

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA**

**Aspectos norteadores de políticas públicas para pagamentos por serviços ambientais**

Valéria de Fatima Silva  
*Doctor Scientiae*

**VIÇOSA - MINAS GERAIS  
2025**

**VALÉRIA DE FATIMA SILVA**

**Aspectos norteadores de políticas públicas para pagamentos por serviços ambientais**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

Orientador: Laercio A. G. Jacovine

**VIÇOSA - MINAS GERAIS  
2025**

**Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade  
Federal de Viçosa - Campus Viçosa**

T

S586a  
2025

Silva, Valéria de Fatima, 1991-

Aspectos norteadores de políticas públicas para pagamentos por serviços ambientais / Valéria de Fatima Silva. – Viçosa, MG, 2025.

1 tese eletrônica (125 f.): il. (algumas color.).

.

Orientador: Laércio Antônio Gonçalves Jacovine.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Engenharia Florestal, 2025.

Inclui bibliografia.

DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2025.397>

Modo de acesso: World Wide Web.

1. Áreas de conservação de recursos naturais - Mata Atlântica - Minas Gerais. 2. Pagamentos por serviços ambientais. I. Jacovine, Laércio Antônio Gonçalves, 1963-. II. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Engenharia Florestal. Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal. III. Título.

GDFC adapt. CDD 634.9911

**VALÉRIA DE FATIMA SILVA**

**Aspectos norteadores de políticas públicas para pagamentos por serviços ambientais**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

APROVADA: 25 de março de 2025.

Assentimento:

---

Valéria de Fatima Silva  
Autora

---

Laercio Antonio Goncalves Jacovine  
Orientador

Essa tese foi assinada digitalmente pela autora em 16/06/2025 às 13:27:52 e pelo orientador em 17/06/2025 às 16:26:19. As assinaturas têm validade legal, conforme o disposto na Medida Provisória 2.200-2/2001 e na Resolução nº 37/2012 do CONARQ. Para conferir a autenticidade, acesse <https://siadoc.ufv.br/validar-documento>. No campo 'Código de registro', informe o código **BB46.N2JR.SJHZ** e clique no botão 'Validar documento'.

Aos meus pais, minha irmã e meus sobrinhos.

## **AGRADECIMENTOS**

A caminhada até aqui foi marcada por desafios, aprendizado e, sobretudo, por pessoas que tornaram esta jornada possível. A elas, minha mais profunda gratidão. À Deus, cuja presença constante e amor incondicional iluminaram meu caminho, fortalecendo-me e inspirando-me a superar cada desafio nesta jornada.

À minha família, que sempre foi meu alicerce. Aos meus pais, Moisés e Bibiana, pelo amor incondicional, pelo exemplo de dedicação e pelo incentivo incansável para que eu seguisse meus sonhos. À minha irmã, Ana Paula, por estar sempre ao meu lado, me apoiando nos momentos difíceis e celebrando comigo cada conquista. Ao meu cunhado, Marlon, pela amizade, apoio e pelas conversas que trouxeram leveza a essa jornada. Aos meus sobrinhos, Felipe, Laura e Pedro, cuja alegria e espontaneidade foram fontes de inspiração e renovação ao longo deste caminho. À Universidade Federal de Viçosa por proporcionar um ambiente de excelência acadêmica, com todo suporte, conhecimento e oportunidades fundamentais para o desenvolvimento desta pesquisa.

Este trabalho foi realizado com o apoio das seguintes agências de pesquisa brasileiras: Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) e Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

Ao meu orientador, professor Laércio Antônio Gonçalves Jacovine, por sua orientação, paciência e dedicação. Sua confiança no meu trabalho foi fundamental para o desenvolvimento desta pesquisa.

Ao meu coorientador, professor Carlos Moreira Miquelino Eleto Torres, pelo apoio, insights e contribuições que enriqueceram esta tese. Sua disponibilidade e incentivo foram essenciais para que este trabalho alcançasse maior profundidade e aplicabilidade.

Aos professores e profissionais que aceitaram compor minha banca de defesa, Fernando Veiga, Rafael Eduardo Chiodi e Sebastião Renato Valverde, meu sincero agradecimento. Suas contribuições, questionamentos e sugestões enriquecem não apenas esta tese, mas também minha trajetória acadêmica e profissional. É uma honra ter cada um de vocês participando deste momento.

Ao Plano Conservador da Mata Atlântica e Programa Conservador da Mantiqueira pela oportunidade de contribuir com a preservação e

restauração ambiental dessa importante região, bem como pelo apoio, colaboração e aprendizado compartilhado durante toda a trajetória deste trabalho.

Ao Paulo Henrique Pereira, coordenador geral do Programa Conservador da Mantiqueira, por sua liderança inspiradora, apoio inabalável e comprometimento com a conservação ambiental, que foram fundamentais para a realização deste trabalho.

Aos parceiros institucionais e profissionais que colaboraram direta ou indiretamente para esta pesquisa, seja por meio do compartilhamento de dados, do suporte técnico ou do incentivo ao desenvolvimento de soluções aplicadas à conservação e ao mercado de carbono. O apoio de vocês foi fundamental e enriqueceram e impulsionaram o desenvolvimento deste trabalho em prol da conservação ambiental e da sustentabilidade.

Aos meus amigos, especialmente Rafael, Mary, Klisman, Paulinha, Ane, Laura, Igor, Angelina, que me acompanharam nesta trajetória, me incentivaram nos momentos de incerteza e trouxeram leveza aos dias mais intensos. A amizade de vocês foi essencial para que eu seguisse em frente com motivação e alegria.

Agradeço aos bolsistas, Leandro, Douglas, Heriton, Fernanda, Talles, Amaury e Bernardo, e voluntários do programa pelo empenho, dedicação e apoio incansáveis, que foram essenciais para o desenvolvimento deste trabalho e para o avanço das iniciativas de conservação ambiental.

Aos colegas do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal e do Grupo de Estudos em Economia Ambiental e Manejo Florestal, pelo compartilhamento de conhecimento, pelas discussões enriquecedoras e pelo apoio mútuo que tornou essa jornada mais produtiva e inspiradora.

Aos que partiram, mas deixaram sua marca em minha vida, meu eterno agradecimento. As memórias, ensinamentos e exemplos continuam vivos em mim, guiando meus passos e fortalecendo minha caminhada.

A todos vocês, meu muito obrigado.

O conhecimento nos leva adiante, mas é o amor e o apoio daqueles que nos cercam  
que nos mantém firmes no caminho.

## RESUMO

SILVA, Valéria de Fatima, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, março de 2025. **Aspectos norteadores de políticas públicas para pagamentos por serviços ambientais.** Orientador: Laercio Antonio Goncalves Jacovine.

A degradação ambiental global compromete a provisão de serviços ecossistêmicos, impactando a economia e exigindo soluções que conciliem conservação e desenvolvimento sustentável. Na Mata Atlântica mineira, iniciativas de programas Pagamento por Serviços Ambientais (PSA) têm sido implementadas para reverter esse cenário de degradação. Entretanto, esses programas ainda são incipientes e necessitam de aprimoramentos de forma a serem alavancados no Brasil. Para potencializar os resultados destes projetos é preciso conhecer e, posteriormente, implementar políticas para enfrentar os desafios relacionados, principalmente, à governança, financiamento e engajamento local. Assim, objetivou-se apresentar aspectos norteadores de políticas públicas para pagamento por serviços ambientais. Em uma primeira parte do estudo analisou-se arranjos de PSA em seis municípios. Foi identificado que a participação de proprietários rurais ainda é limitada e que os programas carecem de indicadores de impacto de longo prazo, além de dependerem excessivamente de financiamento público. A estruturação de programas de PSA requer arranjos institucionais e processuais bem construídos, integrando diversos atores, motivações claras e capacidades técnicas, financeiras e sociais. A expansão dessas iniciativas exige maior planejamento e alinhamento com políticas públicas, garantindo a sustentabilidade e eficácia das ações. Além disso, o planejamento territorial é essencial para direcionar estratégias de conservação e restauração florestal. Utilizando análise multicritério, foram mapeadas áreas prioritárias para conservação e restauração na porção mineira do Plano Conservador da Mata Atlântica, considerando fatores ambientais e espaciais. Na outra parte do estudo foi demonstrado que a restauração de áreas degradadas, especialmente pastagens e mosaicos de usos, pode fortalecer a conectividade ecológica e a provisão de serviços ecossistêmicos, sendo essencial envolver proprietários rurais na implementação e no monitoramento das ações. Também foi identificado no estudo que a compensação de emissões de gases de efeito estufa (GEE) no nível municipal é outra estratégia fundamental para mitigar a crise climática e obter recursos financeiros para subsidiar ações de restauração, conservação e PSA. Ao analisar o município de Extrema (MG), que implementou um modelo pioneiro de compensação de emissões,

verificou-se que o PSA foi integrado ao licenciamento ambiental e que é uma forma de financiar a restauração florestal. A análise do modelo revelou a necessidade de aprimoramentos no ciclo de projetos de carbono e na adoção de um teto de emissões decrescente, garantindo reduções reais de emissões e maior transparência no mercado local de carbono. Os resultados reforçam a necessidade de estabelecimento de políticas públicas que tenham uma abordagem integrada entre PSA, restauração florestal e mercados de carbono, de forma a promover soluções mais robustas para a mitigação climática e o desenvolvimento sustentável.

Palavras-chave: Mitigação climática; Plano Conservador da Mata Atlântica; Programa Conservador da Mantiqueira; Quantificação de carbono; Restauração florestal; Serviços ecossistêmicos; Tese

## ABSTRACT

SILVA, Valéria de Fatima, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, March, 2025.  
**Guiding aspects of public policies on payments for environmental services.**  
Adviser: Laercio Antonio Goncalves Jacovine.

Global environmental degradation compromises the provision of ecosystem services, impacting the economy and requiring solutions that reconcile conservation and sustainable development. In the Atlantic Forest of Minas Gerais, initiatives of Payment for Environmental Services (PES) programs have been implemented to reverse this degradation scenario. However, these programs are still in their infancy and require improvements in order to be leveraged in Brazil. To enhance the results of these projects, it is necessary to understand and subsequently implement policies to address the challenges related mainly to governance, financing and local engagement. Thus, the objective was to present guiding aspects of public policies for payment for environmental services. In the first part of the study, PES arrangements were analyzed in six municipalities. It was identified that the participation of rural landowners is still limited and that the programs lack long-term impact indicators, in addition to being excessively dependent on public financing. The structuring of PES programs requires well-constructed institutional and procedural arrangements, integrating various actors, clear motivations and technical, financial and social capabilities. The expansion of these initiatives requires greater planning and alignment with public policies, ensuring the sustainability and effectiveness of actions. In addition, territorial planning is essential to guide forest conservation and restoration strategies. Using multicriteria analysis, priority areas for conservation and restoration were mapped in the Minas Gerais portion of the Atlantic Forest Conservation Plan, considering environmental and spatial factors. The other part of the study demonstrated that the restoration of degraded areas, especially pastures and mosaics of uses, can strengthen ecological connectivity and the provision of ecosystem services, and that it is essential to involve rural landowners in the implementation and monitoring of actions. The study also identified that offsetting greenhouse gas (GHG) emissions at the municipal level is another fundamental strategy to mitigate the climate crisis and obtain financial resources to subsidize restoration, conservation and PES actions. When analyzing the municipality of Extrema (MG), which implemented a pioneering emissions offsetting model, it was found that PES was integrated into environmental licensing and that it is a way to finance forest restoration. The model analysis revealed the need for improvements in the carbon project cycle and the adoption of a

decreasing emissions cap, ensuring real emission reductions and greater transparency in the local carbon market. The results reinforce the need to establish public policies that have an integrated approach between PES, forest restoration and carbon markets, in order to promote more robust solutions for climate mitigation and sustainable development.

Keywords: Atlantic Forest Conservator Plan; Carbon Quantification; Ecosystem Services; Forest Restoration; Mantiqueira Conservator Program; Thesis

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

### **CAPÍTULO 1 - ARRANJOS DE PAGAMENTO POR SERVIÇOS AMBIENTAIS NA MATA ATLÂNTICA MINEIRA E OS SEUS DESAFIOS PARA UMA GESTÃO EFICIENTE.....22**

Figura 1. Critério de seleção dos municípios amostra analisados.....28

Figura 2. Localização do Plano Conservador da Mata Atlântica em Minas Gerais, em 2022, e das mesorregiões dos municípios participantes .....29

Figura 3. Ano de implementação das políticas públicas com previsão de Pagamento por Serviços Ambientais por mesorregião do Plano Conservador da Mata Atlântica em Minas Gerais participantes da pesquisa.....29

Figura 4. Fluxograma metodológico para a realização da pesquisa .....31

Figura 5. Atores envolvidos na gestão, execução e financiamento dos programas com previsão de pagamento por serviços ambientais estudados. ....33

### **CAPÍTULO 2 - GOVERNANÇA PARTICIPATIVA: DIRETRIZES E ESTRATÉGIAS INTEGRADAS PARA PROGRAMAS COM PREVISÃO DE PAGAMENTO POR SERVIÇOS AMBIENTAIS.....46**

Figura 1. Arranjo processual e atores envolvidos na estruturação de programas com previsão de pagamento por serviços ambientais .....57

### **CAPÍTULO 3 - ANÁLISE MULTICRITÉRIO PARA DEFINIÇÃO DE ÁREAS ESTRATÉGICAS PARA CONSERVAÇÃO E RESTAURAÇÃO FLORESTAL .....73**

Figura 1. Área de estudo para estimativa do estoque de carbono florestal.....79

Figura 2. Pontuações para as categorias utilizadas para priorização de áreas de conservação na região de estudo, sendo a) Matriz Florestal (MF); b) APPs de Topo de Morro (APP-TM); c) APPs Hídricas (APP-H); d) Tipos de Solo (Solo); e) Declividade (DEC); f) Rendimento Anual de Água (RAA); g), Áreas de Abastecimento (AA) e; h) Estoque de Carbono (EC).....91

Figura 3. Pontuações para as categorias utilizadas para priorização de áreas de restauração na região de estudo, sendo: a) Passivos Ambientais (PA); b) Distância para Unidades de Conservação (DUC); c) Distância para Áreas Prioritárias para

Conservação (DAC); d) Declividade (DEC); e) Áreas de Abastecimento (AA); f) Rendimento Anual de Água (RAA) e; g) Distância da Matriz Florestal (DMF) .....	92
Figura 4. Priorização de áreas para conservação na região de estudo .....	93
Figura 5. Priorização de áreas para restauração na região de estudo .....	93

#### **CAPÍTULO 4 - REGULAÇÃO SUBNACIONAL PARA MITIGAÇÃO CLIMÁTICA: O CASO DE EXTREMA E A INTEGRAÇÃO ENTRE COMPENSAÇÃO E REDUÇÃO DE EMISSÕES DE GEE .....**

Figura 1. Uso e ocupação do solo no município de Extrema, Minas Gerais, em 2022 .....	109
Figura 2. Uso e ocupação do solo histórico de Extrema, Minas Gerais .....	110
Figura 3. Fluxo de regulação e compensação das emissões de gases de efeito estufa e financiamento do Programa Conservador das Águas no Município de Extrema, Minas Gerais .....	114
Figura 4. Fluxo proposto para validação, implementação, monitoramento e geração de créditos de carbono em mercados locais de carbono .....	116

## LISTA DE TABELAS

### **CAPÍTULO 2 - GOVERNANÇA PARTICIPATIVA: DIRETRIZES E ESTRATÉGIAS INTEGRADAS PARA PROGRAMAS COM PREVISÃO DE PAGAMENTO POR SERVIÇOS AMBIENTAIS.....46**

Tabela 1. Motivações ambientais, econômicas e sociais em programas com previsão de pagamento por serviços ambientais .....58

Tabela 2. Capacidades técnicas necessárias para viabilizar programas com previsão de pagamento por serviços ambientais .....60

### **CAPÍTULO 3 - ANÁLISE MULTICRITÉRIO PARA DEFINIÇÃO DE ÁREAS ESTRATÉGICAS PARA CONSERVAÇÃO E RESTAURAÇÃO FLORESTAL .....73**

Tabela 1. Pesos atribuídos a cada classe de uso e ocupação do solo para a priorização de áreas para conservação (Cons) e restauração (Rest) .....81

Tabela 2. Profundidade efetiva (PE), drenagem interna (DI), risco de inundação (RI), fertilidade aparente (FA), peso para conservação ( $P_{Cons}$ ) e o maior valor individual de cada critério (LIM) dos tipos de solo presentes na área de estudo .....83

Tabela 3. Limite inferior ( $L_{inf}$ ) e superior ( $L_{sup}$ ), em porcentagem, das classes de declividade .....83

Tabela 4. Limite inferior ( $L_{inf}$ ) e superior ( $L_{sup}$ ), em porcentagem, das classes de áreas de abastecimento .....85

Tabela 5. Eficiência máxima de uso da luz ( $LUE_{máx}$ ), em  $g.MJ^{-1}$ , para as classes de uso e ocupação do solo na área de estudo.....86

Tabela 6. Limite inferior ( $L_{inf}$ ) e superior ( $L_{sup}$ ), em porcentagem, dos intervalos de quintis e pesos utilizados para priorização de áreas nas análises de proximidade de Unidades de Conservação e matriz florestal .....87

Tabela 7. Escala para comparação pareada para definição de áreas prioritárias para conservação e restauração floresta .....88

Tabela 8. Matriz de comparação pareada para definição de áreas prioritárias para conservação e restauração florestal, peso final de cada critério (PF) e coeficiente de consistência.....90

Tabela 9. Área, em hectares, e percentual representativo, em porcentagem, por classe de uso do solo que devem ser conservados e restaurados na região de estudo .....94

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AA	Áreas de Abastecimento
AHP	Analytic Hierarchy Process
ANA	Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
APP	Área de Preservação Permanente
APP-H	Área de Preservação Permanente Hídrica
APP-TM	Área de Preservação Permanente de Topo de Morro
ARCOM-SC	Associação Renovação Cidadã Organizada de Membros da Sociedade Civil
ARSAE	Agência Reguladora de Serviços de Abastecimento de Água e de Esgotamento Sanitário do Estado de Minas Gerais
AWC	Conteúdo de Água Disponível
CEAVARP	Centro de Educação Ambiental do Povo do Vale do Rio Pomba
CFEM	Compensação Financeira pela Exploração Mineral
CMDRS	Conselho Municipal de Desenvolvimento Rural Sustentável
CMSB	Conselho Municipal de Saneamento Básico
CODEMA	Conselho Municipal de Meio Ambiente
COPASA	Companhia de Saneamento de Minas Gerais
CR	Consistency Ratio
DAC	Distância para Áreas Prioritárias para Conservação
DEC	Declividade
DMF	Distância da Matriz Florestal
EC	Estoque de Carbono
EMATER	Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
GEE	Gases de Efeito Estufa
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICMS	Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços
IDHM	Índice de Desenvolvimento Humano Municipal
IEF	Instituto Estadual de Florestas
IGAM	Instituto Mineiro de Gestão das Águas
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia

IPLAN	Secretaria Municipal de Agropecuária e Desenvolvimento Rural, Instituto Municipal de Planejamento e Meio Ambiente
IPTU	Imposto sobre a Propriedade Predial e Territorial Urbana
IPVA	Imposto sobre a Propriedade de Veículos Automotores
ISAVIÇOSA	Instituto Socioambiental de Viçosa
ISS	Imposto sobre Serviços de Qualquer Natureza
ITBI	Imposto sobre Transmissão de Bens Imóveis
MDE	Modelo Digital de Elevação
MF	Matriz Florestal
NDVI	Índice de Vegetação por Diferença Normalizada
ONG	Organizações não governamentais
PA	Passivos Ambientais
PCM	Programa Conservador da Mantiqueira
PCMA	Plano Conservador da Mata Atlântica
PES	Payment for Environmental Services
PEVS	Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura
PSA	Pagamento por Serviços Ambientais
RAA	Rendimento Anual de Água
RL	Reserva Legal
SA	Serviços Ambientais
SEEG	Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa
SINDÁGUA-MG	Sindicato dos Trabalhadores nas Indústrias de Purificação e Dis- tribuição de Água e em Serviços de Esgotos do Estado de Minas Gerais
TNC	The Nature Conservancy Brasil
TS	Tipos de Solo
UC	Unidade de Conservação

## SUMÁRIO

LISTA DE ILUSTRAÇÕES .....	11
LISTA DE TABELAS .....	13
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS .....	15
SUMÁRIO .....	17
INTRODUÇÃO GERAL .....	20
REFERÊNCIAS .....	22
<b>CAPÍTULO 1 .....</b>	<b>23</b>
<b>ARRANJOS DE PAGAMENTO POR SERVIÇOS AMBIENTAIS NA MATA ATLÂNTICA MINEIRA E OS SEUS DESAFIOS PARA UMA GESTÃO EFICIENTE .....</b>	<b>23</b>
RESUMO .....	23
<b>CHAPTER 1 .....</b>	<b>25</b>
<b>PAYMENT ARRANGEMENTS FOR ENVIRONMENTAL SERVICES IN THE ATLANTIC FOREST OF MINAS GERAIS AND THEIR CHALLENGES FOR EFFICIENT MANAGEMENT .....</b>	<b>25</b>
ABSTRACT .....	25
INTRODUÇÃO .....	27
MATERIAL E MÉTODOS .....	29
RESULTADOS .....	33
DISCUSSÃO .....	39
CONCLUSÃO .....	44
REFERÊNCIA .....	45
<b>CAPÍTULO 2 .....</b>	<b>47</b>
<b>GOVERNANÇA PARTICIPATIVA: DIRETRIZES E ESTRATÉGIAS INTEGRADAS PARA PROGRAMAS COM PREVISÃO DE PAGAMENTO POR SERVIÇOS AMBIENTAIS .....</b>	<b>47</b>
RESUMO .....	47
<b>CHAPTER 2 .....</b>	<b>49</b>
<b>PARTICIPATORY GOVERNANCE: GUIDELINES AND INTEGRATED STRATEGIES FOR PROGRAMS WITH PAYMENT FOR ENVIRONMENTAL SERVICES .....</b>	<b>49</b>
ABSTRACT .....	49
INTRODUÇÃO .....	51
MATERIAL E MÉTODOS .....	53
RESULTADOS .....	55

DISCUSSÃO .....	63
CONCLUSÃO .....	69
REFERÊNCIAS.....	70
<b>CAPÍTULO 3.....</b>	<b>74</b>
<b>ANÁLISE MULTICRITÉRIO PARA DEFINIÇÃO DE ÁREAS ESTRATÉGICAS PARA CONSERVAÇÃO E RESTAURAÇÃO FLORESTAL .....</b>	<b>74</b>
RESUMO .....	74
<b>CHAPTER 3.....</b>	<b>76</b>
<b>MULTI-CRITERIA ANALYSIS FOR DEFINING STRATEGIC AREAS FOR FOREST CONSERVATION AND RESTORATION.....</b>	<b>76</b>
ABSTRACT .....	76
INTRODUÇÃO .....	78
MATERIAL E MÉTODOS.....	80
1. ÁREA DE ESTUDO .....	80
2. VARIÁVEIS DE ENTRADA .....	81
2.1 USO E OCUPAÇÃO DO SOLO .....	81
2.2 ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE.....	82
2.3 TIPO DE SOLO.....	82
2.4 DECLIVIDADE.....	83
2.5 RENDIMENTO ANUAL DE ÁGUA.....	84
2.6 ÁREAS DE ABASTECIMENTO .....	85
2.7 ESTOQUE DE CARBONO .....	86
2.8 PASSIVO AMBIENTAL.....	88
2.9 PROXIMIDADE COM UNIDADES DE CONSERVAÇÃO, FRAGMENTOS FLORESTAIS E ÁREAS PRIORITÁRIAS PARA CONSERVAÇÃO.....	88
3. METODOLOGIA DE PRIORIZAÇÃO .....	89
RESULTADOS.....	91
DISCUSSÃO .....	96
CONCLUSÃO .....	99
REFERÊNCIAS.....	100
<b>CAPÍTULO 4.....</b>	<b>104</b>
<b>REGULAÇÃO SUBNACIONAL PARA MITIGAÇÃO CLIMÁTICA: O CASO DE EXTREMA E A INTEGRAÇÃO ENTRE COMPENSAÇÃO E REDUÇÃO DE EMISSÕES DE GEE .....</b>	<b>104</b>
RESUMO .....	104
<b>CHAPTER 4.....</b>	<b>106</b>

<b>SUBNATIONAL REGULATION FOR CLIMATE MITIGATION: THE CASE OF EXTREMA AND THE INTEGRATION OF GHG EMISSIONS COMPENSATION AND REDUCTION .....</b>	<b>106</b>
ABSTRACT .....	106
INTRODUÇÃO .....	108
MATERIAL E MÉTODOS.....	110
1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....	110
2. ANÁLISE DA ESTRUTURA REGULATÓRIA NO MUNICÍPIO DE EXTREMA .....	112
RESULTADOS.....	113
1. DESCRIÇÃO SOBRE O CASO DE EXTREMA.....	113
2. CICLO DE PROJETO PROPOSTO .....	115
3. AÇÕES PARA A REDUÇÃO DE EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA.....	117
DISCUSSÃO .....	119
CONCLUSÃO .....	121
REFERÊNCIA.....	122
CONCLUSÃO GERAL .....	125

## INTRODUÇÃO GERAL

A crescente degradação ambiental mundial tem gerado perdas entre US\$ 4 e 20 trilhões anualmente em serviços ecossistêmicos, em decorrência das externalidades econômicas não corrigidas no mercado (GIEFER; AN; CHEN, 2021). Os instrumentos legais punitivos não foram suficientes para mitigar esses efeitos e conter o avanço da degradação ambiental (MAMEDES et al., 2023). Neste cenário, surgiu o conceito de Pagamento por Serviços Ambientais (PSA) e os instrumentos punitivos deixaram de ser a única forma de orientação social para a conservação ambiental (MAMEDES et al., 2023). O cerne do PSA é o incentivo para que proprietários de terras adotem práticas que mantenham ou aumentem a proteção ambiental e, também, promovam a restauração do meio ambiente, de forma a garantir a provisão de serviços ecossistêmicos (WUNDER et al., 2020). No Brasil, apenas em 2021, houve a instituição de uma legislação nacional específica sobre o tema (Lei nº 14.119/2021 – Política Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais). Porém, o primeiro programa brasileiro com previsão de PSA foi concebido em 2007 no município de Extrema, Minas Gerais, que é uma iniciativa consolidada, com credibilidade e engajamento da sociedade local (MAMEDES et al., 2023). A expansão da iniciativa fez com que diversos municípios no sudeste brasileiro se envolvessem nas ações de conservação e restauração florestal e PSA (LUZ et al., 2024).

A estruturação destas iniciativas envolve uma série de conhecimentos e estratégias. Os serviços ecossistêmicos ocorrem de maneira difusa e heterogênea no ambiente, sendo possível identificar áreas que são hotspots de biodiversidade, outras com altas densidades de carbono estocadas, outras que são unidades críticas para respostas hidrológicas, por exemplo (WUNDER et al., 2020). Além disso, os programas são complexos e heterogêneos desde o seu design até os resultados obtidos e, quanto maior o conhecimento das condições locais, procedimentos para operacionalizar as estratégias e ferramentas de apoio, maiores as chances de sucesso a longo prazo (ADHIKARI; BOAG, 2013; BLOUIN et al., 2025).

As iniciativas de PSA são planejadas com informações incompletas, especialmente no conhecimento sobre a relação entre ecossistemas, intervenção humana e efeitos na provisão de serviços ecossistêmicos

(MURADIAN et al., 2010). Outro importante desafio é a compreensão acerca das condições que favoreçam a implementação bem-sucedida e seus resultados ao longo do tempo (ADHIKARI; BOAG, 2013). Assim, importantes lacunas de conhecimento permanecem em torno do conceito de serviços ecossistêmicos e PSA, envolvendo aspectos desde a tomada de decisão, operacionalização e monitoramento, em especial nas dimensões de gestão, financiamento e governança (BLOUIN et al., 2025).

Assim, o objetivo do estudo é analisar e propor diretrizes para a formulação e implementação de políticas públicas e modelos de gestão voltados ao pagamento por serviços ambientais. O estudo foi desenvolvido tomando como referência a porção mineira do Plano Conservador da Mata Atlântica. O Plano é uma expansão do Programa Conservador da Mantiqueira, e une agentes de diversas esferas na promoção da restauração florestal em todo o Bioma da Mata Atlântica brasileira.

A pesquisa está estruturada em cinco capítulos que, de forma integrada, abordam os desafios e soluções para a gestão sustentável dos recursos naturais, a manutenção da prestação de serviços ecossistêmicos e a mitigação das mudanças climáticas. Nos Capítulos 1 e 2 são apresentados os fundamentos teóricos dos Pagamentos por Serviços Ambientais (PSA), discutindo seus arranjos institucionais, a relação entre provedores e usuários, e formulando as hipóteses que guiam a análise dos programas na Mata Atlântica mineira. O Capítulo 3 é apresentada uma metodologia que foi desenvolvida com base na análise multicritério para identificar e priorizar áreas estratégicas para conservação e restauração florestal, evidenciando a importância do planejamento territorial integrado. No Capítulo 4 são abordados os mecanismos regulatórios locais para compensação e redução de emissões de gases de efeito estufa, utilizando o estudo de caso do município de Extrema, Minas Gerais, para analisar os desafios e oportunidades na governança climática. O Capítulo 5 apresenta uma metodologia de avaliação do estoque de carbono em diferentes fitofisionomias florestais, estimando o potencial de remoção de CO<sub>2</sub> ao longo do tempo e discutindo aspectos críticos como a definição da linha de base e a verificação da adicionalidade.

## REFERÊNCIAS

ADHIKARI, B.; BOAG, G. Designing payments for ecosystem services schemes: some considerations. **Current Opinion in Environmental Sustainability**, v. 5, n. 1, p. 72–77, mar. 2013.

BLOUIN, D. et al. Ecosystem services concept: Challenges to its integration in government organizations. **Ecosystem Services**, v. 71, p. 101691, fev. 2025.

GIEFER, M. M.; AN, L.; CHEN, X. Normative, livelihood, and demographic influences on enrollment in a payment for ecosystem services program. **Land Use Policy**, v. 108, p. 105525, set. 2021.

LUZ, A. R. C. et al. Land cover effects on regenerants density and richness in restoration treatments in the Atlantic Rainforest biome. **Revista Árvore**, v. 48, p. 1–15, 8 jul. 2024.

MAMEDES, I. et al. Brazilian payment for environmental services programs emphasize water-related services. **International Soil and Water Conservation Research**, v. 11, n. 2, p. 276–289, jun. 2023.

MURADIAN, R. et al. Reconciling theory and practice: An alternative conceptual framework for understanding payments for environmental services. **Ecological Economics**, v. 69, n. 6, p. 1202–1208, abr. 2010.

WUNDER, S. et al. Payments for Environmental Services: Past Performance and Pending Potentials. **Annual Review of Resource Economics**, v. 12, n. 1, p. 209–234, 6 out. 2020.

