

15º SIMPÓSIO NACIONAL DE

GEOMORFOLOGIA

SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS DE PROVISÃO HÍDRICA E ELEGIBILIDADE AO PSA: ANÁLISE INTEGRADA DO RELEVO E USO DA TERRA EM BACIAS HIDROGRÁFICAS

Jussara Dias dos Santos¹
Guilherme Ribeiro Aguiar²
Leomar Moreira Rodrigues³
Marcelino Santos de Morais⁴
Eric Bastos Gorgens⁵
Luciano Cavalcante de Jesus França⁶
Danielle Piuzana Mucida⁷

RESUMO

Diante da crescente demanda por gestão integrada dos recursos naturais, este estudo destaca o mapeamento dos serviços ecossistêmicos (SE) de provisão hídrica, considerando disponibilidade e qualidade da água. Aspectos geomorfológicos são fundamentais para compreender a recarga, o escoamento e a retenção hídrica, essenciais à proteção de nascentes e à segurança hídrica. O objetivo é mapear e avaliar, a partir da paisagem, a capacidade de oferta desses SE em bacias hidrográficas, subsidiando mapas de elegibilidade ao Pagamento por Serviços Ambientais (PSA). A pesquisa foi realizada nas sub-bacias do Rio Preto e do Ribeirão Santana, na Circunscrição Hidrográfica do Rio Araçuaí (JQ2), nordeste de Minas Gerais, área de transição entre biomas, marcada por diversidade ambiental e vulnerabilidade à desertificação. Utilizou-se dados secundários de plataformas públicas (IDE-SISEMA), Sistemas de Informação Geográfica, álgebra de mapas e análise multicritério. As variáveis ambientais foram ponderadas com base em critérios legais de elegibilidade ao PSA, definidos por especialistas e validados em campo. Foram analisadas Unidades de Paisagem (UP) e o uso e ocupação da terra, conforme o Zoneamento Ambiental e Produtivo de MG. As UP foram avaliadas pelo potencial de oferta de SE hídricos com base em nascentes, rede de drenagem e características ambientais. Os resultados apontam: 5,05% com provisão Muito Baixa, 32,45% Baixa, 32,41% Média, 29,56% Alta e 0,52% Muito Alta. Áreas com vertentes ravinadas, vales encaixados e planícies fluviais mostraram alta provisão hídrica. Para o PSA, 20% das áreas são altamente elegíveis, 27% têm média e 42% baixa ou muito baixa elegibilidade. Verificou-se divergência entre oferta ecológica e elegibilidade institucional, especialmente em áreas antropizadas. A integração entre geomorfologia, SIG e análise multicritério revela-se eficaz para o planejamento ambiental e gestão dos SE, especialmente em contextos de pressão antrópica.

Palavras-chave: Conservação, Planejamento territorial, Políticas ambientais, Sistemas de Informação Geográfica, Sustentabilidade

¹ Doutoranda pelo Curso de Pós-Graduação em Ciência Florestal da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri- UFVJM, jussara.dias@ufvjm.edu.br;

² Doutorando em Ciência Florestal da Universidade Federal Lavras, guilherme.aguiar1@estudante.ufla.br;

³ Mestrando em Ciência Florestal da UFVJM, leomar.moreira@ufvjm.edu.br;

⁴ Professor do Curso de Geografia da UFVJM, marcelino.morais@ufvjm.edu.br;

⁵ Professor do Curso Ciência Florestal da UFVJM, eric.gorgens@ufvjm.edu.br;

⁶ Professor do Curso de Engenharia Florestal/ Ciência Florestal das Universidade de Uberlândia (UFU) e UFVJM, luciano.franca@ufu.br;

⁷ Professora do Curso de Geografia/ Ciência Florestal da UFVJM, danielle.piuzana@ufvjm.edu.br.



INTRODUÇÃO

A crescente escassez e degradação dos recursos hídricos têm impulsionado a busca por abordagens integradas de gestão ambiental, especialmente em territórios vulneráveis e sujeitos à intensificação das atividades antrópicas (FIGUEIREDO et al., 2024; GARCIA et al., 2025). Nesse contexto, a capacidade dos ecossistemas de ofertar água em quantidade e qualidade adequadas, têm ganhado destaque como instrumento técnico e político para orientar ações de conservação e uso sustentável do território, especialmente quando associados ao pagamento por serviços ambientais (PSA) (MEA, 2005; COSTANZA et al., 2017; VALENTE et al., 2025).

