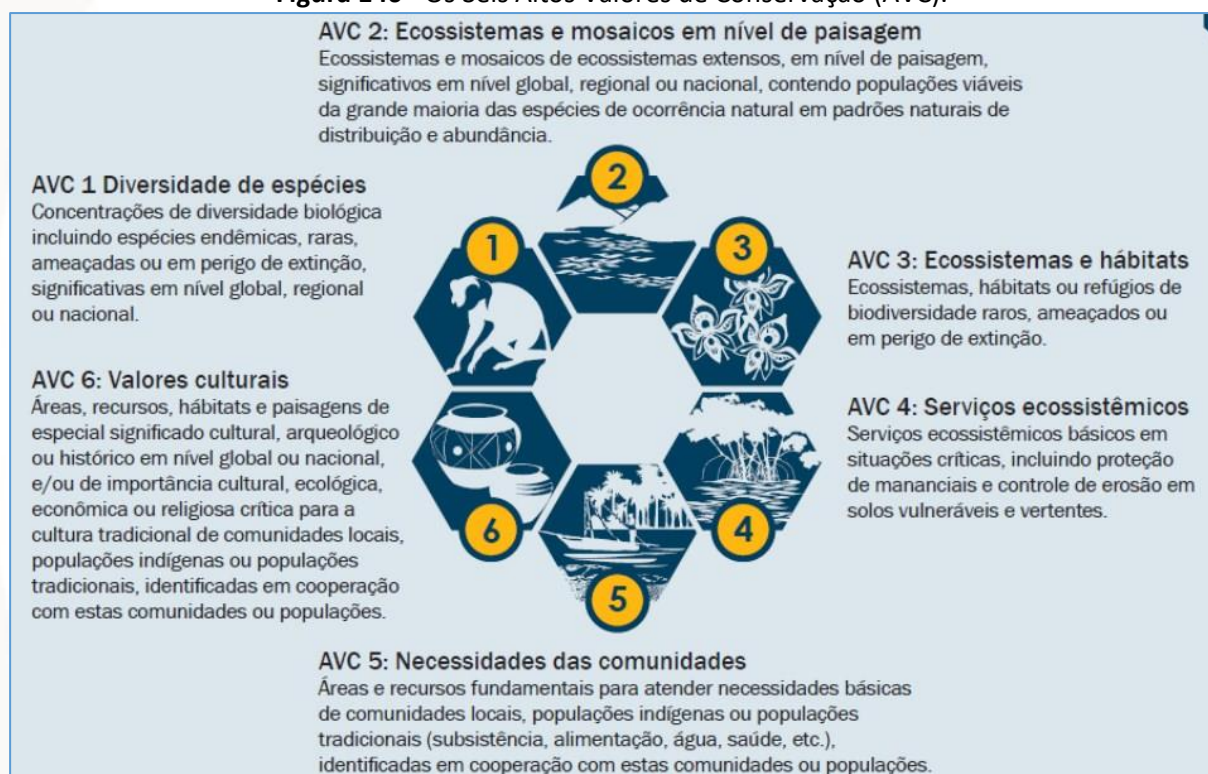
A presente avaliação de AVC poderá ser utilizada como uma base contextualizada de dados geoambientais e socioambientais obtidos por diferentes estudos e ajudar a escolher indicadores úteis

para definir prioridades e recomendações, estabelecendo critérios para criar uma linha de discussão entre os responsáveis e as partes interessadas, afetadas ou não.

9.1 ALTOS VALORES DE CONSERVAÇÃO E TRIAGEM DE AVC

Desde que o conceito de Alto Valor de Conservação (AVC) foi desenvolvido pela primeira vez, pelo Forest Stewardship Council (FSC), ele tem se mostrado útil na identificação e manejo de valores ambientais e sociais em paisagens de produção. Hoje, o conceito de AVC é amplamente utilizado em padrões de certificações florestais e agrícolas e, de forma mais geral, para o planejamento de uso e conservação de recursos naturais. A identificação de valores dentro de uma unidade específica de manejo ou paisagem deve ser baseada em uma interpretação comum das definições de AVC (Figura 146).

Figura 146 - Os Seis Altos Valores de Conservação (AVC).



Fonte: Guia para Identificação de Altos Valores para Conservação (2013).

Baseado no conceito de AVC, uma nova abordagem metodológica tem sido aplicada em grandes extensões territoriais, principalmente devido à dificuldade – em grandes recortes geográficos – de se obter dados de fontes primárias que, quando presentes, são usualmente realizados com diferentes esforços amostrais em diferentes períodos. A metodologia de Triagem de AVC (HCV

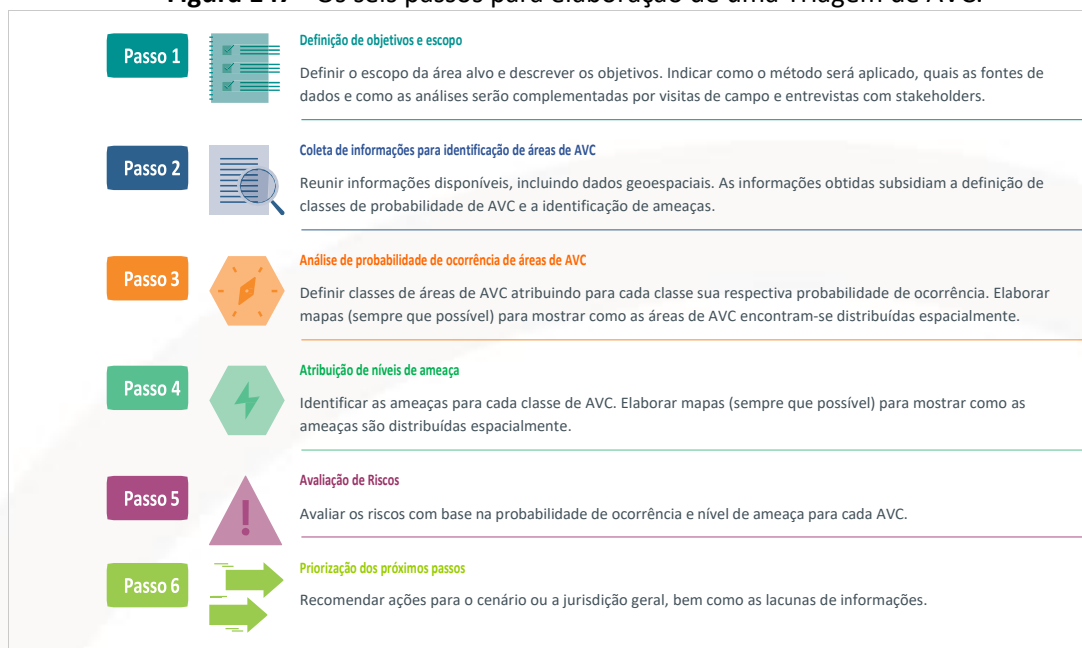
Screening) é uma análise com base em dados secundários disponíveis para uma determinada área de interesse que visa caracterizar seus aspectos ambientais e sociais. O método propõe avaliar a probabilidade de presença de AVCs, considerar as ameaças a esses AVCs e, finalmente, indicar quais valores são mais críticos e definir critérios para ações e intervenções. O método também considera quais fatores fora da área de escopo devem ser considerados na escala da paisagem, sobretudo quando são analisadas as relações dentro de uma mesma bacia hidrográfica, assim como devem ser considerados os tipos de cobertura do solo, associados a uma ampla gama de ecossistemas, diversidade cultural e meios de subsistência, sempre com análise das informações dos *stakeholders*.

Em outras palavras, os resultados da triagem de AVC fornecem uma maneira de priorizar a ação em larga escala, permitindo criar avaliações e planejamento territoriais. O método de HCV Screening (Triagem de AVC), por ser aplicado a áreas com maior extensão territorial, não é conduzido com a mesma acurácia quando comparado à avaliação detalhada de AVCs em uma área determinada por limites precisos (p.ex. áreas de manejo florestal), mas busca destacar valores e áreas importantes à biodiversidade e estimular a discussão das partes interessadas sobre sua sustentabilidade no longo prazo. Em seguida, as partes interessadas podem determinar como os resultados da triagem e suas implicações se encaixam em planos maiores para a jurisdição ou o cenário e quais recursos podem ser necessários para avançar.

O método de HCV Screening consiste em seis etapas principais, conforme resumido na Figura 147. Para as etapas 1 e 2, é importante definir claramente a área de interesse para, em seguida, reunir as melhores fontes de informação disponíveis para usar como base às etapas 3 e 4. Estas consistem em estimar a probabilidade de presença de AVCs e como eles podem estar ameaçados. A Etapa 5 leva os resultados combinados da probabilidade de AVCs e da gravidade das ameaças para produzir uma classificação de avaliação de risco ou nível de urgência. Os resultados da avaliação de risco são então analisados e usados para priorizar e planejar as próximas etapas na etapa 6.

Embora a Triagem de AVC seja um trabalho baseado em dados secundários, dependendo do contexto, dos objetivos e dos recursos disponíveis, vários graus de esforço podem ser investidos na coleta de dados, mapeamento, consulta às partes interessadas e engajamento. O maior esforço investido durante o exercício de triagem significa que os resultados serão mais detalhados e a equipe de triagem de dados poderá recomendar com mais precisão as intervenções de gerenciamento, estratégias de engajamento e os próximos passos práticos.

Figura 147 - Os seis passos para elaboração de uma Triagem de AVC.



Fonte: WATSON et al. (2019).

9.2 METODOLOGIA

9.2.1 DEFINIÇÃO DE OBJETIVOS E ESCOPO

A área proposta para o desenvolvimento da triagem de AVCs está inserida na bacia do rio Doce, uma área de drenagem com aproximadamente 86.715 km², dos quais 86% pertencem ao Estado de Minas Gerais e o restante ao Espírito Santo (ANA, 2010). A Área de Interesse (AI) para aplicação do método Triagem de AVC está localizada ao longo das áreas afetadas pela passagem de rejeitos quando do rompimento da barragem do Fundão, da Mineradora Samarco, no município de Mariana, MG. A delimitação física tem como linha geográfica o caminho percorrido pela onda de rejeitos, desde o rio Gualaxo do Norte até o rio do Carmo e, por fim, desse ponto de encontro com o rio Doce até o litoral do Espírito Santo, percorrendo uma distância maior que 650 km de cursos d'água da Bacia do Rio Doce (BRASIL (MPF)/LACTEC, 2020c).

