ANÁLISE DAS ÁREAS PASSÍVEIS DE RESTAURAÇÃO EM ZONAS DE AMORTECIMENTO: INTEGRAÇÃO ENTRE APPS, RLS E PASTAGENS DEGRADADAS

Patrick Faria Fernandes [1], Paulo André Tavares [2], Maria Lucia Ferreira Barbosa [3], Carlos Delano Cardoso de Oliveira [3], Melodie Kern Sarubo Dorth Sinegalia [1], Bianca Jacobe Martins Soares [3] e Paulo Guilherme Molin [3]

[1] Programa de Pós-Graduação em Planejamento e Uso de Recursos Renováveis, UFSCar, campus Sorocaba, Sorocaba, São Paulo, patrick.faria.fernandes@gmail.com; melodiedorth@estudante.ufscar.br; [2] Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, ESALQ-USP, campus Piracicaba, Piracicaba, São Paulo, pa-tavares@hotmail.com; [3] Centro de Ciências da Natureza, UFSCar, campus Lagoa do Sino, Buri, São Paulo, malucsp@gmail.com; cdcoliveira@ufscar.br; biancajacobsp@gmail.com; pgmolin@ufscar.br

RESUMO

A restauração ecológica é fundamental para mitigar a degradação ambiental e as mudanças climáticas. Este estudo buscou identificar áreas passíveis de restauração nas Zonas de Amortecimento (ZAs) das Unidades de Conservação de Proteção Integral (UCPIs) em São Paulo, considerando a importância das Áreas de Preservação Permanente (APPs), Reservas Legais (RLs) e pastagens degradadas. Através de dados secundários, junto com a aplicação de ferramentas de sensoriamento remoto, foram mapeados 416.312,42 hectares de áreas restauráveis, correspondendo a 25,58% da área total das ZAs. Desses, 64.527 ha estão em APPs, 28.060 ha em RLs, 47.496 ha em pastagens moderadamente degradadas e 25.953 ha em pastagens severamente degradadas. Os resultados ressaltam a necessidade de estratégias de restauração diversificadas, priorizando APPs e RLs, além de sugerir incentivos financeiros para a restauração em pastagens degradadas. Essa abordagem integrada é essencial para fortalecer políticas de restauração, beneficiando a biodiversidade e os serviços ecossistêmicos.

Palavras-chave *— restauração florestal*, planejamento ambiental, áreas protegidas, sensoriamento remoto, recuperação de áreas degradadas.

ABSTRACT

Ecological restoration is essential for mitigating environmental degradation and climate change. This study aimed to identify areas suitable for restoration in the Buffer Zones (ZAs) of Integral Protection Conservation Units (UCPIs) in São Paulo, considering the importance of Permanent Preservation Areas (APPs), Legal Reserves (RLs), and degraded pastures. Using secondary data, along with remote sensing tools, 416,312.42 hectares of restorable areas were mapped, corresponding to 25.58% of the total area of the ZAs. Of these, 64,527 ha are in APPs, 28,060 ha in RLs, 47,496 ha in moderately degraded pastures, and 25,953 ha in severely degraded ones. The results emphasize the need for diversified restoration strategies, prioritizing APPs and RLs, while also suggesting financial incentives for reforestation of degraded pastures. This integrated approach is essential for strengthening environmental restoration policies, benefiting biodiversity and ecosystem services.

Key words *— forest restoration, environmental planning, protected areas, remote sensing, recovery of degraded areas.*

1. INTRODUÇÃO

A restauração ecológica ganha importância global ao mitigar a degradação ambiental, mudanças climáticas, preservar a biodiversidade e fortalecer a resiliência dos ecossistemas [1, 2, 3]. No Brasil, as Áreas de Preservação Permanente (APPs), Reservas Legais (RLs) e pastagens degradadas oferecem grandes oportunidades para ações de restauração. Recuperar áreas degradadas é essencial não só para restaurar serviços ecossistêmicos, como a regulação do ciclo hídrico e a proteção contra erosão, mas também para promover a conectividade entre fragmentos florestais, vital para a sobrevivência de espécies [4, 5]. Com isso, a restauração nessas áreas contribui diretamente para a conservação dos recursos naturais e o bem-estar humano [6, 7].