Os aspectos geomorfológicos, ao influenciarem diretamente a recarga, o escoamento e a retenção da água no ambiente, desempenham papel central na manutenção dos processos hidrológicos naturais (CHRISTOFOLETTI, 1980; ROSS, 1994), o que contribui diretamente para oferta de serviços ecossistêmicos hídricos (SEH). Nesse sentido, a avaliação da provisão hídrica e sua elegibilidade a mecanismos como o PSA, tornam-se estratégicas para a gestão territorial e a formulação de políticas públicas (ENGEL; PAGIOLA; WUNDER, 2008). Este estudo objetiva mapear e avaliar a oferta de SE de provisão hídrica em duas sub-bacias do nordeste de Minas Gerais, utilizando técnicas de geoprocessamento e análise multicritério, considerando também os critérios legais de elegibilidade ao PSA.

REFERENCIAL TEÓRICO

Os SE são benefícios diretos e indiretos proporcionados naturalmente pelos ecossistemas às populações humanas e classificados em 4 categorias: Provisão, Regulação, Suporte e Culturais (MEA, 2005, IPBES, 2022), e são cruciais para o bem-estar humano, englobando bens e serviços de importância econômica, ambiental e social (COSTANZA et al., 1997). No Brasil, a Política Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais (PNPSA), instituída pela Lei nº 14119/2021, visa incentivar a manutenção, recuperação e melhoria dos SE. Portanto, configura-se como um instrumento econômico direto de incentivo à conservação ambiental, remunerando proprietários por práticas que conservam ou restauram ecossistemas (WUNDER; PAGIOLA; ENGEL, 2008). Para ser efetivo, o PSA deve considerar tanto a oferta ecológica de serviços quanto a elegibilidade institucional, baseada em critérios legais e técnicos (ENGEL; PAGIOLA; WUNDER, 2008). Uma estratégia para verificar o potencial de propriedades rurais é a elegibilidade de áreas (MAMEDES et al., 2023). No entanto, a literatura ainda carece de metodologias



robustas e detalhadas para identificar imóveis rurais aptos a receber incentivos de PSA (COELHO et al., 2021).

A disponibilidade hídrica, uma das categorias de SE de provisão, é fundamental para o bem-estar humano e para os sistemas produtivos, sendo diretamente afetada pela configuração do relevo, tipos de solo, cobertura vegetal e uso da terra (TUNDISI; TUNDISI, 2008; GARCIA-RUBIO et al., 2024). Estudos apontam que a incorporação da geomorfologia à avaliação de SE permite identificar áreas prioritárias para conservação, restauração e incentivos ao PSA (FUSHITA et al., 2016; BROWN et al., 2021), principal foco do presente estudo. Portanto, foram utilizadas Unidades de Paisagem/relevo (UP) do Zoneamento Ambiental e Produtivo (ZAP) de Minas Gerais, um importante instrumento de gestão territorial (MINAS GERAIS, 2020), como categoria de análise dos fatores geomorfológicos e produtivo que influenciam a oferta de SE hídricos pela paisagem para estabelecer critérios de elegibilidade de PSA na área de estudo.

A categoria geográfica “paisagem” é aplicada na concepção de propostas de zoneamentos, pois a delimitação de UP, contempla porções relativamente homogêneas frente às “descontinuidades objetivas da paisagem” (BERTRAND, 2004; ROSA & FERREIRA, 2022). Nos zoneamentos ambientais a delimitação de UP consiste no estabelecimento das variáveis: geologia, relevo e solo. Por se tratar de uma metodologia que segue a base proposta por Fernandes *et al.*, (2013), a paisagem é considerada dentro de cada especificidade local, como uma síntese dos componentes do meio físico com o meio biótico e o meio socioeconômico (FERNANDES *et al.*, 2013).