## CAPÍTULO 1

### **ARRANJOS DE PAGAMENTO POR SERVIÇOS AMBIENTAIS NA MATA ATLÂNTICA MINEIRA E OS SEUS DESAFIOS PARA UMA GESTÃO EFICIENTE**

#### **RESUMO**

SILVA, Valéria de Fatima, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, março de 2025. **ARRANJOS DE PAGAMENTO POR SERVIÇOS AMBIENTAIS NA MATA ATLÂNTICA MINEIRA E OS SEUS DESAFIOS PARA UMA GESTÃO EFICIENTE**. Orientador: Laércio Antônio Gonçalves Jacovine. Coorientador: Carlos Moreira Miquelino Eleto Torres.

A degradação ambiental global afeta a prestação de serviços ecossistêmicos, o que resulta em perdas anuais expressivas na economia mundial. Na Mata Atlântica a provisão de serviços ecossistêmicos está altamente ameaçada e alguns arranjos com Pagamento por Serviços Ambientais (PSA) estão sendo implementados para conciliar conservação ambiental e desenvolvimento econômico. O sucesso dessas ações depende de fatores como governança, financiamento e engajamento local. A expansão do PSA exige maior compreensão dos contextos sociopolíticos e fatores críticos para sua implementação, buscando criar programas mais eficazes e duradouros. Assim, o objetivou-se com o estudo analisar os arranjos de pagamento por serviços ambientais na Mata Atlântica mineira e apontar os desafios para uma gestão eficiente. O estudo foi realizado em seis municípios com iniciativas de PSA, a partir de entrevistas semiestruturadas escritas e em videochamada para entender as iniciativas, suas similaridades e individualidades. Foram vários desafios encontrados. A participação dos proprietários rurais nas iniciativas é limitada, com foco na restauração de áreas de preservação permanente e na melhoria da qualidade da água. Embora os proprietários sejam vistos como provedores de serviços ambientais, muitos participam por preocupações com a falta d'água, e não se enxergam como agentes de conservação. O financiamento é dependente de recursos públicos, e a falta de equipe técnica nas prefeituras dificulta a implementação. Embora haja benefícios iniciais, como o fortalecimento da cooperação e acesso a práticas sustentáveis, os programas carecem de

indicadores para avaliar impactos de longo prazo. As iniciativas não envolvem os produtores rurais na implementação e monitoramento, o que limita resultados e aumenta custos para os governos locais. A não observância de benefícios sociais e econômicos dificulta a valorização das iniciativas, e a dependência do financiamento público compromete a sustentabilidade. Além disso, o monitoramento deficiente prejudica a demonstração dos impactos e o engajamento dos envolvidos.

**PALAVRAS-CHAVE:** Plano Conservador da Mata Atlântica/Programa Conservador da Mantiqueira; Iniciativas locais; Governança; Políticas públicas

## CHAPTER 1

### **PAYMENT ARRANGEMENTS FOR ENVIRONMENTAL SERVICES IN THE ATLANTIC FOREST OF MINAS GERAIS AND THEIR CHALLENGES FOR EFFICIENT MANAGEMENT**

#### **ABSTRACT**

SILVA, Valéria de Fatima, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, March, 2025. **PAYMENT ARRANGEMENTS FOR ENVIRONMENTAL SERVICES IN THE ATLANTIC FOREST OF MINAS GERAIS AND THEIR CHALLENGES FOR EFFICIENT MANAGEMENT.** Adviser: Laércio Antônio Gonçalves Jacovine. Co-adviser: Carlos Moreira Miquelino Eleto Torres.

Global environmental degradation affects the provision of ecosystem services, resulting in significant annual losses to the global economy. In the Atlantic Forest, the provision of ecosystem/environmental services is highly threatened, and many Payment for Environmental Services (PES) arrangements are being implemented to reconcile environmental conservation with economic development. The success of these actions depends on factors such as governance, funding, and local engagement. The expansion of PES requires a deeper understanding of sociopolitical contexts and critical factors for its implementation, aiming to create more effective and long-lasting programs. Thus, this study aimed to analyze payment for environmental services arrangements in the Atlantic Forest of Minas Gerais. The research was conducted in six municipalities with PES initiatives, using semi-structured interviews, both written and via video calls, to understand the initiatives, their similarities, and unique aspects. The participation of rural landowners in these initiatives is limited, with a focus on restoring permanent preservation areas and improving water quality. Although landowners are seen as providers of environmental services, many participate due to concerns about water scarcity rather than perceiving themselves as conservation agents. Funding relies on public resources, and the lack of technical staff in municipal governments hinders implementation. While there are initial benefits, such as strengthened cooperation and access to sustainable practices, the programs lack indicators to assess long-term impacts.

The initiatives do not involve rural producers in implementation and monitoring, which limits results and increases costs for local governments. The lack of recognition of social and economic benefits makes it difficult to value these initiatives, and dependence on public funding compromises their sustainability. Additionally, insufficient monitoring hampers the demonstration of impacts and the engagement of stakeholders.

**KEYWORDS:** Atlantic Forest Conservation Plan/Mantiqueira Conservation Program; Local initiatives; Governance; Public policies

## INTRODUÇÃO

A degradação ambiental mundial está levando a perda entre US\$ 4 e 20 trilhões em serviços ecossistêmicos anualmente, constantemente atreladas às externalidades econômicas que não são corrigidas no mercado (GIEFER; AN; CHEN, 2021). Como forma de lidar com os trade-offs entre os objetivos ambientais e desenvolvimento econômicos, esquemas de Pagamento por Serviços Ambientais (PSA) foram propostos, utilizando instrumento baseado no mercado para regular bens e Serviços Ambientais (SA) (AZA; RICCIOLI; DI IACOVO, 2021; MAMEDES et al., 2023). O papel de mercado desempenhado por esquemas de PSA derivam da conexão entre provedores de serviços ambientais e seus usuários, sendo um importante mecanismo promotor de sustentabilidade social, econômica e ambiental, principalmente em áreas rurais (MAMEDES et al., 2023).

Os esquemas de PSA podem ser explicados como arranjos voluntários ou regulados por imposições legais, pelo qual, ações que favoreçam a conservação ou provisão de SA sejam recompensados financeira ou economicamente (MAMEDES et al., 2023). Dessa forma, a sociedade internaliza as externalidades positivas criadas, especialmente pelos produtores rurais, ao passo que também mobiliza os agricultores a serem produtores de SA, assim como são produtores de leite, café, feijão, dentre outros (OUELLET et al., 2020).

O PSA ganhou popularidade por auxiliar nas tomadas de decisões e existem mais de 550 esquemas ativos no mundo, transacionando cerca de US\$ 36 a US\$ 42 bilhões, anualmente (AZA; RICCIOLI; DI IACOVO, 2021; BAUCHET et al., 2020). A América Latina tem se destacado na adoção da estratégia, atrelado aos vastos e ricos recursos naturais e as ameaças constantes a esse patrimônio (MONTROYA-ZUMAETA; WUNDER; TACCONI, 2021; SHENNAN-FARPÓN et al., 2024), sendo o Brasil, um dos países com maior número de programas no mundo (MAMEDES et al., 2023). As iniciativas nacionais estão avançando desde os anos 2000, sendo contabilizados mais de 200 programas segundo a Forest Trends, e a maioria no Bioma Mata Atlântica (MONTEIRO DOS SANTOS et al., 2020). A superioridade de iniciativas no bioma pode ser favorecido devido à sua importância, uma vez que aproximadamente 120 milhões de brasileiros vivem na área e se beneficiam de seus serviços

ecossistêmicos (AZA; RICCIOLI; DI IACOVO, 2021). Os resultados destas iniciativas variam em função de diversos fatores, como envolvimento das partes interessadas, governança, contexto, financiamento e mecanismos aplicados (AZA; RICCIOLI; DI IACOVO, 2021). A participação local, os incentivos econômicos e financeiros e a repartição dos benefícios tem ganhado cada vez mais destaque nas abordagens para aumentar a eficácia e conciliar desenvolvimento econômico com a conservação ambiental (WUNDER et al., 2020).

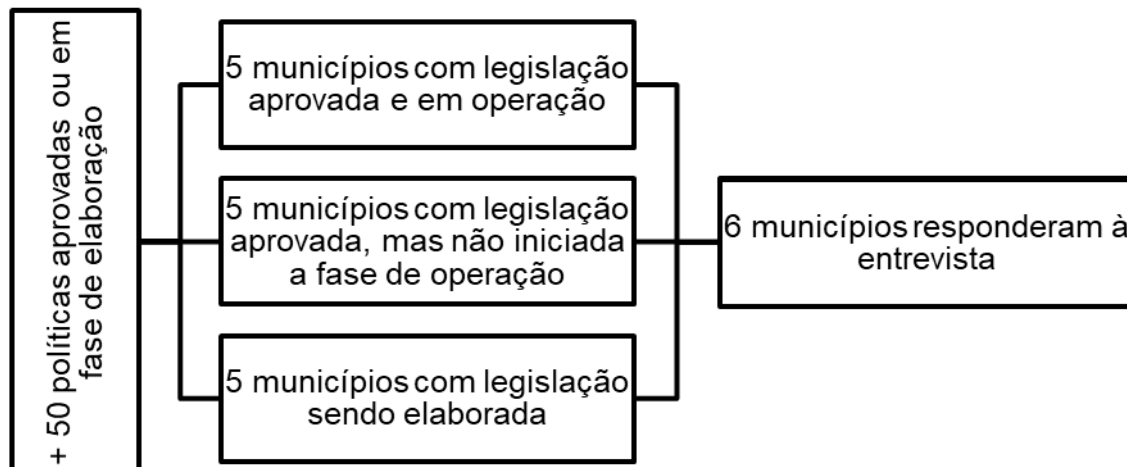
A expansão das iniciativas de PSA fez com que muitos aspectos fossem adaptados a contextos institucionais e socioecológicos, gerando uma infinidade de maneiras para a implementação do conceito (BAUCHET et al., 2020). Estudos são conduzidos para compreender o funcionamento desses modelos, buscando fornecer múltiplas perspectivas e insights para melhorar a eficácia e resultados das iniciativas (LI et al., 2022). O principal objetivo é elucidar como diferentes esquemas contribuem para provisão contínua e de longo prazo do SA em cada arranjo e condições que tornam viável replicar os modelos em outros locais (AZA; RICCIOLI; DI IACOVO, 2021).

O crescimento esperado de iniciativas de PSA indica uma importante necessidade de estudos sobre os contextos sociopolíticos e fatores que contribuem ou impedem a sua implementação, preenchendo uma grande lacuna na análise crítica de projetos que possam se tornar referência para programas existentes e futuros (BAUCHET et al., 2020; MAMEDES et al., 2023). Apesar do “boom de PSA” vivido pelo Brasil nos últimos anos, ainda há uma grande lacuna acerca dos modelos que possam ser referências e das oportunidades e desafios enfrentados para seu estabelecimento (MAMEDES et al., 2023). Assim, objetivou-se analisar os arranjos de pagamento por serviços ambientais na Mata Atlântica mineira e caracterizar os arranjos propostos para implementação das iniciativas.

## MATERIAL E MÉTODOS

A seleção dos municípios para avaliar os programas de PSA foi realizada entre aqueles participantes do Plano Conservador da Mata Atlântica (PCMA). O programa é uma iniciativa colaborativa entre o setor público, privado, terceiro setor e instituições de ensino, que busca a promoção de políticas públicas com previsão de PSA e a restauração florestal de milhões de hectares. Os municípios mineiros apoiados estão em fases distintas de implementação da política, desde àqueles que estão elaborando as propostas de lei para discussão na Câmara de Vereados, até aqueles que já realizam o pagamento aos provedores. A partir do conhecimento da realidade de cada município, o Comitê Gestor do PCMA indicou cinco municípios amostra de cada estágio de desenvolvimento das iniciativas (Figura 1). Do total de 15 municípios amostra que foram selecionados, seis responderam à entrevista, sendo todos com legislação aprovada, mas apenas dois realizando os pagamentos aos provedores de SA.

Figura 1. Critério de seleção dos municípios amostra analisados

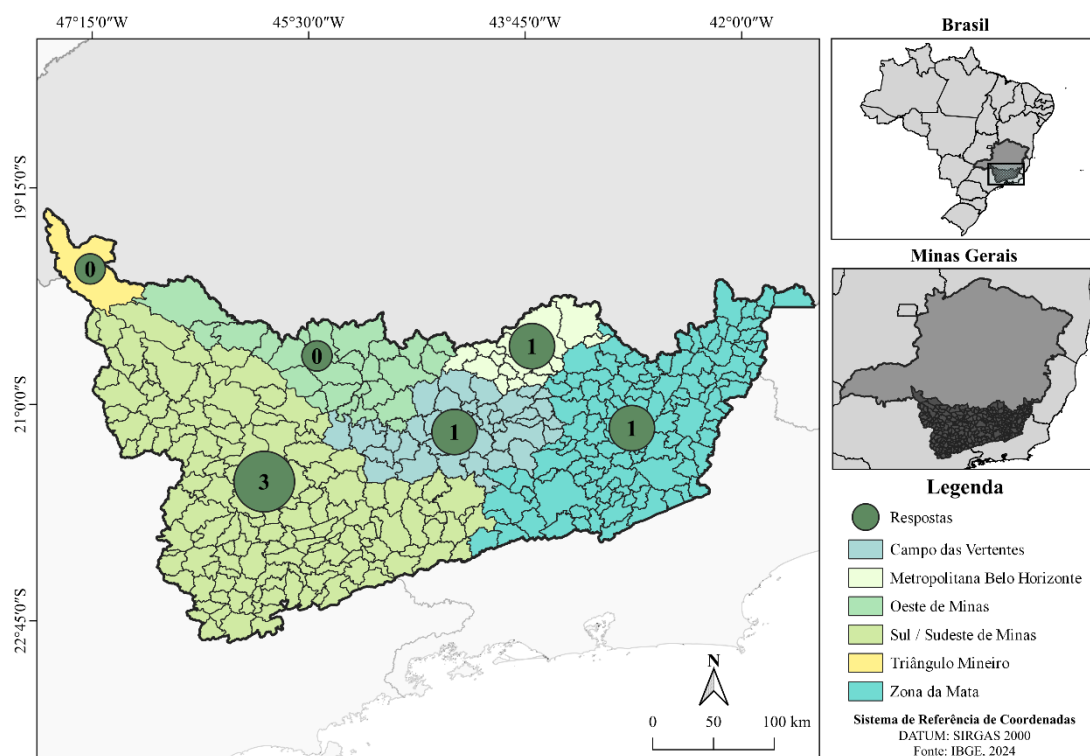


Fonte: Silva (2025).

Os gestores municipais que responderam às entrevistas são da Zona da Mata, região Metropolitana de Belo Horizonte, Campo das Vertentes e do Sul de Minas (Figura 2) e os municípios aprovaram suas legislações em diferentes anos (Figura 3). Os participantes ocupavam cargos de chefia, como diretores, chefes ou secretários de meio ambiente, em quatro municípios. Em um município, o

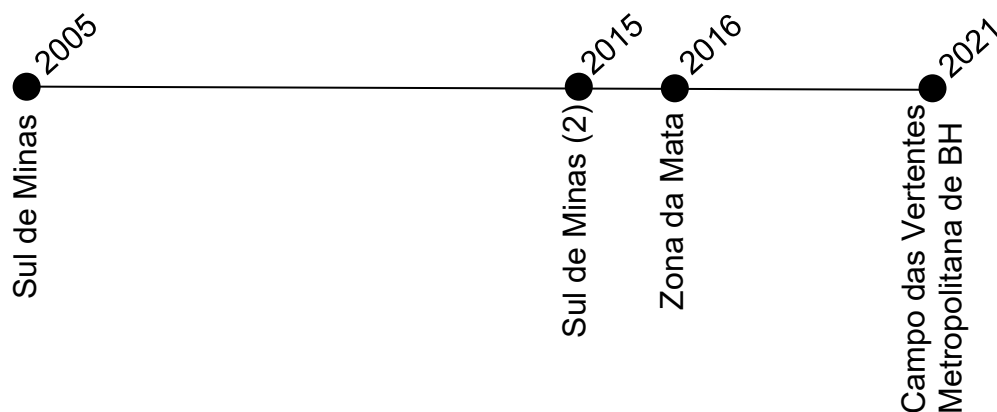
participante era assessor da Secretaria de Meio Ambiente, e em outro, gerente na área de agricultura e desenvolvimento rural.

Figura 2. Localização do Plano Conservador da Mata Atlântica em Minas Gerais, em 2022, e das mesorregiões dos municípios participantes



Fonte: Silva (2025).

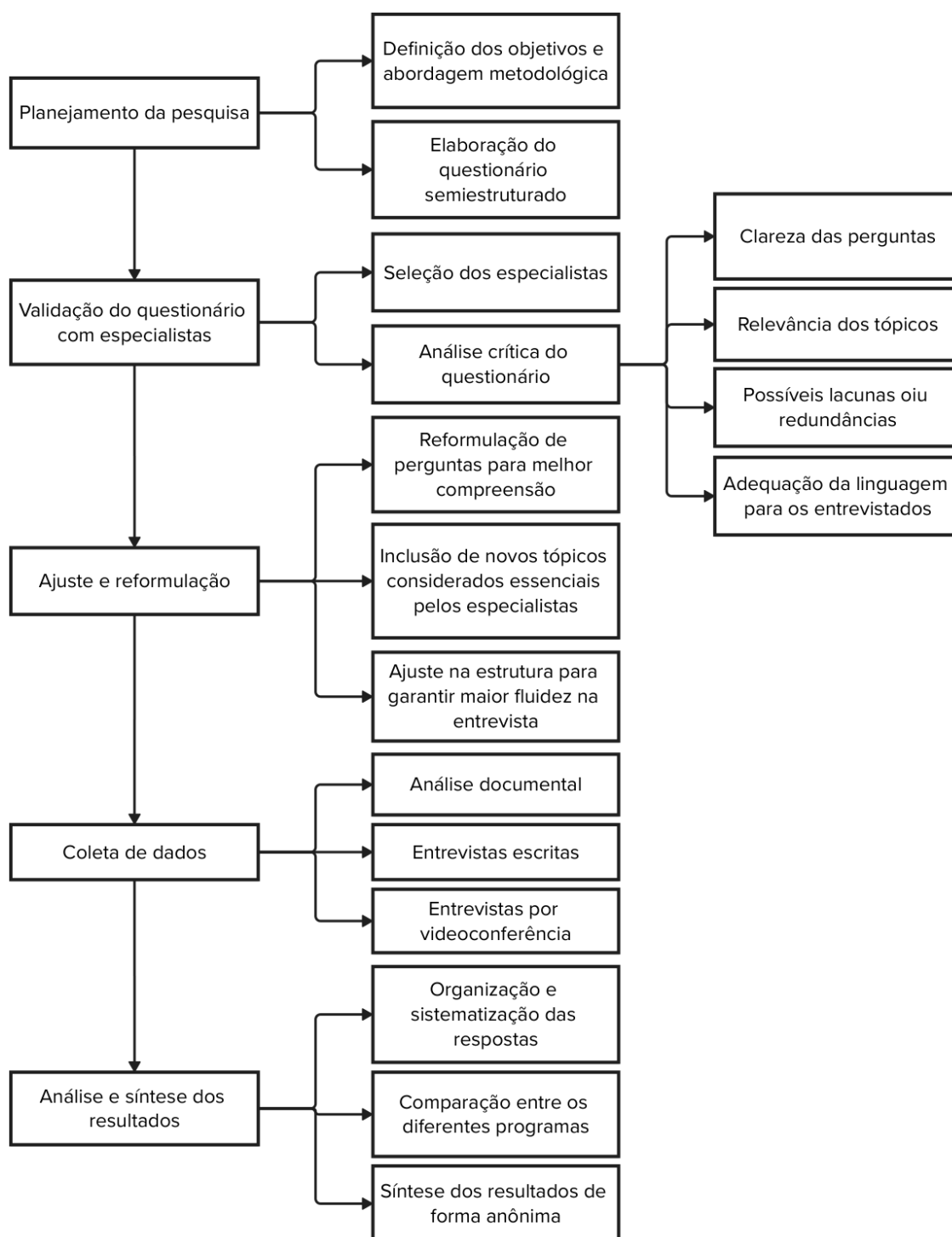
Figura 3. Ano de implementação das políticas públicas com previsão de Pagamento por Serviços Ambientais por mesorregião do Plano Conservador da Mata Atlântica em Minas Gerais participantes da pesquisa.



Fonte: Silva (2025).

A pesquisa foi estruturada em cinco etapas: planejamento; validação com especialistas; ajustes e reformulação; coleta de dados; e análise e síntese dos resultados (Figura 4). Durante o planejamento da pesquisa foram definidos os objetivos e a abordagem metodológica a ser utilizada, a elaboração de uma primeira versão do questionário e a seleção dos especialistas vinculados ao PCMA para a validação do instrumento. Os especialistas convidados realizaram uma análise crítica quanto à clareza das perguntas, à relevância dos tópicos abordados, à identificação de lacunas ou redundâncias e à adequação da linguagem para os entrevistados. Assim, o questionário foi reformulado, com a reescrita de perguntas para facilitar a compreensão, a inclusão de novos tópicos considerados essenciais e a reorganização da estrutura para garantir maior fluidez durante as entrevistas. Na sequência, os primeiros contatos com os municípios amostras selecionados foram realizados para apresentar os objetivos da pesquisa e os aspectos relacionados à participação. As entrevistas para coleta de dados foram conduzidas em três etapas: (i) análise documental, incluindo leis, decretos, chamamentos públicos e publicações oficiais sobre as iniciativas; (ii) entrevista escrita e; (iii) entrevistas on-line visando avaliar novos dados sobre os esquemas e a precisão das informações coletadas pela pesquisa documental. Entrevistas semiestruturadas, onde as perguntas eram abertas, padronizadas e flexíveis, foram utilizadas permitindo a troca de ideias entre o entrevistador e o entrevistado (NAZ et al., 2022), para entender as iniciativas, suas similaridades e individualidades. A entrevista semiestruturada é eficaz para identificar problemas que não são imediatamente perceptíveis e desafios organizacionais (BELINA, 2023), por isso foi adotada. Os questionamentos realizados foram direcionados, por exemplo, a elucidar os arranjos processuais e institucionais, liderança, conhecimento e financiamento. Por fim, os dados foram organizados e sistematizados, permitindo a comparação entre diferentes programas e a elaboração de uma síntese dos resultados de forma anônima, assegurando a confidencialidade das informações.

Figura 4. Fluxograma metodológico para elaboração e aplicação de questionário semiestruturado para pesquisa qualitativa sobre as iniciativas de Pagamentos por Serviços Ambientais na Mata Atlântica mineira



Fonte: Silva (2025).

## RESULTADOS

Os programas de Pagamento por Serviços Ambientais analisados apresentam características comuns e desafios específicos, refletindo a complexidade da implementação dessas iniciativas no contexto da Mata Atlântica mineira. Os resultados mostram que, embora a motivação central dos programas esteja voltada para a conservação ambiental e a melhoria da disponibilidade hídrica, a participação dos proprietários rurais tanto na fase de ideação quanto na implementação das ações ainda é limitada. Além disso, os arranjos institucionais, os mecanismos de financiamento e os indicadores de monitoramento variam entre os programas, influenciando diretamente sua efetividade e sustentabilidade a longo prazo.

### **PARTICIPAÇÃO DOS PROVEDORES DE SERVIÇOS AMBIENTAIS**

A motivação pela criação dos programas com previsão de PSA analisados é bastante clara: recompensar os proprietários rurais que promovem ações que conservam ou melhoram a provisão de SA. As ações partem, principalmente, da conservação e recuperação das Áreas de Proteção Permanente (APP) ao longo de nascentes e cursos d'água e,

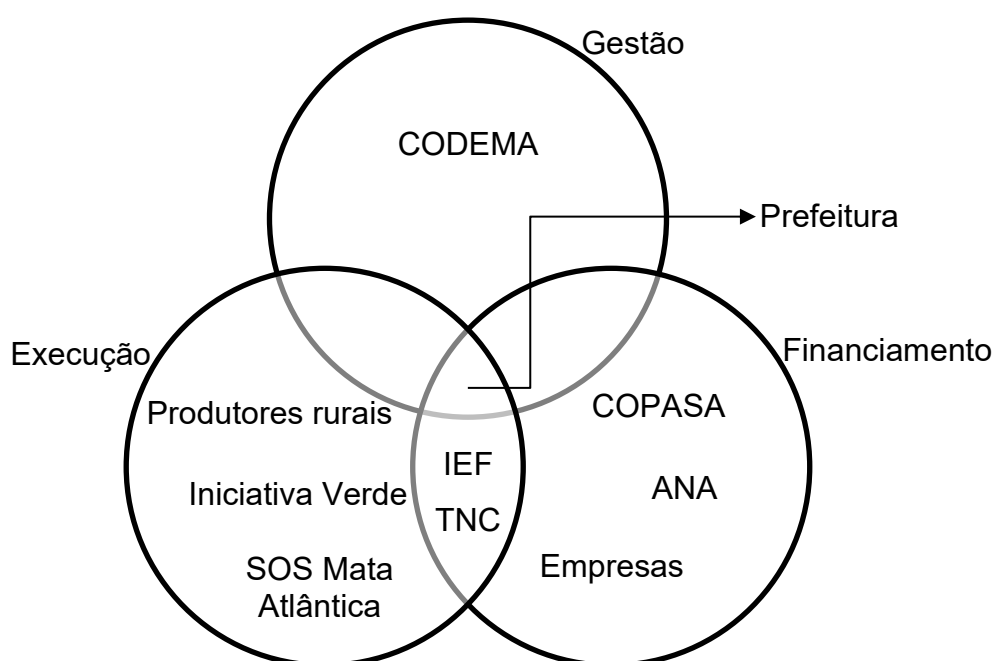
*mesmo que as ações sejam em parte obrigatórias conforme consta no código florestal, os proprietários rurais devem receber apoio pois todos nós necessitamos e somos beneficiados pela conservação realizada em suas propriedades (Entrevistado 1, 2025)*

Apesar disso, os proprietários rurais nem sempre se enxergam como provedores de SA e, por vezes, são motivados a participar dos programas em função dos riscos de falta d'água e para sobrevivência das atividades nas propriedades rurais.

A participação de proprietários rurais desde a ideação dos programas é tímida nos programas analisados. De maneira geral, é atribuído aos membros do CODEMA (Conselho Municipal de Desenvolvimento Ambiental) a responsabilidade de expressar os interesses e opiniões dos proprietários rurais. De maneira menos expressiva, associação de produtores rurais também é envolvida, porém apenas na fase de implementação. A associação possibilita o

atingimento de objetivos que, por vezes, seria mais difícil para um produtor rural isoladamente. Para isso, os representantes precisam estar alinhados com os desejos e objetivos comuns dos associados. A ideação e governança é realizada pela prefeitura, com o apoio do CODEMA. Instituições públicas, privadas e cívicas participam do financiamento e execução da política (Figura 5).

Figura 5. Atores envolvidos na gestão, execução e financiamento dos programas com previsão de pagamento por serviços ambientais estudados.



Fonte: Silva (2015).

Por serem modelos governamentais, os programas analisados estruturam seu funcionamento através de leis, decretos e chamamentos públicos, que são ritos necessários para a operacionalização de políticas públicas.

Na fase de implementação, o envolvimento dos produtores rurais também é reduzido.

*A maioria são produtores rurais familiares, que trabalham com pecuária leiteira, o tempo é pouco mesmo. Eles aceitam desde que a instituição parceira faça a ação completa. O proprietário se compromete a cuidar, mas pede ajuda pela manutenção também. (Entrevistado 1, 2025)*

Dessa forma, a prefeitura também precisa dispor de mão-de-obra técnica e operacional para planejamento e implementação das iniciativas. Porém, a disponibilidade de mão-de-obra é insuficiente e relatada como uma limitação ao sucesso e avanço das iniciativas:

*no período em que atuei como gestora do Projeto, tinha muita dificuldade em expandir os horizontes, pois não possuía equipe suficiente para atender as outras demandas do departamento e não conseguia dar atenção ao projeto como deveria (Entrevistado 2, 2025)*

e

*[as competências locais para a implementação] pode melhorar, para que o trabalho seja realizado com mais agilidade. Pois na secretaria de meio ambiente há várias demandas, e não consigo dedicar o tempo que gostaria ao Projeto. Pelo menos mais uma pessoa com capacidade técnica seria muito importante (Entrevistado 1, 2025)*

## **OBJETIVOS PRINCIPAIS DOS PROGRAMAS**

O objetivo central definido nas políticas é direcionado à melhoria da qualidade e quantidade das águas. Dessa forma, pode-se destacar que

*o problema é centrado na necessidade (e obrigatoriedade) de recuperação das APP nas propriedades rurais do município. Como causas temos dificuldades financeiras dos proprietários, falta de informação e de consciência dos problemas ambientais, etc (Entrevistado 2, 2025)*

A partir de 2021 os novos programas passaram a incorporar componentes referentes às questões relacionadas à biodiversidade e ao clima.

A abordagem focal em quesitos relacionados à disponibilidade hídrica pode ser vista como uma estratégia de convencimento, pois “o principal fator que influencia a disposição dos provedores em aceitar o arranjo é a percepção dos riscos de falta d’água para sobrevivência das propriedades rurais” (Entrevistado 3, 2025). A importância dada às questões hídricas fortalece a priorização das bacias e sub-bacias hidrográficas para implantação dos projetos. De maneira geral, o projeto é iniciado nas sub-bacias responsáveis pelo abastecimento público de água, buscando garantir a “manutenção de boas vazões das

*nascentes e córregos durante o período de estiagem anual”* (Entrevistado 3, 2025) e por aquelas que apresentam maior índice de degradação.

A estrutura construída busca garantir a execução de uma série de ações que são necessárias às realidades municipais.

*Primeiro, a propriedade deve aderir ao projeto, aceitar a realização das ações propostas, assinar termo de compromisso, e depois de um ano da realização das ações passar a receber o pagamento. Aqui em [omitido], ainda não temos nenhuma propriedade recebendo. Ainda estamos cadastrando, fazendo diagnósticos, ações do Pro Mananciais que dependem da licitação da COPASA, as ações da parceria com a mineradora ainda vão começar, para depois iniciar os pagamentos* (Entrevistado 1, 2025)

É importante destacar que

*a utilização de recompensas na forma de um arranjo de pagamentos por serviços ambientais de forma isolada não é a melhor forma de atuar sobre os vetores de degradação, mas aliada às práticas de proteção, recuperação de app e restauração de pastagens degradadas, conservação do solo e saneamento, é a melhor solução* (Entrevistado 1, 2025)

e

*em essência estas recompensas, sejam elas financeiras ou não, devem incentivar ações de restauração, manutenção e conservação dos recursos naturais, por isso tornando-se complementar* (Entrevistado 4, 2025)

A busca por objetivos sociais e econômicos não é abordada diretamente nos programas nem foram relatados pelos entrevistados. Porém, podemos entender que as iniciativas, de forma direta e indireta, impactam diversos aspectos, principalmente complementando a renda dos produtores rurais através dos incentivos financeiros, ou da redução de custos da restauração, através do fomento de insumos e materiais necessários para a restauração e conservação de APP. Em termos sociais, o PSA traz um reconhecimento dos proprietários rurais como agentes de conservação e provisão de SA; acesso ao conhecimento

técnico sobre práticas sustentáveis, além do estímulo à cooperação comunitária, fortalecendo a interação entre vizinhos e as populações rurais.

