



## Mapping of ecosystem services in watercourse APPs: the case of the Doce river basin

## Mapeamento dos serviços ecossistêmicos de APPs de cursos d'água: caso da bacia do rio Doce

COSTA, Talita Gomes da<sup>(1)</sup>; SOUSA, Nathan Felipe Morais de<sup>(2)</sup>; ZAMBALDI, Ludimilla Portela<sup>(3)</sup>

<sup>(1)</sup> 0000-0002-8279-5446; Instituto Federal de Minas Gerais – *Campus Bambuí*, discente do curso de Licenciatura em Ciências Biológicas, BRASIL, E-mail: [talitadacosta18@gmail.com](mailto:talitadacosta18@gmail.com).

<sup>(2)</sup> 0000-0003-3794-3785; Instituto Federal de Minas Gerais – *Campus Bambuí*, discente do curso de Licenciatura em Ciências Biológicas, BRASIL, E-mail: [nathanfelipe2223@gmail.com](mailto:nathanfelipe2223@gmail.com).

<sup>(3)</sup> 0000-0002-4497-1357; Instituto Federal de Minas Gerais – *Campus Bambuí*, docente e pesquisadora do curso de Licenciatura em Ciências Biológicas, BRASIL, E-mail: [ludimilla.zambaldi@ifmg.edu.br](mailto:ludimilla.zambaldi@ifmg.edu.br)

O conteúdo expresso neste artigo é de inteira responsabilidade dos/as seus/as autores/as.

### ABSTRACT

Permanent Preservation Area (APP) is an area protected by law that aims to preserve environmental resources, especially water resources, and ensure human well-being. Such areas promote the provision of ecosystem services fundamental to the conservation of life through the maintenance of ecological cycles from the ecosystem functions of support, regulation, provisioning and culture. Justified by the importance and particular characteristics of the APPs, a methodology of classification of ecosystem services was carried out specifically for these environments, assigning a scale of weights with values from "1" to "5" to the ability to offer them. Mapping of land use and occupation using the Geographic Information System and online shapefiles overlay, the service values were associated with land cover and resulted in the mapping of ecosystem services in the APPs of the Doce river basin. The mapping of the areas with the highest density of services allowed the spatial identification of their supply for the maintenance, conservation and regeneration of ecosystems. Thus, inadequate use of land in the APPs of watercourses of the Doce river basin was related to the loss of ecosystem services and the ecological, economic and social impacts, highlighting the relevance of the maintenance of watercourses and aiming at the preservation and application of natural resources of these areas to the recovery of degraded regions, such as those impacted by the rupture of the Barragem do Fundão, in Mariana.

### RESUMO

Área de Preservação Permanente (APP) é uma área protegida por lei que visa preservar os recursos ambientais, principalmente os hídricos, além de assegurar o bem-estar humano. Tais áreas promovem a oferta de serviços ecossistêmicos fundamentais para a conservação da vida através da manutenção dos ciclos ecológicos a partir das funções ecossistêmicas de suporte, regulação, provisão e cultura. Justificada pela importância e características particulares das APPs, foi realizada uma metodologia de classificação dos serviços ecossistêmicos especificamente para estes ambientes, atribuindo uma escala de pesos com valores de "1" a "5" à capacidade de oferta dos mesmos. A partir do mapeamento de uso e ocupação da terra utilizando o Sistema de Informações Geográficas e a sobreposição de *shapefiles online*, os valores dos serviços foram associados à cobertura da terra e resultaram no mapeamento dos serviços ecossistêmicos nas APPs da bacia do rio Doce. O mapeamento das áreas de maior densidade de serviços permitiu identificar espacialmente a oferta dos mesmos para a manutenção, conservação e regeneração dos ecossistemas. Deste modo, relacionou-se o uso inadequado do solo de APPs de cursos d'água da bacia do Rio Doce à perda de serviços ecossistêmicos e aos impactos ecológicos, econômicos e sociais, destacando a relevância da manutenção de cursos hídricos e visando a preservação e aplicação dos recursos naturais destas áreas à recuperação de regiões degradadas, como as impactadas pelo rompimento da Barragem do Fundão, em Mariana.

### INFORMAÇÕES DO ARTIGO

#### **Histórico do Artigo:**

Submetido: 20/10/2021

Aprovado: 24/05/2022

Publicação: 10/10/2022



#### **Keywords:**

ecosystem functions,  
ecological cycles, degraded  
regions.

#### **Palavras-Chave:**

funções ecossistêmicas,  
ciclos ecológicos, regiões  
degradadas.

## Introdução

Nas últimas décadas a satisfação dos padrões crescentes da vida humana e consequente demanda por recursos naturais se ampliaram consideravelmente. O aumento do uso de matéria-prima está inerente ao ritmo de degradação do capital natural, acarretando uma geração de resíduos preocupante e uma interferência nos processos ecossistêmicos da Terra (RESENDE et al., 2014). Dentre as diversas áreas afetadas, as vegetações ripárias ou matas ciliares, sendo o segundo termo o mais comumente conhecido, é um tipo de vegetação caracterizada como cobertura vegetal nativa situada às margens de rios, no entorno de nascentes, lagos, represas artificiais e naturais. Este tipo de vegetação oferece inúmeros serviços ecossistêmicos (SE) para a população, sendo também crucial para a manutenção e preservação dos corpos d'água. As florestas ripárias possuem seu direito de proteção regido por lei, Lei Nº 12.651 de Maio de 2012 (BRASIL, 2012), onde é considerada uma Área de Preservação Permanente (APP).

Os SEs estão ligados fortemente a uma importante comunicação entre a qualidade de vida que o ser humano apresenta e o sistema econômico (PARRON et al., 2015), proporcionando à sociedade diversos benefícios, obtidos pelo uso dos recursos naturais de maneira direta e indiretamente. Vegetações ripárias exercem funções ecossistêmicas essenciais para a humanidade e para a natureza em si através da contribuição para manutenção dos ciclos ecológicos, bem como na função de filtrar matéria orgânica que seriam despejadas no curso d'água.