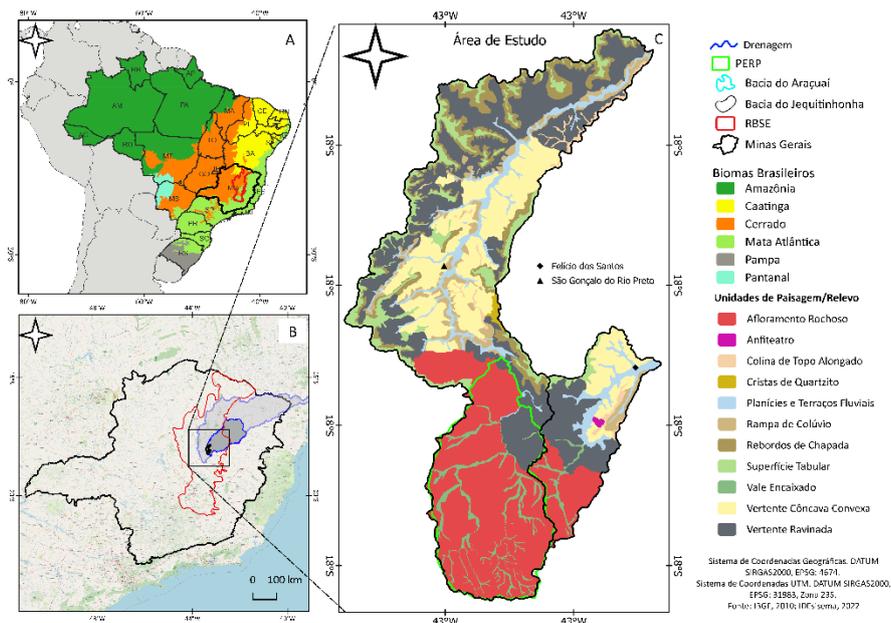
Apoiamo-nos também na definição de Unidade de Paisagem enquanto espaço do terreno com características hidro-geomorfológicas para associá-la, portanto, ao relevo. A definição de Unidades de Paisagem que Fernandes *et al.* (2013) trazem, pode ser relacionada com a teoria dos geossistemas, delimitadas segundo a funcionalidade sistêmica de seus atributos como geologia, solo e relevo. Fernandes et al., (2013) classificaram e caracterizaram 11 UP para a área de estudo. Além disso, cada UP possui suas potencialidades, limitações e aptidões. É com base nessas características que o presente estudo foi embasado para avaliação da oferta de serviços hídricos ofertados pela paisagem/relevo. Além disso, o uso e ocupação da terra vem sendo bastante estudada como uma categoria importante tanto para oferta e disponibilidade SE, quanto para o PSA.

A integração de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e geoprocessamento é vital para o ordenamento territorial e a tomada de decisão, otimizando a eficiência e precisão das análises ambientais (FRANÇA et al., 2020). A análise multicritério, que permite a avaliação de múltiplos fatores simultaneamente, é uma abordagem adequada para determinar a elegibilidade de áreas para PSA e para mapear a oferta de SEH, considerando a complexidade dos fatores envolvidos (BURKHARD et al., 2009).

METODOLOGIA

O estudo foi realizado nas sub-bacias dos rios Preto e Ribeirão Santana, inseridas na Circunscrição Hidrográfica do Rio Araçuaí (JQ2), que abrange 46.564,95 ha, centro-norte de Minas Gerais (Figura 1). O clima é tropical de altitude (Cwb), e a vegetação predominante é campestre típica do Cerrado e Floresta Estacional Semidecidual típica do ecótono Cerrado-Mata Atlântica. As bacias possuem Zoneamento Ambiental e Produtivo (ZAP) com informações detalhadas sobre o meio natural e produtivo (GORGENS et al., 2021; MUCIDA et al., 2022). Foram utilizados dados secundários disponibilizados em plataformas públicas como o IDE-SISEMA, processados em ambiente de Sistema de Informação Geográfica (SIG).

Figura 1: Mapa de Localização da área de estudo no sudeste do Brasil, estado de Minas Gerais, na porção cimeira da bacia do Araçuaí e detalhe das sub-bacias hidrográficas do rio Preto e ribeirão Santana.