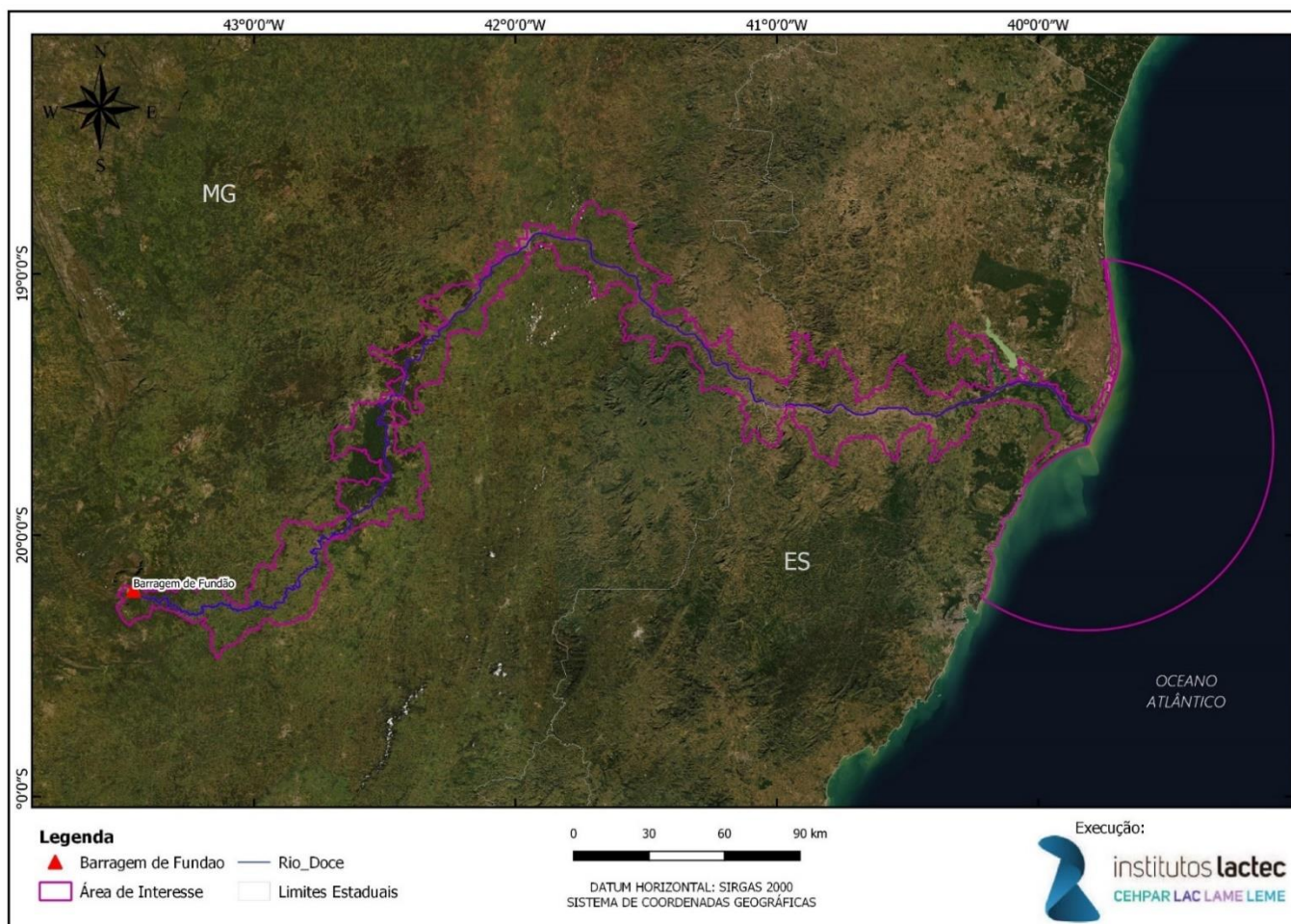
Para realização de uma análise das informações primárias coletadas em campo por diferentes organizações na calha de drenagem do rio e nas áreas do entorno, foi definida como Área de Interesse (AI) uma área considerando as Ottobacias nível 1 ao longo da calha dos rios Gualaxo do Norte e Doce, definida como o caminho percorrido pela onda de rejeito, desde a barragem até a foz do rio Doce. Destaca-se que a APDL extrapola os limites da AI em trechos do Compartimento 3, onde uma extensa área foi incluída na APDL e ASER devido às modelagens das cheias de 2016 e 2020; mesmo assim, manteve-se o critério de restrição às Ottobacias nível 1 em virtude da natureza dos indicadores

relevantes utilizados na presente análise. Diversos estudos foram produzidos pela Lactec que têm o enfoque sobre o recorte da APDL e da ASER (BRASIL (MPF)/LACTEC, 2017a, 2017b, 2017c, 2018a, 2018b, 2018c, 2018d, 2018e, 2018f, 2020c); sendo que essas referências foram a base para a análise da caracterização regional, auxiliando os estudos relacionados à biodiversidade, ecologia de paisagem, patrimônio arqueológico e cultural.

A decisão pelo uso das Ottobacias de nível 1 permitiu a inclusão de áreas com presença de comunidades não ribeirinhas que podem ter sido afetadas pelo desastre, especialmente quanto às opções de subsistência, sejam elas de alimentação, dessedentação animal ou efeitos na cadeia de usos dos recursos hídricos para determinado agrupamento populacional.

Na Figura 148 está ilustrada a Área de Interesse, na qual foram realizadas as análises para a identificação de potenciais áreas de AVCs na região do desastre.

Figura 148 - Localização da Área de Interesse (AI).



Fonte: Lactec (2020).

9.2.2 COLETA DE INFORMAÇÕES PARA ANÁLISE DE AVC

A compilação de dados aqui descrita foi conduzida buscando informações dentro da Área de Interesse. Essa compilação foi dividida em blocos.

a. Informações extraídas dos estudos da LACTEC:

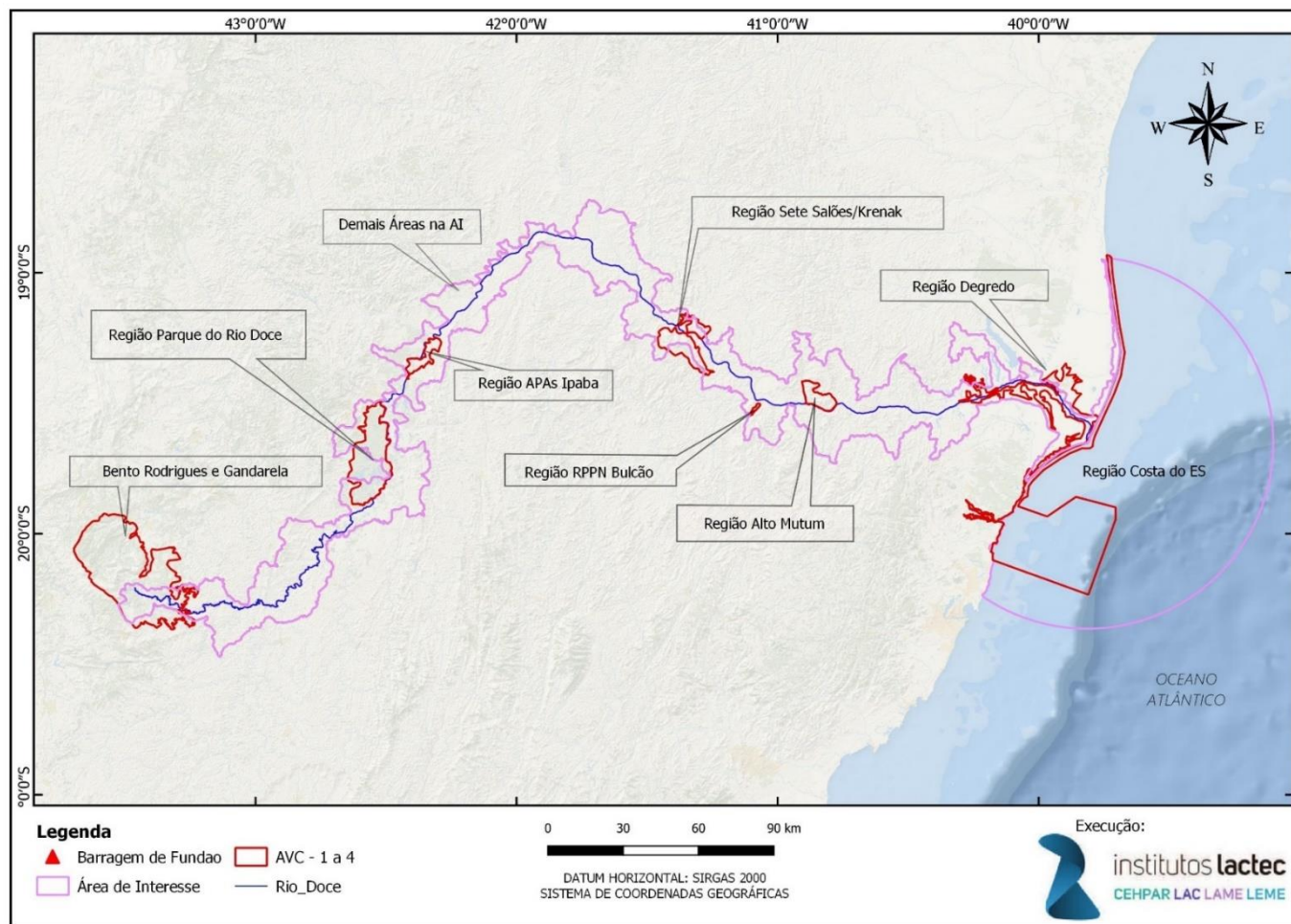
Os estudos anteriores desenvolvidos ao longo do diagnóstico (BRASIL (MPF)/LACTEC, 2017a, 2017b, 2017c, 2018a, 2018b, 2018c, 2018d, 2018e, 2018f, 2020) foram utilizados para a definição dos cenários e das características regionais. A análise geral utilizou informações, imagens, dados e arquivos no formato *shapefile* disponibilizados pelo Lactec, por meio dos estudos temáticos dos Relatórios Consolidados, Resumos Técnicos Executivos, Relatórios de Linha Base, Estudos de Modelagem Ambiental e Relatório de Danos. Além disso, os dados brutos obtidos pelo Lactec durante os levantamentos de dados primários para o diagnóstico dos danos foram também incorporados à análise de dados.

b. Entrevistas com pesquisadores da Lactec e FGV:

Para a filtragem das informações a serem utilizadas na análise de probabilidade de presença de AVCs, optou-se por conduzir reuniões com especialistas de diferentes áreas temáticas e profissionais envolvidos na produção de informações e relatórios para o Ministério Público Federal (MPF). A etapa de entrevistas foi considerada essencial para direcionar os esforços às informações mais relevantes para a aplicação da abordagem HCV Screening. Segundo o método, cada uma das áreas de AVCs é identificada a partir de um conjunto específico de indicadores, que foram utilizados para informar as perguntas formuladas nesta atividade. As entrevistas seguiram um roteiro semiestruturado, selecionando perguntas e tópicos específicos para cada uma das áreas de AVCs e direcionado para cada especialista de acordo com sua especialidade, conforme pode ser verificado no APÊNDICE G e no APÊNDICE H.

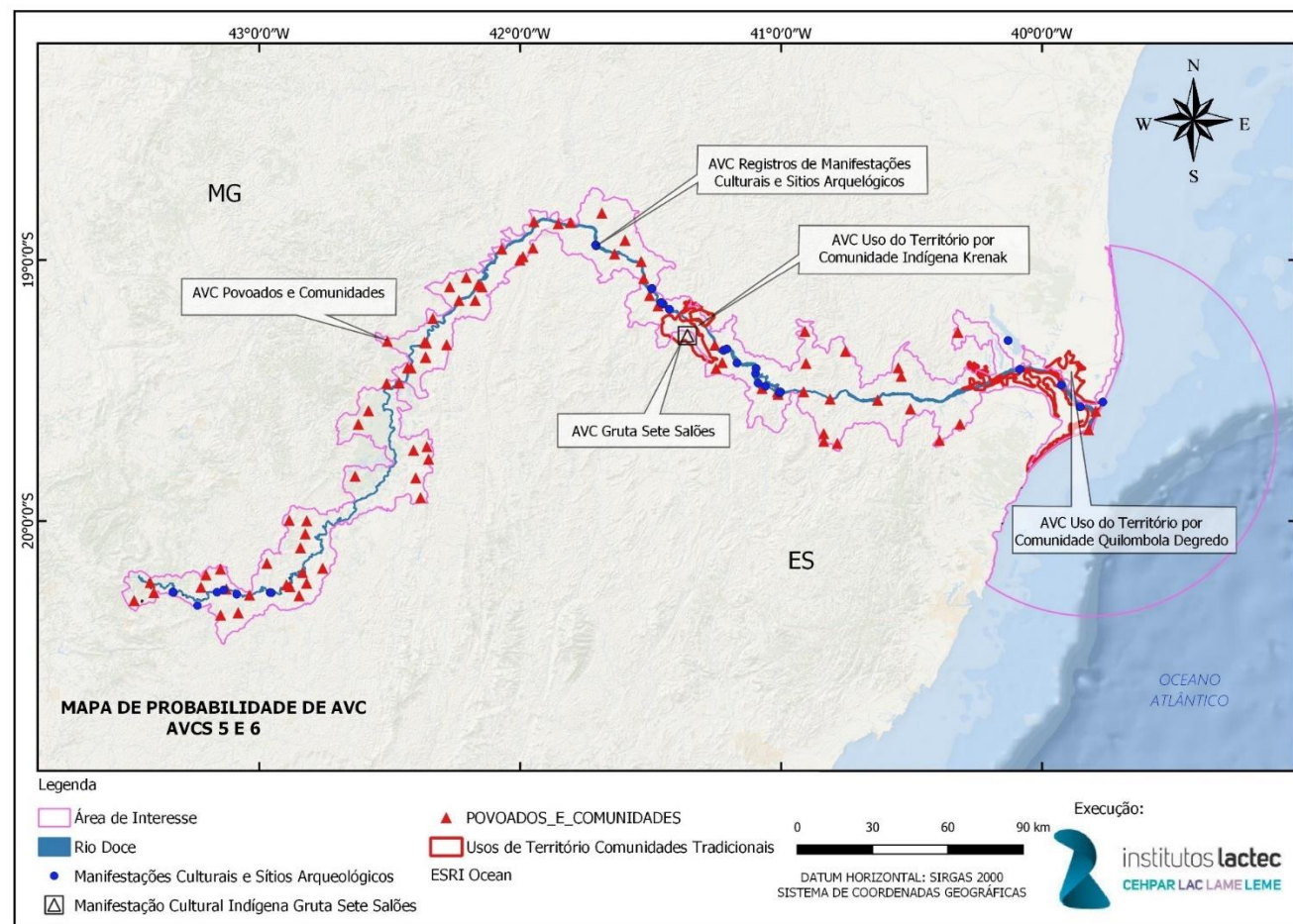
Foram identificadas doze áreas de AVC ao longo do rio Doce, definidas em relação à ocorrência dos indicadores propostos para análise dos AVC 1 a 6. A Figura 149 indica a localização de áreas de AVC 1 a 4 e a Figura 150 indica a localização de áreas de AVC 5 e 6 identificados pelo método de triagem. Os polígonos validados durante a fase de triagem foram baseados em três aspectos principais: presença de cobertura vegetal nativa, conectividade entre os fragmentos e extensão representativa dos fragmentos em nível regional. Demais imagens relativas a este estudo estão apresentadas no APÊNDICE I.