## FINANCIAMENTO

Os provedores de SA recebem apenas pagamentos em dinheiro em quatros programas analisados. Em dois, além do pagamento em dinheiro, podem receber insumos necessários para o plantio de mudas e para o cercamento das áreas a serem restauradas. Os repasses são condicionados à assinatura de contrato e

*ele [proprietário rural] também se interessa pelo repasse financeiro, mas dependendo do teor do termo de compromisso, como por exemplo aqueles que tratam sobre crédito de carbono, não há interesse. Pois há muitas responsabilidades para o proprietário. Vejo que eles se interessam pelas ações, desde que elas não necessitem da ajuda deles, pois não tem tempo, nem dinheiro (Entrevistado 1, 2025)*

De maneira geral, a origem dos recursos financeiros investido nas ações provém da dotação orçamentária do próprio município. Como esta é a principal fonte de recurso e dependem da disponibilidade deles,

*é importante que o município capte outros recursos para o Fundo Municipal, como por exemplo porcentagem da CFEM, repasse da ARSAE, receitas oriundas de multas, etc. Porém isso precisa ser regulamentado (Entrevistado 1, 2025)*

Alguns programas se amparam na resolução ARSAE-MG n° 110/2018, que estabelece o repasse máximo de 4% (quatro por cento) da receita direta dos prestadores regulados a fundos municipais de saneamento. Entendendo-se que as ações propostas nos programas afetam a qualidade e quantidade de água para abastecimento, a iniciativa se torna elegível para a aplicação do recurso. A COPASA também participa do financiamento de ações através do Projeto Pró-mananciais, que tem por objetivo proteger e recuperar microbacias hidrográficas e áreas de recarga dos aquíferos utilizados para captação de água para abastecimento público.

Os programas analisados não envolvem diretamente os beneficiários dos SA no financiamento das iniciativas, ou seja, os usuários dos SA não realizam pagamentos específicos para externalidade positiva gerada pelos provedores. Agora, como, geralmente são utilizados recursos da arrecadação municipal, e para pagamento é preciso que seja aprovado pela Câmara do Vereadores, que representa a população, indiretamente os usuários estão participando no financiamento.

## **RESULTADOS DE LONGO PRAZO**

Os programas analisados são relativamente recentes, sendo o mais antigo com 19 anos e os demais com, no máximo, 9 anos. Dessa forma, não é possível avaliar os efeitos de longo prazo dos programas. Porém, os programas apenas acompanham a área total de intervenção, metros de cerca implantados, número de mudas plantadas e propriedades envolvidas no projeto, o que pode não retratar os benefícios ambientais, econômicos e sociais almejados e atingidos. Apenas um município acompanha indicadores referentes à cobertura florestal nativa, biodiversidade e qualidade das águas, mas não foi detalhado a metodologia adotada para o monitoramento.

O período de contrato com os provedores de serviços ambientais são 4 ou 5 anos, porém “[o prazo do contrato] não é coerente como tempo necessário para implantação do serviço ambiental; a expectativa é avaliar o processo ao longo de aproximadamente 10 anos” (Entrevistado 3, 2025).

## DISCUSSÃO

As entrevistas realizadas indicaram semelhanças e diferenças entre as iniciativas de PSA em relação ao arranjo e implementação. As diferenças são, provavelmente, moldadas pela história, contextos culturais e políticos de cada iniciativa.

Durante a ideação e definição dos arranjos necessários para a implementação de iniciativas de PSA, não há o envolvimento direto de produtores rurais, os provedores dos serviços. A inclusão destes atores desde a ideação até o monitoramento é essencial para iniciativas bem-sucedidas (DI SACCO et al., 2021) e, do contrário, as iniciativas tornam-se deficientes (OUELLET et al., 2020). Os provedores normalmente possuem uma riqueza de conhecimento relacionada à gestão dos SA, que são frequentemente desconsideradas pelos tomadores de decisão (BAUCHET et al., 2020). Dessa forma, envolvê-los desde a concepção dos programas e na tomada de decisões pode aumentar a eficácia e facilitar a adesão de outros provedores (URCUQUI-BUSTAMANTE et al., 2021).

Em diferentes iniciativas, muitos participantes se mostram mais confiantes e dispostos a participar ativamente, quando representantes da comunidade local participam de comitês gestor (OUELLET et al., 2020). Quando um líder local, conhecido e respeitado pela comunidade atua ativamente no comitê, ele pode atuar como porta-voz, tanto do programa, como das expectativas dos provedores (OUELLET et al., 2020). Esse envolvimento pode contribuir para a construção de confiança, colaboração para resolver problemas comuns e adesão (URCUQUI-BUSTAMANTE et al., 2021).

A ausência desses atores também ocorre em outros programas com previsão de PSA, nacionais e internacionais, que utilizam um modelo de cima para baixo. Nestes modelos a gestão pública de todos os níveis, local, estadual e federal, desempenha papel dominante, sendo porta-vozes de provedores e usuários dos SA (LI et al., 2022). Organizações externas podem contribuir com o envolvimento das partes interessadas realizando uma comunicação unidirecional, informando aos provedores sobre a existência do programa, decisões e regras para adesão (URCUQUI-BUSTAMANTE et al., 2021). Tornar os processos de decisão mais transparentes, com comunicação constante com

as partes interessadas, é essencial e pode melhorar a confiança e participação nas iniciativas (AGANYIRA et al., 2020; MONTOYA-ZUMAETA; WUNDER; TACCONI, 2021).

Assim como os programas analisados neste estudo, diversas iniciativas subnacionais brasileiras são, frequentemente, conduzidas por parcerias entre os governos locais e ONG (YOUNG; CASTRO, 2021). As ONGs exercem um papel central nesses arranjos, realizando a conexão entre os compradores e provedores de SA (LI et al., 2022). Porém, alguns provedores não se inscrevem nos programas dadas a suas desconfianças em relação à estas organizações (BAUCHET et al., 2020). Se, atrelada à desconfiança nas organizações envolvidas no programa, ainda houver uma gestão enfraquecida, as comunidades se envolverão de maneira limitada nas iniciativas, com uma participação local desencorajada (AGANYIRA et al., 2020; AZA; RICCIOLI; DI IACOVO, 2021).

Diversos programas seguindo uma governança de baixo para cima foram desenvolvidos mundialmente (OUELLET et al., 2020). Nesses modelos, os provedores, além de terem acesso a todas as informações do programa, suas necessidades, preocupações e expectativas são consideradas na ideação, elaboração do design e implementação (AGANYIRA et al., 2020). A abordagem garantiu maior engajamento de diversos atores locais (URCUQUI-BUSTAMANTE et al., 2021), além de promover esforços ambientais coordenados e eficazes (OUELLET et al., 2020). Assim, os provedores aumentam a confiança no programa e entendem que a iniciativa considera suas necessidades e não apenas as questões ambientais (BAUCHET et al., 2020; URCUQUI-BUSTAMANTE et al., 2021). Cabe destacar que o maior engajamento também está relacionado com a distribuição equitativa de benefícios, conhecimento, sustentabilidade econômica e bem-estar das comunidades (DI SACCO et al., 2021).

Os programas com previsão de PSA analisados tem ao menos um objetivo claro, sendo unânime a abordagem das questões hídricas, e não buscam diretamente benefícios socioeconômicos. Uma das justificativas para a abordagem das questões relacionadas à quantidade e qualidade de água está na necessidade de abastecer centros urbanos (MAMEDES et al., 2023). Uma análise das iniciativas na Colômbia, Equador, Peru e Bolívia também apontou

que em 89% deles, o serviço visado é a qualidade da água, seguido de biodiversidade e cobertura vegetal (BAUCHET et al., 2020). Um levantamento sobre as iniciativas na Mata Atlântica também aponta a priorização de serviços relacionados às questões hídricas e conservação da biodiversidade, além da remoção de carbono da atmosfera (AZA; RICCIOLI; DI IACOVO, 2021).

Iniciativas de PSA orientados para a conservação da biodiversidade enfrentam diversas dificuldades para serem criadas (YOUNG; CASTRO, 2021) e é pouco provável que surja uma demanda consistente voluntariamente (MAMEDES et al., 2023). Dessa forma, essas iniciativas são fortemente dependentes de ações governamentais para criar a demanda e mercados (MAMEDES et al., 2023). Vale destacar que para a conservação da biodiversidade, apenas instrumentos econômicos não oferecem solução suficiente, pois a conservação também depende fortemente dos contextos legais, institucionais e sociopolíticos (YOUNG; CASTRO, 2021). Porém, quando as iniciativas buscam altos níveis de biodiversidade e variedade de características funcionais, tem-se expressivos ganhos em resiliência do ecossistema e fornecimento de produtos florestais e SA para as comunidades locais (DI SACCO et al., 2021). Também se ressalta que é preciso que a população em geral reconheça a importância da conservação da biodiversidade e, por lado, que se crie mecanismos de reconhecimento de “devedores” da biodiversidade. Estes devedores seriam “empurrados” pela sociedade e pelo poder público a compensarem os seus danos à biodiversidade, assim como acontece nas iniciativas de compensação de carbono.

As iniciativas de PSA analisadas são financiadas pelo governo e este é o arranjo mais comum no Brasil. As iniciativas nacionais recebem financiamento de ao menos uma instituição pública, mais de 90% recebem fundos de governos municipais e 76% da ANA (MAMEDES et al., 2023). A forte dependência de investimentos públicos é uma preocupação, principalmente pelo forte declínio orçamento para proteção ambiental (YOUNG; CASTRO, 2021), sendo cada vez mais recorrente a necessidade de ampliar as fontes de financiamento (LI et al., 2022).

Muitas ONG também contribuem na captação de recursos para financiar as iniciativas (YOUNG; CASTRO, 2021). Apesar da importância de recursos de doações e o financiamento internacional, essa contribuição é bastante variável

ao longo do tempo em função dos interesses políticos e econômicos dos doadores (YOUNG; CASTRO, 2021). Embora as doações sejam importantes, principalmente para o início das iniciativas, a expectativa conceitual do PSA é que os próprios usuários dos serviços devam ser os responsáveis pelo financiamento, com base nos princípios do “usuário pagador” e “provedor recebedor” (BAUCHET et al., 2020, 2020; MAMEDES et al., 2023).

O exemplo mais prático da aplicação destes princípios pode ser visto através da cobrança do uso da água no Brasil. O instrumento é baseado no entendimento de que a água é um bem público e recurso natural limitado, com valor econômico definido (MAMEDES et al., 2023). A cobrança, interpretada como uma compensação pelo uso de um bem público, é definido pelos comitês de bacia, que são responsáveis por promover o diálogo entre provedores e usuários do serviço (LI et al., 2022; MAMEDES et al., 2023). A estratégia ganha destaque por seu potencial de gerar recursos constantes para financiar as iniciativas de PSA e promover o desenvolvimento regional (YOUNG; CASTRO, 2021). Assim como a cobrança pelo uso da água, também pode ser criada uma taxa sobre a emissão de carbono como formas de financiar as iniciativas (AZA; RICCIOLI; DI IACOVO, 2021).

A disponibilização de apoio técnico e incentivos econômicos, como doação de insumos, também são observadas nas iniciativas analisadas. Nesse sentido, os proprietários rurais podem ser consultados sobre suas necessidades e preferências, de forma a identificar fontes alternativas de rendas a serem propostas no arranjo da iniciativa (URCUQUI-BUSTAMANTE et al., 2021). Incentivos não monetários têm encorajado a participação local, porém o comitê gestor precisa compreender que as demandas e necessidades locais são diversas, sendo assim as propostas precisam ser flexíveis (AGANYIRA et al., 2020). Algumas iniciativas incorporam assistências técnicas para processos produtivos como apicultura, ecoturismo, manejo florestal sustentável e agroflorestas, infraestrutura para saneamento e insumos para reflorestamento e isolamento de áreas (MONTROYA-ZUMAETA; WUNDER; TACCONI, 2021). Além disso, durante o processo de divulgação é importante informar sobre os outros benefícios que os provedores recebem, como o atendimento ao Código Florestal, o mapeamento da propriedade, conservação do solo e recursos hídricos (MAMEDES et al., 2023).

A principal estratégia para lidar com o risco de não permanência nas iniciativas de PSA são as condicionalidades impostas aos participantes, através da assinatura de contratos. Através das condicionantes impostas, os pagamentos podem reduzir ou serem interrompidos quando os SA não estão mais sendo providos adequadamente (AZA; RICCIOLI; DI IACOVO, 2021; WUNDER et al., 2020). Porém, para ser efetiva, a condicionalidade requer um monitoramento efetivo e de longo prazo do seu cumprimento (MONTROYA-ZUMAETA; WUNDER; TACCONI, 2021; WUNDER et al., 2020).

As iniciativas analisadas carecem de estratégias de monitoramento e utilização de indicadores que consigam representar, de fato, as melhorias atingidas e almejadas, assim como a maioria dos programas de PSA/PES brasileiros (MAMEDES et al., 2023). A ausência de protocolos robustos de monitoramento compromete significativamente a avaliação do desempenho das estratégias de melhoria na provisão da SA (MAMEDES et al., 2023). As principais estratégias utilizadas nos protocolos de monitoramento são as vistorias periódicas às propriedades incluídas nas iniciativas e observações remotas de mudanças na cobertura e uso do solo por imagens de satélite (MAMEDES et al., 2023). Um monitoramento especializado pode ser realizado por instituições parceiras, porém um modelo mais participativo pode estimular as comunidades locais a observar as mudanças ocorridas (AZA; RICCIOLI; DI IACOVO, 2021), aumento o engajamento e participação destes nas iniciativas.

## CONCLUSÃO

Os programas com previsão de Pagamento por Serviços Ambientais na porção mineira do Plano Conservador da Mata Atlântica não envolvem os proprietários rurais na ideação, implementação e monitoramento das ações, o que podem comprometer os resultados. O não envolvimento destes também na implementação das ações implica em maiores custos com mão-de-obra operacional pelos governos locais, limitando a ampliação das ações em mais propriedades rurais.

Aspectos relacionados aos benefícios sociais e econômicos tanto da conservação e melhoria da provisão de serviços ambientais, quanto do pagamento por estes serviços aos seus provedores não são incluídos nos programas analisados. Este fato limita a compreensão dos benefícios obtidos pelos programas e a valorização das iniciativas, principalmente pelos usuários dos serviços ambientais.

Os usuários dos serviços ambientais não participam do arranjo e não financiam diretamente as iniciativas. O envolvimento destes atores pode trazer uma alternativa consistente ao financiamento governamental e garantir que as iniciativas tenham maior longevidade. A dependência apenas de financiamento governamental afeta a segurança e confiança dos provedores de serviços ambientais sobre a manutenção dos pagamentos.

O monitoramento é incipiente e não consegue demonstrar os benefícios ambientais, sociais e econômicos das iniciativas, comprometendo desde o engajamento dos provedores de serviços ambientais até seus usuários. As falhas de comunicação com stakeholders também compromete o reconhecimento e apoio para as iniciativas.

## REFERÊNCIA

- AGANYIRA, K. et al. Determinants of participation in state and private PES projects in Uganda. **Scientific African**, v. 8, p. e00370, jul. 2020.
- AZA, A.; RICCIOLI, F.; DI IACOVO, F. Optimising payment for environmental services schemes by integrating strategies: The case of the Atlantic Forest, Brazil. **Forest Policy and Economics**, v. 125, p. 102410, abr. 2021.
- BAUCHET, J. et al. The practice of Payments for Ecosystem Services (PES) in the Tropical Andes: Evidence from program administrators. **Ecosystem Services**, v. 45, p. 101175, out. 2020.
- DI SACCO, A. et al. Ten golden rules for reforestation to optimize carbon sequestration, biodiversity recovery and livelihood benefits. **Global Change Biology**, v. 27, n. 7, p. 1328–1348, abr. 2021.
- GIEFER, M. M.; AN, L.; CHEN, X. Normative, livelihood, and demographic influences on enrollment in a payment for ecosystem services program. **Land Use Policy**, v. 108, p. 105525, set. 2021.
- LI, X. et al. From “blood transfusion” to “hematopoiesis”: watershed eco-compensation in China. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 29, n. 33, p. 49583–49597, jul. 2022.
- MAMEDES, I. et al. Brazilian payment for environmental services programs emphasize water-related services. **International Soil and Water Conservation Research**, v. 11, n. 2, p. 276–289, jun. 2023.
- MONTEIRO DOS SANTOS, F. et al. Program Outcomes of Payments for Watershed Services in Brazilian Atlantic Forest: How to Evaluate to Improve Decision-Making and the Socio-Environmental Benefits. **Water**, v. 12, n. 9, p. 2441, 31 ago. 2020.
- MONTOYA-ZUMAETA, J. G.; WUNDER, S.; TACCONI, L. Incentive-based conservation in Peru: Assessing the state of six ongoing PES and REDD+ initiatives. **Land Use Policy**, v. 108, p. 105514, set. 2021.
- OUELLET, F. et al. “Community developed and farmer delivered.” An analysis of the spatial and relational proximities of the Alternative Land Use Services program in Ontario. **Land Use Policy**, v. 95, p. 104629, jun. 2020.
- SHENNAN-FARPÓN, Y. et al. Using policy scenarios to assess challenges and opportunities for reaching restoration targets in Brazil’s Atlantic Forest. **Environmental Research Letters**, v. 19, n. 8, p. 084036, 1 ago. 2024.
- URCUQUI-BUSTAMANTE, A. M. et al. Uncovering Stakeholder Participation in Payment for Hydrological Services (PHS) Program Decision Making in Mexico and Colombia. **Sustainability**, v. 13, n. 15, p. 8562, 31 jul. 2021.

WUNDER, S. et al. Payments for Environmental Services: Past Performance and Pending Potentials. **Annual Review of Resource Economics**, v. 12, n. 1, p. 209–234, 6 out. 2020.

YOUNG, C. E. F.; CASTRO, B. S. Financing mechanisms to bridge the resource gap to conserve biodiversity and ecosystem services in Brazil. **Ecosystem Services**, v. 50, p. 101321, ago. 2021.

## CAPÍTULO 2

### **GOVERNANÇA PARTICIPATIVA: DIRETRIZES E ESTRATÉGIAS INTEGRADAS PARA PROGRAMAS COM PREVISÃO DE PAGAMENTO POR SERVIÇOS AMBIENTAIS**

#### **RESUMO**

SILVA, Valéria de Fatima, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, março de 2025. **GOVERNANÇA PARTICIPATIVA: DIRETRIZES E ESTRATÉGIAS INTEGRADAS PARA PROGRAMAS COM PREVISÃO DE PAGAMENTO POR SERVIÇOS AMBIENTAIS.** Orientador: Laércio Antônio Gonçalves Jacovine. Coorientador: Carlos Moreira Miquelino Eleto Torres.

Equilibrar o desenvolvimento socioeconômico com a gestão sustentável dos recursos naturais é um desafio importante. Desde 1920, políticas com previsão de Pagamento por Serviços Ambientais (PSA) têm sido implementadas globalmente. No Brasil, a Lei nº 14.119/2021 estabelece diretrizes para programas de PSA, destacando a governança participativa e arranjos institucionais colaborativos para a eficácia das ações a nível municipal. Muitas divergências sobre o melhor esquema para essas interações. Por isso, objetivou-se propor diretrizes e estratégias integradas implementação de programas de PSA. Para proposição dos arranjos, utilizou-se da experiência adquirida, no período de 2020 a 2024, no qual o Programa Conservador da Mantiqueira expandiu sua atuação em Minas Gerais. Vários workshops e encontros discutiram o planejamento e monitoramento de iniciativas locais de PSA. Verificou-se que a estruturação de programas de PSA envolve três componentes principais: atores, motivação e capacidade. As motivações devem incluir a preservação ambiental, benefícios econômicos e inclusão social, enquanto as capacidades e competências dos atores envolvidos são determinantes para alcançar os objetivos propostos. Programas bem planejados e conduzidos de forma participativa possuem um enorme potencial transformador. Os programas de PSA podem ser eficazes para promover a conservação ambiental, desenvolvimento sustentável e justiça social. Seu sucesso depende de uma abordagem integrada que valorize a governança participativa, alinhe motivações aos objetivos locais e desenvolva as capacidades necessárias. Por fim, ressalta-

se que os atores diversos, motivações claras e capacidades técnicas, institucionais, financeiras, sociais e políticas são essenciais para garantir a eficácia e sustentabilidade dessas iniciativas.

**Palavras-chave:** Arranjos institucionais colaborativos; Capacidades técnicas e institucionais; Desenvolvimento sustentável; Políticas pública; Serviços ecossistêmicos.

## CHAPTER 2

### **PARTICIPATORY GOVERNANCE: GUIDELINES AND INTEGRATED STRATEGIES FOR PROGRAMS WITH PAYMENT FOR ENVIRONMENTAL SERVICES**

#### **ABSTRACT**

SILVA, Valéria de Fatima, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, March, 2025. **PARTICIPATORY GOVERNANCE: GUIDELINES AND INTEGRATED STRATEGIES FOR PROGRAMS WITH PAYMENT FOR ENVIRONMENTAL SERVICES**. Adviser: Laércio Antônio Gonçalves Jacovine. Co-adviser: Carlos Moreira Miquelino Eleto Torres.

Balancing socioeconomic development with sustainable management of natural resources is a major challenge. Since 1920, policies that provide for Payment for Environmental Services (PES) have been implemented globally. In Brazil, Law No. 14,119/2021 establishes guidelines for PES programs, highlighting participatory governance and collaborative institutional arrangements for the effectiveness of actions at the municipal level. There are many disagreements about the best scheme for these interactions. Therefore, the objective was to propose integrated guidelines and strategies for the implementation of PES programs. To propose the arrangements, we used the experience acquired from 2020 to 2024, in which the Mantiqueira Conservation Program expanded its operations in Minas Gerais. Several workshops and meetings discussed the planning and monitoring of local PES initiatives. It was found that the structuring of PES programs involves three main components: actors, motivation, and capacity. Motivations should include environmental preservation, economic benefits and social inclusion, while the capacities and skills of the actors involved are crucial to achieving the proposed objectives. Well-planned and participatory programs have enormous transformative potential. PES programs can be effective in promoting environmental conservation, sustainable development and social justice. Their success depends on an integrated approach that values participatory governance, aligns motivations with local objectives and develops the necessary capacities. Finally, it is important to emphasize that diverse actors,

clear motivations and technical, institutional, financial, social and political capacities are essential to ensure the effectiveness and sustainability of these initiatives.

**Keywords:** Collaborative institutional arrangements; Technical and institutional capacities; Sustainable development; Public policies; Ecosystem services.

## INTRODUÇÃO

Equilibrar o desenvolvimento socioeconômico com a gestão sustentável dos recursos naturais representa um dos maiores desafios para a humanidade e a ciência (BENNETT et al., 2018; DE MENDONÇA et al., 2022). O tema foi tratado como política pública desde 1920, quando o governo irlandês estabeleceu a primeira política de compensação de benefícios ecológicos florestais (COUSINS, 2021). Entre as décadas de 1960 e 1980, Estados Unidos e Europa também estabeleceram programas de pagamento pelo ambiente agrícola e, atualmente, mais de 56 países possuem leis ou políticas de Pagamento por Serviços Ambientais (PSA) (COUSINS, 2021). A América Latina tem sido uma das regiões de maior destaque na implementação destes programas (MONTROYA-ZUMAETA; WUNDER; TACCONI, 2021) e muitos impactos positivos importantes na restauração do meio ambiente já são observados, especialmente no Brasil (MAMEDES et al., 2023).

O PSA é visto como uma política econômica ambiental planejada para fornecer incentivos aos gestores de recursos naturais e promover a proteção de ecossistemas (GUO et al., 2021). Apenas em 2021 o Brasil instituiu sua política nacional para implementação de programas com previsão de PSA/PSE/PSE (Lei nº 14.119/2021), definindo conceitos, objetivos, diretrizes, ações e critérios de implementação. A Lei pode ser vista como um orientador para ações estaduais e municipais, uma vez que o gerenciamento de Serviços Ambientais (SA) se dá principalmente a nível local (BLOUIN et al., 2025). As ações no território brasileiro são promovidas, principalmente, por governos locais e organizações não governamentais (ONG), seguindo arranjos institucionais específicos em função das complexidades sociopolíticas, culturais e necessidades de cada região (YOUNG; CASTRO, 2021; EZZINE-DE-BLAS; CORBERA; LAPEYRE, 2019; SHENG; HAN, 2022). Dada sua complexidade e heterogeneidade em design e arranjo, os programas com previsão de PSA devem priorizar abordagens colaborativas que facilitem o planejamento, implementação, comunicação, negociação e monitoramento das ações (ADHIKARI; BOAG, 2013). Os arranjos institucionais propostos têm impacto no sucesso ou fracasso das iniciativas e sua elaboração de forma coletiva pode resultar em esquemas mais eficazes e eficientes (BAZZAN et al., 2023).

Diferentes organizações, incluindo governos, ONG, setor privado, grupos ambientais, população local e proprietários rurais estão promovendo ações para conservar o meio ambiente (ADHIKARI; BOAG, 2013; BENNETT et al., 2018; MERAJ et al., 2022). Dada a pluralidade de conhecimento e capacidades destes atores é importante entender os papéis, responsabilidade de cada um e estratégias de implementação para ações bem-sucedidas (BAZZAN et al., 2023; BENNETT et al., 2018; BLOUIN et al., 2025). Muitas divergências sobre o esquema perfeito para essas interações e iniciativas são percebidas (AZA; RICCIOLI; DI IACOVO, 2021; DEL ROSSI; HECHT; ZIA, 2021).

De forma mais ampla, a administração ambiental local é pautada em ações tomadas por um grupo de indivíduos, com diversas motivações e níveis de capacidade, com um olhar voltado para proteger, cuidar e ter responsabilidade ao usar o meio ambiente (Bennett et al., 2018). Esses três elementos – atores, motivações e capacidade – são indicados como elementos centrais para ações concretas de proteção ambiental e vão ser influenciados pelo contexto socioecológico e convergir para resultados positivos para o meio ambiente e a sociedade (Bennett et al., 2018). Por isso, objetivou-se identificar atores, motivações e capacidades necessárias para a estruturação de programas de PSA, visando fornecer subsídios para o desenvolvimento e viabilidade de políticas públicas.

## MATERIAL E MÉTODOS

A construção dos resultados apresentados neste capítulo se baseia em uma abordagem qualitativa, a partir da experiência prática e no conhecimento acumulado ao longo de quatro anos de atuação no Plano Conservador da Mata Atlântica (PCMA), especialmente nas Mesorregiões da Zona da Mata e do Campo das Vertentes, em Minas Gerais. A partir da inserção direta nas atividades do plano, foram conduzidos diversos workshops, reuniões técnicas, encontros presenciais e virtuais, que reuniram gestores públicos, representantes de organizações civis, membros da academia e especialistas do setor ambiental. Nestes encontros estiveram presentes representantes das prefeituras mineiras de Alto Rio Doce, Argirita, Barbacena, Barroso, Cajuri, Caranaíba, Carandaí, Carangola, Cataguases, Chalé, Congonhas, Guiricema, Ibertioga, Lajinha, Lima Duarte, Moeda, Ouro Preto, Pequeri, Ponte Nova, Raul Soares, Recreio, Reduto, Santos Dumont, Taparuba, Ubá e Viçosa; representantes da Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável de Minas Gerais, Instituto Estadual de Florestas, Ordem dos Advogados Seção Minas Gerais, Instituições de ensino (Universidade Federal de Viçosa; Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sudeste de Minas Gerais, campus Barbacena e Rio Pomba), Sindicato dos Trabalhadores nas Indústrias de Purificação e Distribuição de Água e em Serviços de Esgotos do Estado de Minas Gerais (SINDÁGUA MG). Também estiveram presentes representantes de organizações cívicas, Centro de Educação Ambiental do Povo do Vale do Rio Pomba (CEAVARP), ONG Preserve Muriqui, Instituto Socioambiental de Viçosa (ISAVIÇOSA), Associação Renovação Cidadã Organizada de Membros da Sociedade Civil (ARCOM-SC), Associação Agroecológica Écoletivo de Rio Pomba e Fundação Renova. Esses espaços colaborativos foram utilizados para identificar, de forma participativa, os desafios, oportunidades e capacidades institucionais e técnicas relacionadas à estruturação de políticas públicas locais de Pagamento por Serviços Ambientais (PSA).

As motivações para a implementação dos programas com previsão de PSA foram identificadas a partir da escuta ativa dos gestores públicos e demais atores envolvidos durante os encontros realizados, além da análise de documentos institucionais e técnicos produzidos ao longo da execução dos

trabalhos. As motivações foram categorizadas em três dimensões – ambiental, econômica e social, para apoiar a compreensão do contexto multidimensional que impulsiona os programas e demonstrar a importância do alinhamento entre os objetivos das iniciativas e os interesses das políticas públicas.

O levantamento das capacidades técnicas e institucionais necessárias à implementação dos programas também foi estruturado com base nas contribuições dos atores envolvidos. As capacidades foram agrupadas em dimensões temáticas, como: conhecimento ambiental, monitoramento e avaliação, gestão de dados, planejamento estratégico, coordenação intersetorial, governança participativa, aspectos jurídicos e administrativos, gestão financeira, economia do meio ambiente, engajamento comunitário, comunicação estratégica, alinhamento político e sustentabilidade de longo prazo. A sistematização dessas capacidades resultou em uma tabela ampliada, que descreve as competências essenciais para o fortalecimento e a institucionalização das iniciativas de PSA em nível local.

Além da participação ativa nos espaços de construção coletiva, a metodologia incluiu a realização de uma sessão colaborativa no formato de Design Sprint, com a participação de especialistas e organizações parceiras, como The Nature Conservancy Brasil, SOS Mata Atlântica, WRI Brasil, Iniciativa Verde e BR Carbon. O objetivo da sessão foi discutir modelos de governança e caminhos estratégicos para o fortalecimento das iniciativas subnacionais de PSA.

## RESULTADOS

A implementação de programas com previsão de PSA, especialmente em nível local, exige uma compreensão acerca dos arranjos processuais e institucionais, capazes de articular diversos atores, interesses e capacidades. A análise qualitativa das experiências relacionadas ao PCMA destaca como diferentes elementos, como o contexto institucional, governança, aspectos financeiros e mobilização de provedores e usuários, se inter-relacionam para viabilizar tais iniciativas. A escuta ativa dos atores participantes do PCMA evidenciou que a implementação destes programas pode ser realizada através do entendimento e aplicação dos eixos: atores, motivação e capacidade.

### ARRANJOS PROCESSUAIS E INSTITUCIONAIS

Os arranjos processuais e institucionais são complexos e envolvem a participação de diversas instituições públicas, privadas e cívicas. Cada uma dessas instituições desempenha papéis específicos que contribuem para o sucesso do programa (Figura 1). Também ficou evidenciado que a implementação de programas de PSA deve abordar aspectos institucionais, financeiros e administrativos (Figura 1) e pode ser estruturada em três campos principais.