Aplicou-se a técnica de álgebra de mapas em análises multicritério, considerando variáveis como relevo, densidade de drenagem, presença de nascentes e uso da terra com atribuição de pesos por especialistas que variaram de 1 a 6 para uso da terra e de 0 a 5 para UP e demais camadas, sendo o menor valor “sem nenhuma relevância” e o mais alto valo de “muito alta relevância”. Para todas as variáveis utilizadas, foram obtidas camadas em formato *shapefile* no IDE-SISEMA e trabalhadas no software livre do QGIS versão 3.28. Os pesos das variáveis e critérios da oferta de SEH e de elegibilidade ao PSA foram definidos com base em especialistas e validados em campo. As UP foram avaliadas de acordo com as potencialidades, limitações e aptidões de cada uma para o fornecimento do SEH (Figura 2).

Figura 2: Potencialidades, Limitações e Aptidões de Unidades de Paisagem encontradas na área de estudo.

UNIDADE DE PAISAGEM	POTENCIALIDADE	LIMITAÇÃO	APTIDÃO	UNIDADE DE PAISAGEM	POTENCIALIDADE	LIMITAÇÃO	APTIDÃO
AFLORAMENTO ROCHOSO	1 - Beleza cênica; 2 - Sítios de Geodiversidade; 3 - Aquíferos fraturados	1 - Acessibilidade/ Relevo acidentado, 3 - Solos com baixa fertilidade	1 - Pesquisas científicas em Campos Rupestres; 2 - Ecoturismo	REBORDOS DE CHAPADA	1 - Refúgio de fauna silvestre; 2 - Ocorrência de Nascentes.	1 - Alta vulnerabilidade ambiental; 2 - Relevo acidentado e solos rasos	1 - APP's
ANFITEATRO	1 - Área de concentração de águas pluviais	1 - Susceptibilidade à erosão; 2 - Baixa fertilidade de solos	1 - Agropecuária; 2 - APP's (nascentes); 3 - Culturas anuais e/ou sazonais, incluindo capineiras	VERTENTE CÔNCAVO/CONVEXO	1 - Recursos hídricos superficiais abundantes; 2 - perenes quanto em contato com Terraços e Planícies Fluviais.	1 - Relevo declivoso, susceptível à erosão. Solos rasos e pobres, podendo ocorrer Cambisolos com fertilidade média; 4 - Uso agrícola relacionadas à mecanização limitada.	1 - APP's; 2 - Área de recarga de aquífero; 3 - Em relevo suave, culturas permanentes e sazonais, agricultura, pastagens, silvicultura, fruticultura arbórea, cafeicultura.
COLINA DE TOPO ALONGADO	1 - Topo com solos profundos e permeáveis; 2 - Vertentes com concentração de águas pluviais	1 - Topo com solos de baixa fertilidade e necessidade de correção e fertilização; 2 - Vertente com declividade, erodibilidade	1 - Topo com vegetação arbórea permanente; 2 - Vertentes para proteção de nascentes, apicultura, APP; Área de recarga vulterránea; culturas permanentes.	VERTENTE RAVINADA	1 - Recursos hídricos superficiais; 2 - Preservação ambiental e uso Recreativo; 3 - Agricultura sazonal e perenes no contato com Campos Côncavo Convexo e Terraços e Planícies Fluviais.	1 - Solos pouco desenvolvidos e incóveis, baixa fertilidade; 3 - Declividade acima de 45%; 3 - Parcialmente inserida na Zona de Amortecimento do Parque Estadual de Rio Preto.	1 - APP's (nascentes em declividade superior 40°); 2 - Paisagem; 3 - Colina nas áreas com vegetação nativa; 4 - Barramentos para aproveitamento das águas pluviais
PLANÍCIE E TERRAÇO FLUVIAL	1 - Recurso hídrico superficial disponível; 2 - Relevo plano (planície) ou pouco declivoso (terraços).	1 - Planícies susceptíveis a inundações periódicas; 2 - Redução de vegetação ciliar para uso e ocupação do solo.	1 - Culturas anuais; 2 - Preservação de Nascentes; 3 - Agropecuária e expansão urbana nos Terraços; 4 - APP- vegetação ciliar.	VALE ENCAIXADO	1 - Nascentes de aquíferos fraturados; 2 - Recursos hídricos superficiais, com ocorrência de quedas d'água.	1 - Relevo fortemente acidentado; 2 - Difícil acesso 3 - Declividade acentuada (45 a 75%); 4 - Solos com baixa fertilidade	1 - APP's nascentes e curso d'água; 2 - Pesquisa científica; 3 - Beleza Cênica.
RAMPA DE COLÚVIO	1 - Relevo suave; 2 - Solos profundos; 3 - Permite mecanização agrícola.	1 - Solos de baixa fertilidade; 2 - Susceptíveis à compactação de máquinas ou pisoteio de animais; 3 - Susceptível a erosão pluvial (lamina e solco).	1 - Agropecuária, culturas anuais, pastagens, silvicultura, fruticultura e capineiras sob sistemas de controle de erosão.	CRISTAS QUARTZÍTICAS	1 - Beleza cênica; 2 - recarga de aquíferos	1 - Afloramento de Rocha; 2 - Declive Acentuado	1 - Área de preservação permanente; 2 - Ecoturismo; 3 - Áreas de recarga
SUPERFÍCIE TABULAR	1 - Solo profundo, permeável, com aquíferos devido aos horizontes lateríticos; 2 - Relevo plano, mecanização; 3 - Recarga de bacia.	1 - Solos com baixa fertilidade, elevada acidez 2 - Escassez de recurso hídrico superficial.	1 - Extrativismo vegetal e pecuária (usos tradicionais) 2 - Apicultura, Silvicultura, Fruticultura arbórea e Cafeicultura				