Figura 149 - Localização de áreas de AVC 1 a 4 identificados pelo método de Triagem de AVC.



Fonte: Lactec (2020).

Figura 150 - Localização de áreas de AVC 5 e 6 identificados pelo método de Triagem de AVC.



Fonte: Lactec (2020).

Na Tabela 35 e na Tabela 36 são apresentadas todas as áreas e o nível de probabilidade de cada AVC Geoambiental e Sociocultural, respectivamente. Em seguida, no subcapítulo RESULTADOS DETALHADOS POR ÁREA – AVC GEOAMBIENTAIS 1 A 4, e no subcapítulo RESULTADOS DETALHADOS POR ÁREA - AVC SOCIOCULTURAL 5 E 6, apresentam-se análises descritivas de cada área, justificando cada seleção a partir da metodologia proposta.

Tabela 35 - Identificação de áreas de AVC 1 a 4 pelo método de Triagem de AVC.

Nome da área	AVC 1	AVC 2	AVC 3	AVC 4
	Probabilidade de presença de AVC			
Bento Rodrigues	Alta	Alta	Alta	Alta
Parque Estadual do Rio Doce	Alta	Alta	Alta	Alta
APAs Ipaba	Alta	Média	Média	Média
Região de Sete Salões/Krenak	Alta	Alta	Alta	Alta
Região Alto Mutum	Baixa	Baixa	Baixa	Média
Região Degredo	Alta	Média	Alta	Alta
Região RPPN Bulcão	Alta	Média	Média	Média
Região Costa do ES	Alta	Alta	Alta	Alta

Tabela 36 - Identificação de áreas de AVC 5 e 6 identificados pelo método de Triagem de AVC.

Nome da área	HCV 5	HCV 6
	Probabilidade de presença de AVC	
Uso do Território por Comunidades Indígenas	Alta	
Uso do Território pela comunidade Quilombola Degredo	Alta	
Povoados e Comunidades	Média	
Sítios Arqueológicos e Manifestações Culturais		Alta

9.3 RESULTADOS DETALHADOS POR ÁREA – AVC GEOAMBIENTAIS 1 A 4

9.3.1 REGIÃO BENTO RODRIGUES E GANDARELA

A análise da Região Bento Rodrigues e Gandarela resultou na identificação de alta probabilidade de presença de AVCs 1, 2, 3 e 4, após confirmação da presença de todos os indicadores dessas categorias.

9.3.1.1 AVC 1

Verificou-se a ocorrência dos dois indicadores utilizados para análise do AVC 1 – Diversidade de espécies, conforme referências citadas na Tabela 37. Espécies de mamíferos e de aves ameaçadas

de extinção são consideradas espécies-chaves que, juntamente com outras espécies raras e endêmicas, fazem da região uma área com elevada qualidade ambiental.

Tabela 37 - Matriz de Análise do AVC 1 – Região Bento Rodrigues e Gandarela.

Indicador	Descrição do Indicador	Ocorrência	Probabilidade	Referências
1	Espécies da flora e da fauna de ocorrência nacional.	Sim	ALTA	BRASIL (MPF)/LACTEC (2017b), ICMBio (2018), CARVALHO et al. (2017), IUCN (2020), DRUMMOND (2005), PAGLIA (2008), QUIGLEY et al. (2010).
2	Espécies raras, endêmicas ou ameaçadas de extinção.	Sim		BRASIL (MPF)/LACTEC (2017b), ICMBio (2018), CARVALHO et al. (2017), IUCN (2020), DRUMMOND et al. (2005), PAGLIA, (2008), QUIGLEY et al. (2010).

A Região de Bento Rodrigues e da Serra do Gandarela está situada no Quadrilátero Ferrífero, uma zona de ecótono (zona de transição) entre os domínios da Mata Atlântica e Cerrado, onde ocorrem diversas fitofisionomias vegetais. Trata-se de uma das regiões de maior diversidade florística da América do Sul, com mais de 30% de endemismo de espécies vegetais (GIULIETTI et al., 1997). Além disso, sendo uma zona de transição, a região abrange fitofisionomias raras no país, como os campos rupestres e os campos ferruginosos (ICMBio, 2020).

Com relação ao indicador 1, estudos realizados por CARVALHO et al. (2017) registraram 50 espécies de anfíbios, sendo 11 endêmicas da Cadeia do Espinhaço, com destaque para *Physalaemus erythros*, uma das espécies-foco do Plano de Ação Nacional (PAN) Espinhaço (ICMBio, 2018); ou seja, é uma região importante dentro desse instrumento de políticas públicas ambientais. Além desta, no mesmo estudo cita-se a ocorrência de outras espécies de interesse para conservação, como o cágado *Hydromedusa maximiliani*, espécie alocada na categoria Vulnerável na lista internacional da IUCN (2020) e na lista do Estado de Minas Gerais (BRASIL, 2014). Este cágado foi também encontrado durante estudos de diagnóstico dos danos (BRASIL (MPF)/LACTEC, 2020c). O diagnóstico do meio biótico (BRASIL (MPF)/LACTEC, 2017b) também cita diversas outras espécies de interesse para conservação.

Em relação ao indicador 2, encontramos nas listas de espécies ameaçadas de extinção as que ocorrem em Floresta Estacional, especialmente mamíferos de grande porte como *Leopardus guttulus* (gato-do-mato-pequeno) e *Puma concolor* (onça-parda). A *Panthera onca* (onça-pintada) se encontra em perigo de extinção no âmbito nacional, em estado ainda mais crítico em Minas Gerais (DRUMMOND et al., 2005; PAGLIA, 2008); em nível mundial, essa espécie é considerada quase ameaçada (QUIGLEY et al., 2010). Os estudos do diagnóstico (BRASIL (MPF)/LACTEC, 2017b) indicam a ocorrência três espécies de aves consideradas em algum nível de ameaça, ao passo que ao longo do

9.3.1.2 AVC 2

Identificou-se a ocorrência dos dois indicadores para análise do AVC 2 - Ecossistemas e mosaicos em nível de paisagem, conforme classificado na Tabela 38.

Tabela 38 - Matriz de Análise de indicadores de AVC 2 – Região Bento Rodrigues/Gandarela.

Indicador	Descrição do Indicador	Ocorrência	Probabilidade	Referências
1	Ecossistemas naturais protegidos por áreas de grande extensão.	Sim	ALTA	MINAS GERAIS (1994).
2	Áreas identificadas como prioritárias para conservação da biodiversidade.	Sim		BRASIL (2007), DRUMMOND et al. (2005).

Em relação ao indicador 1, a Região Bento Rodrigues e Gandarela contempla diferentes Unidades de Conservação, incluindo a Área de Proteção Ambiental Sul-RMBH (Decreto Estadual de Minas Gerais nº 35.624, de 8 de junho de 1994), cuja área total é de cerca de 127.000 ha. A dimensão geográfica desta área protegida, associada a seu grau de preservação no Plano de Ação Nacional (PAN) Espinhaço (ICMBio, 2018), indica um alto potencial para a manutenção de populações viáveis da fauna nativa no médio e longo prazo. Como consequência do mosaico de UCs, esta região apresenta uma das maiores extensões geográficas cobertas por vegetação nativa contínua no Estado de Minas Gerais. A região é indicada como área prioritária para conservação da biodiversidade pela federação (MMA, 2007) e pelo estado de Minas Gerais (DRUMMOND et al., 2005), sendo considerada uma área de “importância biológica especial”.

9.3.1.3 AVC 3

A análise dos indicadores para definição de AVC 3 resultou em nível alto de probabilidade, conforme referências indicadas na Tabela 39.

Tabela 39 - Matriz de Análise do AVC 3 – Região Bento Rodrigues e Gandarela.

Indicador	Descrição do Indicador	Ocorrência	Probabilidade	Referências
1	Ecosistemas e habitats inseridos em UC de Proteção Integral.	Sim	ALTA	ICMBio (2020), IEF (2020). Ambientes Terrestres: MPF/LACTEC, 2017b, 2018b, 2019c, 2020d.
2	Ecosistemas e habitats inseridos em UC de Uso Sustentável.	Sim		ICMBio (2020), IEF (2020).

As Unidades de Conservação de Proteção Integral e Uso Sustentável identificadas na região e seus arredores estão indicadas na Tabela 40.

Tabela 40 - Unidades de Conservação na região Bento Rodrigues e Gandarela.

NOME DA UNIDADE DE CONSERVAÇÃO	MUNICÍPIOS	LEGISLAÇÃO DE CRIAÇÃO
PARQUE ESTADUAL DO ITACOLOMI	MARIANA, OURO PRETO	Lei ordinária nº 4495 de 14/06/1967
ESTAÇÃO ECOLÓGICA DO TRIPUÍ	OURO PRETO	Decreto nº 19157 de 24/04/1978
ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL CACHOEIRA DAS ANDORINHAS	MARIANA, OURO PRETO	Decreto nº 30264 de 16/10/1989
ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL SUL-RMBH	MARIANA, OURO PRETO	Decreto nº 35624 de 08/06/1994
FLORESTA ESTADUAL DO UAIMII	OURO PRETO	Decreto nº s/nº de 21/10/2003
PARQUE NATURAL MUNICIPAL DAS ANDORINHAS	OURO PRETO	Lei nº 305/1968, alterada pela Lei nº 69/2005 e Lei nº 139/2005
PARQUE NATURAL MUNICIPAL DO HORTO DOS CONTOS	OURO PRETO	Lei ordinária nº 447 de 01/10/2008
MONUMENTO NATURAL ESTADUAL DE ITATIAIA	OURO PRETO	Decreto nº 45179 de 21/09/2009
PARQUE ESTADUAL SERRA DO OURO BRANCO	OURO PRETO	Decreto nº 45180 de 21/09/2009
PARQUE NATURAL MUNICIPAL ARQUELÓGICO DO MORRO DA QUEIMADA	OURO PRETO	Lei ordinária nº 465 de 07/01/2009
MONUMENTO NATURAL MUNICIPAL GRUTA NOSSA SENHORA DA LAPA	OURO PRETO	Lei ordinária nº 695 de 15/09/2011
PARQUE NACIONAL DA SERRA DO GANDARELA	MARIANA, OURO PRETO	Decreto sem número de 13/10/2014

9.3.1.4 AVC 4

A análise dos indicadores resultou em nível alto de probabilidade para probabilidade de AVC 4, conforme vislumbra-se na Tabela 41.