Uma zona ripária de propriedade rural preservada, com vegetação arbórea predominante e solo protegido, reduz o transporte de fertilizantes nitrogenados das plantações adjacentes aos cursos d'água, promove a retenção dos materiais lixiviados do solo e auxilia na disponibilidade de água potável para consumo humano (PARRON et al., 2015). Matas ciliares podem atuar como corredores ecológicos ao propiciar o deslocamento e a continuidade do fluxo gênico da fauna e flora, possibilitando a manutenção de espécies e a variabilidade genética entre populações, além de fornecer habitat para uma grande quantidade de espécies, como aves, insetos, mamíferos e répteis (MARIOT, 2007).

A oferta dos SE diretos e indiretos podem ser quantificados e mapeados, compondo uma ferramenta útil para avaliação aos processos decisórios e complexos envolvendo atividades humanas e o equilíbrio ambiental (BRASIL, 2018). Por serem um ponto de transição entre ambientes terrestres e aquáticos, as APPs de cursos d'água se caracterizam por reunir alguns dos mais importantes SEs ofertados à humanidade (NÓBREGA et al., 2020; RIIS et al., 2020). Apesar disso, são áreas frequentemente degradadas por atividades antrópicas, em ambientes terrestres e aquáticos, e são altamente sensíveis às alterações humanas. São consideradas pela legislação como regiões que devem ser preservadas, justificando uma abordagem específica para uma melhor compreensão de sua importância e conservação. Essas

áreas proporcionam a preservação e a conservação dos mananciais hídricos e desempenham importantes funções sociais e ecológicas por meio do abastecimento público, uso industrial, irrigação, preservação da biodiversidade, da manutenção do equilíbrio ecológico e da pesca para comunidades ribeirinhas (AVILA et al., 2011). Porém, muitos dos SEs ofertados por APPs de cursos d'água não são conhecidos e reconhecidos, especialmente pela população local que usufrui e são dependentes destes serviços.

Os inúmeros serviços ecossistêmicos oferecidos por APPs de curso d'água mostram-se alternativas pertinentes à recuperação natural de ambientes degradados. A regeneração natural de um ambiente é favorecida quando são encontradas fontes de propágulos em fragmentos florestais ou de vegetação nativa nos arredores, principalmente em matrizes com cobertura florestal preservada. Na dinâmica sazonal os rios realizam o transporte e deposição de propágulos e nutrientes em suas margens, além da vegetação reter umidade e nutrientes em suas raízes. Em contrapartida, a regeneração natural é negativamente afetada pelo nível de degradação ambiental local, cuja intensidade do uso da terra anterior interfere na qualidade do solo e na viabilidade do banco de sementes (HOLL; AIDE, 2011; MARTINS et al., 2014).

A bacia do rio Doce, localizada na região Sudeste do país, possui uma área de drenagem de aproximadamente 86.715 km<sup>2</sup> e tem 86% de sua extensão pertencente ao estado de Minas Gerais e o restante ao Espírito Santo, abrangendo um total de 230 municípios, contribuindo economicamente com a produção mineral de mica, calcários e minerais. Já na agricultura destaca-se o cultivo de milho, feijão, café, mandioca, cana-de-açúcar e arroz. Atividades industriais se resumem em produção de minerais não-metálicos; alimentos e bebidas, celulose e siderurgia, além de um número considerável de pequenas e médias barragens hidrelétricas (PIRH, 2010).

A bacia do rio Doce foi afetada significativamente pelo rompimento da barragem de rejeitos do “Fundão” em Mariana (MG), ocorrida em 05 de novembro de 2015 e com efeitos ecológicos e sociais negativos que alcançaram a foz do rio Doce, no estado do Espírito Santo. A onda de lama e dejetos soterrou centenas de nascentes, contaminou importantes afluentes do rio Doce e destruiu florestas e APPs, elevando significativamente os níveis de turbidez da água. Matas de galeria foram destruídas pela onda dos resíduos de minério, tendo todo seu banco de sementes soterrado (LOPES, 2016; ESPINOLA et al., 2019). A destruição atingiu um total de 1.469ha ao longo de 77km de cursos d'água, incluindo APPs (IBAMA, 2015) e, conseqüentemente, desconfigurando os SE ali presentes.

Apesar de protegidas por lei (BRASIL, 2012), muitas APPs foram alteradas para diversos outros usos como pastagens, culturas e implantação de estruturas antrópicas. Estas alterações e a conseqüente perda de SEs foram avaliadas para a bacia do rio Doce, inserida na região sudeste do Brasil, sendo esta a mais habitada e contendo 42% da população brasileira (IBGE, 2020) dependente de recursos e serviços naturais.

Assim, o presente estudo de caso tem como objetivo avaliar e mapear a capacidade de oferta de serviços ecossistêmicos de Áreas de Proteção Permanente (APPs) de cursos d'água, contextualizando-os na bacia do rio Doce para verificar as porções atualmente protegidas e as perdas de serviços ecossistêmicos decorrentes da ausência de proteção ou por uso e ocupação do solo.

### **Procedimento Metodológico**

Em um ambiente de Sistema de Informações Geográficas (SIG), foi gerado um banco de dados (Tabela 1) com informações espaciais das APPs de cursos d'água da bacia do rio Doce. Os valores de APPs preservadas, segundo o Código Florestal, variam de acordo com as faixas marginais de qualquer curso d'água natural perene e intermitente, excluídos os efêmeros, desde a borda da calha do leito regular. Devem possuir largura mínima de 30 metros para os cursos d'água com menos de 10 metros; de 50 metros para os cursos d'água que tenham de 10 a 50 metros; de 100 metros para aqueles de 50 a 200 metros; de 200 metros para aqueles de 200 a 600 metros; e de 500 metros para os superiores a 600 metros (Lei nº 12.727, de 2012). Todos os proprietários rurais devem fazer o Cadastro Ambiental Rural (CAR) indicando a largura dos cursos d'água dentro de sua propriedade. A partir dos valores de APPs descritos no cadastro foi realizado o mapeamento das APPs para a bacia do Rio Doce.