Além disso, para elegibilidade ao PSA, foi necessário recorrer ao Cadastro Ambiental Rural (CAR), que é uma ferramenta essencial para identificar propriedades e obter informações geoespaciais dos imóveis rurais, incluindo a cobertura florestal. Sua combinação com outras informações permite identificar a elegibilidade de imóveis rurais para programas de PSA, promovendo a proteção dos recursos naturais e práticas sustentáveis.

As bases de dados utilizadas para o mapeamento de SEH foram: (i) APP conservada e Antropizada; (ii) Rede hidrográfica; (iii) Concentração de Nascentes; (iv)



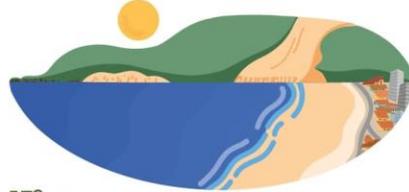
Unidades de Paisagem/Relevo, todas do ZAP-IDE-SISEMA. Para o mapa de elegibilidade quanto ao PSA foram utilizadas: (i) Conflito APP; (ii) Uso e Ocupação da terra, (ambas do ZAP- IDE-SISEMA); (iii) Áreas prioritárias a conservação (IEPHA); (iv) Carbono acima do solo (SIRENE, MCTI) e (v) Proximidade de Unidades de Conservação e Zona de Amortecimento (IDE-SISEMA).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após o processamento, foram obtidas as notas finais internas para cada classe dos planos de informação. A oferta de SEH apresentou potencial de médio a alto na área de estudo, totalizando 61,97%. Esse resultado é justificado pelo elevado nível de conservação das bacias hidrográficas e pela alta concentração de nascentes, especialmente no interior da Unidade de Conservação do Parque Estadual do Rio Preto (Figura 3). A presença significativa de nascentes indicou áreas de alta importância para a produção de água. No entanto, regiões sem nascentes tiveram sua relevância reduzida, mesmo apresentando alto potencial para fornecimento de SEH. A ausência de nascentes, especialmente nas proximidades do curso principal do rio, impactou negativamente os valores atribuídos a essas áreas. Essa limitação sugere a necessidade de reavaliar o critério de concentração de nascentes, pois ele pode induzir à interpretação equivocada de que áreas sem nascentes não possuem relevância hídrica. Isso não condiz com a realidade, uma vez que essas regiões abrigam uma densa rede de drenagem com diversos cursos d'água menores, além do próprio rio principal, os quais também contribuem significativamente para a oferta de SEH.

A elegibilidade das APP mostrou áreas conservadas com alto potencial. Áreas prioritárias à conservação e proximidade com UC foram cruciais para identificar áreas de maior relevância. O carbono acima do solo demonstrou a importância da conservação de vegetações, especialmente florestais. No valor final, apenas 16,73% e 4,83% da área apresentaram Alta e Muita Elegibilidade ao PSA.