As Zonas de Amortecimento (ZAs) em Unidades de Conservação (UCs) têm papel estratégico no processo, atuando como áreas de transição entre ambientes preservados e antropizados [8]. A restauração de áreas degradadas nas ZAs pode potencializar as UCs, ampliando suas funcionalidades ecológicas e garantindo que impactos humanos externos não comprometam a integridade dessas áreas [9, 10]. Além disso, apresentam grande potencial para projetos de restauração em larga escala, especialmente em estados como São Paulo, onde há crescente pressão sobre os recursos naturais devido à urbanização e agricultura [11, 12].

A identificação de áreas passíveis de restauração pode ser facilitada pelo uso de técnicas de sensoriamento remoto, que permitem a análise de dados secundários em larga escala e alta precisão [13]. Ferramentas como Google Earth Engine, imagens de satélite e outros dados possibilitam a identificação de áreas degradadas, mapeamento de APPs, RLs e pastagens degradadas [14, 15]. O uso dessas

tecnologias torna viável a coleta de informações sobre o histórico e estado atual de áreas degradadas em grandes territórios, de forma rápida e eficiente, sem a necessidade de coleta de dados em campo em grande escala [15].

As APPs e RLs, áreas sujeitas a restauração obrigatória por meio de instrumentos de comando e controle, conforme estabelecido pela Lei de Proteção de Vegetação Nativa, desempenham um papel crucial na proteção dos recursos naturais [16]. Por outro lado, as pastagens degradadas, que representam parcela significativa das terras de baixo rendimento agrícola e não são necessariamente obrigadas por lei a serem restauradas, oferecem alto potencial para programas de incentivo financeiro, como os Pagamentos por Serviços Ambientais (PSA) [17, 18]. Esses mecanismos buscam estimular os proprietários a restaurarem suas áreas, o que não apenas aumenta a produtividade do solo, mas também recupera os serviços ecossistêmicos [19].

Nesse contexto, o objetivo deste estudo é identificar áreas restauráveis nas ZAs das UCs de Proteção Integral no Estado de São Paulo, utilizando dados secundários obtidos via sensoriamento remoto, focando em APPs, RLs e pastagens degradadas. A análise desses dados buscou-se quantificar essas áreas, fornecendo subsídios para a implementação de políticas públicas e estratégias de restauração ecológica.

2. MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo inclui 63 ZAs em UCPIs estaduais continentais no Estado de São Paulo, Brasil, com 1.627.451 ha, representando 6,56% da área total do Estado [20, 21] (Figura 1). Destas, 32 têm delimitações definidas nos planos de manejo, e para as demais foi aplicado um raio de 3 km ao redor das UCPIs, conforme diretrizes do CONAMA [22].

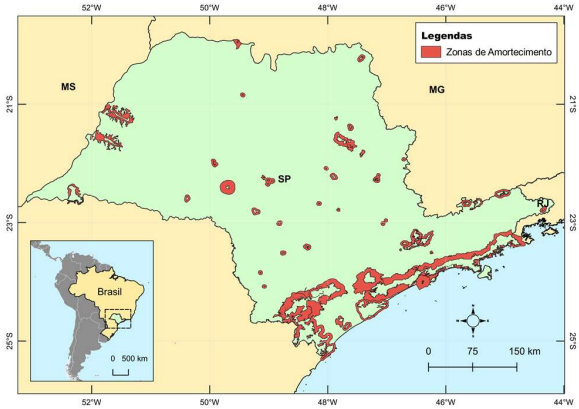


Figura 1. Localização e Delimitação das Zonas de Amortecimento em UCPIs Estaduais no Estado de São Paulo

Para identificar áreas restauráveis, foi utilizada a Coleção 8.0 de Uso e Cobertura da Terra do MapBiomas [23], com resolução de 30x30 metros, referente ao ano de 2022. Foram consideradas passíveis de restauração as áreas classificadas como pastagem e mosaico de usos, devido à baixa cobertura florestal e alto grau de degradação [24].