O mapeamento de serviços ecossistêmicos está presente em diversos trabalhos científicos e é utilizado como uma ferramenta relevante para planejamento e gestão do uso da terra e conservação de áreas naturais (WOLFF et al., 2015). Apesar das características específicas de vegetações ciliares, os mapeamentos de serviços ecossistêmicos geralmente não diferenciam estes ambientes dos ambientes terrestres fora das áreas de APPs de cursos d'água, tornando necessária uma análise especial acerca do impacto sobre os serviços ofertados pelas matas ciliares. Além disso, por serem ambientes protegidos por lei, a vegetação ciliar juntamente aos serviços ofertados devem compor planos de recuperação e de conscientização do uso do solo.

O mapeamento de APPs, disponibilizadas pelo CAR, foi sobreposto aos dados de hidrografia (*shapefiles*), possibilitando a delimitação das APPs nas propriedades cadastradas no sistema, nos limites da bacia do rio Doce. Para APPs não mapeadas pelos proprietários rurais dentro da bacia foram utilizados os dados da Agência Nacional de Águas (ANA) para mapeamento dos cursos d'água e a realização de uma extrapolação dos dados, baseados nas propriedades rurais com delimitação de APPs mais próximas. Assim, obteve-se uma média de largura das APPs dessas áreas, a qual foi utilizada para os cursos d'água não mapeados pelo CAR.

**Tabela 1:**

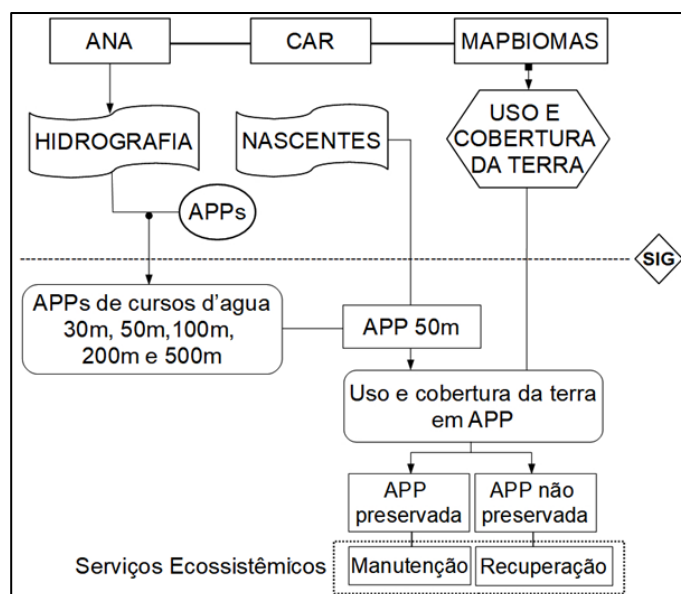
*Banco de dados referentes às informações utilizadas para o mapeamento da preservação das APPs na bacia do rio Doce.*

Dados	Fonte	Informações utilizadas
Hidrografia	ANA (ANA, 2020)	Mapeamento e extensão de rios
Áreas de proteção permanente	CAR (CAR, 2020)	Distribuição de nascentes Largura de rios e de APP de rios
Uso e cobertura da terra	MapBiomas (MAPBIOMAS, 2016)	Áreas preservadas e outros usos

As delimitações de APPs de cursos d'água e de nascentes foram sobrepostas ao mapeamento de uso e ocupação da terra e quantificadas para a bacia do rio Doce. A classificação dos usos e ocupações da terra gerada pela plataforma do MapBiomas (MAPBIOMAS, 2016) foi reclassificada em áreas naturais (preservadas) e não preservadas, sendo estas: pastagem; cultura anual e perene, cultura semi-perene; mosaico de agricultura e pastagem; infraestrutura urbana; mineração (Figura 1).

**Figura 1:**

*Fluxograma da metodologia empregada para mapeamento e quantificação do uso e ocupação da terra nas APPs de cursos d'água da bacia do rio Doce.*



A partir da compilação dos SEs categorizados em serviços de provisões, regulações, suportes e culturais, foram analisados e atribuídos valores de capacidade de oferta de SEs (1 a 5) para cada serviço ofertado por APPs de curso d'água, utilizando a escala adaptada de Soheli e col., (2015), em que “1” traduz uma capacidade relevante muito baixa de oferta do serviço ecossistêmico, “2” capacidade relevante baixa, “3” capacidade relevante média, “4” capacidade relevante alta e “5” capacidade relevante muito alta. Para tal, foi considerada a importância em relação às APPs de cursos d'água preservadas (Tabela 02).

Os valores de capacidade de oferta dos serviços ecossistêmicos foram então associados ao uso e cobertura da terra atual para a bacia, no intuito de identificar as áreas que ainda são capazes de ofertar os serviços e as diferenciar das áreas que reduziram a capacidade de oferta a partir da degradação das APPs (adaptado de LIMA et al., 2017). Áreas naturais possuem capacidade integral de oferta de serviços e as demais áreas, dependendo do uso, podem continuar a oferecer alguns serviços, mas não integralmente (Tabela 03).

Tabela 2:

*Metodologia utilizada para mensuração da capacidade de oferta dos serviços ecossistêmicos de APPs de cursos d'água e as justificativas.*

Serviços ecossistêmicos	Categorização (AEM, 2005)	Pesos	Justificativas
Formação e Proteção do solo	Suporte	5	Constitui os horizontes; auxilia a porosidade; mantém o sistema radicular; estrutura para atividades econômicas como agropecuária.
Regulação de Erosão	Regulação	5	Manutenção de atributos físicos e nutrientes do solo.
Prevenção de Distúrbios Ambientais	Suporte	5	Controle da temperatura e da disponibilidade de luz e de calor.
Oferta de água	Provisão	5	Manutenção da evapotranspiração e de lençóis freáticos. Manutenção da qualidade da água.
Regulação da água	Regulação	5	Influência no ciclo hidrológico; na umidade local; regula a disponibilidade de água.
Regulação e Ciclagem de nutrientes	Regulação e Suporte	5	Armazenamento e processamento dos nutrientes; preservação da fertilidade; e características físico-químicas.
Polinização	Suporte	5	Manutenção da produtividade agrícolas de áreas vizinhas às APPs; recuperação de áreas degradadas.