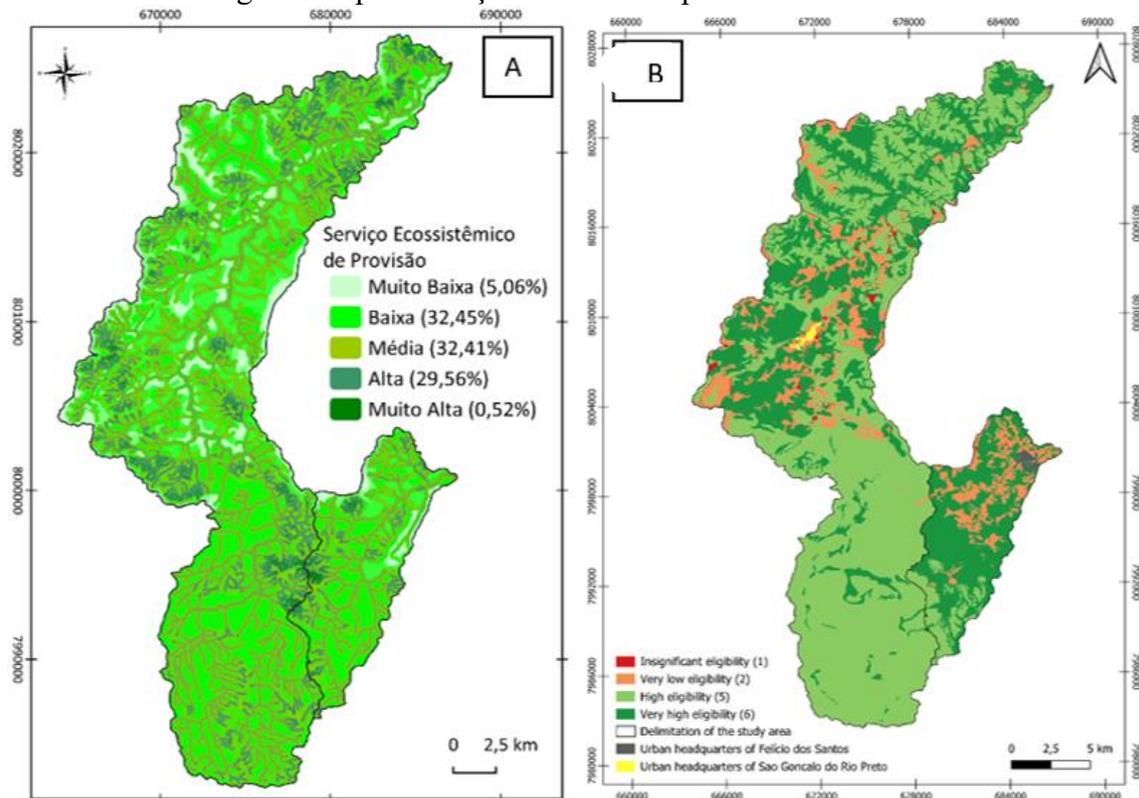
A análise espacial indicou que os SE de provisão hídrica estão distribuídos com: 5,06% da área com provisão Muito Baixa, 32,45% Baixa, 32,41% Média, 29,56% Alta e 0,52% Muito Alta. Áreas com vertentes ravinadas, vales encaixados e planícies fluviais associadas à vegetação conservada apresentaram maior oferta hídrica (Figura 3A). Quanto à elegibilidade ao PSA, 20% da área apresentou alta elegibilidade (em geral no setor sul das bacias), 27% média (associada à rede de drenagem) e 42% baixa a muito



15º SIMPÓSIO NACIONAL DE
GEOMORFOLOGIA

baixa, sobretudo em áreas centrais e norte da região, caracterizadas por usos agropastoris intensivos (Figura 3B).

Figura 3: Mapas dos Serviços Ecossistêmicos Hídricos e de elegibilidade por Pagamento por Serviços Ambientais para a área de estudo



Houve divergência significativa entre a oferta ecológica e a elegibilidade institucional: áreas com alto potencial de SE não atendem, necessariamente, aos critérios legais do PSA, especialmente as planícies fluviais antropizadas (Figura 3). Por outro lado, áreas com práticas conservacionistas revelaram tanto alta provisão de SE quanto elegibilidade, especialmente na porção sul onde está localizado o Parque Estadual do Rio Preto (PERP), demonstrando o potencial do PSA como ferramenta de incentivo à conservação em zonas de fragilidade ambiental.