Os dados foram reclassificados e convertidos para formato vetorial no QGIS (v.3.28.13) [25]. Aplicou-se um buffer de 0,0001 metros ao redor dos polígonos, seguido da ferramenta "dissolver" para unir os fragmentos. Posteriormente, utilizou-se "multipartes para partes simples" e um buffer negativo de -0,0001 metros para ajustar os polígonos. Com as áreas restauráveis definidas, foi realizado uma interseção com dados de APPs [26], RLs [27] e pastagens degradadas [28], separadas em severamente degradadas (PSD) e moderadamente degradadas (PMD), a fim de quantificar as áreas restauráveis em cada categoria.

3. RESULTADOS

Ao todo, foram identificadas 416.312,42 ha de áreas passíveis de restauração nas ZAs do Estado de São Paulo (Figura 2), o que representa 25,58% da área total. Essa área está distribuída em 28.200 fragmentos de áreas restauráveis, com tamanho médio de 13,2469 ha, com máximo de 28.248,9851 ha e o mínimo de 0,0001 ha. O desvio padrão dos tamanhos foi de 240,32 ha, com uma variância de 57.757,05, indicando uma variabilidade considerável entre o tamanho dos fragmentos.

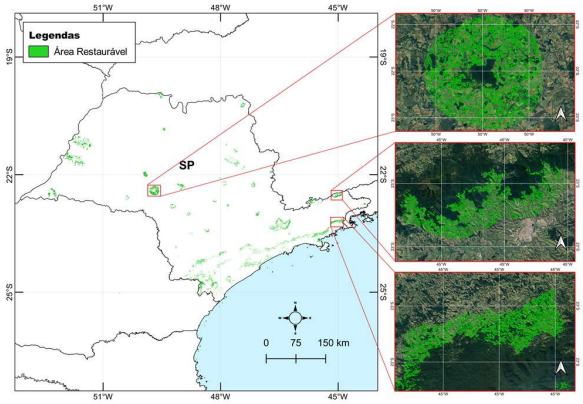


Figura 2. Áreas passíveis de restauração nas ZAs em UCPIs do Estado de São Paulo e os três maiores contínuos.

A distribuição do tamanho dos fragmentos restauráveis mostrou que 23% estão na faixa de 0 a 0,5 ha; 24% entre 0, 5 a 1; 24% entre 1 a 2,5 ha; 12% entre 2,5 a 5 ha e 17% acima de 5 ha (Figura 3). Os três maiores contínuos de áreas restauráveis se localizam ao centro (Estação Ecológica Caetetus) e sul (Parque Estadual Serra do Mar e Monumento Natural Estadual da Mantiqueira Paulista) do Estado, com 28.248, 11.429 e 9.761 ha, respectivamente (Figura 2).

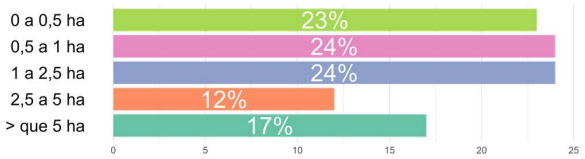


Figura 3. Distribuição do tamanho dos fragmentos de áreas passíveis de restauração nas ZAs em UCPIs do Estado de São Paulo.

As APPs apresentaram o maior potencial de restauração, totalizando 64.527 ha, ou 19,8% da área total de APPs nas ZAs (325.735 ha). As áreas restauráveis nas pastagens com degradação moderada somaram 47.496 ha, representando 34,5% das pastagens do estudo (137.477 ha), que incluem 63.243 ha saudáveis, 47.915 moderadamente degradadas e 26.319 severamente degradadas. As pastagens com degradação severa correspondem a 25.953 ha (18,9% da área). Por fim, as RLs contabilizam 28.060 ha de áreas restauráveis, representando 9,8% do total das RLs (286.500 ha), conforme tabela 1.

Categoria	Restaurável (ha)	% da Área Total	Área Total (ha)
APPs	64.527	19,8%	325.735
PMD	47.496	34,5%	137.477
PSD	25.953	18,9%	137.477
RLs	28.060	9,8%	286.500

Tabela 1. Estratificação das áreas restauráveis nas ZAs em UCPIs do Estado de São Paulo.