Controle biológico	Regulação	3	Redução de enfermidades por regular o nicho de vetores.
Refúgio e Habitat	Suporte	4	Influência na reprodução de espécies gerais e endêmicas; acréscimo das chances de sobrevivência e troca genética.
Biodiversidade	Regulação	3	Manutenção da diversidade de espécies endêmicas.
Dispersão de Sementes	Suporte	4	Aumento da biodiversidade e da variabilidade genética, mantendo a camada vegetal e o alimento da fauna.
Corredor Ecológico	Suporte	5	Redução da fragmentação de habitats, aumento do transporte de sementes e movimentação da fauna.
Conservação e Produção de Recursos Genéticos	Provisão	3	Manutenção dos aspectos evolutivos da macro e microfauna e flora.
Outros	Culturais	1	Preservação de matas ripárias não está associada diretamente a estes serviços

**Tabela 3:**

*Metodologia utilizada para a mensuração da capacidade de oferta dos serviços ecossistêmicos associados ao uso e cobertura da terra atual para a bacia do rio Doce, considerando seu grau de degradação.*

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Formação Natural Vegetada	5	5	4	5	5	5	4	2	2	3	5	5	5	5	5	5	5	5	3	5	5
Floresta Plantada	2	3	1	2	3	3	2	1	0	0	3	3	2	2	4	3	3	5	1	2	3
Mangue	5	0	5	2	1	5	5	4	3	4	1	5	5	3	5	5	5	5	4	2	5
Outra Formação Natural Não Florestal	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	1	2	1	1	0	1	1	3
Pastagem	1	3	0	2	2	1	0	0	0	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	2

Cultura Anual, Perene e Semi-Perene	2	2	5	1	3	2	0	0	0	0	3	2	2	0	2	2	2	2	1	0	2	2
Mosaico de Agricultura e Pastagem	2	2	5	2	2	2	0	0	0	0	3	2	3	0	2	1	2	2	0	0	2	2
Infraestrutura Urbana	0	0	0	0	0	0	0	5	0	4	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0
Outra Área Não Vegetada (Solo descoberto)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Rio, Lago e Oceano	5	0	5	2	1	5	5	5	3	4	0	5	5	3	5	5	5	5	0	3	1	1

Nota:<sup>1</sup>

Os valores de capacidade de oferta dos serviços ecossistêmicos de APPs foram sobrepostos e ponderados ao mapeamento, considerando os valores atribuídos ao uso e cobertura da terra. A partir do mapeamento da capacidade de oferta de serviços, considerando o uso atual das APPs de cursos d'água, foram gerados mapas que identificam a densidade com alta capacidade de oferta de SE e a baixa capacidade de oferta de SE para a bacia do rio Doce.

## Resultados e Discussão

### ***Mensuração da capacidade de oferta dos serviços ecossistêmicos de APPs de cursos d'água***

Os serviços de “Formação e Proteção do Solo” foram avaliados com o peso 5, justificados por constituírem uma base para a sustentação de outros SEs ribeirinhos. O serviço de “Regulação de Erosão” foi classificado com peso 5 em virtude de protegerem os cursos d'água do assoreamento, possibilitando a permanência da profundidade da calha do rio e consequentemente do volume de água para as propriedades, os quais são essenciais para o funcionamento das atividades agropecuárias e para a recuperação e conservação de bacias degradadas (Tabela 2).

<sup>1</sup> 1. Regulação de Nutrientes; 2. Regulação de Erosão; 3. Oferta de Alimento; 4. Prevenção de Distúrbios Ambientais; 5. Proteção do Solo; 6. Ciclagem de Nutrientes; 7. Oferta de Água; 8. Recreação; 9. Espiritualidade; 10. Cultura; 11. Polinização; 12. Controle Biológico; 13. Regulação da Água; 14. Formação do Solo; 15. Refúgio e Habitat; 16. Biodiversidade; 17. Recursos Genéticos; 18. Produção de Madeira; 19. Beleza Estética ou Cênica; 20. Dispersão de Sementes; 21. Corredores Ecológicos.



O serviço ecossistêmico de “Prevenção de Distúrbios Ambientais” recebeu peso 5 em razão da atuação mecânica da mata ciliar na redução dos efeitos de enchentes e escoamento das águas por diminuir os picos dos períodos de cheia através da estrutura física da vegetação. O serviço de “Oferta de Água” obteve peso 5 pelo fato de, assim como a regulação hídrica, tratar-se de um componente essencial às necessidades de consumo residencial, industrial e agropecuário ao se relacionar com a capacidade de filtragem e disponibilidade da reserva desse recurso. Esse SE contribui para a recuperação de áreas degradadas, sendo fundamental para a sobrevivência de espécies da fauna e flora. Semelhantemente, “Regulação de Água” também recebeu peso 5 no sistema por se tratar do mecanismo de controle de disponibilidade hídrica, que, caso ausente, impossibilitaria os outros serviços ecossistêmicos de existirem ao longo do tempo.

Os serviços de “Regulação e Ciclagem de Nutrientes” receberam, ambos, o peso 5 porque as APPs de cursos d’água mantêm a estabilidade do terreno e os atributos do solo, importantes para a recuperação de áreas degradadas. A “Polinização” é tida como um serviço de suporte e recebeu também peso 5, uma vez que polinizadores inicialmente em coberturas vegetais das APPs de cursos d’água favorecem a recolonização de áreas degradadas. O “Controle Biológico” caracteriza-se como serviço de provisão e obteve, assim, peso 3 devido a uma APP de curso d’água ter uma baixa extensão vegetacional, comparada ao restante da APP (mancha vegetacional) preservada, e isso dificultar a oferta de habitats para os inimigos naturais de pragas.