Os critérios definidos para a análise multicritério foram satisfatórios para a implementação de um programa de PSA. O mapeamento de SEH se mostrou uma metodologia eficiente e importante para a análise. A proposta metodológica do trabalho identificou com sucesso áreas mais e menos elegíveis para PSA, permitindo a seleção de imóveis rurais prioritários. O uso de dados geoespaciais públicos e oficiais garante a replicabilidade da metodologia em diferentes contextos geográficos. A análise



exploratória, combinada com as delimitações das propriedades rurais, foi fundamental para refinar a seleção dos imóveis mais aptos ao PSA, garantindo que as propriedades selecionadas apresentassem mínima presença de áreas inelegíveis.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A integração entre geomorfologia, análise multicritério, consulta a especialistas e geotecnologias mostrou-se eficaz na avaliação da provisão hídrica e na identificação de áreas prioritárias para políticas de PSA. Os resultados destacam a importância de considerar tanto critérios ecológicos quanto institucionais para a efetividade desses instrumentos. A metodologia proposta contribui para o planejamento territorial sustentável em regiões vulneráveis do semiárido, oferecendo subsídios técnicos para gestores públicos. No entanto, foram identificadas limitações, como a possível exclusão de propriedades distantes de Unidades de Conservação, que também desempenham papel relevante na conservação ambiental. A validação dos imóveis selecionados, especialmente os com solo exposto ou vegetação bem conservada, é essencial para ajustar o modelo.

A comparação com o mapeamento de SEH evidenciou que, apesar dos enfoques distintos, as abordagens são complementares. Enquanto o modelo de PSA fornece uma visão ampla dos serviços ecossistêmicos, o mapeamento de SEH aprofunda-se nos aspectos geomorfológicos e nas percepções locais. A integração dessas abordagens pode tornar os programas de PSA mais eficazes e socialmente justos, valorizando tanto os aspectos biofísicos quanto o conhecimento local.

AGRADECIMENTOS: Este estudo foi financiado, em parte, pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001. Agradecemos à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) pelo apoio ao projeto APQ 00185-22, à Bolsa de Produtividade em Pesquisa FAPEMIG/CNPq APQ-06558-24 (DPM), e aos projetos CNPq/MCTI/FNDCT 423939/2021-1 e FAPEMIG APQ 00943-21.



REFERÊNCIAS

BRASIL. Lei Nº 14119, de 13 de janeiro de 2021. **Institui a Política Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais**; e altera as Leis nos 8.212, de 24 de julho de 1991, 8.629, de 25 de fevereiro de 1993, e 6.015, de 31 de dezembro de 1973, para adequá-las à nova política.

Brasília, DF, 2021. <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=407841>

BROWN, A. G. et al. Ending the Cinderella status of terraces and lynchets in Europe: The geomorphology of agricultural terraces and implications for ecosystem services and climate adaptation. **Geomorphology**, v. 379, p. 107579, 2021.

<https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2020.107579>

BURKHARD, B., KROLL, F. MÜLLER, F. & WINDHORST, W. Landscapes ‘Capacities to Provide Ecosystem Services – a Concept for Land-Cover Based Assessments. **Landscape Online**, vol. 15, p. 1-22. 2009. <https://doi.org/10.3097/LO.200915>

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo: Editora Hucitec, 1980.

COELHO, N. R. et al. Panorama das iniciativas de pagamento por serviços ambientais hídricos no Brasil. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, [S.L.], v. 26, n. 3, p. 409-415, jun. 2021.

<https://doi.org/10.1590/S1413-415220190055>

COSTANZA, R. et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital. **Nature** 387, 253–260, 1997. <https://doi.org/10.1038/387253a0>

COSTANZA, R. et al. Twenty years of ecosystem services: How far have we come and how far do we still need to go?. **Ecosystem services**, v. 28, p. 1-16, 2017.

<https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2017.09.008>

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, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2008.03.011>

FERNANDES, M. R. et al. Minas Gerais: Caracterização de Unidades de Paisagem. Belo Horizonte, MG: EMATER-MG. 2013. 92 p.

FIGUEIREDO, D. M. et al. Relação entre agropecuária e segurança hídrica no cenário das mudanças climáticas. **Cadernos de Agroecologia**, v. 19, n. 1, 2024. Disponível em:

<https://cadernos.aba-agroecologia.org.br/cadernos/article/view/9612/7169>. Acesso em: 10 Jul. 2025.