Tabela 41 - Matriz de Análise dos indicadores relacionados ao AVC 4 – Região Bento Rodrigues e Gandarela.

Indicador	Descrição do Indicador	Ocorrência	Probabilidade	Referências
1	Áreas provedoras dos serviços de regulação e suporte.	Sim	ALTA	ICMBio (2010); CARMO (2010).
2	Áreas provedoras dos serviços de abastecimento.	Sim		ICMBio (2010); CARMO (2010); BRASIL (1994).

Em virtude de sua conformação ambiental, a Região Bento Rodrigues e Gandarela apresenta relevância regional em termos de provisão de serviços ecossistêmicos de regulação, suporte e abastecimento. Essa unidade estratigráfica do Quadrilátero Ferrífero apresenta extensas porções territoriais que, cobertas por vegetação nativa, protegem o solo contra erosão e criam zonas de recarga hídrica, principalmente ao reduzir a velocidade do escoamento superficial da água. Em relação ao solo, trata-se de uma região de relevo acidentado, com cotas altimétricas acima de 1400 metros, contendo solos com alto teor de óxidos de ferro, condicionados pelo material de origem, constituindo um frágil sistema pedológico, ou seja, com alto potencial erosivo. A cobertura vegetal, portanto, tem importante papel para provisão dos serviços ambientais associados ao controle de erosão dos solos – especialmente em áreas com elevados níveis de declividade – recarga hídrica, regulação climática e ciclagem de nutrientes.

Por fim, a região em apreço constitui a maior extensão de ecossistemas de canga preservados no Quadrilátero Ferrífero (CARMO, 2010), com grande importância hidrológica regional. Seus cursos d'água alimentam diversas cidades da Região Metropolitana de Belo Horizonte, com menções – no decreto de criação da APA-Sul RMBH (BRASIL, 1994) – que a região pode representar de 50 a 70% do abastecimento público da região metropolitana de Belo Horizonte. Estima-se que o Quadrilátero Ferrífero tenha reserva hídrica de 5 bilhões de m³, dos quais aproximadamente 4 bilhões de m³ estão relacionados ao ecossistema de canga ou formações ferríferas (ICMBio, 2010). Baseado na estimativa de Carmo (2010), de que cerca de 40% dos afloramentos das áreas restantes de canga do Quadrilátero estão localizadas na sinclinal da região em análise, sua relevância com relação à provisão de serviços ecossistêmicos é evidente.

9.3.2 REGIÃO PARQUE ESTADUAL DO RIO DOCE

A análise da Região Parque Estadual do Rio Doce resultou em alta probabilidade para as quatro categorias de AVC Geoambientais, devido à ocorrência de todos os indicadores de AVC 1 a 4.

9.3.2.1 AVC 1

Os dois indicadores utilizados para a análise desta categoria ocorrem na Região Parque Estadual do Rio Doce, sendo citados nos documentos consultados, resultando em alta probabilidade do ACV 1 – Diversidade de espécies – conforme referências indicadas na Tabela 42.

Tabela 42 - Matriz de Análise do AVC 1 – Parque Estadual do Rio Doce.

Indicador	Descrição do Indicador	Ocorrência	Probabilidade	Referências
1	Espécies da flora e da fauna de ocorrência nacional.	Sim	ALTA	BRASIL (MPF)/LACTEC (2017b); KEESEN et al. (2016).
2	Espécies raras, endêmicas ou ameaçadas de extinção.	Sim		IEF (2001); BRASIL (MPF)/LACTEC (2017b); GUIMARÃES et al. (2019); KEESEN et al. (2016); MINAS GERAIS (2010); PAULA et al. (2015).

Diversos estudos de fauna e flora já foram realizados nessa região (Tabela 43). Os planos de manejo das Unidades de Conservação também são importantes fontes de informações sobre a riqueza de espécies de determinada região, já que contêm informações detalhadas de ocorrência da diversidade de flora e fauna local. O plano de manejo do Parque Estadual do rio Doce, elaborado pelo Instituto Estadual de Florestas em 2001, indicou a ocorrência de 1.129 espécies diferentes pertencentes a 134 famílias (IEF, 2001).

Tabela 43 - Estudos de diversidade florística realizados na região do Parque Estadual do Rio Doce.

Autores	Data	Estudo	Riqueza de espécies
BORTOLUZZI	2004	Flora	40 espécies distribuídas em 21 gêneros.
BOSQUETTI	2004	Flora da família Fabaceae	28 espécies distribuídas em 15 gêneros, sendo que duas tiveram sua primeira citação para o estado de Minas Gerais.
BOVINI et al.	2001	Flora da família Malvaceae	19 espécies distribuídas em 9 gêneros, sendo uma nova citação para o estado de Minas Gerais.
COSTA E SILVA	2003	Briófitas	55 espécies, 39 gêneros e 21 famílias, sendo 12 novas ocorrências para o estado do Espírito Santo.
FERREIRA et al.	2010	Vegetação aquática	37 espécies das quais várias são endêmicas.
GRAÇANO et al.	1998	Pteridófitas	15 famílias, 27 gêneros e 57 espécies.
PIVARI et al.	2011	Vegetação aquática	184 espécies pertencentes a distintos grupos taxonômicos, hábitos e formas biológicas.
TEMPONI et al.	2006	Flora da família Araceae	13 espécies de 8 gêneros, sendo que 4 dessas espécies são novos registros para Minas Gerais.

Fonte: Extraído e adaptado de BRASIL (MPF)/LACTEC (2017b).

O trabalho mais recente sobre anfíbios foi realizado por GUIMARÃES et al. (2019), que além da ênfase neste grupo, também realizou uma revisão geral sobre a diversidade de fauna no Parque

Estadual do Rio Doce. KEESSEN et al. (2016) atualizou o conhecimento das espécies de mamíferos, registrando 89 espécies, das quais incluem-se espécies raras.

Em relação às aves, GUIMARÃES et al. (2019) registrou a ocorrência de mais de 20 espécies ameaçadas de extinção, como o jacu-estalo (*Neomorphus geoffroyi*), o macuco (*Tinamus solitarius*), o urubu-rei (*Sarcoramphus papa*) e o curió (*Oryzoborus angolensis*). Dos répteis, destacam-se a jararaca-verde (*Bothrops bilineatus*) e a surucucu (*Lachesis muta*), ainda que esta última não tenha sido registrada nos últimos anos. De acordo com os dados de BRASIL (MPF)/LACTEC (2017b), quatro espécies de aves são registradas na lista estadual de espécies ameaçadas de Minas Gerais (MINAS GERAIS 2010), e também se encontram na lista da IUCN (2020): *Pyrrhura leucotis* (tiriba-de-orelha-branca), *Crypturellus noctivagus* (jaó-do-sul), *Xenops minutus* (bico-virado-miúdo) e *Schiffornis turdina* (flautim-marrom). Dentre os mamíferos, a região abriga duas espécies também citadas em listas de ameaça: *Leopardus guttulus* (Gato-do-mato-pequeno) e *Puma concolor* (Onça-parda), além da *Panthera onca* (onça-pintada) (PAULA et al., 2015).

9.3.2.2 AVC 2

A análise dos indicadores para definição de probabilidade de AVC 2 na Região Parque Estadual do Rio Doce resultou em alta probabilidade (Tabela 44).

Tabela 44 - Matriz de Análise do AVC 2 – Região Parque Estadual do Rio Doce.

Indicador	Descrição do Indicador	Ocorrência	Probabilidade	Referências
1	Ecossistemas naturais protegidos por áreas de grande extensão.	Sim	ALTA	MINAS GERAIS (1944).
2	Áreas identificadas como prioritárias para conservação da biodiversidade em níveis estadual e federal.	Sim		MMA (2007); DRUMMOND (2005); RAMSAR (2020).

O Parque Estadual do Rio Doce criado em 14 de julho de 1944, pelo Decreto-Lei nº 1.119 (MINAS GERAIS, 1944), está localizado no sudoeste de Minas Gerais e apresenta uma área total de 35.976 hectares. Com altitude de 300 metros, corresponde à maior área contínua de Mata Atlântica preservada em Minas Gerais e abrange um dos três maiores sistemas lacustres do país, constituído por cerca de 42 lagoas. A área foi identificada como prioritária para conservação da biodiversidade pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2007), e foi classificada como região de “importância biológica especial” devido à grande diversidade de espécies da flora e da fauna, muitas delas ameaçadas de

extinção - como a onça parda e o muriqui, além do alto índice de endemismo (DRUMMOND et al., 2005). O Parque Estadual do Rio Doce tornou-se Sítio Ramsar em fevereiro de 2010, o que o elevou a uma Zona Úmida de Importância Internacional (especialmente enquanto habitat de aves aquáticas) e favoreceu a adoção de medidas necessárias à implementação dos compromissos assumidos pelo Brasil perante a Convenção de Ramsar.

9.3.2.3 AVC 3

A análise dos indicadores para definição de AVC 3 resultou em nível alto de probabilidade para a Região Parque Estadual do Rio Doce, conforme indicado na Tabela 45.

Tabela 45 - Matriz de Análise do AVC 3 – Parque do Rio Doce.

Indicador	Descrição do Indicador	Ocorrência	Probabilidade	Referências
1	Ecosistemas e habitats inseridos em Unidades de Conservação	Sim	ALTA	IEF (2001), CAMPOS (2017).
2	Ecosistemas e habitats inseridos em UC de Uso Sustentável.	Sim		IEF (2001), CAMPOS (2017).

Nos arredores do Parque Estadual do Rio Doce localizam-se diversas Áreas de Proteção Ambiental e Reservas Particulares do Patrimônio Natural (CAMPOS, 2017), que são Unidades de Conservação de Uso Sustentável e Proteção Integral, respectivamente (Tabela 46).

Tabela 46 - Unidades de Conservação no entorno do Parque Estadual do Rio Doce.

NOME DA UNIDADE DE CONSERVAÇÃO
ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL MUNICIPAL BELÉM
ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL MUNICIPAL BOM JESUS DO GALHO
ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL MUNICIPAL DIONÍSIO
ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL MUNICIPAL CÓRREGO NOVO
ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL MUNICIPAL IPANEMA
ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL MUNICIPAL JACROÁ
ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL MUNICIPAL JAGUARAÇU
ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL MUNICIPAL LAGOA SILVANA
ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL MUNICIPAL PINGO D'ÁGUA
ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL MUNICIPAL SANTANA DO PARAÍSO
ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL SERRA DO TIMÓTEO
RESERVA PARTICULAR DO PATRIMÔNIO NATURAL LAGOA SILVANA
RESERVA PARTICULAR DO PATRIMÔNIO NATURAL USIPA

Fonte: Extraído e adaptado de CAMPOS (2017).

9.3.2.4 AVC 4

A análise dos indicadores resultou em nível alto de probabilidade para AVC 4, conforme indicado na Tabela 47.

Tabela 47 - Matriz de Análise do AVC 4 – Parque Estadual do Rio Doce.

Indicador	Descrição do Indicador	Ocorrência	Probabilidade	Referências
1	Áreas provedoras dos serviços de regulação e suporte.	Sim	ALTA	IEF (2001).
2	Áreas provedoras dos serviços de abastecimento.	Sim		BRASIL (1944), MAPBIOMAS (2020), IEF (2001).

O sistema lacustre existente no Parque Estadual do Rio Doce armazena um grande volume de água doce, sendo um reservatório relevante para a região (IEF, 2001; BRASIL, 1944). A extensa área de floresta estacional proporciona os serviços ambientais de estoque de carbono, ciclagem de nutrientes, regulação térmica, manutenção da biodiversidade, entre outros. A gestão do parque conta com brigada de combate a incêndios, com objetivo de proteger a floresta e garantir a provisão desses serviços ao longo do tempo (IEF, 2001).

9.3.3 REGIÃO APAS IPABA

A análise da Região APAs Ipaba resultou em probabilidades distintas para as quatro categorias de AVC Geoambientais: alta probabilidade para os AVC 1 e 3; e média probabilidade para os AVC 2 e 4.