O serviço de “Suporte de Refúgio e Habitat” recebeu o peso 4 em justificativa de APPs de cursos d’água ofertarem habitat para espécies endêmicas e refúgio para diversas outras. O peso foi menor em razão de APPs de cursos d’água abrigarem um menor número de espécies em comparação às grandes áreas preservadas. Já a “Regulação da Biodiversidade” obteve peso 3, por não ser um processo direto e sim uma consequência da manutenção dos outros serviços ecossistêmicos.

A “Dispersão de Sementes” e “Oferta de Corredores Ecológicos” são dois tipos de serviços diretamente ligados. Os corredores ecológicos servem de conectores para as espécies em áreas fragmentadas, sendo essas responsáveis por transportar as sementes de uma área à outra de modo em que as espécies vegetais também se propaguem através dos fragmentos. Ambos são tidos como serviços de suporte e foram avaliados, sob perspectivas de APPs preservadas, com os pesos de 4 e 5, respectivamente.

A “Conservação e Produção de Recursos Genéticos”, apesar de promissora para a conservação da biodiversidade, não se faz presente em grande escala nas zonas ripárias quando equiparadas aos outros tipos de formações vegetais e às áreas mais contínuas. Devido à baixa heterogeneidade de habitats e área reduzida, atribuiu-se nota 3 para tal serviço ecossistêmico. Por fim, os “Serviços Culturais”, em geral, receberam peso 1 por não se adequarem ao caráter

de suporte, provisão ou produção de recursos, assim como nem todas as APPs de cursos d'água possuem valores culturais atrelados.

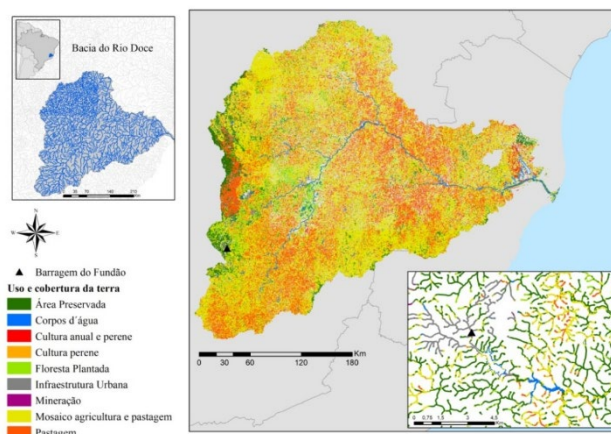
### ***Distribuição espacial e quantificação da preservação da oferta de SEs de APPs de cursos d'água da bacia do rio Doce***

A bacia do rio Doce possui aproximadamente 76% de toda a sua extensão territorial ocupada por atividades agrícolas, resultando na perda de sedimentos, nutrientes e carbono orgânico, além da água e atributos naturais do solo (ROCHA JUNIOR et al. 2017). A modificação e manejo da cobertura natural do solo afeta a oferta dos SEs, que só ocorrerá de maneira eficiente em APPs preservadas, estando vinculada à manutenção da quantidade e qualidade de oferta de recursos e serviços para os municípios da bacia.

De acordo com a classe de cobertura do solo (Figura 2) (MAPBIOMAS, 2016) e a sua porcentagem de uso, cerca de 77,7% dos solos das APPs da bacia são áreas antropizadas, e 22,3% das APPs estão preservadas oferecendo os SEs de maneira integral. Nas áreas antropizadas, dentre as dominantes estão pastagens (50,32%) e o mosaico de agricultura e pastagem (23,2%), que juntas representam mais de 73% da extensão total em APPs (Figura 3). A alteração da cobertura natural em áreas fundamentais para a continuidade da oferta de serviços, como as APPs, resulta na prevalência de áreas com baixa capacidade de oferta de serviços ecossistêmicos (Figura 4). As regiões de APPs com alta capacidade de serviços ecossistêmicos se concentram em regiões próximas às nascentes dos rios na bacia, onde ocorre um menor interesse econômico no uso da terra. A escala de apresentação possibilita a visualização dos cursos d'água de maior porte, o qual é abastecido pelos demais menores afluentes distribuídos pela bacia.

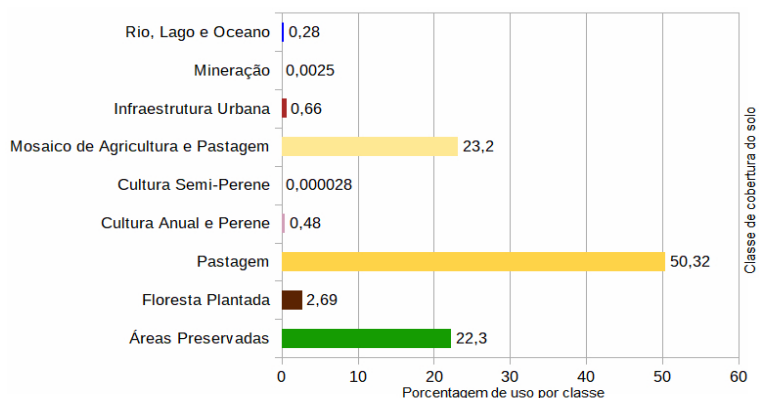
#### **Figura 2:**

*Distribuição espacial do uso e cobertura da terra em APPs de cursos d'água na bacia do rio Doce, diferenciando áreas preservadas e áreas antropizadas (cultura anual e perene; cultura perene; floresta plantada; infraestrutura urbana; mineração; mosaico agricultura e pastagem e pastagem).*