FRANÇA, L. C. J.; et al. AHP approach applied to multi-criteria decisions in environmental fragility mapping. **Revista Floresta**, 50(3): 1623-1632, 2020.

<http://dx.doi.org/10.5380/rf.v50i3.65146>

FUSHITA, A. T. et al. Landscape structural indicators as a tool to assess land use changes in planning for sub-basin sustainability (southeastern Brazil). **Journal of Water Resource and Protection**, v. 8, n. 4, p. 482-492, 2016. DOI: [10.4236/jwarp.2016.84041](https://doi.org/10.4236/jwarp.2016.84041)

GARCIA, P. H. M. et al. Geotecnologias livres na classificação do uso e cobertura da terra em pequenas bacias hidrográficas: aplicações no planejamento e na gestão da legislação



ambiental. **Revista Ciência Geográfica**, v. 29, n. 2, 2025.

DOI: <https://doi.org/10.18817/26755122.29.2.2025.4224>

GARCÍA-RUBIO, N. et al. An economic valuation of the provisioning ecosystem services in the south-west of Europe. **Environment, Development and Sustainability**, p. 1-27, 2024.

<https://doi.org/10.1007/s10668-024-04877-y>

GORGENS, E. B. et al. **Zoneamento Ambiental Produtivo: Bacia Hidrográfica do Ribeirão Santana - MG**. 2021. 1ª ed., Diamantina: UFVJM, 2021.

https://www.researchgate.net/publication/350189616_Zoneamento_Ambiental_Produtivo_Bacia_Hidrografica_do_Ribeirao_Santana_MG

INTERGOVERNMENTAL PLATFORM ON BIODIVERSITY AND ECOSYSTEM SERVICES (IPBES). (2022). Disponível em: <https://www.ipbes.net/the-values-assessment>. Acesso em 13 Jul. 2025.

MAMEDES, I. et al. Brazilian payment for environmental services programs emphasize waterrelated services. **International Soil And Water Conservation Research**, [S.L.], v. 11, n. 2, p. 276-289, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2023.01.001>

MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT, M. E. A. Ecosystems and human wellbeing. Washington, DC: Island Press, 2005. Disponível em: <https://www.millenniumassessment.org/documents/document.356.aspx.pdf>. Acesso em 13 Jul. 2025.

MINAS GERAIS. SEMAD/SEAPA-MG, 2020. Metodologia do Zoneamento Ambiental Produtivo ZAP de sub-bacias hidrográfica. 3ª ed. Disponível em: http://www.agricultura.mg.gov.br/images/documentos/Metodologia_ZAP_3ed.pdf. Acesso em: 15 Jul. 2025.

MUCIDA, D. P. et al. **Zoneamento Ambiental e Produtivo: Bacia Hidrográfica do Rio Preto - MG**. 1ª ed., Diamantina: UFVJM, 2022. https://www.researchgate.net/publication/361815100_Zoneamento_Ambiental_e_Produtivo_Bacia_Hidrografica_do_Rio_Preto_-_MG

ROSS, J. L. S. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. **Revista do departamento de geografia**, n. 8, p. 63-74, 1994. DOI: [10.7154/RDG.1994.0008.0006](https://doi.org/10.7154/RDG.1994.0008.0006)

TUNDISI, J. G.; MATSUMURA-TUNDISI, T.; TUNDISI, J. E. M. Reservoirs and human well-being: new challenges for evaluating impacts and benefits in the neotropics. **Brazilian Journal of Biology**, v. 68, p. 1133-1135, 2008. <https://doi.org/10.1590/S1519-69842008000500020>

VALENTE, R. A. et al. Forest Conservation Strategies to Enhance Hydrologic Ecosystem Services. **Forest Conservation Strategies to Enhance Hydrologic Ecosystem Services**. DOI: [http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.5276389](https://dx.doi.org/10.2139/ssrn.5276389)

WUNDER, S.; ENGEL, S.; PAGIOLA, S. Taking stock: A comparative analysis of payments for environmental services programs in developed and developing countries. **Ecological economics**, v. 65, n. 4, p. 834-852, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2008.03.010>