Seção especial: Iberoamérica Em Rede: Desafios Territoriais e Socioambientais
v. 68, p. 565-582, jul./dez. 2026 http://doi.org/10.5380/dma.v68i.100753 e-ISSN 2176-9109

DMA Desenvolvimento e Meio Ambiente

Biblioteca Digital de Periódicos
BDP | UFPR
revistas.ufpr.br

Análise das dinâmicas dos usos e coberturas da terra em zonas de amortecimento: o caso das áreas protegidas no Estado de São Paulo, Brasil

Analysis of land use and land cover dynamics in buffer zones: the case of protected areas in the state of São Paulo, Brazil

Bartira Rodrigues GUERRA[1], Patricia Catarina dos Reis Macedo ABRANTES[2], Victor Eduardo Lima RANIERI[1]

1 Universidade de São Paulo (USP), São Carlos, São Paulo, Brasil.

2 Universidade de Lisboa (ULisboa), Lisboa, Portugal.

* E-mail de contato: bartirarguerra.pessoal@gmail.com

Artigo recebido em **4 de agosto de 2025**

Versão final aceita em **2 de março de 2026**

Publicado em **28 de outubro de 2026**

Resumo: As zonas de amortecimento (ZA) desempenham um papel importante para o alcance de resultados positivos de conservação em áreas protegidas (AP), ao estabelecerem regras de uso da terra para minimizar os impactos negativos causados pelas atividades antrópicas. Entretanto, desafios persistem quanto à efetividade de sua gestão. Este estudo analisou as mudanças nas condições da paisagem no entorno de 25 AP localizadas no estado de São Paulo (Brasil), no período de 1985 a 2022. Quando identificadas, as dinâmicas de uso e ocupação da terra também foram avaliadas. Para tanto, foram quantificadas as porcentagens de habitat natural nas ZA e nas respectivas zonas externas (ZE). Os resultados indicaram que, na maioria dos casos, não houve alteração na condição da paisagem das ZA ao longo do período analisado. Uma única AP – a Estação Ecológica de Ribeirão Preto – apresentou mudanças na ZA, neste caso positivas. Entre as ZA estáveis, 14 apresentaram condições positivas e 10 apresentaram condições negativas para a conservação da biodiversidade. Quanto às ZE, somente 3 AP apresentaram alterações na condição da paisagem. A comparação entre as duas zonas proporcionou a percepção de que, na maioria dos casos, as ZA apresentaram condições da paisagem iguais ou inferiores às respectivas ZE, o que contradiz com o esperado para essas zonas. As alterações observadas, tanto nas ZA quanto nas ZE, estiveram predominantemente associadas à expansão agropecuária, com destaque para a cana- de- açúcar. Espera-se que os resultados contribuam para o aprimoramento da gestão territorial no entorno das AP, subsidiando a formulação de ações específicas voltadas à mitigação das vulnerabilidades identificadas.

Palavras-chave: condição da paisagem; conservação da natureza; atividades antrópicas; gestão ambiental; regras.

Abstract: Buffer zones (BZs) play an important role in achieving positive conservation outcomes in protected areas (PAs) by establishing land use regulations aimed at minimizing negative impacts caused by human activities. However, challenges remain regarding their effectiveness in management. This study analyzed changes in landscape conditions in the surroundings of 25 PAs located in the state of São Paulo (Brazil) from 1985 to 2022. Whenever changes were detected, land use and land cover dynamics were also assessed. For this purpose, the percentages of natural habitat were quantified within the BZs and in their respective external zones (EZs). The results indicated that, in most cases, no changes occurred in the landscape condition of the BZs throughout the analyzed period. Only one PA – the Ribeirão Preto Ecological Station – showed changes in its BZ, and these were positive. Among the stable BZs, 14 exhibited positive conditions, and 10 showed negative conditions for biodiversity conservation. Regarding the EZs, only 3 PAs showed changes in the landscape condition. In most cases, the BZs presented landscape conditions that were comparable to or worse than those of their respective EZs, contrary to what would be expected for these areas. The observed changes in BZs and EZs were predominantly

Desenvolvimento e Meio Ambiente usa uma Licença Creative Commons – Atribuição 4.0 Internacional

associated with agricultural expansion, particularly sugarcane cultivation. The findings are expected to support improved territorial management in the surroundings of PAs by informing the development of targeted actions aimed at mitigating the identified vulnerabilities.