9.3.3.1 AVC 1

A ocorrência dos indicadores utilizados para a análise desta categoria resultou em alta probabilidade do ACV 1 – diversidade de espécies – conforme referências indicadas na Tabela 48.

Tabela 48 - Matriz de Análise do AVC 1 – APAs Ipaba.

Indicador	Descrição do Indicador	Ocorrência	Probabilidade	Referências
1	Espécies da flora e da fauna de ocorrência nacional.	Sim	ALTA	BRASIL (MPF)/LACTEC (2017b).
2	Espécies raras, endêmicas ou ameaçadas de extinção.	Sim		BRASIL (MPF)/LACTEC (2017b).

Segundo dados Brasil (MPF)/LACTEC (2017b), na Região APAs Ipaba existem três espécies de aves ameaçadas: *Crax blumenbachii* (mutum-de-bico-vermelho), *Amazona vinacea* (papagaio-de-peito-roxo), e *Penelope superciliaris* (jacupemba). Além dessas aves, a ocorrência da *Puma concolor* (onça-parda) também foi registrada, sendo uma espécie de mamífero ameaçada de extinção.

9.3.3.2 AVC 2

Em relação ao AVC 2, a probabilidade foi considerada média tendo em vista presença de apenas um dos dois indicadores analisados (Tabela 49).

Tabela 49 - Matriz de Análise do AVC 2 – APAs Ipaba.

Indicador	Descrição do Indicador	Ocorrência	Probabilidade	Referências
1	Ecossistemas naturais protegidos por áreas de grande extensão.	Não identificado	MÉDIA	-
2	Áreas identificadas como prioritárias para conservação da biodiversidade em níveis estadual e federal.	Sim		DRUMMOND et al. (2005).

De acordo com DRUMMOND et al. (2005), a região de Ipaba é de alta prioridade para conservação da biodiversidade no estado de Minas Gerais. Os autores sugerem a realização de ações para promoção de investigação científica e restabelecimento da conectividade da paisagem. Não foram identificados Unidades de Conservação com áreas maiores a 20.000 ha.

9.3.3.3 AVC 3

A análise dos indicadores para definição de AVC 3 resultou em nível de probabilidade média para a Região APAs Ipaba, visto que ocorrem apenas UC de Uso Sustentável no seu entorno imediato (Tabela 50).

Tabela 50 - Matriz de Análise do AVC 3 – APAs Ipaba.

Indicador	Descrição do Indicador	Ocorrência	Probabilidade	Referências
1	Ecossistemas e habitats inseridos em UC de Proteção Integral.	Não identificado	MÉDIA	-
2	Ecossistemas e habitats inseridos em UC de Uso Sustentável.	Sim		BRASIL (MPF)/LACTEC (2017b).

A Região APAs Ipaba reúne diversas Áreas de Proteção Ambientais criadas pelos governos dos municípios adjacentes de Ipaba (BRASIL (MPF)/LACTEC (2017b)), conforme indicado da Tabela 51. As Áreas de Proteção Ambientais são Unidades de Conservação de Uso Sustentável, constituídas por terras públicas ou privadas, com um certo grau de ocupação humana, dotadas de atributos abióticos, bióticos, estéticos ou culturais especialmente importantes para a qualidade de vida e o bem-estar das populações humanas, e tem como objetivos básicos proteger a diversidade biológica, disciplinar o processo de ocupação e assegurar a sustentabilidade do uso dos recursos naturais (BRASIL, 2000).

Tabela 51 - Unidades de Conservação na Região APAs Ipaba.

NOME DA UNIDADE DE CONSERVAÇÃO
ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL MUNICIPAL BELÉM
ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL MUNICIPAL BARRA LONGA
ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL MUNICIPAL DIONÍSIO
ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL MUNICIPAL CÓRREGO NOVO
ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL MUNICIPAL PINGO D'ÁGUA
ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL MUNICIPAL BOM JESUS DO GALHO
ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL MUNICIPAL LAGOA SILVANA
ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL MUNICIPAL SANTANA DO PARAÍSO
ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL MUNICIPAL BELO ORIENTE

Fonte: Extraído e adaptado de BRASIL (MPF)/LACTEC (2017b).

9.3.4 AVC 4

Em relação ao AVC 4, a análise dos indicadores resultou em probabilidade média, visto que a provisão de serviços ecossistêmicos de regulação, suporte e abastecimento é provável, ainda que não tenha sido identificada nas referências bibliográficas consultadas, conforme indicado no Tabela 52.

Tabela 52 - Matriz de Análise do AVC 4 – APAS Ipaba.

Indicador	Descrição do Indicador	Ocorrência	Probabilidade
1	Áreas provedoras dos serviços de regulação e suporte.	Provável	MÉDIA
2	Áreas provedoras dos serviços de abastecimento.	Provável	

Ao abrigar um mosaico composto por áreas de floresta estacional protegidas por legislação específica e áreas de expansão de florestas plantadas (MAPBIOMAS 2020), há probabilidade média da Região APAs Ipaba brindar serviços ambientais de estoque de carbono, retenção de solo e sedimentos, retenção de material particulado da atmosfera, regulação climática, regulação hidrológica, controle da erosão e decomposição de resíduos no solo, regulação de teias tróficas e manutenção da biodiversidade com suporte à polinização, fluxo gênico e controle de pragas e doenças.

9.3.5 REGIÃO SETE SALÕES/KRENAK

A região denominada Sete Salões/Krenak abriga as duas margens do Rio Doce, contemplando a Unidade de Conservação Parque Estadual Sete Salões e parte da Terra Indígena Krenak. Os resultados da análise indicam alta probabilidade de AVC para todas as categorias analisadas.

9.3.5.1 AVC 1

A análise dos indicadores para presença de AVC 1 resultou em nível alto de probabilidade, conforme indicado na Tabela 53.

Tabela 53 - Matriz de Análise do AVC 1 – Região Sete Salões/Krenak.

Indicador	Descrição do Indicador	Ocorrência	Probabilidade	Referências
1	Espécies da flora e da fauna de ocorrência nacional.	Sim	ALTA	BRASIL (MPF)/LACTEC (2017b), DRUMMOND et al. (2005), SAINT-HILAIRE (1936).
2	Espécies raras, endêmicas ou ameaçadas de extinção.	Sim		BRASIL (MPF)/LACTEC (2017b).

O Parque Estadual Sete Salões foi criado pelo Decreto nº 39.908, de 22 de setembro de 1998, e tem sua composição florestal formada por espécies adaptadas aos solos rasos. A Terra Indígena Krenak, apesar de possuir uma cobertura vegetal fragmentada, se localiza próxima a outros fragmentos de floresta estacional em estágios avançados de sucessão ecológica (MAPBIOMAS, 2020).

Embora poucos estudos tenham sido produzidos por pesquisadores, DRUMMOND et al. (2005) indica a ocorrência de alta riqueza de espécies de primatas e invertebrados. Dados de Brasil (MPF)/LACTEC (2017b) também indicam diversidade de flora e fauna na região. A presença de campos de altitude (campos rupestres) sugere uma alta probabilidade de endemismos, conforme estudos já produzidos em regiões semelhantes no Espinhaço de Minas Gerais (LEME et al. 2014). Ao contrário da maioria das áreas montanhosas de campos rupestres (que estão localizadas na transição entre Caatinga e Cerrado, ou entre Mata Atlântica e Cerrado), as áreas montanhosas da Região Sete Salões/Krenak encontram-se integralmente dentro do bioma Mata Atlântica, em uma região dominada por inselbergs graníticos (NALINI Jr. et al. 2005) e mares de morros do Vale do Rio Doce. Estudos antigos indicam que toda a região já foi coberta por exuberante vegetação (SAINT-HILAIRE 1936).

9.3.5.2 AVC 2

A análise dos indicadores para definição de AVC 2 na Região Sete Salões/Krenak resultou em alta probabilidade (Tabela 54). A região que abriga o Parque Estadual Sete Salões e a Terra Indígena Krenak é de grande extensão, contendo grandes fragmentos de vegetação nativa (MAPBIOMAS, 2000). A região é considerada de alta prioridade para conservação da biodiversidade pelos governos do estado (DRUMMOND et al., 2005) e federal (MMA, 2007), além de estar situada dentro da Reserva da Biosfera Mata Atlântica, criada pela Unesco no período entre 1991 a 2008 (RBMA, 2017).

Tabela 54 - Matriz de Análise do AVC 2 – Região Sete Salões/Krenak.

Indicador	Descrição do Indicador	Ocorrência	Probabilidade	Referências
1	Ecosistemas naturais protegidos por áreas de grande extensão.	Sim	ALTA	MAPBIOMAS (2000).
2	Áreas identificadas como prioritárias para conservação da biodiversidade em níveis estadual e federal.	Sim		DRUMMOND et al. (2005), MMA (2007).

9.3.5.3 AVC 3

A análise dos indicadores para definição de AVC 3 resultou em nível de probabilidade alta para a região Sete Salões/Krenak, conforme indicado na Tabela 55. O Parque Estadual Sete Salões é uma Unidade de Conservação de Proteção Integral e a Terra Indígena Krenak é uma área protegida de domínio do governo federal para uso exclusivo do povo Krenak, cuja gestão compartilhada se dá entre os indígenas e a Fundação Nacional do Índio (FUNAI, 2020). Apesar de não pertencer às unidades definidas pelo Sistema Nacional de Unidades de Conservação, cuja gestão é do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, as Terras Indígenas são similares às Reservas Extrativistas (UC de Uso Sustentável) no que se refere ao objetivo de proteção e conservação dos recursos naturais (ecossistemas e habitats) necessários para a manutenção dos meios de vida das comunidades tradicionais.

Tabela 55 - Matriz de Análise do AVC 3 – Região Sete Salões/Krenak.

Indicador	Descrição do Indicador	Ocorrência	Probabilidade	Referências
1	Ecosistemas e habitats inseridos em UC de Proteção Integral.	Sim	ALTA	IEF (2020).
2	Ecosistemas e habitats inseridos em UC de Uso Sustentável.	Terra Indígena Krenak*		FUNAI (2020).

*Para efeitos de cálculo de probabilidade de ecossistemas e habitats, considerou-se a equivalência entre os objetivos das categorias Terra Indígena e Reserva Extrativista, já que a primeira é uma área protegida com fins de conservação dos recursos naturais necessários à subsistência das comunidades indígenas.

9.3.5.4 AVC 4

A análise para a Região Sete Salões/Krenak apresentou alta probabilidade de AVC 4 (Tabela 56).

Tabela 56 - Matriz de Análise dos indicadores de AVC 4 – Região Sete Salões/Krenak.

Indicador	Descrição do Indicador	Ocorrência	Probabilidade	Referências
1	Áreas provedoras dos serviços de regulação e suporte.	Sim	ALTA	MINAS GERAIS (1998); IBGE (2001).
2	Áreas provedoras dos serviços de abastecimento.	Sim		MINAS GERAIS (1998).

De acordo ao decreto de criação do Parque Estadual Sete Salões (Decreto nº 39.908, de 22 de

setembro de 1998), seu objetivo é proteger a fauna e a flora regionais, bem como as nascentes dos rios e córregos da região, além de criar condições ao desenvolvimento de pesquisas, estudos científicos e alternativas de uso racional dos recursos naturais como o ecoturismo. O parque protege um importante remanescente de Mata Atlântica, constituído por formações de campos rupestres e florestas de candeias, onde nascem dezenas de córregos que abastecem a região (MINAS GERAIS, 1998). Dessa forma, o estado reconhece os serviços ambientais de regulação e suporte brindados por ele. Os recursos naturais existentes na Terra Indígena, por sua vez, são indispensáveis para o abastecimento e manutenção do povo Krenak.

Além disto, dados do IBGE (2001) indicam que na região predominam Cambissolos, um tipo de solo potencialmente vulnerável à erosão, especialmente quando associado a uma topografia acidentada com graus de declividade superiores a 45°. A ocorrência de vegetação florestal nativa, portanto, é de forte relevância para o controle da erosão e estabilidade de encostas.