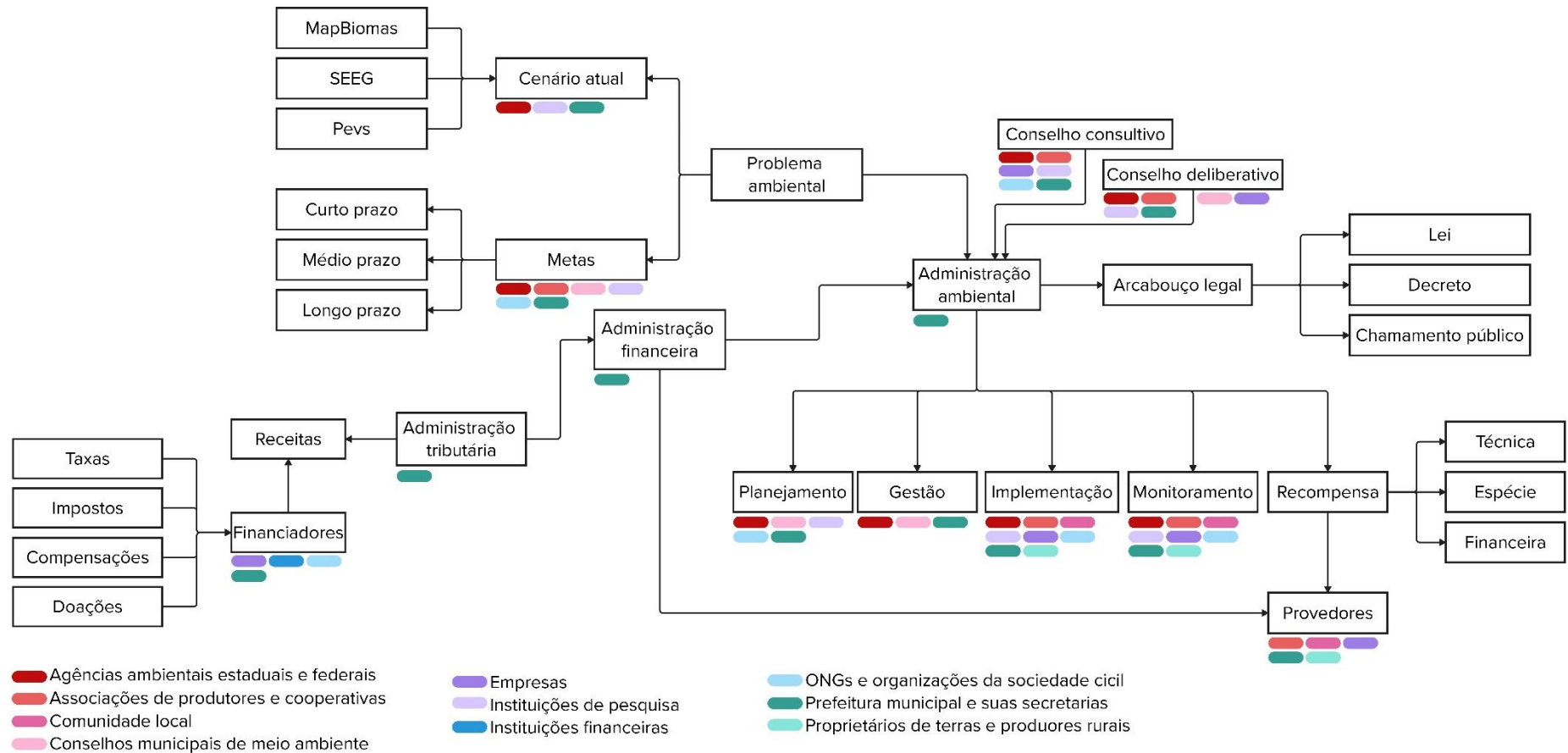
O primeiro trata do cenário atual e das metas, com a avaliação da situação ambiental podendo ser realizada a partir de base de dados como MapBiomass, SEEG e Pevs. O MapBiomass, uma iniciativa que utiliza tecnologia avançada, como imagens de satélite e inteligência artificial, realiza o mapeamento e monitoramento a cobertura e o uso do solo ao longo do tempo. Atualmente, através da plataforma pode-se, além das estimativas de área em cada uso e cobertura do solo, acompanhar a ocorrência e perda de áreas florestais em função da ocorrência de incêndios. O SEEG (Sistema de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa) é uma plataforma que visa monitorar e divulgar as estimativas das emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) do Brasil e dos municípios. A ferramenta é fundamental para entender como diferentes setores da economia local contribuem para as emissões de GEE e como essas emissões variam ao longo do tempo. Através da ferramenta, o município pode categorizar as emissões locais e acompanhar as estratégias de redução e compensação adotadas. O PEVS, painel do IBGE com dados sobre Produção

da Extração Vegetal e da Silvicultura, pode ser utilizado para avaliar a produção agrícola e extração vegetal no município. Conhecer o perfil produtivo agrícola local pode possibilitar aprimorar o programa de PSA, promovendo boas práticas agrícolas e valorização dos produtores. As plataformas indicadas são de uso gratuito e atualizadas periodicamente, possibilitando que as análises sejam incorporadas no monitoramento do programa proposto. O entendimento da situação atual do município permite o estabelecimento de metas de curto, médio e longo prazo, considerando o envolvimento e atuação de diversos atores.

O segundo campo aborda a estrutura institucional e a governança, onde o problema ambiental é tratado por meio da administração ambiental, que envolve planejamento, gestão, implementação, monitoramento e recompensa. A governança pode ser organizada em conselhos consultivos e deliberativos, compostos por diversos setores, como agências ambientais, associações de produtores, comunidade local, empresas, ONG, instituições de pesquisa e o poder público (Figura 1). Além disso, o arcabouço legal necessário para a implementação do PSA governamentais inclui leis, decretos e chamamentos públicos.

O terceiro campo está relacionado aos aspectos financeiros e aos provedores de serviços ambientais, onde a administração financeira e tributária regula as fontes de receita, que incluem taxas, impostos, compensações e doações e pode incluir também o pagamento direto pelos beneficiários dos SA prestados. Os financiadores são compostos por instituições financeiras, empresas e ONG, enquanto os provedores de serviços ambientais – produtores rurais e comunidades locais – recebem recompensas que podem ser técnicas, em espécie ou financeiras.

Figura 1. Arranjo processual e atores envolvidos na estruturação de programas com previsão de pagamento por serviços ambientais



Fonte: Silva (2025).

## MOTIVAÇÕES PARA IMPLEMENTAÇÃO DOS PROGRAMAS

As motivações para as iniciativas podem ser ambientais, econômicas e sociais (Tabela 1). A compreensão destas motivações é fundamental para que a gestão do programa consiga estruturar políticas eficazes, obter apoios de outros atores e garantir sua sustentabilidade a longo prazo. A relevância das iniciativas será reconhecida ao se alinhar o PSA com os objetivos governamentais, por isso, é essencial compreender o cenário atual do município e as mudanças almejadas. As motivações ambientais dizem respeito à proteção e restauração dos ecossistemas, conservação da biodiversidade, mitigação das mudanças climáticas e segurança hídrica. Já as motivações econômicas se concentram na valoração dos serviços ecossistêmicos, na diversificação de renda para produtores rurais, na atração de investimentos e na redução de custos ambientais associados à degradação ambiental. Por fim, as motivações sociais estão relacionadas à inclusão social, à educação ambiental, ao fortalecimento comunitário e ao estímulo ao desenvolvimento sustentável em escala local. O reconhecimento dessas diferentes dimensões permite compreender que os programas de PSA não se justificam apenas por critérios ecológicos, mas também por sua capacidade de articular benefícios econômicos e sociais de maneira integrada. Essa compreensão é essencial para que os gestores consigam dialogar com diferentes setores e obter o apoio necessário à consolidação e continuidade das iniciativas.

Tabela 1. Motivações ambientais, econômicas e sociais em programas com previsão de pagamento por serviços ambientais

<b>Motivações Ambientais</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Preservação dos ecossistemas</li> <li>- Conservação da biodiversidade</li> <li>- Restauração ambiental</li> <li>- Mitigação das mudanças climáticas</li> <li>- Proteção de recursos hídricos</li> </ul>
<b>Motivações econômicas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Valoração de serviços ambientais</li> <li>- Diversificação de renda aos produtores rurais e comunidades locais;</li> <li>- Atração de investimentos</li> <li>- Redução de custos ambientais, como desastres naturais e escassez de recursos;</li> </ul>

	- Estímulo ao mercado de carbono
	- Inclusão social
	- Desenvolvimento sustentável
<b>Motivações sociais</b>	- Redução da desigualdade
	-Educação ambiental
	- Fortalecimento comunitário

Fonte: Silva (2025).

### **CAPACIDADES DOS IMPLEMENTADORES DOS PROGRAMAS**

O desenvolvimento e aprimoramento de diversas capacidades técnicas favorece o sucesso das iniciativas (Tabela 2), fortalecendo a estruturação, implementação e monitoramento das ações. Essas capacidades são essenciais para que os municípios conduzam seus programas de forma eficiente, garantindo não apenas a conservação ambiental, mas também o engajamento social e a viabilidade financeira. As capacidades identificadas foram organizadas em sete dimensões temáticas interdependentes: técnicas, institucionais, jurídicas e administrativas, financeiras, sociais e comunicativas, políticas e de sustentabilidade de longo prazo. Cada dimensão contempla um conjunto de habilidades, conhecimentos e competências considerados estratégicos para que os municípios consigam estruturar, operar e monitorar seus programas de PSA de forma eficiente e com legitimidade social. Por exemplo, a dimensão técnica inclui desde a capacidade de realizar diagnósticos ambientais e definir critérios técnicos de priorização, até o uso de tecnologias para monitoramento e avaliação dos impactos. Já a dimensão institucional engloba competências como planejamento estratégico e coordenação intersetorial, enquanto a dimensão jurídica envolve o domínio da legislação pertinente e a elaboração de instrumentos legais como contratos e decretos municipais. A identificação dessas capacidades teve como base tanto as práticas observadas em campo quanto os desafios relatados pelos atores locais, permitindo a construção de uma estrutura analítica para subsidiar a elaboração de políticas públicas e o fortalecimento da governança ambiental municipal.

Tabela 2. Capacidades técnicas necessárias para viabilizar programas com previsão de pagamento por serviços ambientais

<b>Capacidades técnicas</b>	
<b>Conhecimento ambiental</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Capacidade de identificar os serviços ecossistêmicos prioritários;</li> <li>- Diagnóstico ambiental local para mapear áreas críticas, como nascentes, florestas em risco e regiões degradadas;</li> <li>- Definição de critérios técnicos para selecionar provedores e mecanismos de pagamento.</li> </ul>
<b>Monitoramento e avaliação</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Uso de tecnologias como drones, sensoriamento remoto e sistemas de geoinformação para monitorar as ações;</li> <li>- Habilidade de mensurar e reportar resultados ambientais, como carbono estocado, nascentes e áreas restauradas e conservadas.</li> </ul>
<b>Gestão de dados</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Utilização de bases de dados para rastrear as ações e resultados ambientais;</li> <li>- Capacidade de coletar, analisar e interpretar dados ambientais e socioeconômicos.</li> </ul>
<b>Capacidades institucionais</b>	
<b>Planejamento estratégico</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Criação de um plano para estruturar o PSA, desde o diagnóstico inicial até a avaliação de impactos;</li> <li>- Definição de objetivos específicos e alinhamento com políticas públicas locais, regionais e nacionais.</li> </ul>
<b>Coordenação e articulação</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Habilidade de trabalhar em conjunto com diferentes setores da administração pública, por exemplo meio ambiente, finanças, agricultura;</li> <li>- Capacidade de coordenar ações entre provedores, beneficiários, financiadores e facilitadores do programa.</li> </ul>
<b>Governança participativa</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Formação de conselhos consultivos e deliberativos com representantes da sociedade civil, setor privado e universidade;</li> </ul>

- Garantir transparência e participação social nas decisões do programa.

---

### **Capacidades jurídicas e administrativas**

---

- |                                      |  |
|--------------------------------------|--|
| <b>Legislação ambiental e de PSA</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Conhecimento sobre leis locais, estaduais e nacionais relacionadas às questões ambientais e de PSA;</li> <li>- Capacidade de criar marcos legais no município que formalizem o PSA, como decretos e regulamentações.</li> </ul> |
|--------------------------------------|--|
- 

- |                            |  |
|----------------------------|--|
| <b>Gestão de contratos</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Elaboração de contratos claros e juridicamente válidos entre financiadores, provedores e a administração pública;</li> <li>- Garantia de segurança jurídica para todas as partes envolvidas.</li> </ul> |
|----------------------------|--|
- 

### **Capacidades financeiras**

---

- |                                |   |
|--------------------------------|---|
| <b>Mobilização de recursos</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Capacidade de captar recursos financeiros de diferentes fontes, como empresas privadas, fundos internacionais, governos estaduais e federais;</li> <li>- Habilidade de negociar parceiras público-privadas para financiar o programa.</li> </ul> |
|--------------------------------|---|
- 

- |                          |   |
|--------------------------|---|
| <b>Gestão financeira</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Administração eficiente de fundos do PSA, garantindo que os recursos sejam destinados de forma transparente e eficiente;</li> <li>- Criação de mecanismos de remuneração, como subsídios, créditos ou pagamentos diretos.</li> </ul> |
|--------------------------|---|
- 

- |                                  |   |
|----------------------------------|---|
| <b>Economia de meio ambiente</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Capacidade de estabelecer o valor econômico dos serviços ecossistêmicos para subsidiar o pagamento;</li> <li>- Conhecimento sobre instrumentos econômicos, como mercado de carbono, incentivos fiscais e compensações ambientais.</li> </ul> |
|----------------------------------|---|
- 

### **Capacidades sociais e comunicativas**

---

- |                                |  |
|--------------------------------|--|
| <b>Engajamento comunitário</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Sensibilidade para lidar com comunidades rurais, povos indígenas e pequenos produtores, respeitando suas culturas e tradições;</li> </ul> |
|--------------------------------|--|
-

	- Habilidade de envolver as comunidades desde o planejamento até a implementação do programa.
<b>Educação ambiental</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Promover a sensibilização dos provedores e da sociedade sobre a importância da proteção do meio ambiente e dos serviços ambientais;</li> <li>- Realizar capacitações para agricultores e comunidades locais.</li> </ul>
<b>Comunicação estratégica</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Capacidade de divulgar os objetivos e resultados do PSA de forma clara e acessível;</li> <li>- Fortalecimento da reputação do programa junto a financiadores, provedores e público em geral.</li> </ul>
<b>Capacidades políticas</b>	
<b>Alinhamento com políticas públicas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Integração do PSA com planos de desenvolvimento sustentável, políticas climáticas e programas de conservação;</li> <li>- Influência para priorizar o PSA na agenda política local.</li> </ul>
<b>Advocacy</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Habilidade de convencer líderes locais como vereadores, sobre a importância de investir em PSA;</li> <li>- Capacidade de dialogar com diferentes setores para consolidar o programa.</li> </ul>
<b>Capacidades para sustentabilidade de longo prazo</b>	
<b>Gestão adaptativa</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Capacidade de ajustar o programa com base em lições aprendidas e mudanças nas condições ambientais e econômicas;</li> <li>- Flexibilidade para adotar inovações tecnológicas e estratégias mais eficientes.</li> </ul>
<b>Planejamento de longo prazo</b>	- Desenvolvimento de estratégias para garantir a continuidade do programa, mesmo com mudanças de gestão ou crises financeiras.

Fonte: Silva (2025).

## DISCUSSÃO

De acordo com os resultados encontrados verificou-se que diversos aspectos precisam ser definidos durante a fase de planejamento de programas com previsão de pagamento por serviços ambientais, buscando a eficácia das iniciativas. A governança dos programas busca operacionalizar ações administrativas ambientais envolvendo redes multissetoriais, incluindo agências públicas e governamentais, organizações da sociedade civil, órgãos de financiamento, ONGs e comunidades locais (BENNETT et al., 2018). Porém, este é um processo desafiador, principalmente em função do grande número de partes interessadas (DO et al., 2021). O município de Viçosa, Minas Gerais, por exemplo, criou a Comissão Técnica Multidisciplinar para deliberar sobre o programa Águas de Viçosa. A Comissão é composta por representantes do Serviço Autônomo de Água e Esgoto (SAAE), Conselho Municipal de Defesa e Conservação do Meio Ambiente (CODEMA), Conselho Municipal de Saneamento Básico (CMSB), Conselho Municipal de Desenvolvimento Rural Sustentável (CMDRS), Secretaria Municipal de Agropecuária e Desenvolvimento Rural, Instituto Municipal de Planejamento e Meio Ambiente (IPLAN), a Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural (EMATER), Universidade Federal de Viçosa, Polícia Militar do Meio Ambiente de Minas Gerais (Lei nº 2.875/2020). O município de Ubá, MG, também instituiu uma Unidade de Gestão de Projeto para atuar como Conselho Gestor Deliberativo. A prefeitura municipal, a EMATER, a Universidade do Estado de Minas Gerais (UEMG), o Centro Comunitário de Miragaia, o Instituto Estadual de Florestas (IEF) e a Federação de Moradores das Associações Comunitárias dos Bairros, Distritos e Zona Rural de Ubá (FEMAC) são membros titulares (Portaria nº 14.843/2019). Os modelos participativos melhoram a qualidade e viabilidade das iniciativas (DO et al., 2021) e o sucesso está atrelado à adoção e implementação por parte dos participantes (DEL ROSSI; HECHT; ZIA, 2021). Neste contexto, os arranjos institucionais orientam e estruturam o comportamento dos atores (BAZZAN et al., 2023). As comunidades e produtores rurais confiam mais nas iniciativas quando são envolvidos na estruturação e sua operacionalização. Em especial, quando suas necessidades, expectativas e preocupações são consideradas no arranjo institucional (AGANYIRA et al., 2020; BAZZAN et al., 2023). Além disso, o envolvimento melhora o fluxo de benefícios e informações, pode contribuir com a redução de custos de implementação e possíveis conflitos, aumentando a

probabilidade de sucesso das iniciativas (AGANYIRA et al., 2020; BREMER et al., 2023; DO et al., 2021). Este processo contribui para entender o contexto local, compreendendo o nível de administração já existente, o arranjo entre os atores, favorecendo que os esforços externos agreguem no modelo atual, ao invés de gerar novos conflitos (BENNETT et al., 2018; BREMER et al., 2023).

Outra questão que também foi identificada é que a compreensão do contexto local também deve envolver o entendimento de aspectos ambientais, sociais e econômicos, o que pode ser subsidiado por diversas plataformas gratuitas nacionais. Quanto mais ampla a compreensão sobre contexto local, mais subsídios técnicos e operacionais os gestores terão para garantir a eficácia e participação na iniciativa (ADHIKARI; BOAG, 2013). Este conhecimento possibilita uma compreensão mais ampla que favoreça o estabelecimento das ações de melhorias na provisão dos SA, a relação causal entre eles e, até mesmo, os valores que deveriam ser cobrados pelos serviços (MURADIAN et al., 2010; TAN et al., 2022).

Em relação à questão financeira, foram identificados diversos arranjos que podem ser propostos para arrecadar recursos para os programas. A Resolução ARSAE-MG 110/2018 é bastante utilizada por diversos municípios com este fim. A Resolução estabelece um mecanismo de reconhecimento tarifário de repasse de parte da receita direta dos prestadores de serviços regulados pela ARSAE a fundos municipais de saneamento. O percentual máximo de 4% da receita líquida dos serviços tarifados de abastecimento de água e esgotamento sanitário auferida pelo prestador de serviço municipal pode ser repassado aos fundos. O ICMS Ecológico também pode ser utilizado como suporte ao financiamento dos programas. O mecanismo permite que parte do ICMS recolhido pelo estado seja repassado aos municípios, com base em critérios ambientais, como preservação de áreas protegidas, gestão de recursos hídricos e conservação da biodiversidade. Dessa forma, o município recebe mais recursos do ICMS Ecológico ao manter ou ampliar áreas de proteção e reservas legais. Atrelado ao licenciamento ambiental e as autorizações de intervenções ambientais, as compensações propostas também podem ser incluídas nos programas de PSA. Assim, as compensações podem ser convertidas em valores monetários e estes serem revertidos para o custeio do programa ou um banco de áreas para restauração e conservação, por exemplo, pode ser criado e ser indicado para que os interventores executem suas compensações. Incluir o enfrentamento das mudanças climáticas nos programas de PSA traz a oportunidade de auferir novos

recursos municipais. A partir do inventário de emissões de gases de efeito estufa municipal, cotas do IPTU e do IPVA podem ser revertidas para a compensação das emissões de residências e da combustão móvel veicular. Outros impostos também podem ser envolvidos, como ISS e ITBI. O envolvimento da gestão pública municipal com a compensação das emissões de GEE pode promover um engajamento voluntário da iniciativa privada. Após o engajamento voluntário da maior parte das instituições privadas municipais, o município pode trazer a iniciativa como obrigatória. Isso pode ser feito através do licenciamento ambiental, tomando como base que as emissões de gases de efeito estufa são causadores das mudanças climáticas, sendo assim, um impacto ambiental atrelado às atividades poluidoras e incluídas como condicionantes no licenciamento ambiental.

Em relação à questão da compensação aos provedores de serviços ambientais identificou-se ser importante o oferecimento de contrapartida, financeira ou não, aos provedores de serviços ambientais. As contrapartidas ajudam a garantir que os provedores de serviços ambientais consigam implementar as práticas necessárias para a preservação e recuperação ambiental de maneira eficaz, além de promover a adesão ao programa. As recompensas podem ser em dinheiro ou em espécie, como treinamentos, apoio técnico, equipamentos e insumos agrícolas (ADHIKARI; BOAG, 2013; MONTOYA-ZUMAETA; WUNDER; TACCONI, 2021; EZZINE-DE-BLAS; CORBERA; LAPEYRE, 2019). O oferecimento de apoio técnico busca fornecer capacitação e acompanhamento para a adoção de técnicas de conservação e manejo sustentável da terra, tanto para aspectos produtivos quanto conservacionistas e de restauração de ecossistemas. As atividades promovidas podem ser, por exemplo, planejamento de atividades para controle de erosão, implementação de modelos de produção, como sistemas agroflorestais, e práticas de conservação de solo e água, como terraços e barraginhas, além de projetos de recomposição da vegetação nativa. O fomento de insumos e mão de obra busca apoiar os beneficiários fornecendo insumos necessários para a implementação de ações propostas, como mudas, adubos, cercas, ferramentas e disponibilizar mão de obra qualificada para a execução das atividades, como preparo da área e plantio de mudas. Também pode ser oferecido apoio logístico, auxiliando no transporte de insumos para as áreas de intervenção, facilitando a execução das atividades.

O apoio financeiro identificado no estudo envolve pagamentos diretos por serviços ambientais e subsídios e incentivos para práticas sustentáveis. Dessa forma

são oferecidas compensações financeiras regulares aos beneficiários que atingem as metas definidas no programa ou incentivos financeiros, como redução de impostos municipais. O modelo mais comum são as compensações financeiras, porém em Montes Claros, através da Lei de Incentivo ao Meio Ambiente (Lei nº 3.545/2006) foi criado o Ecocrédito. Segundo a política, para cada hectare preservado, o produtor rural receberá R\$ 166,15 por hectare e por ano (em 2024), em isenção de tributos municipais, tais como IPTU, ITBI, ISS, taxas, pagamentos de lances em leilões municipais ou por serviços que poderão ser prestados pela Prefeitura na propriedade. O Ecocrédito também pode ser utilizado como moeda nas compras em loja de adubo ou defensivos, por exemplo, e o comerciante pode usá-lo no recolhimento de impostos na prefeitura. O pagamento em dinheiro pode ser com base nos resultados ou em ações. No formato de pagamento baseado em resultados, os agricultores são recompensados com base no aumento da provisão dos SA obtidos com as ações realizadas (RAINA; ZAVALLONI; VIAGGI, 2024). No formato baseado em ações, uma compensação fixa é oferecida em função da implementação ou adoção de ações específicas e não está atrelada ao monitoramento e aumento na provisão dos SA (RAINA; ZAVALLONI; VIAGGI, 2024). A transferência de recursos financeiros pode adotar um modelo híbrido, onde o proprietário rural recebe um pagamento adiantado para implementar as ações propostas e uma compensação adicional com base no aumento na provisão dos SA (RAINA; ZAVALLONI; VIAGGI, 2024).

Questões ambientais, econômicas e sociais, conforme identificado no estudo, devem ser motivadoras das iniciativas de PSA. Os objetivos ambientais são os impulsionadores primários para o engajamento e implementação de programas de PSA (BENNETT et al., 2018). Esses objetivos evoluíram ao longo do tempo, incluindo questões relacionadas ao bem-estar e redução da pobreza, especialmente porque os provedores de SA em países em desenvolvimento são pobres e dependem do meio ambiente para o seu sustento (OLA et al., 2019). Os objetivos sociais também precisam ser consideradas durante o processo, por exemplo nos papéis que os diferentes atores exercem e em como as decisões são tomadas (BENNETT et al., 2018). Atrelar diversos objetivos aos programas garante maior resiliência às mudanças climáticas e sociais (AZA; RICCIOLI; DI IACOVO, 2021).

Os objetivos almejados com os programas, conforme identificado no estudo, terão maiores chances de serem alcançados se as capacidades relacionadas às questões ambientais, sociais e econômicas forem trabalhadas pelos atores. Essas

capacidades estão relacionadas ao reconhecimento das habilidades humanas para dar suporte ao design e implementação mais eficaz das iniciativas (AKERS; YASUÉ, 2019; DO et al., 2021; EZZINE-DE-BLAS; CORBERA; LAPEYRE, 2019). Reconhecer as capacidades de cada ator e os envolver é uma forma de promover a sustentabilidade e as respostas das comunidades locais a fatores externos, através da sua própria experiência e conhecimento (BENNETT et al., 2018). Os programas podem incorporar estratégias para que os atores adquiram novas capacidades, o que pode indiretamente encorajar e habilitar novas ações diretas para conservar, restaurar e utilizar o ambiente de forma sustentável (BENNETT et al., 2018).

As condições locais são componentes críticos para aplicação de programas com previsão de PSA, conforme identificado. Designs provenientes do conhecimento adquirido de outras iniciativas podem orientar a implementação e melhorias de outros programas (AGANYIRA et al., 2020; MONTOYA-ZUMAETA; WUNDER; TACCONI, 2021; SHENG; HAN, 2022). Quando bem planejado e participativo, estes programas tem um grande potencial transformador, especialmente ao incorporar a diversidade de valores locais nos processos de planejamento e tomada de decisão (BREMER et al., 2023).

A definição das motivações para implementação de programas com PSA é o ponto de partida essencial para orientar decisões estratégicas e fortalecer sua legitimidade junto aos diversos atores e a própria sociedade. O respeito à natureza sempre foi a motivação central, superando outras razões (Pagiola et al., 2005; García-Amado et al., 2013). De maneira geral, ainda há uma compreensão limitada de como outras motivações operam e como interagem entre si (Engel et al., 2008; John et al., 2014), porém, a união de aspectos sociais, culturais e econômicos fornecem uma visão mais ampla para os tomadores de decisão (Guerra, 2016). Quando motivações sociais são envolvidas, incentivando que as comunidades se organizem e formem suas próprias instituições de governança, por exemplo, as iniciativas apresentam maior eficácia a longo prazo quando comparadas a processos que não envolvem o fortalecimento institucional (Clements et al., 2010). Uma abordagem integrada é uma ferramenta essencial para conciliar o desenvolvimento econômico com a proteção ambiental e social (Guerra, 2016), aumentando os benefícios dos programas com PSA e oferecendo soluções para uma gama maior de problemas (Aza, et al., 2021). O entendimento mais amplo das motivações e objetivos dos programas de PSA não serão uma solução mágica para as questões sociais e econômicas, mas pode haver

sinergias importantes quando o arranjo da iniciativa é bem planejado e levando em conta as condições locais (Pagiola et al., 2005).

A eficácia, legitimidade e sustentabilidade das iniciativas de PSA exige o fortalecimento de diversas capacidades técnicas e institucionais. Compreender, desenvolver e aprimorar essas capacidades multidisciplinares é crucial para que os municípios estruturem, operem e monitorem seus programas. A integração multidisciplinar dessas competências contribui para a consolidação de políticas públicas, trazendo benefícios ambientais, sociais e econômicos. A compreensão do contexto em que se insere o programa com PSA, considera, por exemplo, questões ambientais, econômicas, sociais, culturais e políticas, tem um impacto positivo na probabilidade de resultados positivos (Bremer et al., 2014; Bennett; Gosnell, 2015; Hayes et al., 2015; Rodríguez-Robayo; Merino Perez, 2017). A compreensão necessária para programas mais bem-sucedidos é atingida quando o contexto é analisado de forma colaborativa (Corbera et al., 2009; Dietrich et al., 2010; Aapaoja et al., 2013; Denicol et al., 2020). As interações multidisciplinares e interdisciplinares, na qual diversas partes interessadas se dedicam a articular, explorar e abordar questão complexas, se justificam em programas de PSA dada a complexidade com que a sociedade humana se desenvolve e em como os sistemas sociais são integrados (Corbera et al., 2009; Urton; Murray, 2021). O que se busca é a colaboração entre esses atores desde um estágio inicial do programa para criar um entendimento comum das expectativas do projeto, das possibilidades, desafios e a definição de sucesso, o que também pode permitir a abertura a inovação e a flexibilidade de respostas a dificuldades e mudanças imprevistas ao longo do programa (Fidel et al., 2015; Urton; Murray, 2021).

## CONCLUSÃO

Os programas com previsão de pagamento por serviços ambientais podem ser ferramentas eficazes para promover a conservação ambiental, o desenvolvimento sustentável e a justiça social. No entanto, seu sucesso depende de atendimento a diretrizes.

No trabalho foi possível elencar as diretrizes principais do programa. Uma delas é que o programa tenha abordagem integrada, que valorize a governança participativa, alinhe as motivações aos objetivos locais e desenvolva as capacidades necessárias para sua implementação. Outra diretriz é que seja uma gestão participativa. Vários de atores, incluindo instituições públicas, privadas, cívicas e as comunidades locais, precisam ser envolvidos na estruturação de arranjos processuais de acordo com suas capacidades. A participação ativa de conselhos consultivos e deliberativos, como os Conselhos Municipais de Meio Ambiente, pode potencializar a transparência e a representatividade das decisões. Dado o caráter governamental das iniciativas, a prefeitura municipal e suas secretarias assumem papéis centrais na coordenação e gestão dos programas, garantindo que as iniciativas estejam alinhadas com os objetivos locais de conservação e desenvolvimento sustentável. Por fim, uma diretriz fundamental é que tenha um planejamento estratégico, recursos financeiros diversificados, conhecimento técnico para monitoramento ambiental e engajamento comunitário.