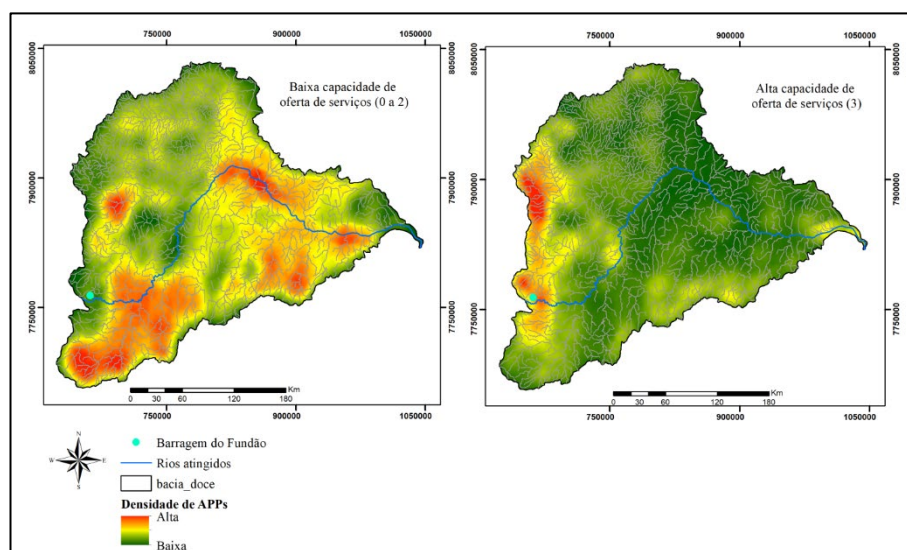


**Figura 3:**

*Porcentagem de uso por classe de cobertura do solo em Áreas de Proteção Permanente de cursos d'água para a bacia do rio Doce.*

**Figura 4:**

*Densidade de Áreas de Preservação Permanente (APPs), com baixa capacidade de oferta de serviços ecossistêmicos (0 a 2) e com alta capacidade de oferta de serviços (3).*



A remoção da cobertura vegetal e alteração nas estruturas do solo em mais de 77% das APPs de cursos d'água afetam os serviços dirigentes de sua proteção (ANDRADE; ROMEIRO, 2009), de sua formação, de ciclagem de nutrientes e regulação de erosão, que são responsáveis por suas propriedades físico-químicas. Reduzem a qualidade e quantidade da água e influenciam no descontrole causado por tempestades e desastres naturais. Estas implicações irão culminar com a eutrofização e na redução da biodiversidade (ANDRADE; ROMEIRO, 2009; VASCONCELLOS; BELTRAO, 2018).

Para a bacia, a ausência de vegetação irá promover a destruição das interações que ocorrem nas funções ecossistêmicas de polinização e dispersão de sementes gera impactos na

biodiversidade animal e vegetal ali presentes e na manutenção da produtividade agrícola (PEREIRA et al., 2007; OLLERTON et al., 2011).

Além de prejudicar as populações ribeirinhas e os cursos d'água, através das alterações na deposição de sedimentos, a ausência da flora e da fauna habitual impossibilita a recuperação de terrenos degradados e do retorno da produtividade agrícola, dependentes dos SEs (VASCONCELLOS; BELTRAO, 2018). A perda desses SEs através da alta porcentagem de APPs antropizadas potencialmente acarretará a ausência da qualidade nos produtos e manufaturas e, conseqüentemente, levará às alterações das condições econômicas e sociais da comunidade humana presente na bacia ao impactar atividades agropecuárias através, por exemplo, da infertilidade dos solos de regiões próximas, do assoreamento de rios jusantes e da inviabilização do uso da água pelos proprietários rurais. Logo, a degradação de SEs se torna catastrófica para a bacia, para os usuários e para os produtores dependentes da oferta de benefícios apresentados pela complexidade associada ao ecossistema das APPs de cursos d'água.

Áreas degradadas, diretamente através de atividades econômicas ou indiretamente através de eventos não naturais como o rompimento de barragens de rejeitos, estão subordinadas às zonas ripárias e seus SEs. Tais zonas e seus serviços compõem áreas com características necessárias para a recuperação ecológica. As APPs de cursos d'água, especificamente, atuam de forma significativa no restabelecimento vegetal por viabilizar nutrientes e sementes para áreas em regeneração através dos cursos dos rios, desde a cabeceira ou pelas margens de acordo com a sazonalidade destes ambientes.

Dentre as ações de recuperação, diversas podem ser consideradas válidas para a restauração de áreas degradadas, incluindo os sistemas agroflorestais e silvipastoris, as plantações de espécies nativas, as plantações comerciais de florestas ou mesmo a regeneração natural (CHAZDON, 2008). Apesar de serem consideradas ações para restauração de áreas, algumas delas resultarão em áreas com oferta de serviços ecossistêmicos muito divergentes das áreas naturais ou anteriormente à degradação. Especialmente para as vegetações ciliares, a recuperação dos serviços ecossistêmicos é fundamental para o retorno e preservação dos serviços associados não só à biodiversidade, mas principalmente àqueles vinculados aos aspectos social e econômico, como a produtividade agrícola da bacia. Em acréscimo estão os principais serviços ofertados pelas matas ciliares: a oferta e regulação de água, o controle de erosão e a ciclagem de nutrientes. Para bacias produtivas e altamente antropizadas, como a bacia do rio Doce, é indispensável que a preservação dos recursos naturais e que a recuperação de áreas vegetacionais estejam associadas às vantagens para as atividades econômicas, auxiliando na conscientização da população usuária e dependente dos serviços ecossistêmicos.

Na restauração das áreas naturais em projetos de grande escala, como na bacia do rio Doce, a regeneração natural se torna a alternativa mais adequada e efetiva ao considerar os custos de plantios usuais de reflorestamento (CROUZEILLES et al., 2017). A regeneração

natural é dependente de fatores como: a disponibilidade de recursos locais, ou seja, da resiliência local, tal qual da dispersão de propágulos da matriz florestal circundante, como sementes, brotos e outros (PEREIRA et al., 2013), e da intensidade agrícola prévia do uso do solo (CHAZDON, 2014; CHAZDON; GUARIGUATA, 2016). Especialmente para a vegetação ciliar, que possui características e serviços ecossistêmicos específicos, a identificação de áreas onde os serviços ecossistêmicos estão preservados possibilita inferir sobre o auxílio na regeneração de áreas próximas e a velocidade deste processo, considerando o quanto de serviços deverá ser retomado.