4. DISCUSSÃO

Os resultados revelam que as ZAs no estado de São Paulo abrigam 416.312,42 ha de áreas restauráveis, distribuídos em 28.200 fragmentos. Esse dado revela um grande potencial para a recuperação ambiental, com fragmentos que variam consideravelmente em tamanho, desde pequenas áreas até grandes contínuos. Essa diversidade demanda a implementação de estratégias de restauração variadas. Os fragmentos menores que 2,5 ha, que representam 71% das áreas restauráveis, apresentam desafios significativos devido à sua vulnerabilidade à degradação [29]. Contudo, esses pequenos fragmentos podem ser conectados a outras áreas, ou convertidos em *stepping stones* aumentando a conectividade da paisagem [30, 31], enquanto os grandes contínuos oferecem oportunidades para projetos de restauração em larga escala [15].

Entretanto, para otimizar os métodos de intervenção, é necessário a realização de estudos adicionais sobre a distribuição espacial e caracterização desses fragmentos de áreas passiveis de restauração [32]. Fatores como a proximidade à vegetação nativa, configuração da paisagem, distância para cursos d'água, entre outras variáveis devem ser considerados no planejamento [33, 34]. Esses elementos são fundamentais para maximizar a funcionalidade ecológica das áreas restauradas e garantir que as intervenções sejam eficazes e sustentáveis a longo prazo [15].

As APPs e RLs, emergem como alvos centrais, já que a legislação exige sua restauração e conservação [17]. Juntas, APPs e RLs totalizam mais de 90 mil ha de áreas restauráveis. Nesse contexto, medidas de comando e controle, como fiscalização rigorosa e aplicação de multas, são essenciais para garantir o cumprimento da legislação [35]. A restauração dessas áreas é fundamental não apenas para a recuperação da biodiversidade, mas também para a proteção dos recursos hídricos, mitigação de desastres ambientais e preservação da vegetação nativa [35, 36, 37], considerando ainda que as RLs sozinhas representam quase um terço da vegetação nativa do Brasil [38].

Já as pastagens degradadas, que somam mais de 73 mil ha, não estão sujeitas a obrigações legais de restauração, mas representam uma oportunidade significativa para recuperação ambiental e sustentabilidade na agricultura [39]. A degradação, muitas vezes causada pelo sobrepastoreio e manejo inadequado do solo [40], compromete a produtividade da pastagem. Porém, essas áreas podem ser revitalizadas com práticas de manejo sustentável, como o uso de sistemas agroflorestais e a integração lavoura-pecuária-floresta [41, 42]. Incentivos financeiros, como o PSA, podem mobilizar proprietários rurais para a recuperação voluntária dessas áreas [43]. Com isso, a restauração dessas pastagens é de suma importância e possui grande potencial de mitigar a erosão do solo, aumentar o sequestro de carbono e melhorar a produtividade agrícola [19, 44].

5. CONCLUSÕES

Nosso estudo indica um grande potencial para a restauração nas ZAs do estado de São Paulo. A combinação de medidas de comando e controle para APPs e RLs, junto a incentivos financeiros para a recuperação de pastagens degradadas, configura uma abordagem robusta e integrada para atingir as metas de restauração ambiental no estado. Essa estratégia não apenas garante o cumprimento da legislação ambiental, mas também estimula a restauração voluntária em áreas produtivas, criando um cenário benéfico tanto para o meio ambiente quanto para os proprietários rurais.

Além disso, a implementação de projetos de restauração é essencial para maximizar o potencial das ZAs, que abrigam vastas áreas de fragmentos vegetativos e biodiversidade inestimável, além de proteger melhor as UCs. A promoção da conectividade ecológica e a otimização da funcionalidade das áreas restauradas são cruciais para a recuperação da biodiversidade, proteção dos recursos hídricos e mitigação de desastres ambientais. Assim, o fortalecimento dessas iniciativas contribui para um desenvolvimento sustentável, harmonizando a conservação e o uso econômico do solo.

6. AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001. Agradecemos também à FAPESP processo n° 2021/11940-0 – Projeto Estratégia Mata Atlântica - CCD-EMA.

7. REFERÊNCIAS

[1] A. D. Barnosky *et al*. Approaching a state shift in Earth's biosphere, *Nature*, vol. 486, pp. 52–58, 2012.
[2] O. Hoegh-Guldberg *et al*. The human imperative of stabilizing global climate change at 1.5°C, *Science*, vol. 365, pp. 30-33, 2019.

[3] N. T. Hoang and K. Kanemoto. Mapping the deforestation footprint of nations reveals growing threat to tropical forests, *Nature Ecology & Evolution*, vol. 5, pp. 845–853, 2021.
[4] E. Dinerstein *et al*. A Global Deal For Nature: Guiding principles, milestones, and targets, *Science Advances*, vol. 5, pp. 1-17, 2019.
[5] A. Koch and J. O. Kaplan. Tropical forest restoration under future climate change, *Nature Climate Change*, vol. 12, pp. 279–283, 2022.
[6] S. Díaz *et al.* Pervasive human-driven decline of life on Earth points to the need for transformative change, *Science*, vol. 366, pp. 1-10, 2019.
[7] J.-F. Bastin *et al*. The global tree restoration potential, *Science*, vol. 365, pp. 76–79, 2019.
[8] M. S. Lopes, B. K. Veettil, and D. L. Saldanha. Buffer zone delimitation of conservation units based on map algebra and AHP technique: A study from Atlantic Forest Biome (Brazil), *Biological Conservation*, vol. 253: p. 108905, 2021.
[9] B. R. de Oliveira, S. M. Carvalho-Ribeiro, and P. M. Maia-Barbosa. Rio Doce State Park buffer zone: forest fragmentation and land use dynamics, *Environment, Development and Sustainability*, vol. 23, pp. 8365–8376, 2021.
[10] S. Ribeiro, J. F. de Almeida, T. de Carvalho, and A. B. B. F. R. de Lima. Protected Areas of the Pampa biome presented land use incompatible with conservation purposes, *Journal of Land Use Science*, vol. 16, pp. 260–272, 2021.
[11] A. B. P. Daunt and T. S. F. Silva. Beyond the park and city dichotomy: Land use and land cover change in the northern coast of São Paulo (Brazil), *Landscape and Urban Planning*, vol. 189, pp. 352-361, 2019.
[12] Y. E. Shimabukuro *et al*. Mapping Land Use and Land Cover Classes in São Paulo State, Southeast of Brazil, Using Landsat-8 OLI Multispectral Data and the Derived Spectral Indices and Fraction Images, *Forests*, vol. 14, p. 1669, 2023.
[13] B. B. N. Strassburg *et al*. Global priority areas for ecosystem restoration, *Nature,* vol. 586, pp. 724–729, 2020.
[14] J. Gripp Junior *et al*. Use of geoprocessing techniques for mapping permanent preservation areas (PPAs) and legal reserve areas (LRA) in farms, *Revista Ceres*, vol. 57, pp. 459–468, 2010.
[15] B. B. N. Strassburg *et a*l. Strategic approaches to restoring ecosystems can triple conservation gains and halve costs, *Nature Ecology & Evolution*, vol. 3, pp. 62–70, 2019.
[16] Brasil. Lei n. 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 2012.
[17] S. Engel, S. Pagiola, and S. Wunder. Designing payments for environmental services in theory and practice: An overview of the issues, *Ecological Economics*, vol. 65, pp. 663–674, 2008.
[18] É. L. Bolfe *et al*. Potential for Agricultural Expansion in Degraded Pasture Lands in Brazil Based on Geospatial Databases, *Land*, vol. 13, p. 1-17, 2024.
[19] K. W. Jones *et al*. Pagiola. Participation in payments for ecosystem services programs in the Global South: A systematic review, *Ecosystem Services*, vol. 45: p. 101159, 2020.
[20] IBGE. Biomas e Sistema Costeiro-Marinho do Brasil: compatível com a escala 1:250.000. *Série Relatórios Metodológicos,* vol. 45, 2019.