Ao consolidar essas diretrizes, os programas podem ser mais resilientes às mudanças contextuais e capazes de gerar benefícios duradouros para o meio ambiente e a sociedade.

## REFERÊNCIAS

- AAPAOJA, A. et al. The characteristics of and cornerstones for creating integrated teams. **International journal of managing projects in business**, v. 6, n. 4, p. 695-713, set. 2013.
- ADHIKARI, B.; BOAG, G. Designing payments for ecosystem services schemes: some considerations. **Current Opinion in Environmental Sustainability**, v. 5, n. 1, p. 72–77, mar. 2013.
- AGANYIRA, K. et al. Determinants of participation in state and private PES projects in Uganda. **Scientific African**, v. 8, p. e00370, jul. 2020.
- AKERS, J.; YASUÉ, M. Motivational Crowding in Payments for Ecosystem Service Schemes: a Global Systematic Review. **Conservation and Society**, v. 17, n. 4, p. 377, 2019.
- AZA, A.; RICCIOLI, F.; DI IACOVO, F. Optimising payment for environmental services schemes by integrating strategies: The case of the Atlantic Forest, Brazil. **Forest Policy and Economics**, v. 125, p. 102410, abr. 2021.
- BAZZAN, G. et al. Identifying institutional configurations for policy outcomes: A comparison of ecosystem services delivery. **Policy Studies Journal**, v. 51, n. 3, p. 501–527, ago. 2023.
- BENNETT, D. E.; GOSNELL, H. Integrating multiple perspectives on payments for ecosystem services through a social–ecological systems framework. **Ecological Economics**, v. 116, p. 172-181, ago. 2015.
- BENNETT, N. J. et al. Environmental Stewardship: A Conceptual Review and Analytical Framework. **Environmental Management**, v. 61, n. 4, p. 597–614, abr. 2018.
- BLOUIN, D. et al. Ecosystem services concept: Challenges to its integration in government organizations. **Ecosystem Services**, v. 71, p. 101691, fev. 2025.
- BREMER, L.L.; FARLEY, K. A.; LOPEZ-CARR, David. What factors influence participation in payment for ecosystem services programs? An evaluation of Ecuador's SocioPáramo program. **Land use policy**, v. 36, p. 122-133, ago. 2014.
- BREMER, L. L. et al. Embedding local values in Payments for Ecosystem Services for transformative change. **Current Opinion in Environmental Sustainability**, v. 64, p. 101354, out. 2023.
- CLEMENTS, T. et al. Payments for biodiversity conservation in the context of weak institutions: Comparison of three programs from Cambodia. **Ecological economics**, v. 69, n. 6, p. 1283-1291, abr. 2010.
- COUSINS, J. J. Justice in nature-based solutions: Research and pathways. **Ecological Economics**, v. 180, p. 106874, fev. 2021.

CORBERA, E.; SOBERANIS, C. G.; BROWN, K. Institutional dimensions of Payments for Ecosystem Services: An analysis of Mexico's carbon forestry programme. **Ecological economics**, v. 68, n. 3, p. 743-761, jan. 2009.

DE MENDONÇA, G. C. et al. Spatial indicator of priority areas for the implementation of agroforestry systems: An optimization strategy for agricultural landscapes restoration. **Science of The Total Environment**, v. 839, p. 156185, set. 2022.

DEL ROSSI, G.; HECHT, J. S.; ZIA, A. A mixed-methods analysis for improving farmer participation in agri-environmental payments for ecosystem services in Vermont, USA. **Ecosystem Services**, v. 47, p. 101223, fev. 2021.

DENICOL, J.; DAVIES, A.; KRYSTALLIS, I. What are the causes and cures of poor megaproject performance? A systematic literature review and research agenda. **Project management journal**, v. 51, n. 3, p. 328-345, fev. 2020.

DIETRICH, P. et al. The dynamics of collaboration in multipartner projects. **Project management journal**, v. 41, n. 4, p. 59-78, jul. 2010.

DO, T. H. et al. Governing Landscapes for Ecosystem Services: A Participatory Land-Use Scenario Development in the Northwest Montane Region of Vietnam. **Environmental Management**, v. 68, n. 5, p. 665–682, nov. 2021.

ENGEL, S.; PAGIOLA, S.; WUNDER, S. Designing payments for environmental services in theory and practice: An overview of the issues. **Ecological economics**, v. 65, n. 4, p. 663-674, mai. 2008.

EZZINE-DE-BLAS, D.; CORBERA, E.; LAPEYRE, R. Payments for Environmental Services and Motivation Crowding: Towards a Conceptual Framework. **Ecological Economics**, v. 156, p. 434–443, fev. 2019.

FIDEL, P.; SCHLESINGER, W.; CERVERA, A. Collaborating to innovate: Effects on customer knowledge management and performance. **Journal of business research**, v. 68, n. 7, p. 1426-1428, jul. 2015.

GARCÍA-AMADO, L. R.; PÉREZ, M. R.; GARCÍA, S. B. Motivation for conservation: assessing integrated conservation and development projects and payments for environmental services in La Sepultura Biosphere Reserve, Chiapas, Mexico. **Ecological Economics**, v. 89, p. 92-100, mai. 2013.

GUERRA, R. Assessing preconditions for implementing a payment for environmental services initiative in Cotriguaçu (Mato Grosso, Brazil). **Ecosystem Services**, v. 21, p. 31-38, out. 2016.

GUO, Y. et al. Mapping regional differences in payment for ecosystem service policies to inform integrated management: Case study of the Yangtze River Economic Belt. **Journal of Environmental Management**, v. 278, p. 111396, jan. 2021.

HAYES, T.; MURTINHO, F.; WOLFF, H. An institutional analysis of Payment for Environmental Services on collectively managed lands in Ecuador. **Ecological Economics**, v. 118, p. 81-89, out. 2015.

KERR, J. M.; VARDHAN, M.; JINDAL, R. Incentives, conditionality and collective action in payment for environmental services. **International Journal of the Commons**, v. 8, n. 2, ago. 2014.

MAMEDES, I. et al. Brazilian payment for environmental services programs emphasize water-related services. **International Soil and Water Conservation Research**, v. 11, n. 2, p. 276–289, jun. 2023.

MERAJ, G. et al. Modeling on comparison of ecosystem services concepts, tools, methods and their ecological-economic implications: a review. **Modeling Earth Systems and Environment**, v. 8, n. 1, p. 15–34, mar. 2022.

MONTOYA-ZUMAETA, J. G.; WUNDER, S.; TACCONI, L. Incentive-based conservation in Peru: Assessing the state of six ongoing PES and REDD+ initiatives. **Land Use Policy**, v. 108, p. 105514, set. 2021.

MURADIAN, R. et al. Reconciling theory and practice: An alternative conceptual framework for understanding payments for environmental services. **Ecological Economics**, v. 69, n. 6, p. 1202–1208, abr. 2010.

OLA, O. et al. Determinants of the environmental conservation and poverty alleviation objectives of Payments for Ecosystem Services (PES) programs. **Ecosystem Services**, v. 35, p. 52–66, fev. 2019.

PAGIOLA, S.; ARCENAS, A.; PLATAIS, G. Can payments for environmental services help reduce poverty? An exploration of the issues and the evidence to date from Latin America. **World development**, v. 33, n. 2, p. 237-253, fev. 2005.

RAINA, N.; ZAVALLONI, M.; VIAGGI, D. Incentive mechanisms of carbon farming contracts: A systematic mapping study. **Journal of Environmental Management**, v. 352, p. 120126, fev. 2024.

RODRÍGUEZ-ROBAYO, K. J.; MERINO-PEREZ, L. Contextualizing context in the analysis of payment for ecosystem services. **Ecosystem services**, v. 23, p. 259-267, fev. 2017.

SHENG, J.; HAN, X. Practicing policy mobility of payment for ecosystem services through assemblage and performativity: Lessons from China's Xin'an River Basin Eco-compensation Pilot. **Ecological Economics**, v. 191, p. 107234, jan. 2022.

TAN, Z. et al. An overview on implementation of environmental tax and related economic instruments in typical countries. **Journal of Cleaner Production**, v. 330, p. 129688, jan. 2022.

URTON, D.; MURRAY, D. Project manager's perspectives on enhancing collaboration in multidisciplinary environmental management projects. **Project leadership and society**, v. 2, p. 100008, dez. 2021.

YOUNG, C. E. F.; CASTRO, B. S. Financing mechanisms to bridge the resource gap to conserve biodiversity and ecosystem services in Brazil. **Ecosystem Services**, v. 50, p. 101321, ago. 2021.

## CAPÍTULO 3

### **ANÁLISE MULTICRITÉRIO PARA DEFINIÇÃO DE ÁREAS ESTRATÉGICAS PARA CONSERVAÇÃO E RESTAURAÇÃO FLORESTAL**

#### **RESUMO**

SILVA, Valéria de Fatima, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, março de 2025. **ANÁLISE MULTICRITÉRIO PARA DEFINIÇÃO DE ÁREAS ESTRATÉGICAS PARA CONSERVAÇÃO E RESTAURAÇÃO FLORESTAL.** Orientador: Laércio Antônio Gonçalves Jacovine. Coorientador: Carlos Moreira Miquelino Eleto Torres.

A degradação e fragmentação da Mata Atlântica comprometeu a biodiversidade e a provisão de serviços ecossistêmicos. A conservação e a restauração florestal são estratégias complementares essenciais para mitigar esses impactos, exigindo planejamento integrado e identificação de áreas prioritárias. Por isso, é necessário o desenvolvimento de metodologias para apoiar a priorização de áreas, garantindo alocação otimizada de recursos. Neste contexto, objetivou-se com o estudo desenvolver e testar uma metodologia baseada em análise multicritério, para definir áreas estratégicas de conservação e restauração na porção mineira do Plano Conservador da Mata Atlântica. Para isso, foram analisados fatores ambientais e espaciais que influenciam a manutenção da biodiversidade e a provisão de serviços ecossistêmicos. A Matriz Florestal foi o critério mais relevante para a priorização de áreas de conservação, enquanto o Passivo Ambiental foi o principal critério para restauração. As áreas prioritárias para conservação e restauração somaram aproximadamente 2,24 milhões de hectares cada, concentrando-se na Serra da Mantiqueira e região central de Minas Gerais. As classes de uso mais impactadas pela necessidade de restauração foram pastagens e mosaico de usos, enquanto as áreas prioritárias para conservação estavam predominantemente em formações florestais. A priorização das áreas foi fortemente influenciada pela matriz florestal, áreas de preservação permanente e proximidade de unidades de conservação, refletindo a complexa interação entre fatores bióticos e abióticos na provisão de serviços ecossistêmicos. Os resultados podem apoiar políticas públicas e programas de gestão territorial, como Pagamentos por Serviços Ambientais e iniciativas de restauração ecológica, fortalecendo a resiliência dos ecossistemas frente às mudanças climáticas.

**Palavras-chave:** *Analutical Hierarchy Process* (AHP); Mata Atlântica; Planejamento Integrado; Serviços Ecossistêmicos.

## CHAPTER 3

### **MULTI-CRITERIA ANALYSIS FOR DEFINING STRATEGIC AREAS FOR FOREST CONSERVATION AND RESTORATION**

#### **ABSTRACT**

SILVA, Valéria de Fatima, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, March, 2025. **MULTI-CRITERIA ANALYSIS FOR DEFINING STRATEGIC AREAS FOR FOREST CONSERVATION AND RESTORATION.** Adviser: Laércio Antônio Gonçalves Jacovine. Co-adviser: Carlos Moreira Miquelino Eleto Torres.

The degradation and fragmentation of the Atlantic Forest has compromised biodiversity and the provision of ecosystem services. Forest conservation and restoration are essential complementary strategies to mitigate these impacts, requiring integrated planning and identification of priority areas. Therefore, it is necessary to develop methodologies to support the prioritization of areas, ensuring optimized allocation of resources. In this context, the objective of this study was to develop and test a methodology based on multicriteria analysis to define strategic areas for conservation and restoration in the Minas Gerais portion of the Atlantic Forest Conservation Plan. To this end, environmental and spatial factors that influence the maintenance of biodiversity and the provision of ecosystem services were analyzed. The Forest Matrix was the most relevant criterion for prioritizing conservation areas, while Environmental Liabilities were the main criterion for restoration. The priority areas for conservation and restoration totaled approximately 2.24 million hectares each, concentrated in the Serra da Mantiqueira and central region of Minas Gerais. The land use classes most impacted by the need for restoration were pastures and land use mosaics, while the priority areas for conservation were predominantly in forest formations. The prioritization of areas was strongly influenced by the forest matrix, permanent preservation areas and proximity to conservation units, reflecting the complex interaction between biotic and abiotic factors in the provision of ecosystem services. The results can support public policies and territorial management programs, such as Payments for Environmental Services and ecological restoration initiatives, strengthening the resilience of ecosystems in the face of climate change.

**Keywords:** Analytical Hierarchy Process (AHP); Atlantic Forest; Integrated Planning; Ecosystem Services.

## INTRODUÇÃO

A degradação e fragmentação florestal aumentou mundialmente nas últimas décadas, em especial nos hotspots de biodiversidade tropicais, gerando impactos sem precedentes na biodiversidade, ciclos biogeoquímicos e climáticos e integridade dos ecossistemas (MORÁN-ORDÓÑEZ; HERMOSO; MARTÍNEZ-SALINAS, 2022; PAN et al., 2022b). A Mata Atlântica brasileira é uma dos hotspots mais ameaçados do mundo e está reduzida a apenas 12% da sua cobertura original, considerando fragmentos acima de três hectares (EVANGELISTA DE OLIVEIRA et al., 2021). Os impactos induzidos pelo homem através do desmatamento são generalizados em todo o bioma, especialmente para a riqueza de espécies e biomassa florestal (DE LIMA et al., 2020). Assim, a provisão de serviços ecossistêmicos está altamente ameaçada e mal distribuída dentro dos fragmentos restantes (VALENTE et al., 2021). Neste contexto de degradação, a conservação e a restauração florestal exercem papéis essenciais na mitigação desses impactos, a fim de promover o aumento da qualidade da floresta, a recuperação da biodiversidade e os processos e serviços ecológicos (DE MATOS et al., 2021; SCHIMETKA et al., 2024).

O sucesso de estratégias de reestruturação dos processos ecossistêmicos e a proteção da biodiversidade está atrelado à identificação e mapeamento de áreas estratégicas para conservação e restauração (TOURINHO et al., 2023), pois essas ações são interdependentes (GARDON; DOS SANTOS, 2024). As ações de conservação visam evitar perda de ecossistemas relativamente intactos ou menos degradados (MU et al., 2022) e, as de restauração, auxiliar o processo de recuperação de um ecossistema que foi degradado, danificado ou destruído (ROTHER; ROMANELLI; RODRIGUES, 2023). A integração das duas práticas pode minimizar os custos e maximizar os benefícios nos projetos de proteção dos ecossistemas, mas, para tal, um planejamento integrado deve ser realizado (MU et al., 2022).

Nas últimas décadas, a provisão de serviços ambientais (SA) tem sido utilizado para orientar a tomada de decisão no planejamento territorial, buscando as sinergias na implementação de projetos de conservação e restauração (MORÁN-ORDÓÑEZ; HERMOSO; MARTÍNEZ-SALINAS, 2022; MU et al., 2022). A gestão combinada de uso e ocupação do solo e a provisão de SA é uma tendência inevitável quando se busca o desenvolvimento sustentável (FAN et al., 2022). Diversos SA são providos simultaneamente por um ecossistema (CHEN et al., 2022) e é necessário considerá-

los de forma a maximizar seus benefícios, motivadores e utilidades (LYU et al., 2024). Para subsidiar essas ações foi necessário promover a compreensão de gestores e da população sobre o que são os SA, seus conceitos e métodos aplicados à formulação de políticas públicas (BAI et al., 2021; HE et al., 2021).

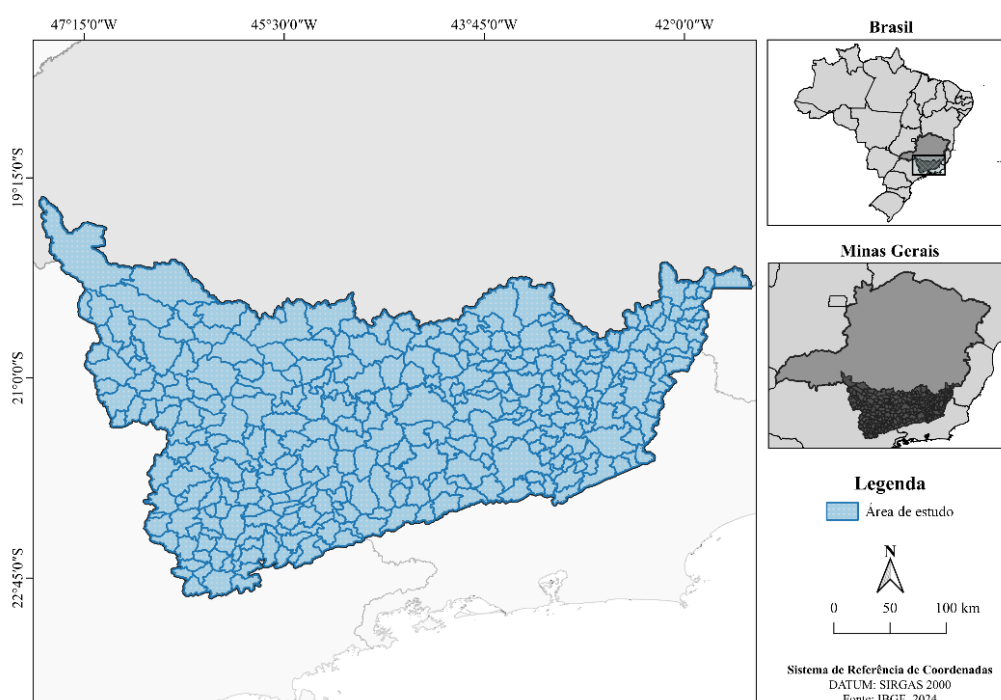
Como essas interações ocorrem a nível de paisagem, a priorização espacial de áreas para restauração e conservação ajuda a orientar novas iniciativas e políticas públicas a partir de dados sólidos (OSHIMA et al., 2021; SANTOS et al., 2022). Técnicas de abordagem multicritério são indicadas para dar suporte a esse planejamento territorial, especialmente por combinar diversos fatores espaciais em um único mapa (CECÍLIO et al., 2021). A partir dessa análise, áreas com alta oferta de SA e multifuncionalidades são identificadas, indicando aos tomadores de decisão, alternativas para otimizar a provisão destes (ALEMU I et al., 2021). Entretanto, sua utilização é reduzida e as áreas destinadas à conservação ou restauração florestal com vistas a provisão de serviços ecossistêmicos são selecionadas de maneira empírica e subjetiva. Portanto, é necessário o desenvolvimento de metodologias acessíveis para priorizar áreas, garantindo alocação otimizada de recursos escassos (GRITZ et al., 2024). Assim, o objetivo da pesquisa foi desenvolver uma metodologia baseada em análise multicritério para definir áreas prioritárias para conservação e restauração florestal na porção mineira do Plano Conservador da Mata Atlântica (PCMA).

## MATERIAL E MÉTODOS

### 1. ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo é a porção mineira de atuação do PCMA, expansão do Programa Conservador da Mantiqueira. 341 municípios mineiros estavam envolvidos na iniciativa em fevereiro de 2023 (Figura 1), envolvendo seis mesorregiões, Campo das Vertentes, Metropolitana de Belo Horizonte, Oeste de Minas, Sul/Sudoeste de Minas, Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba e Zona da Mata, em um total de, aproximadamente, 11,23 milhões de hectares. Aproximadamente, 70 municípios no território já possuem legislação própria com previsão de pagamento por serviços ambientais. A Mata Atlântica é a vegetação predominante no território, mas também é encontrado áreas com o bioma Cerrado e áreas de transição entre estes biomas.

Figura 1. Área de estudo para identificação de áreas prioritárias para conservação e restauração florestal



Fonte: Silva (2025).

## 2. VARIÁVEIS DE ENTRADA

A priorização de áreas para restauração e conservação foi realizada com base em uma abordagem multicritério, integrando variáveis ambientais e territoriais que influenciam a capacidade de recuperação e a importância ecológica das áreas estudadas. Serviços ecossistêmicos relacionados a clima, solo, água e biodiversidade foram priorizados no estudo. Para isso, foram analisados diferentes fatores, como uso e ocupação do solo, presença de Áreas de Preservação Permanente (APP), tipos de solo, declividade, rendimento anual de água, áreas de abastecimento, estoque de carbono, passivo ambiental e proximidade com unidades de conservação e fragmentos florestais.

### 2.1 USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

O detalhamento em relação ao uso e ocupação do solo na área de interesse foi obtida na Plataforma MapBiomass, Coleção 8. O peso atribuído a cada classe específica variou em função da priorização de áreas para conservação ou restauração, levando em conta a biodiversidade esperada, sendo: o valor 1 - atribuído a usos que possuem baixa biodiversidade; valor 3 - usos com média biodiversidade e valor 5 - usos e ocupação do solo com alta biodiversidade (Tabela 1).

Tabela 1. Pesos atribuídos a cada classe de uso e ocupação do solo para a priorização de áreas para conservação (Cons) e restauração (Rest)

Classe geral	Classe específica	Peso	
		Cons	Rest
Área não vegetada	Praia, Duna e Areal	0	0
	Área urbanizada	0	0
	Outras áreas não vegetadas	0	0
Corpo d'água	Mineração	0	0
	Rio, lago e oceano	0	0
Agropecuária	Pastagem	1	5
	Cana	1	5
	Mosaico de usos	1	5
	Soja	1	5
	Outras lavouras temporárias	1	5
	Silvicultura	3	3
	Café	3	3
	Citrus	3	3
	Outras lavouras perenes	3	3
Floresta	Formação florestal	5	0
	Formação savânica	5	0

Tabela 1. Continuação...		Continua...	
Formação natural não florestal	Campo alagado e área pantanosa	5	0
	Formação campestre	5	0
	Afloramento rochoso	5	0

Fonte: Silva (2025).

## 2.2 ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE

As Áreas de Preservação Permanente (APP) desempenham importantes papéis na preservação de recursos hídricos, estabilidade geológica e biodiversidade. A APP de topo de morro é determinada em função da elevação entre o cume e o ponto de sela mais próximo, para terrenos ondulados, ou a distância entre o cume e a base da planície regular ou curso d'água adjacente para terrenos planos. Com base no Modelo Digital de Elevação (MDE), no ArcMap 10.8.1, foi determinada a direção de fluxo utilizando a ferramenta *Flow Direction*. Em conjunto com a delimitação das bacias, realizada pela ferramenta *Basin*, foi possível identificar os pontos de sela. A declividade, em graus, as alturas máximas e mínimas, e a amplitude foram calculadas por meio da ferramenta *Basin*, permitindo, posteriormente, a obtenção do terço superior com o uso da ferramenta *Field Calculator*. As áreas com declividade média maior ou igual a 25° e amplitude superior ou igual a 100 m foram classificadas como APP – Topo de Morro (APP-TM). As APP – Hídricas (APP-H), ou seja, referentes a cursos d'água e nascentes, foram obtidas na plataforma Infraestrutura de Dados Espaciais de Minas Gerais (IDE Sisema). As áreas definidas como APP – TM ou APP – H receberam peso 5 e as demais, peso 0.

## 2.3 TIPO DE SOLO

Os tipos de solo presentes na área de estudo foi obtida na base de dados da classificação de solos do Brasil, disponibilizada pela EMBRAPA (2013). Cada tipo de solo foi classificado considerando os critérios de profundidade efetiva, drenagem interna, risco de inundação e fertilidade aparente. Os critérios receberam pontuações de 1 a 5, onde 1 representa menor limitação e 5 a maior limitação (MONTEIRO et al., 2018). O maior valor limitante destes critérios foi adotado, compondo a Classe Limitante (CL) e normalizado (N) por meio da razão entre CL e a área de ocupação (AO). pela área total do tipo de solo (Tabela 2).

Tabela 2. Profundidade efetiva (PE), drenagem interna (DI), risco de inundação (RI), fertilidade aparente (FA), classe limitante (CL), área de ocupação (AO), normalização (N) e classe final (CF) dos tipos de solo presentes na área de estudo

SOLO	ID	PE	DI	RI	FA	CL	AO	N	CF
Latossolo Vermelho	LVdf1	2	1	1	2	2	20486,17	0,0001	1
Nitossolo Vermelho	NVe9	2	2	2	1	2	1901,73	0,0011	2
Latossolo Vermelho-Amarelo	LVAd21	3	2	1	2	3	4727,29	0,0006	2
	LVAd4	3	2	1	2	3	3115,90	0,0010	2
Argissolo Vermelho-Amarelo	PVAe10	3	2	1	2	3	14664,24	0,0002	1
	PVAe4	3	2	1	2	3	1707,63	0,0018	4
Podzólico Vermelho-Amarelo	PVe12	3	2	1	2	3	1862,14	0,0016	3
	PVe4	3	2	1	2	3	2225,17	0,0013	3
Latossolo Vermelho-Amarelo	LVAd1	3	2	1	3	3	3449,73	0,0009	2
	LVAd18	3	2	1	3	3	3326,52	0,0009	2
	LVAd19	3	2	1	3	3	3352,62	0,0009	2
	LVAd22	3	2	1	3	3	4329,90	0,0007	2
	LVAd23	3	2	1	3	3	5057,77	0,0006	2
	LVAd26	3	2	1	3	3	2172,14	0,0014	3
	LVAd3	3	2	1	3	3	2534,59	0,0012	3
	LVAd30	3	2	1	3	3	3050,43	0,0010	2
	LVAd5	3	2	1	3	3	5840,09	0,0005	1
	LVAd7	3	2	1	3	3	31217,31	0,0001	1
Latossolo Vermelho	LVd10	3	2	1	3	3	2261,72	0,0013	3
	LVd20	3	2	1	3	3	8505,59	0,0004	1
	LVd34	3	2	1	3	3	12489,70	0,0002	1
	LVd9	3	2	1	3	3	10701,07	0,0003	1
Argissolo Vermelho-Amarelo	PVAd44	3	2	1	3	3	4989,85	0,0006	2
	PVAd9	3	2	1	3	3	15193,01	0,0002	1
Podzólico Vermelho-Amarelo	PVd1	3	2	1	3	3	2695,40	0,0011	3
Cambissolo Háplico	CXbd11	4	3	2	3	4	8569,48	0,0005	1
	CXbd14	4	3	2	3	4	2927,30	0,0014	3
	CXbd23	4	3	2	3	4	1812,57	0,0022	5
	CXbd3	4	3	2	3	4	17584,36	0,0002	1
	CXbd5	4	3	2	3	4	5055,28	0,0008	2
	CXbd9	4	3	2	3	4	4730,06	0,0008	2
	CXj	4	3	2	3	4	1696,52	0,0024	5
Neossolo Litólico	RLd25	5	3	2	4	5	1773,96	0,0028	5

Fonte: Silva (2025).

## 2.4 DECLIVIDADE

A declividade, em porcentagem, foi gerada a partir do MDE, obtido na plataforma *Google Earth Engine* utilizando o ArcMap 10.8.1, a partir da ferramenta *Slope*. Os valores de declividade foram convertidos em cinco classes, utilizando a amplitude dos dados, para receber os pesos específicos (Tabela 3).

Tabela 3. Limite inferior ( $L_{inf}$ ) e superior ( $L_{sup}$ ), em porcentagem, das classes de declividade

$L_{inf}$	$L_{sup}$	Classe
0	8	1
8	20	2
20	45	3
45	75	4
> 75	-	5

Fonte: Silva (2025).

## 2.5 RENDIMENTO ANUAL DE ÁGUA

A base de dados foi organizada em dois subgrupos: Clima e, Solo e Cobertura. O subgrupo Clima incluiu os arquivos de precipitação, evapotranspiração e parâmetro Z, enquanto o subgrupo Solo e Cobertura reuniu informações sobre profundidade da raiz, tabela biofísica, conteúdo de água disponível e bacias hidrográficas.

No subgrupo Clima, o arquivo de precipitação foi gerado a partir de dados históricos anuais do INMET, utilizando estações automáticas. Em ambiente R, aplicou-se um buffer de 50 km ao limite da área de estudo e as estações localizadas dentro da área expandida foram identificadas. Para o ano de referência, foi calculada a precipitação total por estação, bem como o número de eventos de chuva, com interpolação dos dados realizada pelo método *Inverse Distance Weighting* (IDW). O parâmetro Z, variando entre 1 e 30, foi calculado com base no número de eventos de chuva (N), através da equação  $Z=0,2*N$ , totalizando 29,9205 após normalização. Os dados de evapotranspiração foram obtidos do satélite MODIS (MOD16A2.061) por meio do *Google Earth Engine*, filtrados para a área e o período de interesse. Como os dados são fornecidos em intervalos de 8 dias, foram ajustados para a escala anual, multiplicando por 45,625 e pelo fator de escala de 0,1. Regiões sem dados foram preenchidas utilizando médias focais.

No subgrupo Solo e Cobertura, a profundidade da raiz foi extraída da base *ISRIC World Soil Information*. O Conteúdo de Água Disponível (AWC) foi derivado de

rasters de diferentes profundidades e processados no QGIS com a aplicação da equação  $AWC = \left[ \frac{1}{(b-a)} \right] * \frac{1}{2} * \sum_{k=1}^{N-1} \{ (x_{k+1} - x_k) * [f(x_k) + f(x_{k+1})] \}$ ,  $b$  é a maior profundidade;  $a$ , a menor profundidade;  $N$ , número de profundidade;  $x_k$ ,  $k$ -ésima profundidade e;  $f(x_k)$ , valor da variável alvo na profundidade referida. A tabela biofísica foi elaborada a partir do uso e ocupação do solo, incorporando colunas como *lucode*, representando as classes de uso do solo; *lulc\_veg*, um valor binário que distingue áreas vegetadas (1) de não vegetadas (0); *root\_depth*, profundidade máxima das raízes; e *kc*, coeficiente de evapotranspiração para diferentes tipos de vegetação. Esses valores foram atribuídos com base literatura (SCHENK; JACKSON, 2002).

O modelo *Water Yield* do *software InVEST* (3.14.2) foi empregado para estimar o balanço hídrico e o rendimento anual de água em sub-bacias. A estimativa do rendimento anual de água foi calculada através da equação  $Y(x) = \left( 1 - \frac{AET(x)}{P(x)} \right) * P(x)$ , em que  $Y(x)$  é o rendimento de água anual por pixel  $x$ ;  $AET(x)$ , evapotranspiração anual real por pixel  $x$  e;  $P(x)$ , precipitação anual real por pixel  $x$ . Para áreas vegetadas, a fração de evapotranspiração foi estimada pela curva de Budyko proposta por Fu (1981) e Zhang et al. (2004), conforme a equação  $\frac{AET(x)}{P(x)} = 1 + \frac{PET(x)}{P(x)} - \left[ 1 + \left( \frac{PET(x)}{P(x)} \right)^\omega \right]^{1/\omega}$ , em que  $PET(x)$  é a evapotranspiração potencial por pixel  $x$  e;  $\omega$ , parâmetro não físico que caracteriza as propriedades climáticas e do solo. A evapotranspiração potencial é calculada por  $PET(x) = K_c(l_x) * ET_0(x)$ , em que,  $K_c(l_x)$  é o coeficiente de evapotranspiração associada ao uso e ocupação do solo;  $ET_0(x)$ , evapotranspiração de referência por pixel e;  $\omega$ , o parâmetro que expressa, de forma linearizada, a relação entre o conteúdo de água disponível, com o número de eventos de chuva no ano e a precipitação, calculado por  $\omega = Z * \frac{AWC(x)}{P(x)}$ , em que  $Z$  é o parâmetro relacionado com o número de eventos de chuva no ano e;  $AWC(x)$ , conteúdo de água disponível por pixel.