9.3.6 REGIÃO ALTO MUTUM

A análise da Região Alto Mutum resultou em duas probabilidades distintas para as quatro categorias de AVC Geoambientais: baixa probabilidade para os AVC 1, 2 e 3 devido à ausência dos indicadores analisados; e média probabilidade para o AVC 4.

9.3.6.1 AVC 1

Não foram encontrados registros de diversidade de espécies e/ou espécies ameaçadas de extinção nas referências consultadas, razão pela qual a região apresentou baixa probabilidade de AVC 1 – Diversidade de espécies (Tabela 57).

Tabela 57 - Matriz de Análise do AVC 1 – Região Alto Mutum.

Indicador	Descrição do Indicador	Ocorrência	Probabilidade	Referências
1	Espécies da flora e da fauna de ocorrência nacional.	Não identificado	BAIXA	-
2	Espécies raras, endêmicas ou ameaçadas de extinção.	Não identificado		-

9.3.6.2 AVC 2

Tampouco foram encontrados ecossistemas naturais de grande extensão protegidos por legislação específica, ou indicados como prioritários para conservação da biodiversidade em níveis estadual ou federal, razão pela qual a Região Alto Mutum apresentou baixa probabilidade para AVC 2 (Tabela 58).

Tabela 58 - Matriz de Análise de Indicadores de AVC 2 – Região Alto Mutum.

Indicador	Descrição do Indicador	Ocorrência	Probabilidade	Referências
1	Ecossistemas naturais protegidos por áreas de grande extensão.	Não identificado	BAIXA	-
2	Áreas identificadas como prioritárias para conservação da biodiversidade em níveis estadual e federal.	Não identificado		-

9.3.6.3 AVC 3

Não foram encontrados registros de criação de Unidades de Conservação de Proteção Integral ou Uso Sustentável na Região Alto Mutum, razão pela qual classificou-se como baixa probabilidade de AVC 3 (Tabela 59).

Tabela 59 - Matriz de Análise de Indicadores de AVC 3 – Região Alto Mutum.

Indicador	Descrição do Indicador	Ocorrência	Probabilidade	Referências
1	Ecossistemas e habitats inseridos em UC de Proteção Integral.	Não identificado	BAIXA	-
2	Ecossistemas e habitats inseridos em UC de Uso Sustentável.	Não identificado		-

Ainda assim, a Região Alto Mutum se encontra dentro dos limites da Reserva da Biosfera da Mata Atlântica e as análises dos mapas de uso do solo (MAPBIOMAS, 2020) e imagens de relevo (IBGE, 2020) indicam que ela é formada por montanhas e várzeas, apresentando fragmentos de Florestal Estacional com potencial para abrigar espécies associadas a fitofisionomias de Mata Atlântica.

9.3.6.4 AVC 4

Devido à ocorrência de diversos fragmentos florestais identificados nas imagens de satélite e de relevo, especialmente em áreas montanhosas, a região Alto Mutum apresenta probabilidade média para AVC 4, brindando serviços de regulação, suporte e abastecimento, ainda que não identificados nas referências consultadas (Tabela 60).

Tabela 60 - Matriz de Análise de indicadores de AVC 4 – Alto Mutum.

Indicador	Descrição do Indicador	Ocorrência	Probabilidade	Referências
1	Áreas provedoras dos serviços de regulação e suporte.	Provável	MÉDIA	-
2	Áreas provedoras dos serviços de abastecimento.	Provável		-

Além da vegetação nativa, a Região Alto Mutum também apresenta potencial para a expansão das florestas plantadas com eucalipto, que também contribuem com os serviços de sequestro e fixação

9.3.7 REGIÃO DEGREDO

A análise da Região Degredo resultou em alta probabilidade para os AVC 1, 3 e 4 devido à ocorrência de seus indicadores, e média probabilidade para o AVC 2.

9.3.7.1 AVC 1

Verificou-se a ocorrência dos dois indicadores utilizados estimativa de probabilidade do AVC 1 – Diversidade de espécies, conforme referências citadas na Tabela 61.

Tabela 61 - Matriz de Análise do AVC 1 – Região Degredo.

Indicador	Descrição do Indicador	Ocorrência	Probabilidade	Referências
1	Espécies da flora e da fauna de ocorrência nacional.	Sim	ALTA	BRASIL (MPF)/LACTEC (2017b).
2	Espécies raras, endêmicas ou ameaçadas de extinção.	Sim		BRASIL (MPF)/LACTEC (2017b), BRASIL (2014), QUIGLEY et al. (2010); ICMBio (2013), ICMBio (2018).

A Região Degredo apresenta significativa diversidade de fauna e flora. Em relação à fauna, estudos registraram diversas espécies ameaçadas, sobretudo aves como *Amazona rhodocorytha* (chauá), *Pionus reichenowi* (maitaca-de-barriga-azul), e mamíferos de grande porte como *Leopardus guttulus* (gato-do-mato-pequeno) e *Puma concolor* (onça-parda) (BRASIL (MPF)/LACTEC, 2017b). Há registro de *Panthera onca* nessa região, espécie que se encontra em perigo de extinção no âmbito nacional (BRASIL, 2014) e quase ameaçada em âmbito mundial (QUIGLEY et al., 2010).

A região abriga diversas áreas protegidas, citadas na análise realizada para estimativa de probabilidade do AVC 2. Os estudos realizados na Reserva Biológica de Comboios registraram um total de 251 espécies de fanerógamas, pertencentes a 70 famílias botânicas e representando cerca de 33% do total de espécies de restinga do estado do Espírito Santo (ICMBio, 2018). Em relação à fauna, foram identificadas 425 espécies de vertebrados (54 de mamíferos, 255 de aves, 49 de répteis, 27 de anfíbios e 44 de peixes). As espécies de destaque da Reserva Biológica de Comboios são: preguiça-de-coleira (*Bradypus torquatus*), tamanduá-mirim (*Tamandua tetradactyla*), ouriço-caixeiro (*Sphignus* sp), onça parda (*Puma concolor*) e da anta (*Tapirus terrestris*), curió (*Oryzoborus angolensis*), sabiá-da-praia (*Mimus gilvus*), e preguiça-de-coleira (*Bradypus torquatus*), além das duas espécies de tartarugas ameaçadas de extinção: *Dermochelys coriacea* e *Caretta caretta* (ICMBio, 2018). Na Floresta Nacional

de Goyatacazes foram encontradas 291 espécies vegetais distribuídas em 57 famílias, sendo que 20 destas estão na lista de espécies ameaçadas de extinção (ICMBio, 2013).

9.3.7.2 AVC 2

Identificou-se a ocorrência dos dois indicadores de AVC 2 – Ecossistemas e mosaicos em nível de paisagem. Em relação ao indicador 1, no entanto, o polígono da Região Degredo delimitado por este estudo abrange uma área de 40.235ha (MAPBIOMAS, 2020), razão pela qual a classificação resultou em média probabilidade, conforme referências citadas na Tabela 62.

Tabela 62 - Matriz de Análise de indicadores de AVC 2 – Região Degredo.

Indicador	Descrição do Indicador	Ocorrência	Probabilidade	Referências
1	Ecossistemas naturais protegidos por áreas de grande extensão.	Sim (Área entre 20.001 e 49.999ha)	MÉDIA	MAPBIOMAS (2020).
2	Áreas identificadas como prioritárias para conservação da biodiversidade em níveis estadual e federal.	Sim		IEMA (2005), MMA (2007).

A Região Degredo abriga fragmentos de Floresta Ombrófila Densa, pertencentes ao domínio Mata Atlântica (SOUZA et al., 2000; IBGE, 2004; GOMES, 2006; DE PAULA et al., 2009; MAGNAGO et al., 2014). A área é considerada de extrema prioridade para conservação da biodiversidade pelos governos estadual (IEMA, 2005) e federal (MMA, 2007), se insere parcialmente na Reserva da Biosfera da Mata Atlântica e apresenta diversos ecossistemas naturais protegidos por legislação específica.

9.3.7.3 AVC 3

A análise dos indicadores para definição de AVC 3 resultou para a Região Degredo em nível alto de probabilidade, conforme indicado na Tabela 63.

Tabela 63 - Matriz de Análise de Indicadores do AVC 3 – Região Degredo.

Indicador	Descrição do Indicador	Ocorrência	Probabilidade	Referências
1	Ecossistemas e habitats inseridos em UC de Proteção Integral.	Sim	ALTA	IEMA (2006), ICMBio (2020).
2	Ecossistemas e habitats inseridos em UC de Uso Sustentável.	Sim		IEMA (2006), ICMBio (2020).

A Região Degredo e o seu entorno imediato abrigam as Unidades de Conservação de Proteção Integral (Reserva Biológica) e de Uso Sustentável (Floresta Nacional, Área de Relevante Interesse Ecológico e Reserva Particular do Patrimônio Nacional) que compõem o Mosaico de Áreas Protegidas

da foz do rio Doce (Tabela 64). A Floresta Nacional de Goytacazes (criada em 2002 com 1.420ha), representa o único remanescente de Floresta Atlântica da Planície Aluvial do rio Doce. A prefeitura de Linhares criou em Degredo uma Área de Relevante Interesse Ecológico, parcialmente inserida no Corredor Ecológico Marinho do rio Doce (Decreto 2529-R, de 02 de junho de 2010).

O Corredor Ecológico Sooretama-Comboios-Goytacazes (criado pelo mesmo decreto 2529-R) também incide na região, protegendo a maior área contínua de Mata Atlântica de tabuleiro do país (formada pela Reserva Biológica de Sooretama e pela Reserva Natural de Linhares – naturalmente interligadas), com objetivo de promover a conectividade desse grande remanescente à Floresta Nacional dos Goytacazes e, desta, à Reserva Biológica de Comboios (IEMA, 2006). Além destas Unidades de Conservação, a região conta com três RPPN: Mutum Preto, Recanto das Antas e Aracruz (que protege um dos maiores remanescentes de mata de restinga do litoral capixaba).

Tabela 64 - Unidades de Conservação localizadas no Mosaico de Áreas Protegidas da foz do rio Doce.

NOME DA UNIDADE DE CONSERVAÇÃO	MUNICÍPIOS	LEGISLAÇÃO DE CRIAÇÃO
FLORESTA NACIONAL DE GOYTACAZES	LINHARES	Decreto nº S/N de 28/11/2002
RESERVA BIOLÓGICA DE COMBOIOS	LINHARES, ARACRUZ	Decreto nº 90222 de 25/09/1984
RESERVA BIOLÓGICA DE SOORETAMA	LINHARES	Decreto nº 87588 de 20/09/1982
RESERVA NATURAL DE LINHARES	LINHARES	Informação não identificada
ÁREA DE RELEVANTE INTERESSE ECOLÓGICO DE DEGREDADO	LINHARES	Lei ordinária nº 2322 de 05/12/2002
RESERVA PARTICULAR DO PATRIMÔNIO NACIONAL RESTINGA DE ARACRUZ	ARACRUZ	Outros nº 015- N de 07/05/2007
RESERVA PARTICULAR DO PATRIMÔNIO NACIONAL MUTUM PRETO	LINHARES	Outros nº 003- N de 22/01/2007
RESERVA PARTICULAR DO PATRIMÔNIO NACIONAL RECANTO DAS ANTAS	LINHARES	Outros nº 018-N de 24/07/2007

Fonte: Extraído e adaptado de ICMBio (2020).

9.3.7.4 AVC 4

Os habitats e ecossistemas presentes nas Unidades de Conservação existentes na região, bem como no delta do rio Doce, garantem a provisão de diversos serviços ecossistêmicos com destaque para a regulação hídrica (especialmente nas margens do rio Doce), conservação da biodiversidade de promoção do fluxo gênico (IEMA, 2006). A Floresta Nacional de Goytacazes e as Reservas Particulares do Patrimônio Natural apresentam também potencial para manejo sustentável dos recursos florestais. No Plano de Manejo da FLONA Goytacazes salienta-se sua importância “na manutenção de processos naturais que regulam as condições ambientais. A capacidade dos vegetais de realizar fotossíntese e o sequestro de carbono, o controle da erosão e de enchentes e a manutenção da qualidade da água, a produção de mudas e de sementes são alguns dos serviços ambientais prestados pela FLONA” (ICMBio, 2013). Dessa forma, a Região Degredo apresenta probabilidade alta para AVC 4 brindando tanto

serviços de regulação e suporte quanto serviços de abastecimento (Tabela 65).