A utilização de técnicas de recuperação sem a avaliação de áreas naturais remanescentes e sem a avaliação dos serviços ofertadas por estas áreas podem, por exemplo, alterar o serviço de oferta de recursos como peixes, uma vez que a vegetação está diretamente associada à diversidade da ictiofauna nos rios. Além disso, o curso d'água está associado à vegetação ciliar e à qualidade desta.

O cercamento das áreas ribeirinhas já afetadas pelas consequências do rompimento da barragem, na bacia do rio Doce, auxiliou a recuperação da vegetação ciliar afetada pelo desastre e mostrou eficácia já nos primeiros quatro meses (SCHAEFER et al., 2015). Este desastre foi responsável pela degradação de muitos SEs ofertados pela bacia do rio Doce e tornou as partes montantes do rio, ainda preservadas, essenciais para a recuperação dos serviços perdidos e para a geração de novos naturalmente na parte jusante degradada. Medidas que favorecem a sucessão inicial, quando aliadas às ciências do solo, representam potencial de recuperação significativo para zonas impactadas.

A recuperação das APPs de cursos d'água também impactará positivamente a conectividade entre os fragmentos de vegetação remanescentes, promovendo diversos serviços ecológicos e facilitando a reintrodução de espécies localmente extintas. Dessa forma, é necessário considerar os serviços ecossistêmicos na realização de diagnósticos de recuperação, uma vez que estes envolvem, além dos aspectos ecológicos, aspectos sociais e econômicos que são fundamentais para a recuperação de áreas antropizadas como a bacia do rio Doce. A regeneração natural de áreas degradadas utilizando áreas de alta oferta de serviços como fonte poderá ser mais adequada para retornar a oferta de serviços específicos que anteriormente eram encontrados na área.

## **Conclusão**

Por serem ambientes de transição entre os meios aquático e terrestre, a composição e oferta de serviços ecossistêmicos de APPs de cursos d'água se diferem das demais áreas naturais. APPs possuem serviços especialmente importantes para a manutenção da produtividade agrícola, para a oferta de água em quantidade e qualidade adequadas e para a recuperação de áreas degradadas devido à comunicação destas às regiões preservadas pelo fluxo dos cursos d'água.

A espacialização dos serviços ecossistêmicos, oferecidas pelo mapeamento, fornecem informações para tomada de decisões em projetos de recuperação de ecossistemas e de áreas degradadas e de preservação de áreas naturais. Mais de 77% das APPs de cursos d'água da bacia do rio Doce estão ocupadas por atividades agropastoris, em maioria por pastagens (50%), resultando na predominância de áreas com baixa oferta de serviços ecossistêmicos. A distribuição das áreas com baixa capacidade oferta de SEs abrangem a maior parte das APPs dos rios atingidos pelos rejeitos provenientes do rompimento da barragem. A distribuição espacial dos SEs ainda evidencia grandes desacordos em relação a lei nº 12.651/2012, a qual dispõe sobre a proteção da vegetação nativa, revelando perdas significativas de SEs e possíveis graves crimes ambientais na bacia. Instrumentos de gestão territorial associada à preservação de elementos naturais precisam ser atualizados, sendo alternativas acessíveis: o mapeamento por SIG, o uso de bancos de dados, e as condições dos serviços ecossistêmicos das APPs de cursos d'água melhor fiscalizadas para a execução de medidas preventivas e protetivas, aplicando sanções e desfiliação quando necessário que visem à recuperação e preservação de áreas naturais dentro da lei.

## REFERÊNCIAS

- ANA. (2020). *Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico*. Hidroweb. <https://www.gov.br/ana/pt-br>.
- Andrade, D. C., (2009). Romeiro, A. R. Serviços ecossistêmicos e sua importância para o sistema econômico e o bem-estar humano. *IE/UNICAMP*, (155), p. 11.
- AEM. (2005). Avaliação Ecológica do Milênio. *Relatório – Síntese da Avaliação Ecológica do Milênio*. Island Press, Washington, DC.
- Avila, A. L. de., Araujo, M. M., Longhi, S. j., & Gasparin, E. (2011). Caracterização da vegetação e espécies para recuperação de Mata Ciliar, Ijuí, RS. *Ciência Florestal*, 21(2), 251-260. DOI: [doi.org/10.5902/198050983229](https://doi.org/10.5902/198050983229).
- Brasil. (2012). *Lei Nº 12.651, de 25 de Maio de 2012*. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa. [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2011-2014/2012/lei/12651.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/12651.htm).
- Brasil. Ministério do Meio Ambiente. (2018). *Mapeamento de Serviços Ecossistêmicos no território: Cartilha metodológica segundo a experiência de Duque de Caxias – RJ*. <https://www.mma.gov.br/>.
- CAR.(2020). *Sistema de Cadastro Ambiental Rural*. <https://www.car.gov.br/#/>.
- Chazdon, R. L. (2008). Beyond deforestation: restoring forests and ecosystem services on degraded lands. *Science*. 320, 1458–60. DOI:10.1126/science.1155365.
- Chazdon, R. L. (2014). Second Growth: The Promise of Tropical Forest Regeneration in an Age of Deforestation. *Chicago: University of Chicago Press*, p. 485. DOI:10.7208/chicago/9780226118109.001.0001.
- Chazdon, R. L., Guariguata, M. R. (2016). Natural regeneration as a tool for large-scale forest restoration in the tropics: prospects and challenges. *Biotropica*, 48, p. 844–55. DOI: [doi.org/10.1111/btp.12381](https://doi.org/10.1111/btp.12381).
- Crouzeilles, R., Ferreira, M. S., Chazdon, R. L., Lindenmayer, D. B., Sansevero, J. B. B., Monteiro, L., Iribarren, A., Latawiec, A. E., Strassburg, B. B. N. (2017). Ecological restoration success is higher for natural regeneration than for active restoration in tropical forests. *Science Advances*, (3) p.11. DOI:10.1126/sciadv.1701345.