## 2.6 ÁREAS DE ABASTECIMENTO

O banco de dados “Outorgas e Cadastros de Uso Insignificante” do Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM) e da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) foi obtido por meio do portal IDE-Sisema. Com as bacias delimitadas a partir do Modelo Digital de Elevação (MDE) e o volume outorgado, realizou-se a sobreposição entre os pontos de outorgas e as bacias hidrográficas. Dessa forma, ob-

teve-se três variáveis, número de outorgas, volume de outorgas e área da bacia. Essas variáveis foram normalizadas a partir da equação  $\text{Normalização} = \frac{X_i}{\sum_{i=1}^N X_i}$ , em que X é a variável de interesse de cada feição (área da bacia, número e volume das outorgas). Pesos foram definidos hierarquicamente para as três variáveis pelo método AHP e priorização foi, em sequência, para volume outorgado (0,6955), número de outorgas (0,2291) e área da bacia (0,0754). Estes valores foram então somados, criando uma variável de priorização. Os quintis foram calculados e reclassificados em classes de 1 a 5, sendo os quintis superiores, os de classe mais alta (peso 5) (Tabela 4).

Tabela 4. Limite inferior ( $L_{\text{inf}}$ ) e superior ( $L_{\text{sup}}$ ), em porcentagem, das classes de áreas de abastecimento

$L_{\text{inf}}$	$L_{\text{sup}}$	Classe
0	20	1
20	40	2
40	60	3
60	80	4
80	100	5

Fonte: Silva (2025).

As informações foram integradas às delimitações das bacias hidrográficas da área de estudo utilizando o software R. Para cada bacia, foram atribuídos pesos variando de 0 a 5, com base em critérios como o volume outorgado, o número total de outorgas e a área específica de cada bacia hidrográfica.

## 2.7 ESTOQUE DE CARBONO

O estoque de carbono foi estimado por classe de uso e ocupação do solo a partir da equação  $CS = ABG * 0,47$ , em que 0,47 é a fração de carbono na matéria seca (IPCC, 2006) e; AGB, a biomassa seca acima do solo, em  $\text{Mg.ha}^{-1}$ . A AGB foi calculada através da equação  $AGB = APAR * LUE_{\text{máx}} * 0,864$ , sendo APAR, o fluxo de fótons absorvido pelos elementos fotossintéticos do dossel;  $LUE_{\text{máx}}$ , em  $\text{g.MJ}^{-1}$ , a eficiência máxima de uso da luz e; 0,864, fator de conversão de unidades (DE

OLIVEIRA FERREIRA SILVA; LILLA MANZIONE; ALBUQUERQUE FILHO, 2018). As classes de uso e ocupação do solo foram extraídas do MapBiomass para o ano de 2022 e correlacionadas aos seus respectivos valores de  $LUE_{máx}$  (GAN et al., 2021) (Tabela 5).

Tabela 5. Eficiência máxima de uso da luz ( $LUE_{máx}$ ), em  $g.MJ^{-1}$ , para as classes de uso e ocupação do solo na área de estudo

Classe geral	Classe específica	$LUE_{máx}$
Floresta	Formação florestal	1,58
	Formação savânica	1,20
Formação Natural não Florestal	Campo alagado e área pantanosa	0,95
	Formação campestre	1,22
	Afloramento rochoso	0
Agropecuária	Silvicultura	1,58
	Pastagem	2,67
	Cana-de-açúcar	2,67
	Mosaico de usos	2
	Soja	1,66
	Outras lavouras temporárias	2
	Café	1,66
	Citrus	1,66
	Outras lavouras perenes	1,66
	Praia, duna e areal	0
Área não vegetada	Área urbanizada	0
	Mineração	0
	Outras áreas não vegetadas	0
Corpo d'água	Rio, lago e oceano	0

Fonte: Silva (2025).

O APAR foi calculado utilizando a equação  $APAR = fPAR * PAR_{diário}$ , onde  $fPAR$  é a fração da radiação fotossinteticamente ativa interceptada pelas folhas e utilizada no processo de assimilação de dióxido de carbono e;  $PAR_{diário}$  é a fração da radiação solar de onda curta incidente. O  $PAR_{diário}$  foi estimado pela equação  $PAR_{diário} = 0,48 * R_s$ , sendo  $R_s$ , a radiação solar de onda curta incidente, obtida no banco de dados *ERA5-Land Hourly - ECMWF Climate Reanalysis* por meio do *Google Earth Engine*. O cálculo de  $fPAR$  foi realizado com base na equação  $fPAR = -0,161 + 1,257 * NDVI$ , em que NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada) foi extraído do banco de dados *Harmonized Sentinel-2 MultiSpectral Instrument, Level-2A*, também acessado via *Google Earth Engine*. O estoque de

carbono estimado foi categorizado em cinco classes para receber os pesos específicos.

## 2.8 PASSIVO AMBIENTAL

O uso e ocupação do solo das áreas delimitadas como APP – TM o e APP – H foram analisadas a partir da classificação do MapBiomias para o ano de 2022. Todos os pixels pertencentes a classe geral “Floresta” e “Vegetação Herbácea e Arbustiva” receberam peso 0, e os demais, peso 5.

## 2.9 PROXIMIDADE COM UNIDADES DE CONSERVAÇÃO, FRAGMENTOS FLORESTAIS E ÁREAS PRIORITÁRIAS PARA CONSERVAÇÃO

As Unidades de Conservação (UC) municipais, estaduais e federais na área de estudo foram obtidas na Plataforma IDE-Sisema. O limite das UC foi sobreposto com o uso e ocupação do solo para extrair apenas os pixels de “Floresta” e “Vegetação Herbácea e Arbustiva”. A partir da matriz florestas da UC foi realizado o cálculo de distância euclidiana e os quintis foram utilizados para distribuição dos pesos (Tabela 4). O cálculo de distância euclidiana também foi realizado a partir da matriz florestal, considerando os quintis para definição dos pesos (Tabela 4).

O produto da etapa de priorização de áreas para conservação foi utilizado como dado de entrada na etapa de restauração florestal. Os quintis dos valores de cada pixel em função dos pesos de prioridade de conservação foram calculados e classificados em 5 classes, sendo a classe 5 atribuída aos quintis superiores a 80% e 1, agrupando valores de 0% a 20%. As classes 4 e 5 foram utilizadas para o cálculo de distância euclidiana, considerando os quintis para definição dos pesos (Tabela 6).

Tabela 6. Limite inferior ( $L_{inf}$ ) e superior ( $L_{sup}$ ), em porcentagem, dos intervalos de quintis e pesos utilizados para priorização de áreas nas análises de proximidade de Unidades de Conservação e matriz florestal

$L_{inf}$	$L_{sup}$	Peso
0	20	5
20	40	4
40	60	3
60	80	2
80	100	1

Fonte: Silva (2025).

### 3. METODOLOGIA DE PRIORIZAÇÃO

A priorização de áreas para conservação e para restauração foi realizada a partir da metodologia de análise multicritério *Analytical Hierarchy Process* (AHP) (SAATY, 1987), comumente utilizada auxiliar na tomada de decisão de problemas complexos. A metodologia realiza comparações par a par entre os critérios e define pesos a partir das médias comparativas.

As áreas prioritárias para conservação foram identificadas a partir dos critérios APP de Topo de Morro (APP-TM), APP Hídricas (APP-H), Áreas de Abastecimento (AA), Declividade (DEC), Estoque de Carbono (EC), Matriz Florestal (MF), Rendimento Anual de Água (RAA) e Tipos de Solo (TS). Os critérios utilizados para priorização de áreas para restauração foram: Áreas de Abastecimento (AA), Declividade (DEC), Distância da Matriz Florestal (DMF), Distância para Áreas Prioritárias para Conservação (DAC), Distância para Unidades de Conservação (DUC), Passivos Ambientais (PA) e Rendimento Anual de Água (RAA).

Os critérios foram analisados em relação à importância, sendo atribuídos valores numéricos de 1 a 9, em que 1 indica que os critérios comparados são igualmente importantes e 9 indica que o primeiro dos elementos comparados tem uma importância extrema em relação ao outro elemento (Tabela 7). A matriz de comparação pareada foi avaliada através do parâmetro *Consistency Ratio* (CR) e indica o nível de consistência da matriz, sendo ideal valor inferior a 0,10 (MALCZEWSKI et al., 2003). Os critérios analisados foram agregados utilizando o método WLC (MELLO et al., 2018), em que cada pixel do mapa de cada critério é multiplicado pelo seu peso. O método WLC agrega os mapas dos critérios adotados, levando em conta sua importância relativa para a tomada de decisão.

Tabela 7. Escala para comparação pareada para definição de áreas prioritárias para conservação e restauração floresta

Valor	Nível de importância para o processo de tomada de decisão
1	Igualmente importante – os fatores são igualmente importantes
3	Um pouco mais importante – um fator é um pouco mais importante que o outro
5	Muito importante – um fator é claramente mais importante que o outro
7	Bastante importante – um fator é predominante para o propósito do estudo

Continua...

Tabela 5. Continuação

9	Extremamente importante – um dos fatores é absolutamente predominante para o propósito do estudo
2, 4, 6 e 8	Valores intermediários

Fonte: Saaty (1987), adaptado.

## RESULTADOS

A Matriz Florestal foi o primeiro critério para a priorização de áreas para conservação, tendo 32,95% de importância neste modelo de apoio à tomada de decisão, seguido pela APP de Topo de Morro, com 23,12% (Tabela 8). Em relação à priorização de áreas para restauração florestal, o Passivo Ambiental foi o primeiro critério, com 34,95% de importância, seguido da Distância de Unidades de Conservação, com 23,78% (Tabela 8). Os Coeficiente de Consistência para ambas as análises ficaram abaixo de 5% (Tabela 8).

Tabela 3. Matriz de comparação pareada para definição de áreas prioritárias para conservação e restauração florestal, peso final de cada critério (PF) e coeficiente de consistência

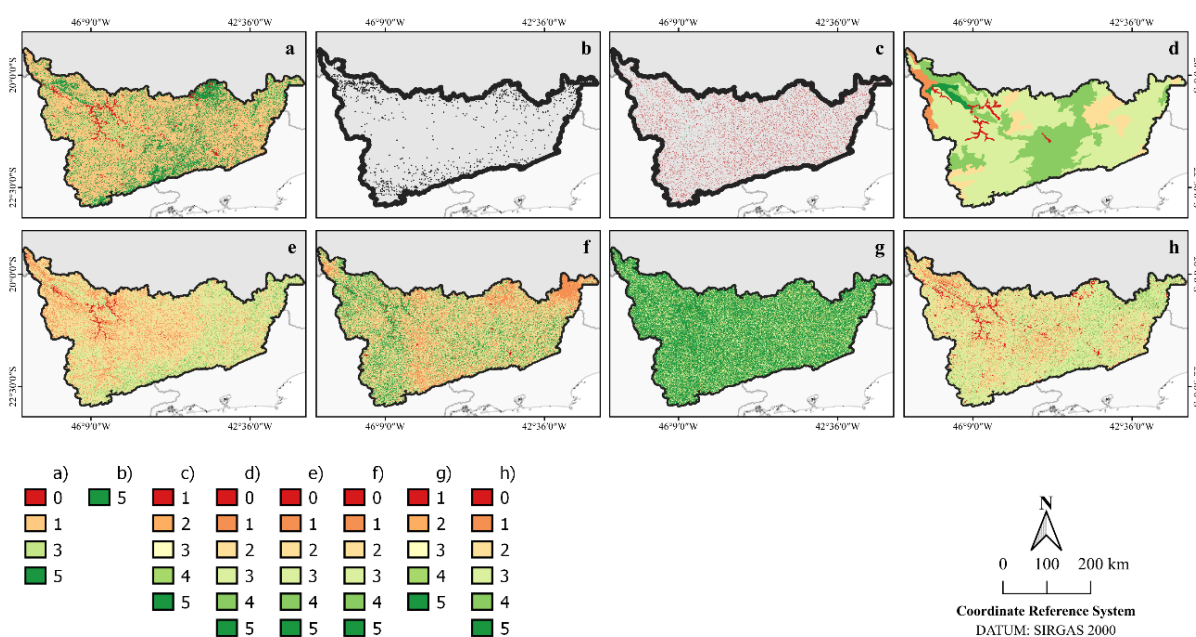
<b>Áreas prioritárias para conservação</b>									
	MF	APP-TM	APP-H	TS	DEC	RAA	AA	EC	PF
MF	1	2	3	4	5	7	8	9	0,3295
APP-TM		1	2	3	4	6	7	8	0,2312
APP-H			1	2	3	5	6	7	0,1594
TS				1	2	4	5	6	0,1092
DEC					1	4	5	6	0,0854
RAA						1	2	3	0,0375
AA							1	3	0,0288
EC								1	0,0191
Coeficiente de Consistência: 0,0490									
<b>Áreas prioritárias para restauração</b>									
Critério	PA	DUC	DAC	DEC	AA	RAA	DMF		PF
PA	1	2	3	4	5	7	8		0,3495
DUC		1	2	3	4	6	7		0,2378
DAC			1	2	4	5	6		0,1655
DEC				1	4	5	6		0,1277
AA					1	2	3		0,0556
RAA						1	3		0,0392
DMF							1		0,0247
Coeficiente de Consistência: 0,0485									

Sendo: AA - Áreas de Abastecimento; APP-H - APPs Hídricas; APP-TM - APPs de Topo de Morro; DAC - Distância para Áreas Prioritárias para Conservação; DEC – Declividade; DMF - Distância da Matriz Florestal; DUC - Distância para Unidades de Conservação; EC - Estoque de Carbono; MF - Matriz Florestal; PA - Passivos Ambientais; RAA - Rendimento Anual de Água e; TS - Tipos de Solo.

Fonte: Silva (2025).

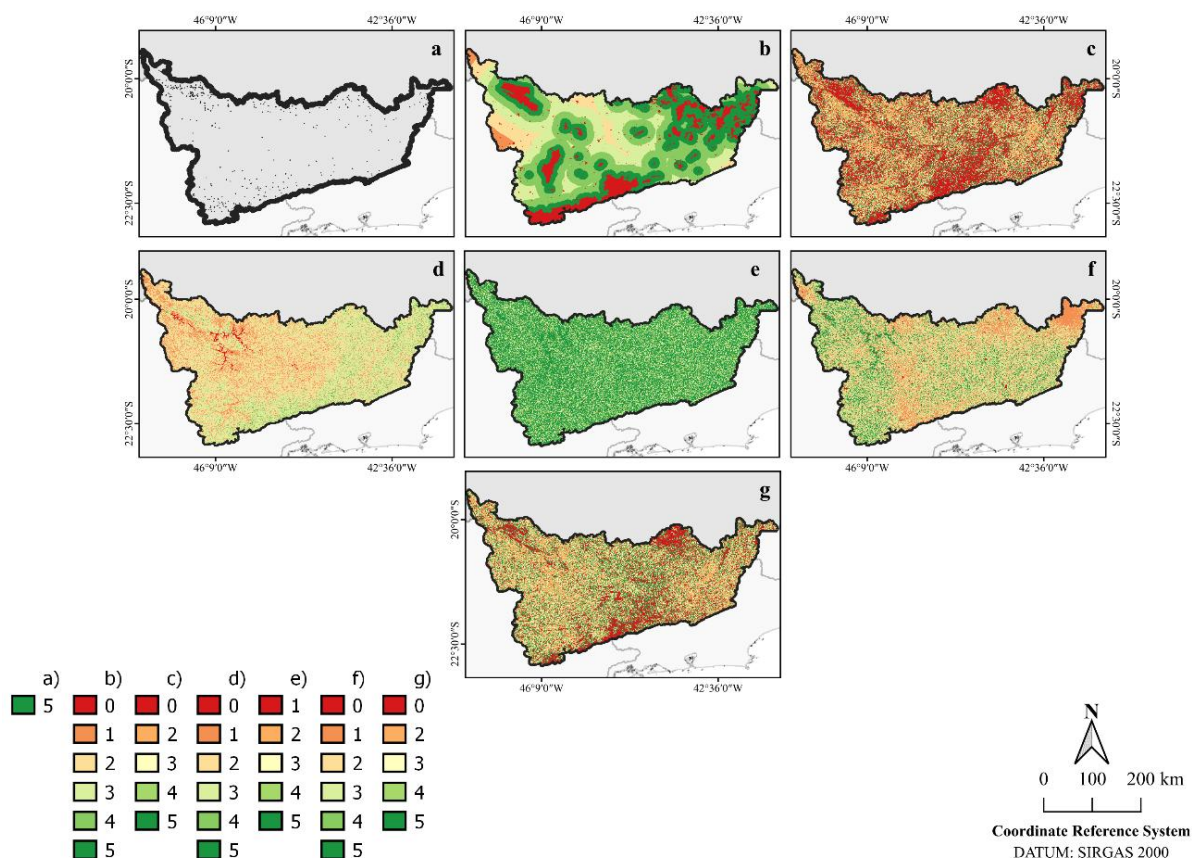
A Matriz Florestal na área de estudo se concentra, principalmente ao longo da Serra da Mantiqueira e próxima a região central do Estado de Minas Gerais, próximo ao município de Congonhas (Figura 2 e 3). As maiores declividades seguem a Serra da Mantiqueira em direção à porção leste da área de estudo, com condições mais planas em direção ao Cerrado (Figura 2 e 3). As áreas de abastecimento são homogeneamente distribuídas pela área (Figura 2 e 3). As unidades de conservação são majoritariamente de uso sustentável, 70,4%, e constituídas na esfera municipal, 71,6%. As áreas se concentram, principalmente, na porção nordeste da área de estudo (Figura 3).

Figura 2. Pontuações para as categorias utilizadas para priorização de áreas de conservação na região de estudo, sendo a) Matriz Florestal (MF); b) APPs de Topo de Morro (APP-TM); c) APPs Hídricas (APP-H); d) Tipos de Solo (Solo); e) Declividade (DEC); f) Rendimento Anual de Água (RAA); g), Áreas de Abastecimento (AA) e; h) Estoque de Carbono (EC)



Fonte: Silva (2025).

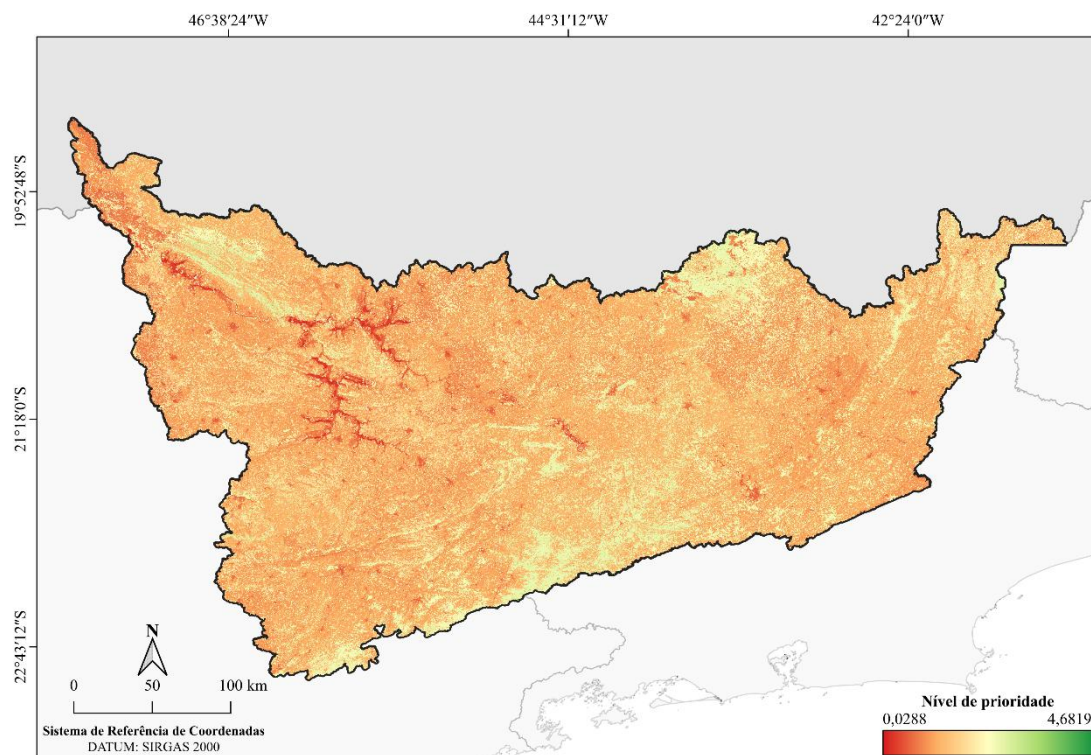
Figura 3. Pontuações para as categorias utilizadas para priorização de áreas de restauração na região de estudo, sendo: a) Passivos Ambientais (PA); b) Distância para Unidades de Conservação (DUC); c) Distância para Áreas Prioritárias para Conservação (DAC); d) Declividade (DEC); e) Áreas de Abastecimento (AA); f) Rendimento Anual de Água (RAA) e; g) Distância da Matriz Florestal (DMF)



Fonte: Silva (2025).

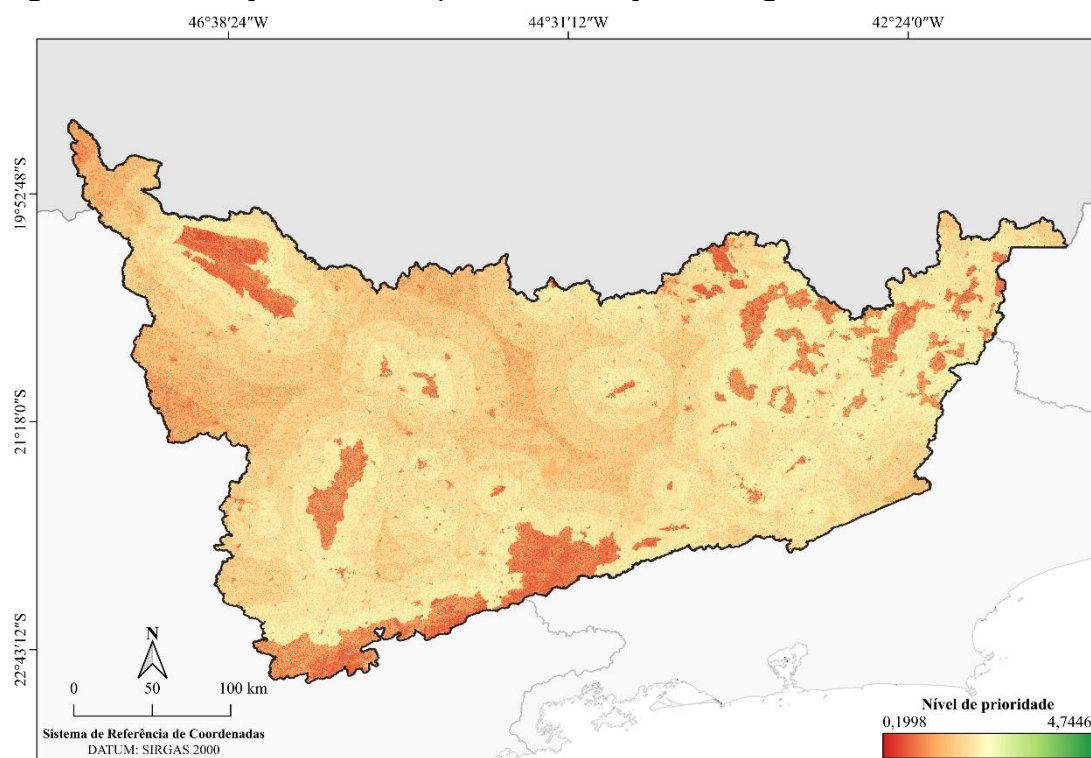
A prioridade de conservação de áreas variou entre 0,0288 e 4,6819 (Figura 4) e, para restaurar, de 0,1998 a 4,7446, sendo que, quanto maior o valor do pixel, maior a prioridade de conservação e restauração florestal (Figura 5). Cerca de 2,239 milhões e 2,226 milhões de hectares na área de estudo foram classificados com alta prioridade de conservação e restauração, respectivamente (Tabela 9) e somam, 39,82% da área total. As áreas destinadas às pastagens e mosaico de usos são as mais impactadas com a perda de área para restauração com 66,7% e 28,5% da área total, respectivamente (Tabela 9).

Figura 4. Priorização de áreas para conservação na região de estudo



Fonte: Silva (2025).

Figura 5. Priorização de áreas para restauração na região de estudo



Fonte: Silva (2025).

Tabela 9. Área, em hectares, e percentual representativo, em porcentagem, por classe de uso do solo que devem ser conservados e restaurados na região de estudo

<b>Classe</b>	<b>Área</b>	<b>Percentual</b>
<b>Áreas prioritárias para conservação</b>		
Formação florestal	1.863.480,99	83,21
Formação campestre	265.587,69	11,86
Afloramento rochoso	49.471,49	2,21
Formação savânica	49.267,49	2,20
Campo alagado e área pantanosa	9.060,89	0,40
Café	1.245,36	0,06
Mosaico de usos	888,10	0,04
Silvicultura	462,81	0,02
Outros usos	123,01	0,01
<b>Total</b>	<b>2.239.587,84</b>	
<b>Áreas prioritárias para restauração</b>		
Pastagem	1.485.161,13	67,38
Mosaico de Usos	634.523,77	28,79
Outras lavouras temporárias	75.198,06	3,41
Soja	6.764,47	0,31
Cana-de-açúcar	1.614,13	0,07
Café	642,97	0,03
Silvicultura	45,35	0,00
Outras lavouras perenes	33,39	0,00
Citrus	17,37	0,00
Outros usos	1,71	0,00
<b>Total</b>	<b>2.204.002,35</b>	

Fonte: Silva (2025).

## DISCUSSÃO

Os componentes que mais se destacaram na definição das áreas prioritárias de conservação e restauração foram a matriz florestal, as áreas de preservação permanente de topo de morro, os passivos ambientais e a distância de unidades de conservação. A interação entre os fatores é justificada pois as funções e processos ecológicos nos ecossistemas são determinados através de uma interação complexa entre fatores bióticos e abióticos (SALVIANO; GARDON; DOS SANTOS, 2021). Diversos estudos já destacaram como o padrão de uso e ocupação do solo é um fator-chave para a provisão de serviços ecossistêmicos (DING et al., 2021; FANG et al., 2020; PENG et al., 2021). A pressão sob a matriz florestal é intensificada devido à caça, aumento das populações de espécies invasoras e a fragmentação do habitat, que resulta em machas menores, mais isoladas e expostas à ação antrópica (DINIZ et al., 2021). O reconhecimento do papel de fragmentos pequenos e isolados para a paisagem é crucial para definição de áreas prioritárias para conservação da biodiversidade, inclusive sendo conectores entre fragmentos maiores (HAN et al., 2022). As APP – TM tiveram uma redução em termos de área de 87% com o novo Código Florestal, em 2012, sendo considerados, atualmente, apenas morros com altura mínima de 100 metros e declividade média maior que 25° (MAGDALENA et al., 2022). O gradiente de altitude tem efeitos diretos na disponibilidade de nutrientes, por exemplo com menor exportação de nitrogênio com o aumento da altitude; em áreas de altas altitudes, o rendimento de água, o armazenamento de carbono e a conservação do solo são maiores (MA et al., 2021a). As áreas com altitudes mais elevadas são extremamente vulneráveis a perturbações internas e externas e suas capacidades de autorregulação e autorrecuperação são menores (LI; SHI; WU, 2021).

O Código Florestal Brasileiro (Lei Federal nº 12.651/2012) determina dois instrumentos de proteção e preservação do meio ambiente, as APP e Reserva Legal (RL). As APP exercem papel fundamental na preservação dos recursos hídricos, conservação da biodiversidade e na estabilidade geológica e, a RL, quando planejada de acordo com a paisagem, funcionam como corredores ecológicos (DA SILVA et al., 2023). Em Minas Gerais, o uso e ocupação de cerca de 11,8 milhões de hectares estão em desconformidade com as regras de APP e RL, o que representa 20,2% do território mineiro (DE MORAIS JUNIOR et al., 2024). A proximidade com unidades de conservação e fragmentos florestais conservados destaca o papel dessas áreas para

a conservação da biodiversidade, pois podem abrigar uma diversidade maior de espécies e maiores populações delas (COSIMO; MARTINS; GLERIANI, 2021). Além disso, a restauração florestal ao redor dessas áreas contribui para a redução do efeito de borda, aumento de área funcionalmente conectada para movimentação da fauna, chegada de propágulos e enriquecimento natural (COSIMO; MARTINS; GLERIANI, 2021).

Cerca de 2,239 milhões e 2,226 milhões de hectares tem alta prioridade de conservação e restauração, respectivamente, na área de estudo. Conservar e restaurar áreas são as abordagens mais promissoras para garantir e sustentar a provisão de serviços ecossistêmicos (MORÁN-ORDÓÑEZ; HERMOSO; MARTÍNEZ-SALINAS, 2022; MU et al., 2022). A integração entre as duas ações é uma maneira econômica para preservar habitats intactos ou antropizados (MU et al., 2022). Além disso, a integração e o planejamento espacial agrupado trazem múltiplos benefícios além da provisão de serviços ecossistêmicos, como aumentar a conectividade florestal e minimizar impactos nos meios de subsistência local (MORÁN-ORDÓÑEZ; HERMOSO; MARTÍNEZ-SALINAS, 2022). A restauração florestal bem planejada interfere diretamente no sucesso da conservação, e a integração entre as ações é fundamental, especialmente em regiões onde ocorre perda persistente de habitat devido aos altos níveis de conversão (TOMA et al., 2023). Os governos tem ampliado o estabelecimento de áreas protegidas, porém apenas essas áreas não serão suficientes para atingir a conservação de todas as características necessárias, sendo essencial o compartilhamento dessa responsabilidade com proprietários de terras (SANTOS et al., 2022). A Mata Atlântica é o bioma brasileiro que possui a maior concentração de áreas protegidas de propriedade privada, cerca de 64% de todas as unidades nacionais, motivados por produtores rurais que compartilham o desejo de conservação da natureza com a obtenção de benefícios financeiros, como acesso a compensações ambientais, redução de impostos e outros incentivos (SANTOS et al., 2022).