Tabela 65 - Matriz de Análise do AVC 4 – Região Degredo.

Indicador	Descrição do Indicador	Ocorrência	Probabilidade	Referências
1	Áreas provedoras dos serviços de regulação e suporte.	Sim	ALTA	IEMA (2006).
2	Áreas provedoras dos serviços de abastecimento.	Sim		ICMBio (2013).

9.3.8 REGIÃO RPPN BULCÃO

A análise da Região RPPN Bulcão resultou em duas probabilidades distintas para as quatro categorias de AVC Geoambientais: alta probabilidade para o AVC 1 devido à presença dos indicadores analisados nas referências consultadas, e média probabilidade para os AVC 2, 3 e 4.

9.3.8.1 AVC 1

A análise para AVC 1 – Diversidade de espécies resultou em alta probabilidade de AVC 1 (Tabela 66).

Tabela 66 - Matriz de Análise do AVC 1 – Região RPPN Bulcão.

Indicador	Descrição do Indicador	Ocorrência	Probabilidade	Referências
1	Espécies da flora e da fauna de ocorrência nacional.	Sim	ALTA	BASTOS (2010), INSTITUTO TERRA (2012).
2	Espécies raras, endêmicas ou ameaçadas de extinção.	Sim		INSTITUTO TERRA (2012).

A RPPN Fazenda Bulcão é uma Unidade de Conservação de domínio privado, gravada com perpetuidade, com o objetivo de conservar a diversidade biológica. O local foi palco para diversas pesquisas e ações nas áreas de conservação e restauração florestal. Segundo o Instituto Terra (2020), fundado em 1998 por Lélia Wanick Salgado e Sebastião Salgado, o primeiro monitoramento da fauna na RPPN Fazenda Bulcão foi realizado em 2006, tendo sido identificadas 173 espécies de aves, pertencentes a 49 famílias e 19 ordens, das quais seis são consideradas em situação vulnerável ou em perigo de extinção (INSTITUTO TERRA, 2012). Algumas das espécies encontradas na RPPN são: o chauá (*Amazona rhodocorytha*), o papagaio-de-peito-roxo (*Amazona vinacea*), o pica-pau-rei (*Campephilus robustus*), a araponga (*Procnias nudicollis*), o maracanã (*Propyrrhura maracana*) e o canário-da-terra-verdadeiro (*Sicalis flaveola*). Dentre as pesquisas realizadas, Bastos (2010) conduziu um estudo da regeneração natural encontrando 96 espécies pertencentes à 57 gêneros e 26 diferentes famílias botânicas.

9.3.8.2 AVC 2

Identificou-se a ocorrência de apenas um dos dois indicadores para presença de ecossistemas e mosaicos em nível de paisagem, razão pela qual a Região RPPN Bulcão apresentou média probabilidade para AVC 2 (Tabela 67).

Tabela 67 - Matriz de Análise do AVC 2 – Região RPPN Bulcão.

Indicador	Descrição do Indicador	Ocorrência	Probabilidade	Referências
1	Ecossistemas naturais protegidos por áreas de grande extensão.	Não identificado	MÉDIA	-
2	Áreas identificadas como prioritárias para conservação da biodiversidade.	Sim		DROMMOND et al. (2005).

Segundo Drummond et al. (2005), a Região RPPN Bulcão – que está localizada no município de Aimorés – é prioritária para conservação, tendo sido classificada como de “alta importância biológica” devido à alta riqueza de aves ameaçadas de extinção.

9.3.8.3 AVC 3

A análise dos indicadores para definição de AVC 3 resultou em nível médio de probabilidade (Tabela 68), visto que contempla a RPPN Fazenda Bulcão – uma Unidade de Conservação de Uso Sustentável – e não foram identificadas Unidades de Conservação de Proteção Integral dentro do polígono delimitado e/ou no seu entorno imediato.

Tabela 68 - Matriz de Análise do AVC 3 – Região RPPN Bulcão.

Indicador	Descrição do Indicador	Ocorrência	Probabilidade	Referências
1	Ecossistemas e habitats inseridos em UC de Proteção Integral.	Não identificado	MÉDIA	-
2	Ecossistemas e habitats inseridos em UC de Uso Sustentável.	Sim		ICMBio (2020)

9.3.8.4 AVC 4

Devido à relevância da Região RPPN Bulcão para conservação da biodiversidade em termos regionais, especialmente para a manutenção de populações de aves ameaçadas de extinção, promoção do fluxo gênico e regulação climática, a probabilidade para AVC 4 foi considerada média, ainda que não tenha sido identificada nas referências consultadas (Tabela 69).

Tabela 69 - Matriz de Análise do AVC 4 – Região RPPN Bulcão.

Indicador	Descrição do Indicador	Ocorrência	Probabilidade	Referências
1	Áreas provedoras dos serviços de regulação e suporte.	Provável	MÉDIA	-
2	Áreas provedoras dos serviços de abastecimento.	Provável		-

9.3.9 REGIÃO COSTA DO ESPÍRITO SANTO

A análise da Região Costa do Espírito Santo resultou em alta probabilidade de AVC 1 a 4 devido à ocorrência de seus respectivos indicadores. A área delimitada contempla principalmente a porção oceânica e uma pequena faixa da porção continental do litoral capixaba, tanto ao norte quanto ao sul da foz do rio Doce. A região é de grande diversidade social e ambiental, conforme informações a seguir.

9.3.9.1 AVC 1

A análise para AVC 1 resultou em alta probabilidade (Tabela 70).

Tabela 70 - Matriz de Análise do AVC 1 – Região Costa do Espírito Santo.

Indicador	Descrição do Indicador	Ocorrência	Probabilidade	Referências
1	Espécies da flora e da fauna de ocorrência nacional.	Sim	ALTA	BRASIL (MPF)/LACTEC (2017b).
2	Espécies raras, endêmicas ou ameaçadas de extinção.	Sim		ICMBio (2018).

Além da fauna existente na Reserva Biológica de Comboios, já mencionada na análise de AVC 1 para a Região Degredo, a Região Costa do Espírito Santo é de extrema importância para a desova de duas espécies de tartarugas marinhas: a tartaruga-gigante (*Dermochelys coriacea*) e a tartaruga-cabeçuda (*Caretta caretta*), ambas em status internacional vulnerável na classificação da IUCN (ICMBio, 2018). Dados de Brasil (MPF)/LACTEC (2017b) identificaram ser também uma região preferencial de indivíduos jovens de tartaruga-verde (*Chelonia mydas*) e de boto cinza (*Sotalia guianensis*).

9.3.9.2 AVC 2

A análise dos indicadores para definição de AVC 2 na Região Costa do Espírito Santo resultou em alta probabilidade para ecossistemas e habitats de importância regional (Tabela 71).

Tabela 71 - Matriz de Análise do AVC 2 – Região Costa do Espírito Santo.

Indicador	Descrição do Indicador	Ocorrência	Probabilidade	Referências
1	Ecosistemas naturais protegidos por áreas de grande extensão.	Sim	ALTA	MAPBIOMAS (2020).
2	Áreas identificadas como prioritárias para conservação da biodiversidade em níveis estadual e federal.	Sim		IEMA (2005); MMA (2007).

A região delimitada abriga ecossistemas naturais protegidos por áreas de grande extensão (maiores a 50.000 ha), sendo considerada de extrema prioridade para conservação da biodiversidade pelos governos estadual (IEMA, 2005) e federal (MMA, 2007). A Região Costa do Espírito Santo incide sobre o Corredor Ecológico Marinho do rio Doce – um dos primeiros corredores ecológicos marinhos criado pelo Ministério do Meio Ambiente no Brasil (MMA, 2006).

9.3.9.3 AVC 3

Essa região também apresentou alta probabilidade para AVC 3, segundo os indicadores analisados – ocorrência de ecossistemas e habitats inseridos em Unidades de Conservação de Proteção Integral e Uso Sustentável (Tabela 72).

Tabela 72 - Matriz de Análise do AVC 3 – Região Costa do Espírito Santo.

Indicador	Descrição do Indicador	Ocorrência	Probabilidade	Referências
1	Ecosistemas e habitats inseridos em UC de Proteção Integral.	Sim	ALTA	ICMBio (2020).
2	Ecosistemas e habitats inseridos em UC de Uso Sustentável.	Sim		ICMBio (2020).

Apesar de ser uma das estratégias mais antigas adotadas em todo o mundo para proteger os ecossistemas e habitats, a criação de Unidades de Conservação na Região Costa do Espírito Santo é relativamente recente. Apenas duas delas foram criadas antes de 1990: a Reserva Biológica de Comboios e a Reserva de Desenvolvimento Sustentável Municipal de Piraquê-Açu e Piraquê-Mirim. A maior parte, no entanto, foi criada após a realização da Convenção de Diversidade Biológica (BRASIL, 1998) e das políticas públicas que se sucederam, como a identificação das áreas prioritárias para conservação e a criação dos Corredores Biológicos. Dessa forma, a partir do ano 2000, mais de 10 UCs foram criadas no litoral capixaba, das quais três incidem na delimitada Região Costa do Espírito Santo (Tabela 73).

Tabela 73 - Unidades de Conservação localizadas na Região Costa do Espírito Santo.

NOME DA UNIDADE DE CONSERVAÇÃO	MUNICÍPIOS	LEGISLAÇÃO DE CRIAÇÃO
RESERVA BIOLÓGICA DE COMBOIOS	LINHARES, ARACRUZ	Decreto nº 90222 de 25/09/1984
ÁREA DE RELEVANTE INTERESSE ECOLÓGICO DO DEGREDADO	LINHARES	Lei ordinária nº 2322 de 05/12/2002
ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL COSTA DAS ALGAS	ARACRUZ, FUNDÃO, SERRA	Decreto nº s/n de 18/06/2010
REFÚGIO DE VIDA SILVESTRE DE SANTA CRUZ	ARACRUZ	Decreto nº s/n de 18/06/2010
RESERVA DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL MUNICIPAL PIRAQUE-AÇÚ E PIRAQUE-MIRIM	ARACRUZ	Lei ordinária nº 994 de 14/07/1986

A Área de Proteção Ambiental Costa das Algas pertence ao Bioma Marinho e contempla uma área de aproximadamente 115.000 ha. A APA Costa das Algas (UC de Uso Sustentável) incide sobre o Refúgio de Vida Silvestre de Santa Cruz (UC de Proteção Integral), com aproximadamente 17.710 ha. Juntas, as duas unidades compreendem mais de 90% de área marinha, além de ecossistemas de manguezal e restinga (ICMBio, 2020). Essas unidades estão conectadas à Reserva de Desenvolvimento Sustentável Municipal Piraquê-Açú e Piraquê-Mirim, unidade com 1.500 ha localizada em Santa Cruz, criada pela Secretaria de Meio Ambiente de Aracruz com o objetivo de proteger o maior complexo de manguezais existentes no estado do Espírito Santo.

9.3.9.4 AVC 4

Devido à relevância da Região Costa do Espírito Santo para conservação da biodiversidade em termos regionais, contribuindo para a provisão de serviços ecossistêmicos de regulação, suporte e abastecimento, a probabilidade para AVC 4 foi considerada alta (Tabela 74).

Tabela 74 - Matriz de Análise do AVC 4 – Região Costa do Espírito Santo.

Indicador	Descrição do Indicador	Ocorrência	Probabilidade	Referências
1	Áreas provedoras dos serviços de regulação e suporte.	Sim	ALTA	IEMA (2006), IEMA (2010).
2	Áreas provedoras dos serviços de abastecimento.	Sim		IEMA (2010), SEMAM (2020).