[21] São Paulo (Estado). Fundação Florestal. Limites das Unidades de Conservação, *Datageo*, 2024.
[22] Brasil. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução n.º 428, de 17 de dezembro de 2010. *Diário Oficial da União*, p. 81, 2010.
[23] MapBiomas. Coleção 8 da Série Anual de Mapas de Uso e Cobertura da Terra do Brasil, 2023.
[24] C. O. dos Santos *et al*. Livestock intensification and environmental sustainability: An analysis based on pasture management scenarios in the Brazilian savanna, *Journal of Environmental Management*, vol. 355, p. 120473, 2024.
[25] QGIS Development Team. QGIS Geographic Information System. Versão 3.28.13. *Open Source Geospatial Foundation Project*, 2023.
[26] FBDS (Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável). Mapeamento em Alta Resolução dos Biomas Brasileiros, 2013.
[27] Brasil. Sistema Nacional de Cadastro Ambiental Rural (SICAR).
[28] MapBiomas. Coleção 9 da Série Vigor da Pastagem do Brasil, 2023.
[29] N. M. Haddad *et al*. Habitat fragmentation and its lasting impact on Earth's ecosystems, *Science Advances*, vol. 1, p. e1500052, 2015.
[30] D. Xu *et al.* Incorporating barriers restoration and stepping stones establishment to enhance the connectivity of watershed ecological security patterns, *Applied Geography*, vol. 170, p. 103347, 2024.
[31] L. P. Herrera *et al*. Landscape connectivity and the role of small habitat patches as stepping stones: an assessment of the grassland biome in South America, *Biodiversity and Conservation*, vol. 26, pp. 3465-3479, 2017.
[32] R. R. Rodrigues, S. Gandolfi, and P. H. S. Brancalion. Restauração Florestal, *Oficina de Textos*, vol. 1, pp. 1- 432, 2015.
[33] R. Crouzeilles *et al*. Achieving cost-effective landscape-scale forest restoration through targeted natural regeneration, *Conservation Letters*, vol. 13, pp. 1-9, 2020.
[34] P. G. Molin *et al*. A landscape approach for cost-effective large-scale forest restoration, *Journal of Applied Ecology*, vol. 55, pp. 2767–2778, 2018.
[35] R. C. Brock *et al*. Implementing Brazil's Forest Code: a vital contribution to securing forests and conserving biodiversity, *Biodiversity and Conservation*, vol. 30, pp. 1621-1635, 2021.
[36] A. Guerra *et al*., The importance of Legal Reserves for protecting the Pantanal biome and preventing agricultural losses, *Journal of Environmental Management*, vol. 260, p. 110128, 2020.
[37] D. C. Da Cruz *et al*. Priority areas for restoration in permanent preservation areas of rural properties in the Brazilian Amazon, *Land Use Policy*, vol. 115, p. 106030, 2022.
[38] J. P. Metzger *et al*. Why Brazil needs its Legal Reserves, *Perspectives in Ecology and Conservation*, vol. 17, pp. 91-103, 2019.
[39] R. Feltran-Barbieri; J. G. Féres. Degraded pastures in Brazil: improving livestock production and forest restoration, *Royal Society Open Science*, vol. 8, p. 201854, 2021.
[40] L. L. Sloat *et al*. Increasing importance of precipitation variability on global livestock grazing lands, *Nature Climate Change*, vol. 8, pp. 214-218, 2018.
[41] E. G. Cardozo *et al*. Agroforestry systems recover tree carbon stock faster than natural succession in Eastern Amazon, Brazil, *Agroforestry Systems*, vol. 96, pp. 941-956, 2022.
[42] A. M. S. Matos *et al*. Long-term integrated crop–livestock–forestry systems recover the structural quality of Ultisol soil, *Agronomy*, vol. 12, p. 2961, 2022.
[43] I. Mamedes *et al*. Brazilian payment for environmental services programs emphasize water-related services*, International Soil and Water Conservation Research*, vol. 11, pp. 276-289, 2023.