Mais de 2,11 milhões de hectares de pastagens e mosaico de usos são prioritários para restauração na área de estudo. A mudança do uso da terra para pastagem promove diversos impactos na conservação da Mata Atlântica, incluindo ações dos próprios animais e do manejo antrópico das áreas. O gado, para ter acesso à água, pode causar diversos impactos nas áreas ribeirinhas e sistemas fluviais e, a utilização do fogo para estimular o crescimento das gramíneas, pode causar a queima

indivíduos arbóreos regenerantes e por vezes atingir fragmentos florestais próximos (Lira et al., 2021). Além disso, a gestão agrícola ineficiente e a necessidade de expansão de áreas produtivas para atender ao aumento da demanda de alimentos, traz impactos ambientais graves (FELTRAN-BARBIERI; FÉRES, 2021). Aumentar a produtividade através de práticas mais eficientes em termos de recursos e avanços tecnológicos são promissores para equilibrar a produção e a conservação e restauração de áreas (BEYER et al., 2022). A redistribuição espacial da produção agrícola poderá maximizar os benefícios ambientais sem comprometer a segurança alimentar, além de poder contribuir com a redução da pegada hídrica da agricultura, especialmente quando se considera as alterações nos padrões de precipitação e nos regimes de temperatura em vários locais (BEYER et al., 2022). Além disso, a restauração florestal pode ser projetada combinando diversas alternativas, como, agrofloresta, sistema silvipastoril, plantações de produtos florestais madeireiros exploradas seletivamente e não madeireiros, revertendo a perda de biodiversidade e outros serviços ecossistêmicos/ambientais (EDWARDS et al., 2021).

## CONCLUSÃO

A metodologia desenvolvida baseada em análise multicritério para definir áreas prioritárias para conservação e restauração florestal na porção mineira do Plano Conservador da Mata Atlântica é eficiente e é uma ferramenta importante a ser utilizada pelos gestores públicos e privados.

A conservação e a restauração florestal são estratégias complementares e devem ser planejadas em conjunto para maximizar a conectividade ecológica e a provisão de serviços ecossistêmicos. A priorização de áreas deve ser baseada em critérios ambientais e espaciais bem definidos, considerando a interação entre fatores ecológicos e antrópicos. A integração entre conservação e restauração é essencial para a manutenção da biodiversidade e dos serviços ecossistêmicos, além de ser uma estratégia viável para fortalecer a resiliência dos ecossistemas frente às mudanças climáticas e ao uso intensivo do solo.

De acordo com o teste realizado da metodologia, a Matriz Florestal e as Áreas de Proteção Permanente de Topo de Morro são os critérios mais importantes para definir áreas prioritárias para conservação, destacando a relevância da conectividade florestal e da proteção de áreas estratégicas para a biodiversidade e a provisão de serviços ecossistêmicos. Para a restauração florestal, o Passivo Ambiental e a Distância de Unidades de Conservação se mostraram os critérios mais relevantes, evidenciando a necessidade de recuperar áreas degradadas e ampliar a funcionalidade das Unidades de Conservação.

A Matriz Florestal se concentra na Serra da Mantiqueira e na região central de Minas Gerais, enquanto as áreas de maior declividade estão na porção leste, demonstrando que a geografia influencia diretamente a conservação e restauração. A fragmentação da paisagem e a perda de habitat foram agravadas por atividades antrópicas, como a pecuária e a expansão agrícola, reforçando a necessidade de ações integradas de conservação e restauração para mitigar esses impactos.

As análises apresentadas podem ser expandidas para outras áreas de estudos e subsidiar políticas públicas e iniciativas de gestão territorial, como a implementação de Pagamentos por Serviços Ambientais e programas de restauração ecológica.

## REFERÊNCIAS

- ALEMU I, J. B. et al. Identifying spatial patterns and interactions among multiple ecosystem services in an urban mangrove landscape. **Ecological Indicators**, v. 121, p. 107042, fev. 2021.
- BAI, Y. et al. Bundles and Hotspots of Multiple Ecosystem Services for Optimized Land Management in Kentucky, United States. **Land**, v. 10, n. 1, p. 69, 14 jan. 2021.
- BEYER, R. M. et al. Relocating croplands could drastically reduce the environmental impacts of global food production. **Communications Earth & Environment**, v. 3, n. 1, p. 49, 10 mar. 2022.
- CECÍLIO, R. et al. Method for classifying sites to Atlantic Rainforest restoration aiming to increase basin's streamflows. **iForest - Biogeosciences and Forestry**, v. 14, n. 1, p. 86–94, 28 fev. 2021.
- CHEN, H. et al. Impacts of large-scale landscape restoration on spatio-temporal dynamics of ecosystem services in the Chinese Loess Plateau. **Landscape Ecology**, v. 37, n. 1, p. 329–346, jan. 2022.
- COSIMO, L. H. E.; MARTINS, S. V.; GLERIANI, J. M. Suggesting priority areas in the buffer zone of Serra do Brigadeiro State Park for forest restoration compensatory to bauxite mining in Southeast Brazil. **Ecological Engineering**, v. 170, p. 106322, nov. 2021.
- DA SILVA, J. L. A. et al. Brazilian Forest Code as an Instrument for Environmental Conservation – Case Study of the Curupai and Engano Watersheds, Mato Grosso do Sul/Brazil. **Revista de Gestão Social e Ambiental**, v. 18, n. 3, p. e04484, 20 dez. 2023.
- DE LIMA, R. A. F. et al. The erosion of biodiversity and biomass in the Atlantic Forest biodiversity hotspot. **Nature Communications**, v. 11, n. 1, p. 6347, 11 dez. 2020.
- DE MATOS, T. P. V. et al. Protected areas and forest fragmentation: sustainability index for prioritizing fragments for landscape restoration. **Geology, Ecology, and Landscapes**, v. 5, n. 1, p. 19–31, 2 jan. 2021.
- DE MORAIS JUNIOR, V. T. M. et al. Monitoring of areas in conflict with the Legislation for the Protection of Native Vegetation in Brazil: opportunity for large-scale forest restoration and for the Brazilian global agenda. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 196, n. 11, p. 1113, nov. 2024.
- DE OLIVEIRA FERREIRA SILVA, C.; LILLA MANZIONE, R.; ALBUQUERQUE FILHO, J. L. Large-Scale Spatial Modeling of Crop Coefficient and Biomass Production in Agroecosystems in Southeast Brazil. **Horticulturae**, v. 4, n. 4, p. 44, 22 nov. 2018.
- DING, T. et al. Assessment of coordinative relationship between comprehensive ecosystem service and urbanization: A case study of Yangtze River Delta urban Agglomerations, China. **Ecological Indicators**, v. 133, p. 108454, dez. 2021.

DINIZ, M. F. et al. The underestimated role of small fragments for carnivore dispersal in the Atlantic Forest. **Perspectives in Ecology and Conservation**, v. 19, n. 1, p. 81–89, jan. 2021.

EDWARDS, D. P. et al. Upscaling tropical restoration to deliver environmental benefits and socially equitable outcomes. **Current Biology**, v. 31, n. 19, p. R1326–R1341, out. 2021.

EVANGELISTA DE OLIVEIRA, R. et al. Top 10 indicators for evaluating restoration trajectories in the Brazilian Atlantic Forest. **Ecological Indicators**, v. 127, p. 107652, ago. 2021.

FAN, F. et al. Land-planning management based on multiple ecosystem services and simulation in tropical forests. **Journal of Environmental Management**, v. 323, p. 116216, dez. 2022.

FANG, Z. et al. Quantifying variations in ecosystem services in altitude-associated vegetation types in a tropical region of China. **Science of The Total Environment**, v. 726, p. 138565, jul. 2020.

FELTRAN-BARBIERI, R.; FÉRES, J. G. Degraded pastures in Brazil: improving livestock production and forest restoration. **Royal Society Open Science**, v. 8, n. 7, p. 201854, jul. 2021.

GAN, R. et al. Estimating ecosystem maximum light use efficiency based on the water use efficiency principle. **Environmental Research Letters**, v. 16, n. 10, p. 104032, 1 out. 2021.

GARDON, F. R.; DOS SANTOS, R. F. Brazilian forest restoration: Success or better than nothing? **Land Use Policy**, v. 137, p. 107022, fev. 2024.

GRITZ, G. S. et al. Commonness as a reliable surrogacy strategy for the conservation planning of rare tree species in the subtropical Atlantic Forest. **Biodiversity and Conservation**, v. 33, n. 6–7, p. 1895–1907, jun. 2024.

HAN, L. et al. Small patches play a critical role in the connectivity of the Western Tianshan landscape, Xinjiang, China. **Ecological Indicators**, v. 144, p. 109542, nov. 2022.

HE, S. et al. Quantification of basin-scale multiple ecosystem services in ecologically fragile areas. **CATENA**, v. 202, p. 105247, jul. 2021.

LI, Q.; SHI, X.; WU, Q. Effects of protection and restoration on reducing ecological vulnerability. **Science of The Total Environment**, v. 761, p. 143180, mar. 2021.

LYU, F. et al. The impact of large-scale ecological restoration projects on trade-offs/synergies and clusters of ecosystem services. **Journal of Environmental Management**, v. 365, p. 121591, ago. 2024.

MA, S. et al. Terrain gradient variations in ecosystem services of different vegetation types in mountainous regions: Vegetation resource conservation and sustainable development. **Forest Ecology and Management**, v. 482, p. 118856, fev. 2021.

MAGDALENA, U. R. et al. Conservation Policy Changes in Protected Areas on Hilltops in Brazil: Effects on Hydrological Response in a Small Watershed. **Water Resources Management**, v. 36, n. 4, p. 1251–1270, mar. 2022.

MALCZEWSKI, J. et al. GIS–Multicriteria Evaluation with Ordered Weighted Averaging (OWA): Case Study of Developing Watershed Management Strategies. **Environment and Planning A: Economy and Space**, v. 35, n. 10, p. 1769–1784, out. 2003.

MELLO, K. D. et al. Multicriteria Evaluation for Protected Area Definition Aiming at Water Quality Improvement. **Floresta e Ambiente**, v. 25, n. 3, 28 maio 2018.

MORÁN-ORDÓÑEZ, A.; HERMOSO, V.; MARTÍNEZ-SALINAS, A. Multi-objective forest restoration planning in Costa Rica: Balancing landscape connectivity and ecosystem service provisioning with sustainable development. **Journal of Environmental Management**, v. 310, p. 114717, maio 2022.

MONTEIRO, B. et al. Methodology for payment for ecosystem services based on the concept of land use and management capability. **Soil Use and Management**, v. 34, n. 4, p. 515–524, out. 2018.

MU, Y. et al. Cost-effective integrated conservation and restoration priorities by trading off multiple ecosystem services. **Journal of Environmental Management**, v. 320, p. 115915, out. 2022.

OSHIMA, J. E. D. F. et al. Setting priority conservation management regions to reverse rapid range decline of a key neotropical forest ungulate. **Global Ecology and Conservation**, v. 31, p. e01796, nov. 2021.

PAN, Q. et al. Trade-offs and synergies of forest ecosystem services from the perspective of plant functional traits: A systematic review. **Ecosystem Services**, v. 58, p. 101484, dez. 2022.

PENG, K. et al. Evaluating the potential impacts of land use changes on ecosystem service value under multiple scenarios in support of SDG reporting: A case study of the Wuhan urban agglomeration. **Journal of Cleaner Production**, v. 307, p. 127321, jul. 2021.

ROTHER, D. C.; ROMANELLI, J. P.; RODRIGUES, R. R. Historical trajectory of restoration practice and science across the Brazilian Atlantic Forest. **Restoration Ecology**, v. 31, n. 8, p. e14041, nov. 2023.

SAATY, R. W. The analytic hierarchy process—what it is and how it is used. **Mathematical Modelling**, v. 9, n. 3–5, p. 161–176, 1987.

SALVIANO, I. R.; GARDON, F. R.; DOS SANTOS, R. F. Ecological corridors and landscape planning: a model to select priority areas for connectivity maintenance. **Landscape Ecology**, v. 36, n. 11, p. 3311–3328, nov. 2021.

SANTOS, V. S. D. et al. Connectivity and strategic opportunity to promote the establishment of private-owned protected areas in the Atlantic Forest (Serra do Mar and Bahia regions). **Journal for Nature Conservation**, v. 66, p. 126149, abr. 2022.

SCHENK, H. J.; JACKSON, R. B. Rooting depths, lateral root spreads and below-ground/above-ground allometries of plants in water-limited ecosystems. **Journal of Ecology**, v. 90, n. 3, p. 480–494, jun. 2002.

SCHIMETKA, L. R. et al. Costs and benefits of restoration are still poorly quantified: evidence from a systematic literature review on the Brazilian Atlantic Forest. **Restoration Ecology**, v. 32, n. 5, p. e14161, jul. 2024.

TOMA, T. S. P. et al. Optimal references for ecological restoration: the need to protect references in the tropics. **Perspectives in Ecology and Conservation**, v. 21, n. 1, p. 25–32, jan. 2023.

TOURINHO, L. et al. A participatory approach to map strategic areas for conservation and restoration at a regional scale. **Perspectives in Ecology and Conservation**, v. 21, n. 1, p. 52–61, jan. 2023.

VALENTE, R. A. et al. A multicriteria evaluation approach to set forest restoration priorities based on water ecosystem services. **Journal of Environmental Management**, v. 285, p. 112049, maio 2021.

## CAPÍTULO 4

### **REGULAÇÃO SUBNACIONAL PARA MITIGAÇÃO CLIMÁTICA: O CASO DE EXTREMA E A INTEGRAÇÃO ENTRE COMPENSAÇÃO E REDUÇÃO DE EMISSÕES DE GEE**

#### **RESUMO**

SILVA, Valéria de Fatima, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, março de 2025. **REGULAÇÃO SUBNACIONAL PARA MITIGAÇÃO CLIMÁTICA: O CASO DE EXTREMA E A INTEGRAÇÃO ENTRE COMPENSAÇÃO E REDUÇÃO DE EMISSÕES DE GEE.** Orientador: Laércio Antônio Gonçalves Jacovine. Coorientador: Carlos Moreira Miquelino Eleto Torres.

A crise climática exige respostas urgentes e regulamentações ambientais (nacional, estadual ou municipal) podem contribuir para a redução de emissões de gases de efeito estufa. A nível municipal ou local, a governança relacionada aos projetos de restauração florestal é fundamental para que as soluções sejam viáveis, combinando benefícios climáticos e ambientais. A nível municipal, Extrema, MG, possui um sistema de compensação de emissões em funcionamento, mas o sistema ainda é incipiente e precisa ser mais bem estruturado. Também surge a necessidade de buscar fundamentos para que esta iniciativa alcance outros municípios. Assim, objetivou-se com a pesquisa avaliar a estrutura de compensação de emissões do município de Extrema (MG) e propor alternativas para replicação em outros municípios. O município de Extrema lidera iniciativas de compensação de emissões de GEE, destacando-se pelo pioneirismo em políticas públicas de pagamento por serviços ambientais e combate às mudanças climáticas. Foram analisados dados sobre uso e ocupação do solo, fiscalização ambiental e implementação da compensação de emissões no licenciamento. Com base nos achados, propôs-se um modelo aprimorado de ciclo de projetos de carbono e um sistema de redução progressiva das emissões, fortalecendo a transparência e a eficiência do mercado local de carbono. A iniciativa do município de Extrema é um modelo pioneiro de compensação de emissões de GEE, integrando a compensação de carbono ao licenciamento ambiental e o financiamento da restauração florestal. Para aprimorar essa política, propõe-se um novo ciclo de projetos de carbono e a adoção de um teto de emissões decrescente, garantindo reduções reais e maior eficiência no mercado

local de carbono. A experiência de Extrema também é um modelo pioneiro na integração de políticas ambientais e climáticas municipais, unindo compensação de emissões de GEE e restauração florestal. A estruturação de mercados locais de carbono fortalece a transparência e a inclusão de pequenos produtores, garantindo credibilidade e equidade. Além de impulsionar a mitigação climática local, o modelo é replicável a outros municípios, orientando políticas públicas e fortalecendo mercados de carbono sustentáveis.

**Palavras-chave:** Cap-and-Trade; Governança ambiental; Licenciamento ambiental; Mercado de carbono; Mitigação das mudanças climáticas; Políticas climáticas municipais.

## CHAPTER 4

### **SUBNATIONAL REGULATION FOR CLIMATE MITIGATION: THE CASE OF EXTREMA AND THE INTEGRATION OF GHG EMISSIONS COMPENSATION AND REDUCTION**

#### **ABSTRACT**

SILVA, Valéria de Fatima, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, March, 2025. **SUBNATIONAL REGULATION FOR CLIMATE MITIGATION: THE CASE OF EXTREMA AND THE INTEGRATION BETWEEN COMPENSATION AND EMISSION REDUCTION OF GHGS**. Adviser: Laércio Antônio Gonçalves Jacovine. Co-adviser: Carlos Moreira Miquelino Eleto Torres.

The climate crisis demands urgent responses, and environmental regulations (national, state, or municipal) can contribute to reducing greenhouse gas emissions. At the municipal or local level, governance related to forest restoration projects is essential for solutions to be viable, combining climate and environmental benefits. At the municipal level, Extrema, MG, has an emissions compensation system in operation, but the system is still in its infancy and needs to be better structured. There is also a need to find foundations for this initiative to reach other municipalities. Thus, the objective of this research was to evaluate the emissions compensation structure of the municipality of Extrema (MG) and propose alternatives for replication in other municipalities. The municipality of Extrema leads initiatives to offset GHG emissions, standing out for its pioneering role in public policies for payment for environmental services and combating climate change. Data on land use and occupation, environmental monitoring, and implementation of emissions compensation in licensing were analyzed. Based on the findings, an improved carbon project cycle model and a system for progressive emission reduction were proposed, strengthening the transparency and efficiency of the local carbon market. The initiative by the municipality of Extrema is a pioneering model for offsetting GHG emissions, integrating carbon offsetting with environmental licensing and financing for forest restoration. To improve this policy, a new carbon project cycle and the adoption of a decreasing emissions cap are proposed, ensuring real reductions and greater efficiency in the local carbon market. The Extrema experience is also a pioneering model for integrating

municipal environmental and climate policies, combining GHG emissions offsetting and forest restoration. The structuring of local carbon markets strengthens transparency and the inclusion of small producers, ensuring credibility and equity. In addition to boosting local climate mitigation, the model is replicable in other municipalities, guiding public policies and strengthening sustainable carbon markets.

**Keywords:** Cap-and-Trade; Carbon Market; Climate Change Mitigation; Environmental Governance; Environmental Licensing; Local Climate Policies.

## INTRODUÇÃO

A questão climática é um dos desafios ambientais mais importantes da atualidade, sendo item fundamental na agenda de ambientalistas, autoridades governamentais, empreendedores e representantes da sociedade civil (KHAN; OZTURK, 2021; SHI et al., 2022). As graves consequências das mudanças climáticas são percebidas na economia e na sociedade, por exemplo com eventos climáticos severos e frequentes, perda da biodiversidade, escassez hídrica e problemas de saúde (HERMAWAN; KUSUMA, 2024; SHI et al., 2022). As respostas a este cenário são provenientes de ações voluntárias de organizações e pessoas, e implementação de regulamentações a nível mundial, nacional e subnacional (SCOTT; RHODES; HOICKA, 2023).

Regulamentações ambientais são o principal instrumento político para forçar inovações industriais (JIN et al., 2022) e contribuir efetivamente na redução de emissões de gases de efeito estufa (GEE), os causadores das mudanças climáticas (YIN; LIU; GU, 2022; ZHANG; LIU; ZHANG, 2022; ZHANG; WANG; ZHANG, 2021). As políticas podem estabelecer limites ou taxaço sobre as emissões de GEE. Apesar dos desafios, a taxaço é vista por economistas, governantes e empreendedores como a maneira mais eficiente de gerar reduções de emissões (ZHOU et al., 2024). A estratégia é uma abordagem direta de atribuir um custo às emissões de GEE, incentivando os emissores a reduzi-las para minimizar a carga tributária (ADAM et al., 2022). A aplicação da taxaço não apenas promove a reduço das emissões, mas também gera receita que pode ser reinvestida em inovações destinadas a enfrentar os desafios climáticos (LE; AZHGALIYEVA, 2023; ZHOU et al., 2024). Diversos exemplos de sucesso da estratégia são observados, por exemplo na Indonésia, Tailândia, Filipinas, Cingapura (HERMAWAN; KUSUMA, 2024), Suécia, Suíça, Colômbia e Costa Rica (ZHOU et al., 2024).

A implementação de regulamentações ambientais não é restrita aos governos federais, mas também podem ser aplicadas por governos locais, principalmente porque atores subnacionais são essenciais para a governança climática (FERREIRA; DIAS; LIU, 2022; TIE; ZHU, 2022). A governança climática local pode proporcionar melhor relação custo-benefício, resultados ambientais positivos e melhor envolvimento da sociedade civil (BRUZZESE et al., 2023; ZHANG; WANG; ZHANG, 2021). Pesquisadores argumentam que muitas ações locais não divulgam o

conhecimento e experiências adquiridas, e outros governantes não conseguem aprender e incorporar essas experiências no processo de implementação e ampliação de iniciativas (VAN DOREN et al., 2020).

As receitas auferidas com as taxas sobre as emissões podem ser utilizadas em estratégias de remoção de dióxido de carbono da atmosfera, reduzindo seu acúmulo na atmosfera. Neste contexto, a restauração florestal da paisagem é tida como uma das soluções mais econômicas e baseada na natureza, devido à remoção e armazenamento biológico de carbono (BLANTON et al., 2024; RUSEVA, 2023; SHRESTHA et al., 2022; VONHEDEMANN et al., 2020). O mecanismo envolve o financiamento de projetos de compensação que expressem o carbono florestal como créditos negociáveis (RUSEVA, 2023). Na restauração, além dos benefícios climáticos, outros impactos positivos são gerados, como a expansão da área e qualidade das florestas, manutenção da biodiversidade, aumento da resiliência a desastres naturais, melhoria da qualidade do ar e da água (BLANTON et al., 2024; DINH TIEN et al., 2024; LI; ZHANG, 2024).

As políticas ambientais subnacionais, ou seja, estaduais, regionais e locais, têm importante influência sobre as questões climáticas e as compensações de emissões de GEE (VASI; WALKER, 2024). Diversos processos de tomada de decisão afetam como essas estratégias são aplicadas e transformadas frente às necessidades locais e na provisão de benefícios de mitigação das mudanças climáticas (RUSEVA, 2023). Os arranjos multiníveis de governança para as políticas climáticas precisam ser pesquisados em relação às suas implicações para eficácia, interações institucionais e aprendizado e difusão do conhecimento. Os mercados de carbono locais são caracterizados por um alto grau de experimentação e, em função da crescente descentralização, os arranjos podem levar a regulamentações insuficientes, irregulares e descoordenada e trazer resultados adversos (BAILEY; MARESH, 2009; BIEDENKOPF et al., 2017). Portanto, é essencial analisar como pode-se estruturar mercados locais de carbono em relação à qualidade regulatória (BETZ et al., 2022), especialmente no Brasil onde a iniciativa é bastante incipiente, porém promissora. Por isso, objetivou-se com a pesquisa avaliar a estrutura de compensação de emissões do município de Extrema (MG) que, através Política de Combate às Mudanças Climáticas (Lei Municipal nº 3.829/2018) propôs ações para reduzir e compensar as emissões de GEE localmente e propor alternativas para replicação em outros municípios

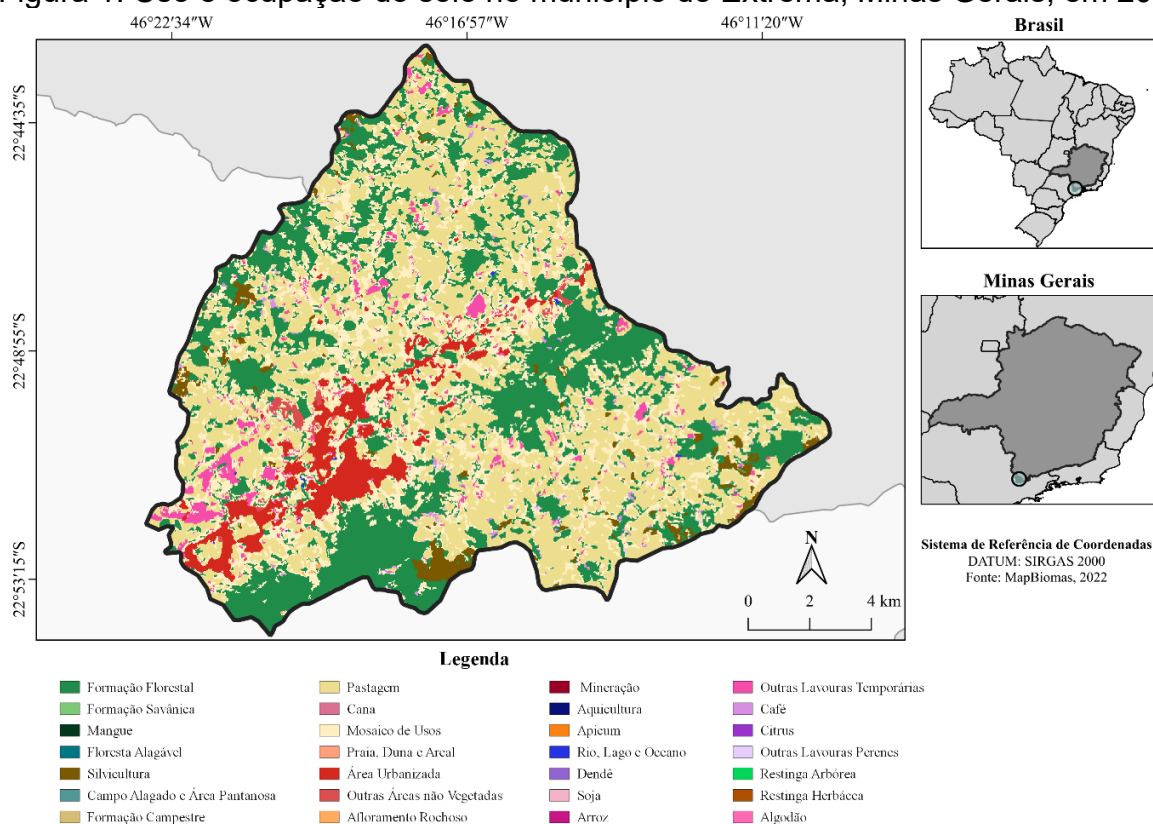
## MATERIAL E MÉTODOS

### 1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O município de Extrema localiza-se no Sul do Estado de Minas Gerais com área de 244,575 km<sup>2</sup>. Segundo o IBGE, no último censo (2022) a população era de 53.482 habitantes e a densidade demográfica de 218,67 hab km<sup>-2</sup>. O PIB per capita, em 2021, foi de R\$ 362.591,97, ocupando a décima posição dentre os municípios mineiros, e a 107º, no Brasil. A economia é baseada na logística, manufatura e comércio. O IDHM, Índice de Desenvolvimento Humano Municipal, em 2010, foi de 0,732.

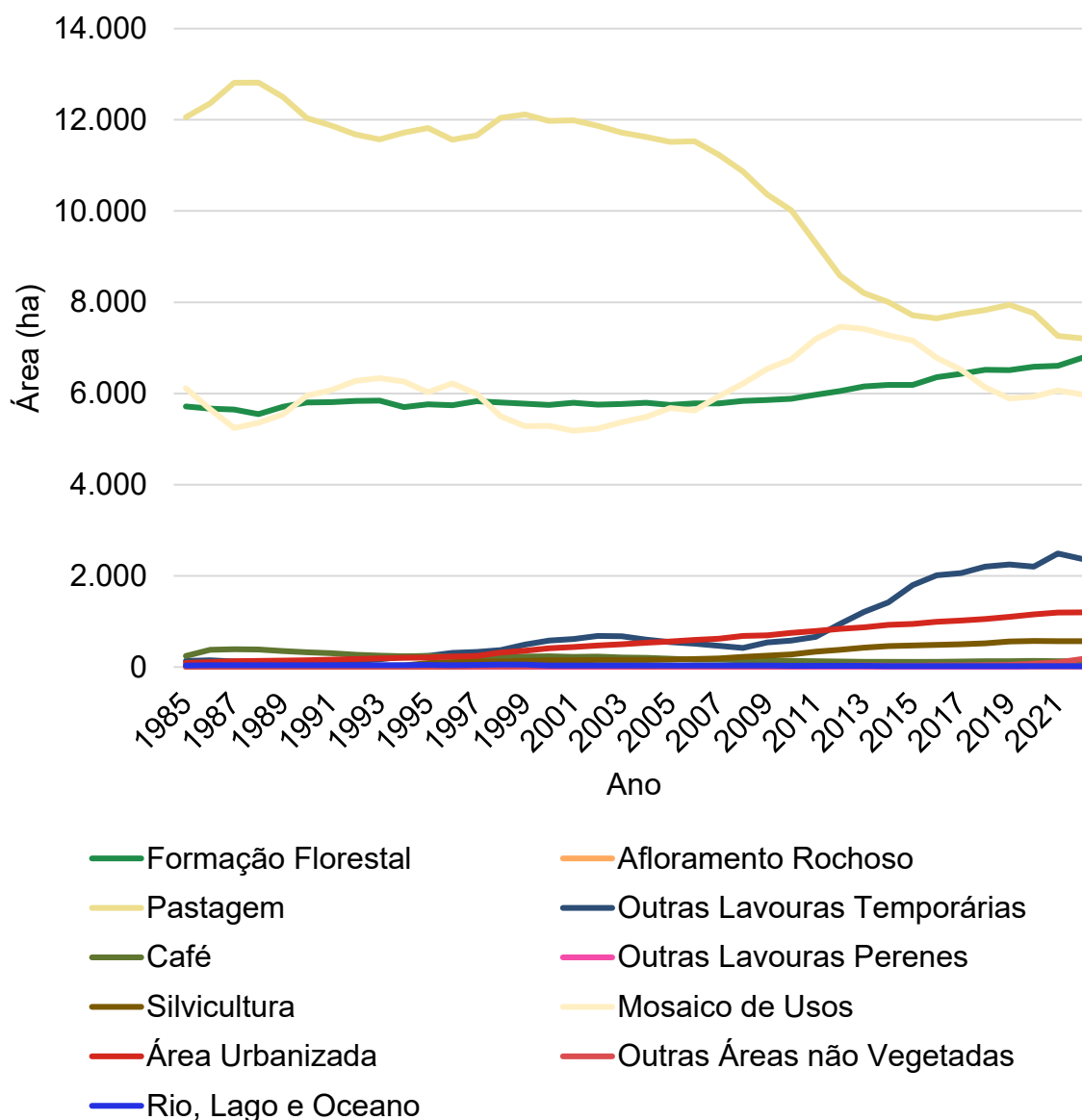
O uso do solo no município, em 2022, era predominantemente de pastagem, formação florestal e mosaico de usos, com 7.208 ha, 6.780 ha e 5.979 ha, respectivamente (Figura 1). Em comparação com 1985, a formação florestal se expandiu 18,7%, ao passo que pastagem reduzir cerca de 40% e mosaico de usos se manteve praticamente constante (Figura 2).

Figura 1. Uso e ocupação do solo no município de Extrema, Minas Gerais, em 2022



Fonte: Silva (2025).