Os habitats e ecossistemas presentes na Região Costa do Espírito Santo, muitos deles protegidos por Unidades de Conservação, são de grande importância para as populações humanas que ali residem, garantindo a provisão de diversos serviços ecossistêmicos. Conforme já detalhado na análise de AVC 4 da Região Degredo, a Reserva Biológica de Comboios, a Área de Relevante Interesse Ecológico do Degredo e ecossistemas associados do delta do rio Doce (especialmente remanescentes de Floresta de Restinga e manguezais) apresentam um papel crucial no controle da erosão e regulação

A Área de Proteção Ambiental Costa das Algas visa a conservação dos recursos pesqueiros da região, e a Reserva de Desenvolvimento Sustentável Municipal Piraquê-Açú e Piraquê-Mirim protege o quinto maior manguezal da América Latina e seus recursos naturais, de fundamental importância para a manutenção dos meios de vida de inúmeras comunidades tradicionais, incluindo indígenas habitantes da Terra Indígena Tupiniquim, comunidades de pescadores artesanais, marisqueiras e catadoras de caranguejo que residem no seu entorno (IEMA, 2010).

Os manguezais da reserva também são refúgios para a desova e alimentação de espécies da fauna e da flora local. Segundo a Semam (2020) a área “abriga populações tradicionais cuja existência baseia-se em sistemas sustentáveis de exploração dos recursos naturais, desenvolvidos ao longo de gerações e adaptados às condições ecológicas locais e que desempenham um papel fundamental na proteção da natureza e na manutenção da diversidade biológica”.

9.4 RESULTADOS DETALHADOS POR ÁREA - AVC SOCIOCULTURAL 5 E 6

Ao realizar-se a análise de presença de AVC 5, define-se que qualquer região tem probabilidade de apresentar este AVC quando os meios de subsistência das comunidades humanas locais dependem do uso sustentável de recursos naturais, como por exemplo a água, pesca e extrativismo de frutos e fibras. Dessa forma, analisa-se o uso dos recursos, seja permanente ou sazonal, em áreas de rios, lagoas, florestas e outras imprescindíveis para manutenção dos meios de vida das comunidades. É importante ter em conta que a ausência de informações sobre a existência e localização de comunidades, ou dados associados, não representa ausência de AVC 5. Isso ocorre porque tanto a localização quanto o uso e manejo dos recursos naturais por populações humanas nem sempre são documentados, o que não impede de serem fundamentais para suprir suas necessidades básicas. O mesmo também pode ser considerado para a ocorrência de AVC 6. Nesse sentido, é importante considerar que a análise dos AVC Socioambientais pode parecer subjetiva, visto que – diferente das áreas com AVC Geoambientais – muitas vezes não são delimitadas por polígonos bem definidos.

9.4.1 AVC 5 – USO DO TERRITÓRIO POR COMUNIDADES INDÍGENAS

Foram identificadas, conforme apresentado na Tabela 75, quatro áreas com AVC 5 nas quais os territórios são utilizados por comunidades indígenas oficialmente reconhecidas pelo governo brasileiro: Terra Indígena Krenak, Terra Indígena Comboios, Terra Indígena Caieiras Velha e Terra Indígena Tupiniquim (IGBE, 2020; FUNAI, 2020).

Tabela 75 - Matriz de Análise do AVC 5 – Uso do território por comunidades indígenas.

Indicador	Descrição do Indicador	Ocorrência	Probabilidade	Referências
1	Áreas legalmente protegidas para o usufruto de comunidades indígenas.	Sim	ALTA	IBGE (2020), FUNAI (2020).
2	Áreas importantes para uso e manejo dos recursos naturais por povoados e comunidades.	Não		-
3	Áreas tituladas ou em processo de reivindicação por comunidades quilombolas.	Não		-

Conforme expresso no artigo 231 da Constituição Federal de 1988, “são reconhecidos aos índios sua organização social, costumes, línguas, crenças e tradições, e os direitos originários sobre as terras que tradicionalmente ocupam, competindo à União demarcá-las, proteger e fazer respeitar todos os seus bens”. Essas áreas, por sua vez, devem garantir os recursos naturais tradicionalmente manejados pelas comunidades indígenas e necessários para manutenção dos seus meios de vida. O processo de regularização das Terras Indígenas Tupiniquim-Guarani (14.282 ha) e Comboios (3.872 ha) iniciou em 1975, sendo que elas foram homologadas apenas em 2010. Embora tenham sido reconhecidas como duas Terras Indígenas distintas, elas mantêm fortes vínculos sociopolíticos, bem como relações de troca e de acesso ao uso dos recursos naturais (FUNAI, 2020). A Terra Indígena Krenak (3.983 ha) foi homologada em 2001 e a Terra Indígena Caieiras Velha (57 ha), que se situa às margens do Rio Piraquê-Mirim, foi homologada 2004. Além dos relatórios circunstanciados de identificação e delimitação das terras indígenas, diversos estudos descrevem os meios de vida e práticas de subsistência associadas aos territórios dessas comunidades (FREIRE, 2000; LITIG, 2016; FIOROTT, 2017).

9.4.2 AVC 5 – USO DO TERRITÓRIO POR COMUNIDADES QUILOMBOLAS

A Comunidade Quilombola de Degredo também apresentou alta probabilidade para AVC 5, conforme referências citadas na Tabela 76.

Tabela 76 - Matriz de Análise do AVC 5 – Uso do território por comunidades quilombolas.

Indicador	Descrição do Indicador	Ocorrência	Probabilidade	Referências
1	Áreas legalmente protegidas para o usufruto de comunidades indígenas.	Não	ALTA	-
2	Áreas importantes para uso e manejo dos recursos naturais por povoados e comunidades.	Não		-
2	Áreas tituladas ou em processo de reivindicação por comunidades quilombolas.	Sim		FUNDAÇÃO RENOVA (2020); FUNDAÇÃO PALMARES (2020); INCRA (2020).

A existência de comunidades quilombolas no Espírito Santo está ligada a história da colonização do estado após a chegada dos portugueses. De acordo com o Incra (2020), existem atualmente 20 processos abertos para regularização de terras quilombolas no estado do Espírito Santo, sendo 17 localizados nos municípios de Conceição da Barra e São Mateus. A Comunidade Remanescente do Quilombo Degredo (CRQ) está localizada no município de Linhares a uma distância aproximada de 21 km da foz do rio Doce.

A certificação como Comunidade Remanescente de Quilombo foi publicada no DOU em 20/05/2016, e o processo de titulação do território está tramitando no INCRA desde 2018 sob o registro 54340.000106/2018-02 (INCRA, 2020). O território ocupado pelos quilombolas de Degredo perfaz uma área de aproximadamente 3.200 hectares (FUNDAÇÃO RENOVA, 2018), incluindo diversas lagoas que são fontes principalmente de recursos pesqueiros (Monsarás, Salsa, Martins, das Cacimbas, dos Tocos).

Apesar de não existir um mapa oficial do uso do território pela comunidade quilombola, a área delimitada no presente estudo abarca um território amplo, presumivelmente utilizável pela comunidade. Além da água e da pesca, outros usos potenciais dos recursos naturais pela comunidade incluem a coleta de sementes para artesanato, usos madeireiros para construções como canoas e estruturas para venda de pescado (FUNDAÇÃO RENOVA, 2018; FUNDAÇÃO PALMARES, 2020).

9.4.3 AVC 5 – USO DO TERRITÓRIO POR COMUNIDADES E POVOADOS AO LONGO DO RIO DOCE

A identificação do uso do território por comunidades e povoados ao longo do rio Doce baseou-se nos dados oficiais de localização dos Povoados e Comunidades do IBGE (2020) mapeadas dentro da AI. Na ausência de registros oficiais que permitam caracterizar essas comunidades como tradicionais, descendentes de indígenas e/ou quilombolas – cujos direitos territoriais são delimitados e os direitos de acesso aos recursos naturais são garantidos por legislação específica –, foram considerados os

pontos de localização desses povoados e comunidades ao longo da AI, com probabilidade média de AVC 5 (Tabela 77).

Tabela 77 - Matriz de Análise do AVC 5 – Uso do território por povoados e comunidades.

Indicador	Descrição do Indicador	Ocorrência	Probabilidade	Referências
1	Áreas legalmente protegidas para o usufruto de comunidades indígenas.	Não identificado	MÉDIA	-
2	Áreas importantes para uso e manejo dos recursos naturais por povoados e comunidades.	Sim		IBGE (2020).
3	Áreas tituladas ou em processo de reivindicação por comunidades quilombolas.	Não identificado		-

No total, foram identificados 45 povoados e comunidades que apresentam forte relação com o território e com os recursos naturais do entorno, sobretudo para as práticas da agricultura familiar, pesca artesanal e criação de animais. Presume-se que para desenvolver essas atividades faz-se necessário principalmente o uso da água dos rios e igarapés da região, além do manejo dos recursos madeireiros e não-madeireiros dentro da AI.

9.4.4 AVC 6 – SÍTIOS ARQUEOLÓGICOS E MANIFESTAÇÕES CULTURAIS

A triagem dos dados para análise de probabilidade de AVC 6 baseou-se nas áreas que contêm registros de sítios com significado cultural, arqueológico ou histórico, em nível global ou nacional, e que tenham importância econômica ou religiosa às comunidades locais (Figura 151). Diversas foram as áreas identificadas que apresentaram alta probabilidade para AVC 6, conforme as referências consultadas (Tabela 78). Semelhantemente aos territórios usados por povoados e comunidades ao longo do rio Doce, esses locais estão dispersos em toda a área de interesse analisada.

Tabela 78 - Matriz de Análise do AVC 6 – Sítios Arqueológicos e Manifestações Culturais.

Indicador	Descrição do Indicador	Ocorrência	Probabilidade	Referências
1	Sítios arqueológicos e geológicos.	Sim	ALTA	BRASIL (MPF)/LACTEC (2017d); OLIVEIRA (2014); ROCHA et al. (2017).
2	Áreas de importância histórica e cultural.	Sim		LACTEC (2018); ICMBio (2020), FUNAI (2020).

Em relação aos sítios arqueológicos, segundo dados contidos no Relatório Consolidado de Bens Arqueológicos e Culturais (BRASIL (MPF)/LACTEC, 2017d), foram identificados 791 lugares, 196 celebrações, 60 ofícios, saberes e modos de fazer; e 115 formas de expressão, perfazendo um total de 1.162 bens imateriais. Deste universo de manifestações, nesta análise foram considerados 105 registros arqueológicos e manifestações culturais, com destaque para a Gruta Sete Salões, palco para

diversas manifestações culturais indígenas.

Além dos sítios de importância arqueológica, na região do Quadrilátero Ferrífero (próxima às nascentes do rio Doce) existe a proposta de criação de um Geoparque junto a UNESCO, partindo do princípio da valorização das atrações turísticas com ênfase nos aspectos geológicos, sociais e culturais, com vistas a preservação do patrimônio, promoção da educação e do desenvolvimento sustentável. A proposta inclui uma área de 6.500 km² com 29 geossítios de grande beleza cênica, que contam um pouco da história geológica do planeta (OLIVEIRA, 2014; ROCHA et al., 2017).

Diversos sítios localizados dentro dos territórios indígenas também são considerados de importância cultural, especialmente para as comunidades que os habitam. Uma citação produzida pelo Lactec (2018) ajuda a compreender essa relação: dias após o rompimento da barragem de Fundão, quando do aviso a respeito da descida da lama pelo rio Doce, a comunidade indígena Krenak realizou uma cerimônia de despedida do rio, tido por eles como uma entidade. Além dos danos materiais diretos (impossibilidade de pescar, contaminação da água, danos nas áreas cultivadas ou de manejo por parte das comunidades), há toda uma dimensão religiosa, de signos, símbolos e sentidos em relação ao local.

Na região do litoral capixaba, tanto o congo quanto o jongo são manifestações culturais (um gênero musical tradicional) de amplo conhecimento das comunidades em geral por serem consideradas patrimônio imaterial que apresentam forte ligação religiosa e folclórica, nas quais as toadas são realizadas em homenagens a santos (como São Benedito e Nossa Senhora da Penha, padroeira do estado do Espírito Santo), abordando temas como o mar, o amor e, às vezes, a morte. Essas manifestações são tipicamente realizadas na Região Degredo e Costa do Espírito Santo.