- ESPINOLA, H. S., Nodari, E. S., Santos, M. A. dos. (2019). Rio Doce: riscos e incertezas a partir do desastre de Mariana (MG). *Revista Brasileira de História*, 39(81), 141-162. DOI: doi.org/10.1590/1806-93472019v39n81-07.
- HOLL, K. D., AIDE, T. M. (2011). When and where to actively restore eco-systems?. *Forest Ecology and Management*, (261), 1558–63. DOI:doi.org/10.1016/j.foreco.2010.07.004.
- IBAMA. Diretoria de Proteção Ambiental - DIPRO & Coordenação Geral de Emergências Ambientais – CGEMA. (2015). *Laudo Técnico Preliminar – Impactos ambientais decorrentes do desastre envolvendo o rompimento da barragem de Fundão, em Mariana, Minas Gerais*.
- IBGE. (2020). *Estimativas da População*. www.ibge.gov.br.
- LIMA, J. E. F. W. (2017). Development of a spatially explicit approach for mapping ecosystem services in the Brazilian Savanna – MapES. *Ecological Indicators*, (82), 513-525. DOI: doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.07.028.
- LOPES, L. M. N. (2016). O rompimento da barragem de Mariana e seus impactos socioambientais. *Sinapse Múltipla*, 5(1), p.1-14.
- MAPBIOMAS. (2016). *Coleção 2.3 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil*. http://mapbiomas.org.
- Mariot, A. (2007). A biodiversidade em usinas hidrelétricas. *Revista Meio Ambiente*. http://www.revistameioambiente.com.br/2007/06/28/a-biodiversidade-em-usinas-hidreletricas/.
- Martins, S. V., Sartori, M., Filho, F. L. R., Simoneli, M., Dadalto, G., Pereira, M. L. & Silva, A. E. S. da. (2014). *Potencial de regeneração natural de florestas nativas nas diferentes regiões do Estado do Espírito Santo*. Centro de Desenvolvimento do Agronegócio.
- Nóbrega, R. L., Ziembowicz, T., Torres, G. N., Guzha, A. C., Amorim, R. S.S., Cardoso, D., Johnson, M. S., Santos, T. G., Couto, E. & Gerold, G. (2019). Ecosystem services of a functionally diverse riparian zone in the Amazon-Cerrado agricultural frontier. *Global Ecology and Conservation*, (e00819). DOI:10.1016/j.gecco.2019.e00819.
- Ollerton, J., Winfree, R., Tarrant, S. (2011). How many flowering plants are pollinated by animals?. *Oikos*. 120(3), 321–326. DOI:doi.org/10.1111/j.16000706.2010.18644.x
- Parron, L. M., Garcia, J. R., Oliveira, E. B. de., Brown, G. G. & Prado, R. B. (2015). *Serviços ambientais em sistemas agrícolas e florestais do Bioma Mata Atlântica*. Embrapa Florestas.
- Pereira, M. A. S., Neves, N. A. G. de S., Figueiredo, D. F. C.(2007). Considerações sobre a fragmentação territorial e as redes de corredores ecológicos. *Universidade Estadual de Londrina, Departamento de Geociências*, 16(2).
- Pereira, L. C. da S. M., Oliveira, C. de C. C. de., & Torezan, J. M. D. (2013). Woody species regeneration in Atlantic forest restoration sites depends on surrounding landscape. *Natureza & Conservação*, (11), 138–44. DOI:10.4322/natcon.2013.022.
- PIRH. (2010). *Plano Integrado de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Doce. Consórcio Ecoplan-Lume*. (1).
- Resende, F. M., Fernandes, G. W. A., Andrade, D. C., Neder, H. D. (2014). Valoração Econômica do Parque Nacional da Serra do Cipó (Minas Gerais): Uma Aplicação do Método Contingente. *Anais do XLI Encontro Nacional de Economia*, p. 203.
- Riis, T., Quinn-Kelly, M., Aguiar, F. C., Manolaki, P.(2020). Global Overview of Ecosystem Services Provided by Riparian Vegetation. *BioScience*, (biaa041-). DOI:10.1093/biosci/biaa041
- Rocha Junior, P. R., Andrade, F. V., Mendonça, E. S., Donnagema, G. K. (2017). Soil, water and nutrient losses from man agement alternatives for degraded pasture in atlantic rainforest biome. *Science of Total Environment*, (583), 53- 63. DOI: doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.12.187.

- Schaefer, C. E. G. R., Santos, E. E. dos., Soouza, C. M. de., Neto, J. D., Filho, E. I. F. & Delpupo, C. (2015). Cenário histórico, quadro fisiográfico e estratégias para recuperação ambiental de Tecossolos nas áreas afetadas pelo rompimento da barragem do Fundão, Mariana, MG. *Arquivos do Museu de História Natural e Jardim Botânico*, 123(24), p. 104.
- Sohel, M. S. I., Mukul, S. A., Burkhard, B. (2015). Landscape's capacities to supply ecosystem services in Bangladesh: a mapping assessment for Lawachara National Park. *Ecosystemic Services*, 12pp. p. 128-135. DOI:doi.org/10.1016/j.ecoser.2014.11.015.
- Vasconcellos, R. C., Beltrao, N. E. S. (2018). Avaliação da prestação de serviços ecossistêmicos em sistemas agroflorestais por meio de indicadores ambientais. *Interações*, 19(1), p. 209-220. DOI:dx.doi.org/10.20435/inter.v19i1.1494.
- Wolff, S., Schulp, C. J. E., Verburg, P. H. (2015). Mapping ecosystem services demand: A review of current research and future perspectives. *Ecological Indicators*, (55), p.159-171. DOI:10.1016/j.ecolind.2015.03.016