Figura 2. Uso e ocupação do solo histórico de Extrema, Minas Gerais



Fonte: Mapbiomas (2022).

O município detém as atribuições de monitoramento e fiscalização ambiental de empreendimentos e atividades, conforme Convênio de Cooperação Técnica e Administrativa nº 001/2018, celebrado com a Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável – Semad. Neste âmbito, o município foi o primeiro a incluir a compensação das emissões de gases de efeito estufa como condicionante no licenciamento ambiental.

## **2. ANÁLISE DA ESTRUTURA REGULATÓRIA NO MUNICÍPIO DE EXTREMA**

Uma abordagem qualitativa foi utilizada, combinando análise documental, avaliação de políticas públicas locais e reuniões com representantes da Secretaria de Meio Ambiente para elucidar a regulação subnacional de emissões de GEE no município de Extrema, Minas Gerais. Dessa forma, buscou-se detalhar o funcionamento da estrutura e propor melhorias para aprimorar o modelo atual e subsidiar outros municípios para implementar o modelo, buscando fortalecer a transparência e eficiência do mercado local de carbono. Além da compensação, um modelo regulatório para a redução progressiva das emissões locais de GEE foi proposto.

## RESULTADOS

O município de Extrema estruturou e aprimorou suas políticas climáticas por meio da integração entre compensação e redução de emissões de GEE. A implementação do Programa Conservador das Águas e da Política Municipal de Mudanças Climáticas, incluindo a exigência de compensação de emissões no licenciamento ambiental, proporcionou avanços na agenda ambiental local, arrecadando recursos para subsidiar ações de restauração florestal. O modelo de governança local pode ser aprimorado para a validação, implementação e monitoramento de projetos de compensação, promovendo maior transparência e eficiência no mercado local de carbono. A introdução de um limite de emissões de GEE e do uso de offsets pode fazer com que a estratégia municipal de mitigação climática resulte em reduções reais de emissões.

### 1. DESCRIÇÃO SOBRE O CASO DE EXTREMA

A criação do Programa Conservador das Águas (Lei Municipal nº 2.100/2005), em 2005, fez com que Extrema não só fosse o primeiro município mineiro a implementar uma lei para pagamento por serviços ambientais, como também o fez liderar essa agenda nacionalmente. A sua criação foi pautada na restauração florestal, saneamento ambiental rural e boas práticas agrícolas em áreas estratégicas para proteger os mananciais de abastecimento público do município. Até 2016, mais de 220 contratos estavam firmados com produtores rurais, 7.300 hectares estavam protegidos e mais de 1 milhão de árvores haviam sido plantadas (PEREIRA, 2017).

Em 2017, o município publicou o primeiro Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE), dando início a criação e implementação da Política Municipal de Mudanças Climáticas de Extrema. As ações foram apresentadas à iniciativa privada, buscando apoio voluntário das empresas para ampliação do volume de emissões cobertos no esquema de compensação. Diversas empresas aderiram voluntariamente às iniciativas e se aproximaram das ações realizadas pela administração pública local.

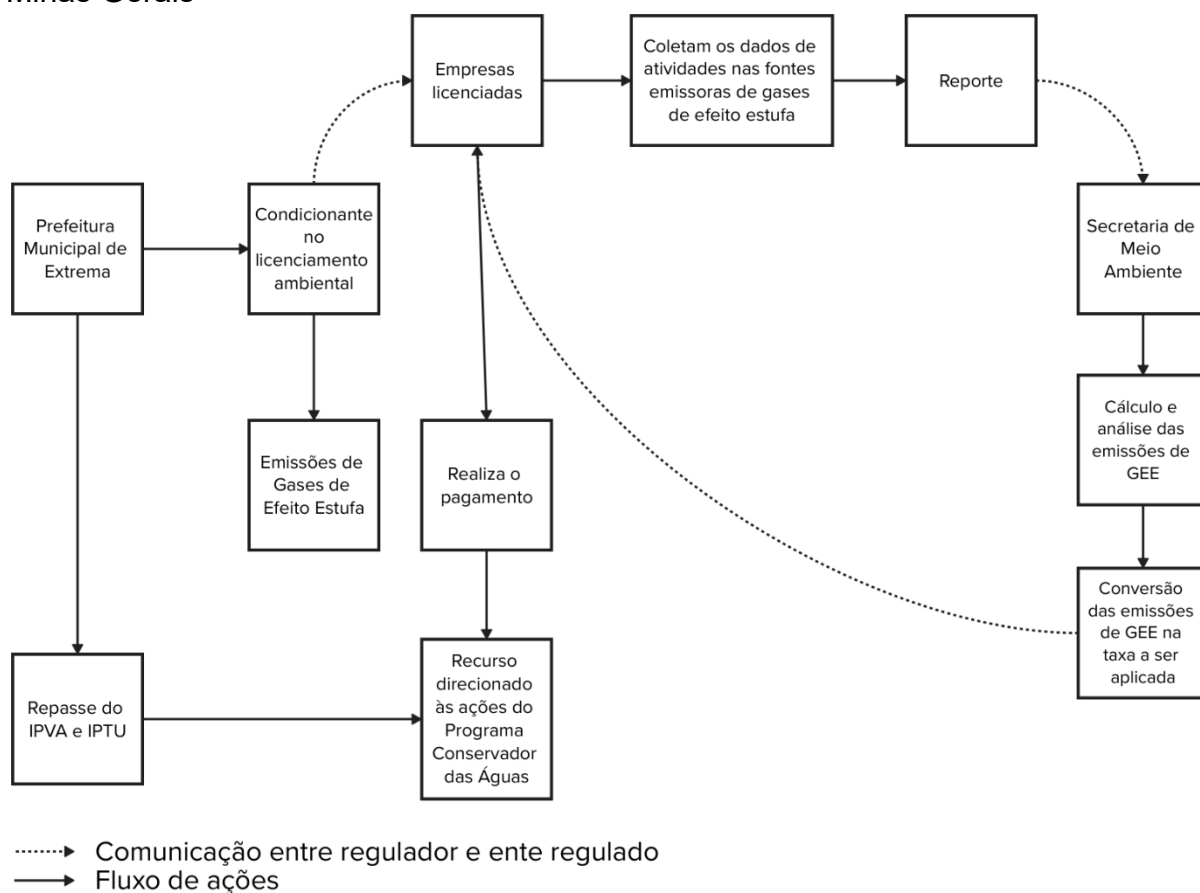
Em 2018, o município instituiu a Política de Combate às Mudanças Climáticas (Lei Municipal nº 3.829/2018). No mesmo ano, houve a municipalização do licenciamento ambiental e a Prefeitura Municipal passou a estabelecer uma condicionante no licenciamento ambiental exigindo que empresas licenciadas monitorem, reportem e compensem suas emissões de GEE. Essas empresas coletam

dados das fontes emissoras e enviam relatórios para a Secretaria de Meio Ambiente, que realiza o cálculo e a análise das emissões (Figura 3). Com base nessa análise, as emissões são convertidas em uma taxa que deve ser paga pelas empresas licenciadas. No ano de adesão, o empreendimento precisa compensar 20% das suas emissões, com acréscimo de mais 10% das emissões anualmente.

O valor da taxa foi definido em função dos custos de restauração e o estoque de carbono de 1,0 hectare. O custo de restauração, em 2024, era de R\$ 29.000,00, com uma projeção de remoção de dióxido de carbono de, aproximadamente, 300 toneladas em 30 anos, assim é aplicado um valor de R\$ 26,36 por tonelada GEE emitido.

O pagamento da taxa é direcionado para financiar ações do Programa Conservador das Águas, promovendo a compensação ambiental e o desenvolvimento sustentável (Figura 3). Além disso, a Prefeitura também destina parcelas de impostos municipais para ações de compensações das emissões de GEE, como o IPVA (Imposto sobre a Propriedade de Veículos Automotores) e IPTU (Imposto sobre a Propriedade Predial e Territorial Urbana).

Figura 3. Fluxo de regulação e compensação das emissões de gases de efeito estufa e financiamento do Programa Conservador das Águas no Município de Extrema, Minas Gerais



Fonte: Silva (2025).

## 2. CICLO DE PROJETO PROPOSTO

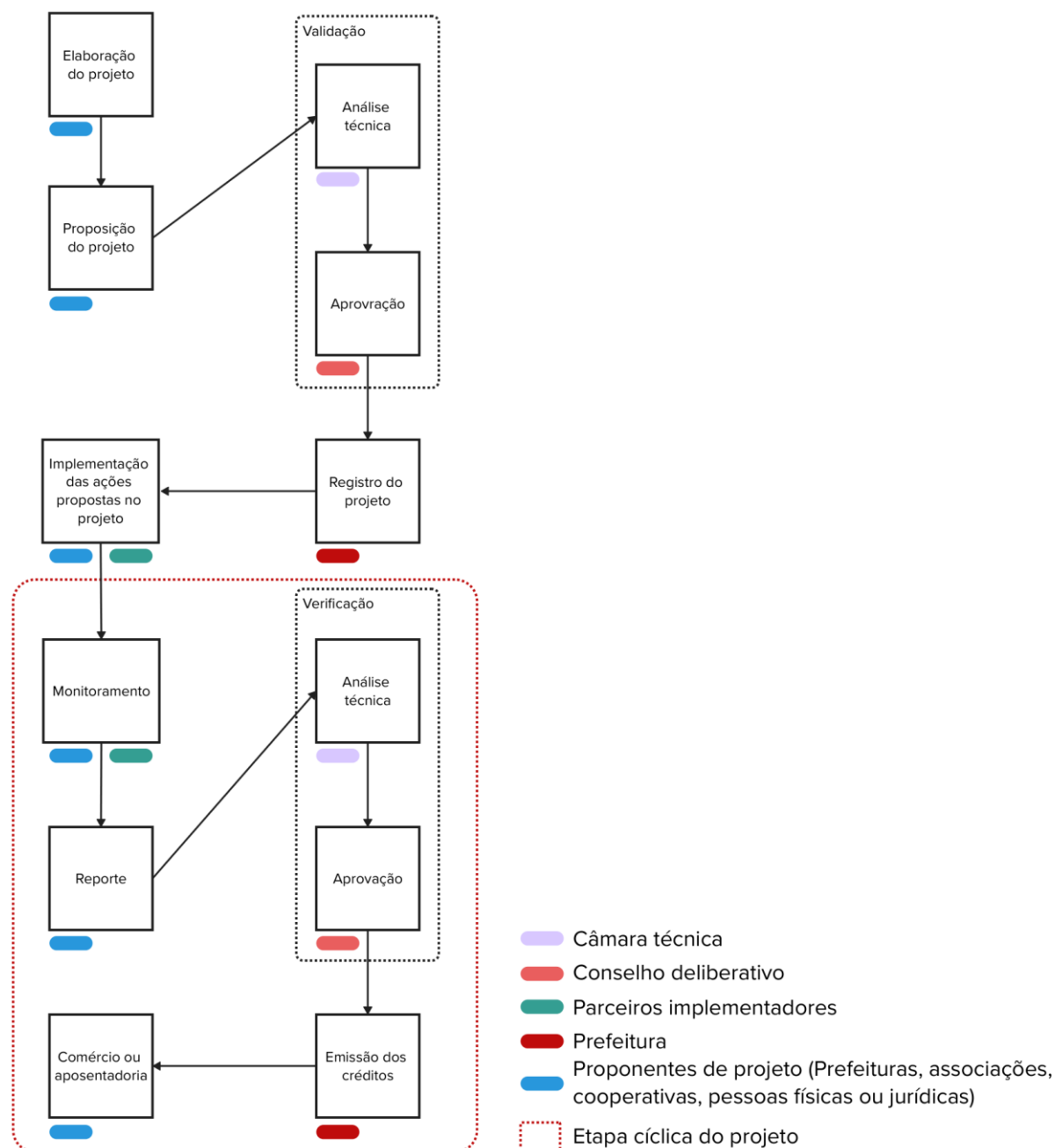
O modelo aplicado no município de Extrema pode ser aprimorado. O modelo proposto permitirá uma comunicação direta entre os provedores de créditos de carbono e os entes regulados que necessitam compensar suas emissões. Dessa forma, associações, cooperativas ou os próprios proprietários rurais podem ser proponentes de projetos, bem como a gestão pública municipal (Figura 4). Os projetos necessitam ser validados, etapa que envolve uma análise técnica, realizada pela Câmara Técnica, seguida da aprovação pelo Conselho Deliberativo, que pode ser o CODEMA, ou outro instituído pelo próprio município. Uma vez aprovado, o projeto é registrado formalmente pela prefeitura. A Câmara Técnica pode ser composta por especialistas vinculados à Secretaria de Meio Ambiente e outras correlatas do próprio município, por instituições de ensino superior ou especialistas com renomado

conhecimento na temática e credenciados pela prefeitura para exercerem tal papel. O estabelecimento de consórcios intermunicipais também pode ser uma estratégia interessante para a execução desta etapa. Durante essa etapa, novos dados e esclarecimentos podem ser solicitados, caso ainda haja dúvida em alguma informação relatada pelo proponente. O projeto é registrado e apto a ser implementado, quando todas as dúvidas são sanadas e o projeto analisado e aprovado.

A partir do registro do projeto, as ações propostas passam a ser implementadas, podendo envolver parceiros implementadores. As normas que regem o processo podem determinar um período antecessor ao registro do projeto quando as ações podem iniciar sem prejuízo aos proponentes, sendo comum a adoção do período de 2 (dois) ou 3 (três) anos. As ações e o desenvolvimento das áreas devem ser monitorados, avaliando o desempenho do projeto em termos de remoção de dióxido de carbono da atmosfera.

Os relatórios de monitoramento devem ser apresentados à equipe técnica que realiza os processos de validação e verificação dos projetos. No relatório deve ser apresentada a metodologia adotada para o monitoramento e para as estimativas *ex post* do estoque de carbono, bem como os resultados obtidos em cada ano do monitoramento. Após a análise do material apresentado, a equipe técnica poderá solicitar novas informações e esclarecimentos, até sanar todas as dúvidas e o processo ser encaminhado ao Conselho Deliberativo para deferimento da emissão dos créditos de carbono pleiteados. De posse dos créditos de carbono, o proponente poderá transicioná-los ou aposentá-los, quando de fato eles são usados para compensar as emissões de gases de efeito estufa de algum empreendimento ou organização.

Figura 4. Fluxo proposto para validação, implementação, monitoramento e geração de créditos de carbono em mercados locais de carbono



Fonte: Silva (2025).

### 3. AÇÕES PARA A REDUÇÃO DE EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA

Arelada às ações de compensação de emissões de GEE deve-se aplicar estratégias para também as reduzi-las. Nesse sentido, o ente regulador pode definir um teto de emissões decrescente para os agentes regulados, incentivando a redução

real das emissões antes do uso de créditos de carbono (offsets). O processo se inicia com a definição do teto de emissões, no qual o ente regulador estabelece um limite inicial para as emissões permitidas. Esse limite deve ser reduzido progressivamente ao longo do tempo, exigindo que as empresas adaptem suas operações para atender aos novos padrões.

Um limite máximo de utilização de offsets, ou seja, de compensação de emissões através da compra de créditos de carbono deve ser estabelecido, impedindo que as empresas utilizem compensações como única estratégia para cumprir suas metas de redução. Penalidade podem ser definidas para serem aplicadas caso uma organização exceda o teto de emissões sem a devida compensação. O objetivo final desta estratégia é estimular a adoção de tecnologias e processos mais limpos, promovendo uma transformação estrutural na economia e garantindo que a descarbonização ocorra de forma efetiva e duradoura. Esse modelo equilibra regulação, incentivos e controle sobre compensações, assegurando que a estratégia de mitigação seja focada na redução real das emissões locais.

## DISCUSSÃO

Com o agravamento da crise climática global, responsabilizar os emissores de gases de efeito estufa é uma estratégia bastante promissora (TAO et al., 2021) e o município de Extrema, em Minas Gerais, tem um pioneirismo nas ações locais no Brasil. As cidades são responsáveis por parte significativa nas emissões globais de GEE e os governos locais tem potencial de liderar o enfrentamento destas questões (VAN DOREN et al., 2020). Ações que promovem a redução de emissões estão cada vez mais entre as prioridades dos governos em todo o mundo (ANJOS; FEIJOO; SANKARANARAYANAN, 2022). Compreender o mecanismo proposto em Extrema e documentá-lo proporciona meios para que outros governos, em diferentes instâncias, possam estruturar seus próprios modelos. Este é um caminho que facilita o acesso a conhecimento relevante de experiências anteriores, favorecendo a ampliação da sua utilização e as estruturas de tomada de decisão locais (BLANTON et al., 2024; VAN DOREN et al., 2020).

A regulamentação ambiental busca penalizar as externalidades negativas associadas às atividades poluidoras e um pré-requisito para combater e reduzir as emissões (NEVES; MARQUES; PATRÍCIO, 2020). Uma abordagem popular é a implementação de um sistema de taxaço sobre o carbono, onde o regulador coleta uma taxa com base na quantidade emitida (ANJOS; FEIJOO; SANKARANARAYANAN, 2022), sendo um instrumento eficaz para equilibrar o crescimento econômico e a qualidade ambiental (TAO et al., 2021). As regulamentações impactam as emissões de GEE aumentando os custos de produção, e empresas intensivas em carbono passam a investir em melhorias no processo de produção e gerenciamento de emissões (BLANTON et al., 2024; JIANG; MA, 2021; TAO et al., 2021).

Em Extrema, além da promoção de redução de emissões, o recurso arrecadado é revertido na restauração florestal de áreas, promovendo a remoção de dióxido de carbono atmosférico (CO<sub>2</sub>). Nesse sistema, além da taxa cobrada incentivar que as empresas invistam em tecnologias e operações mais sustentáveis, a receita tributária é utilizada para implementar medidas de mitigação climática (HERMAWAN; KUSUMA, 2024). Dessa forma, as compensações de carbono complementam as ações de responsabilidade climática das organizações, com investimento em projetos que removem quantidade equivalente às suas emissões (AKROFI, 2024; NEVZOROVA,

2024). A estratégia adotada por Extrema tem o potencial de direcionar recursos financeiros substanciais para melhorar a gestão florestal, favorecendo a remoção de carbono e outros benefícios ambientais e sociais (HAYA et al., 2023).

A estratégia também colabora para reduzir conflitos e exclusões observadas no mercado de carbono, ao viabilizar a participação de pequenos proprietários rurais. Os custos transicionais para desenvolvimento de um projeto de remoção de carbono são consideravelmente altos (PAN et al., 2022a) e podem atingir US\$ 250.000 (RUSEVA, 2023), sendo maiores por unidade de área à medida que se reduz a área do projeto (EBISSA; FETENE; DESTA, 2023). Os altos custos, de forma frequente, impedem a participação de pequenos proprietários rurais (PAN et al., 2022a; PEROSA; NEWTON; DA SILVA, 2023; RAINA; ZAVALLONI; VIAGGI, 2024; VONHEDEMANN et al., 2020) que, além da barreira de capital, enfrentam barreiras de escala, estruturais e de conhecimento (RUSEVA, 2023). Porém, a redução de custos para viabilizar a participação destes não pode descredibilizar os créditos de carbono gerados (BLANTON et al., 2024; PAN et al., 2022a).

Taxar as emissões de GEE pode não significar genuinamente que os efeitos das mudanças climáticas estão sendo minimizados pela redução do acúmulo de gases na atmosfera. Os sistemas de taxaço fornecem certeza quanto ao custo, uma vez que o preço é definido pelo governo, no entanto não há um limite de emissões e a maioria dos preços aplicados não são altos o suficiente para promover essa mudança (GREEN, 2021). Por isso, quando o ente regulador determina um limite de emissões, com metas graduais de redução, meta de emissões líquidas zero são mais facilmente alcançadas entre os emissores (PANDE, 2024). Em termos de implementação, a taxaço é mais fácil de projetar e implementar, dada a experiência que os governos já possuem com a arrecadação de impostos (GREEN, 2021).

## CONCLUSÃO

A experiência de Extrema destaca-se como um modelo pioneiro e inspirador na integração de políticas ambientais e climáticas no âmbito municipal. Desde a criação do Programa Conservador das Águas, em 2005, até a implementação de um sistema robusto de compensação de emissões de GEE, o município demonstrou como ações locais podem contribuir efetivamente para objetivos globais de mitigação das mudanças climáticas.

A proposta de estruturação de mercados locais de créditos de carbono evidencia que é possível ter iniciativas subnacionais para fomentar a compensação de emissões de gases de efeito estufa de forma acessível e sustentável. O ciclo operacional proposto assegura transparência, rastreabilidade e integridade, elementos fundamentais para a construção de confiança nesses mercados e para a obtenção de resultados climáticos verificáveis.

Ao permitir a inclusão de pequenas propriedades e fortalecer a participação de associações, cooperativas e gestores públicos, a abordagem promove maior equidade e democratização no acesso ao mercado de carbono. A definição de um fluxo técnico-administrativo claro, desde a proposição até a emissão dos créditos, garante que os projetos sejam avaliados de maneira criteriosa e consistente, fortalecendo a credibilidade dos resultados.

Essa proposta não apenas contribui para a mitigação das mudanças climáticas em nível local, mas também serve como referência replicável para outras localidades. Este estudo destaca a relevância de integrar dados técnicos detalhados ao planejamento e monitoramento de projetos de carbono, criando um arcabouço metodológico replicável e robusto. Além de fortalecer as ações locais de mitigação das mudanças climáticas, os resultados apresentados podem orientar políticas públicas e iniciativas subnacionais, contribuindo para o avanço dos mercados de carbono baseados na conservação e recuperação florestal.

## REFERÊNCIA

- ADAM, S. et al. Tax policies to reduce carbon emissions. **Fiscal Studies**, v. 43, n. 3, p. 235–263, set. 2022.
- AKROFI, M. M. Green hotspots? Unveiling global hotspots and shifting trends in carbon credit projects. **Sustainable Development**, p. sd.3209, 30 set. 2024.
- ANJOS, M. F.; FEIJOO, F.; SANKARANARAYANAN, S. A multinational carbon-credit market integrating distinct national carbon allowance strategies. **Applied Energy**, v. 319, p. 119181, ago. 2022.
- BAILEY, I.; MARESH, S. Scales and networks of neoliberal climate governance: the regulatory and territorial logics of European Union emissions trading. **Transactions of the Institute of British Geographers**, v. 34, n. 4, p. 445–461, out. 2009.
- BETZ, R. et al. **The Carbon Market Challenge: Preventing Abuse Through Effective Governance**. 1. ed. [s.l.] Cambridge University Press, 2022.
- BIEDENKOPF, K. et al. A Global Turn to Greenhouse Gas Emissions Trading? Experiments, Actors, and Diffusion. **Global Environmental Politics**, v. 17, n. 3, p. 1–11, ago. 2017.
- BLANTON, A. et al. The status of forest carbon markets in Latin America. **Journal of Environmental Management**, v. 352, p. 119921, fev. 2024.
- BRUZZESE, S. et al. A systematic review of markets for forest ecosystem services at an international level. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 53, n. 7, p. 463–477, 1 jul. 2023.
- DINH TIEN, N. et al. Toward high-integrity forest carbon market of ethnic minority groups in Dak Lak province, Vietnam. **Heliyon**, v. 10, n. 22, p. e39998, nov. 2024.
- EBISSA, G.; FETENE, A.; DESTA, H. Comparative analysis of managing plantation forests: The case of keeping plantation forests for carbon credit and industrial profits in Oromia Region, Ethiopia. **Heliyon**, v. 9, n. 4, p. e15151, abr. 2023.
- FERREIRA, L. J.; DIAS, L. P.; LIU, J. Adopting Carbon Pricing Tools at the Local Level: A City Case Study in Portugal. **Sustainability**, v. 14, n. 3, p. 1812, 5 fev. 2022.
- GREEN, J. F. Does carbon pricing reduce emissions? A review of ex-post analyses. **Environmental Research Letters**, v. 16, n. 4, p. 043004, 1 abr. 2021.
- HAYA, B. K. et al. Comprehensive review of carbon quantification by improved forest management offset protocols. **Frontiers in Forests and Global Change**, v. 6, p. 958879, 21 mar. 2023.
- HERMAWAN, S.; KUSUMA, F. I. S. Navigating the complexities of carbon markets policy in ASEAN: challenges and opportunities. **Environment, Development and Sustainability**, 9 ago. 2024.

JIANG, Q.; MA, X. Spillovers of environmental regulation on carbon emissions network. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 169, p. 120825, ago. 2021.

JIN, C. et al. Does the porter hypothesis work well in the emission trading schema pilot? Exploring moderating effects of institutional settings. **Research in International Business and Finance**, v. 62, p. 101732, dez. 2022.

KHAN, M.; OZTURK, I. Examining the direct and indirect effects of financial development on CO2 emissions for 88 developing countries. **Journal of Environmental Management**, v. 293, p. 112812, set. 2021.

LE, H.; AZHGALIYEVA, D. Carbon pricing and firms' GHG emissions: Firm-level empirical evidence from East Asia. **Journal of Cleaner Production**, v. 429, p. 139504, dez. 2023.

LI, L.; ZHANG, D. Forest carbon offset protocols in compliance carbon markets. **Forest Policy and Economics**, v. 165, p. 103253, ago. 2024.

NEVES, S. A.; MARQUES, A. C.; PATRÍCIO, M. Determinants of CO2 emissions in European Union countries: Does environmental regulation reduce environmental pollution? **Economic Analysis and Policy**, v. 68, p. 114–125, dez. 2020.

NEVZOROVA, T. Carbon Market for Climate Projects in Russia: An Overview of Nature-Based and Technological Carbon Offsets. **Gases**, v. 4, n. 3, p. 153–173, 8 jul. 2024.

PAN, C. et al. Key challenges and approaches to addressing barriers in forest carbon offset projects. **Journal of Forestry Research**, v. 33, n. 4, p. 1109–1122, ago. 2022.

PEROSA, B.; NEWTON, P.; DA SILVA, R. F. B. A monitoring, reporting and verification system for low carbon agriculture: A case study from Brazil. **Environmental Science & Policy**, v. 140, p. 286–296, fev. 2023.

RAINA, N.; ZAVALLONI, M.; VIAGGI, D. Incentive mechanisms of carbon farming contracts: A systematic mapping study. **Journal of Environmental Management**, v. 352, p. 120126, fev. 2024.

RUSEVA, T. B. The governance of forest carbon in a subnational climate mitigation system: insights from a network of action situations approach. **Sustainability Science**, v. 18, n. 1, p. 59–78, jan. 2023.

SCOTT, W. A.; RHODES, E.; HOICKA, C. Multi-level climate governance: examining impacts and interactions between national and sub-national emissions mitigation policy mixes in Canada. **Climate Policy**, v. 23, n. 8, p. 1004–1018, 14 set. 2023.

SHI, B. et al. Market incentives, carbon quota allocation and carbon emission reduction: Evidence from China's carbon trading pilot policy. **Journal of Environmental Management**, v. 319, p. 115650, out. 2022.

- SHRESTHA, A. et al. Inclusion of forestry offsets in emission trading schemes: insights from global experts. **Journal of Forestry Research**, v. 33, n. 1, p. 279–287, fev. 2022.
- TAO, R. et al. The dynamic effect of eco-innovation and environmental taxes on carbon neutrality target in emerging seven (E7) economies. **Journal of Environmental Management**, v. 299, p. 113525, dez. 2021.
- TIE, M.; ZHU, M. Interpreting low-carbon transition at the subnational level: Evidence from China using a Natural Language Processing approach. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 187, p. 106636, dez. 2022.
- VAN DOREN, D. et al. Learning within local government to promote the scaling-up of low-carbon initiatives: A case study in the City of Copenhagen. **Energy Policy**, v. 136, p. 111030, jan. 2020.
- VASI, I. B.; WALKER, E. T. Subnational Environmental Policy: Trends and Issues. **Annual Review of Sociology**, v. 50, n. 1, p. 319–339, 12 ago. 2024.
- VONHEDEMANN, N. et al. Forest policy and management approaches for carbon dioxide removal. **Interface Focus**, v. 10, n. 5, p. 20200001, 6 out. 2020.
- YIN, K.; LIU, L.; GU, H. Green Paradox or Forced Emission Reduction—The Dual Effects of Environmental Regulation on Carbon Emissions. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 19, n. 17, p. 11058, 3 set. 2022.
- ZHANG, H.; LIU, Z.; ZHANG, Y.-J. Assessing the economic and environmental effects of environmental regulation in China: The dynamic and spatial perspectives. **Journal of Cleaner Production**, v. 334, p. 130256, fev. 2022.
- ZHANG, L.; WANG, Q.; ZHANG, M. Environmental regulation and CO2 emissions: Based on strategic interaction of environmental governance. **Ecological Complexity**, v. 45, p. 100893, jan. 2021.
- ZHOU, K. et al. Carbon finance and funding for forest sector climate solutions: a review and synthesis of the principles, policies, and practices. **Frontiers in Environmental Science**, v. 12, p. 1309885, 10 abr. 2024.

## CONCLUSÃO GERAL

Os Pagamentos por Serviços Ambientais (PSA) podem ser ferramentas eficazes para promover a conservação ambiental, o desenvolvimento sustentável e a mitigação das emissões de gases de efeito estufa (GEE). No entanto, para que esses programas sejam bem-sucedidos e duradouros, é essencial fortalecer a governança participativa, envolver proprietários rurais e usuários dos serviços ambientais, diversificar fontes de financiamento e implementar mecanismos de monitoramento robustos. A dependência exclusiva de financiamento público e a falta de indicadores claros comprometem a longevidade e a eficácia das iniciativas de PSA.

A conservação e a restauração florestal são estratégias complementares fundamentais para garantir a provisão de serviços ecossistêmicos, sendo necessária uma abordagem integrada e baseada em análise espacial para definir áreas prioritárias. A metodologia desenvolvida para priorização de áreas demonstrou que a Matriz Florestal e as Áreas de Proteção Permanente são determinantes para conservação, enquanto o Passivo Ambiental e a proximidade de Unidades de Conservação são essenciais para estratégias de restauração. Essas diretrizes são essenciais para maximizar o impacto positivo das políticas públicas voltadas para a gestão territorial e a resiliência dos ecossistemas.

A regulação subnacional de mercados de carbono pode ser utilizada como mecanismos para fortalecer as estratégias de compensação de emissões e viabilizar projetos de restauração florestal. O modelo de compensação implementado em Extrema (MG) demonstrou que, quando bem estruturadas, essas iniciativas podem integrar PSA ao licenciamento ambiental e fortalecer mercados locais de créditos de carbono. A definição de um teto de emissões decrescente, aliada a um ciclo de projetos transparente e acessível a pequenos produtores, fortalece a credibilidade e a rastreabilidade dos créditos gerados, tornando a compensação de emissões mais eficiente e equitativa.

A integração entre PSA, mercados de carbono e restauração florestal fortalece as estratégias subnacionais de mitigação das mudanças climáticas e gera impactos ambientais, sociais e econômicos positivos. O aprimoramento das políticas públicas e o envolvimento dos diferentes atores são determinantes para aumentar a transparência, garantir resultados verificáveis e escalar soluções de compensação de emissões que sejam replicáveis em diferentes contextos.