Keywords: landscape condition; nature conservation; anthropogenic activities; environmental management; regulations.

1. Introdução

Uma definição mundialmente reconhecida para área protegida (AP) é a apresentada pela *International Union for Conservation of Nature* (IUCN), a saber: "um espaço geográfico claramente definido, reconhecido, dedicado e gerenciado, por meios legais ou outros meios efetivos, para alcançar a conservação de longo prazo da natureza com serviços ecossistêmicos e valores culturais associados" (Dudley, 2008, p. 8, tradução livre). No Brasil, tais espaços podem ser encontrados na forma de Unidades de Conservação, Áreas de Preservação Permanente, Reserva Legal, Terras Indígenas ou Áreas de Reconhecimento Internacional (Medeiros et al., 2004; Medeiros, 2006).

Entre essas possibilidades, as unidades de conservação assumem um papel de destaque na organização do sistema nacional de áreas protegidas. A criação do Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (SNUC), instituído pela Lei Federal nº 9.985/00, estabeleceu um sistema mais integrado para a criação, implantação e gerenciamento dessas áreas protegidas. O SNUC organiza as unidades de conservação em dois grandes grupos, de acordo com seus objetivos e restrições de manejo: Unidades de Proteção Integral, destinadas a garantir a manutenção dos ecossistemas livres de alterações causadas por interferência humana, permitindo apenas o uso indireto de seus recursos; e Unidades de Uso Sustentável, que permitem a exploração direta do ambiente, desde que aconteça de forma a garantir a perenidade dos recursos ambientais renováveis e dos processos ecológicos (*Lei nº 9.985*, 2000). As unidades de conservação podem ser criadas e administradas pelas esferas federal, estadual ou municipal.

A referida Lei define zona de amortecimento como "o entorno de uma unidade de conservação, onde as atividades humanas estão sujeitas a normas e restrições específicas, com o propósito de minimizar os impactos negativos sobre a unidade" (*Lei nº 9.985*, 2000). O termo zona de amortecimento se tornou amplamente utilizado a partir de uma estratégia lançada pelo Programa Homem e a Biosfera da UNESCO, na década de 1970, que apresentou ao mundo um modelo de zoneamento para Reservas de Biosfera constituído por uma "área central" protegida, cercada por uma "zona tampão" e em seguida uma "área de transição" (Li et al., 1999; Martino, 2001).

No Brasil, o órgão gestor da unidade de conservação é responsável por estabelecer normas específicas para regulamentar a ocupação e o uso dos recursos nas zonas de amortecimento, por meio do Plano de Manejo (*Lei nº 9.985*, 2000). Entretanto, é interessante pontuar que, apesar do órgão gestor ser responsável por delinear tais regras, as zonas de amortecimento estão localizadas

fora dos limites da unidade de conservação e, consequentemente, fora da jurisdição deste órgão gestor (Lima & Ranieri, 2018). Essa configuração pode gerar conflitos e dificuldades na implementação efetiva das normas, evidenciando um grande impasse na gestão dessas áreas.

Considerando esse contexto, o presente estudo buscou testar as seguintes hipóteses: a condição da paisagem nas zonas de amortecimento tende a melhorar ao longo do período analisado; e a condição da paisagem nas zonas de amortecimento é melhor em comparação às respectivas zonas externas.

As zonas externas, por sua vez, definidas para fins deste estudo, possuem larguras variáveis e têm área semelhante à zona de amortecimento correspondente, com extensão territorial iniciada imediatamente após seus limites externos. Diferentemente das zonas de amortecimento, as zonas externas não estão sujeitas às mesmas regras de uso da terra. Assim, parte-se do pressuposto de que, em um cenário de efetividade normativa, as zonas de amortecimento deveriam apresentar melhores condições da paisagem em comparação às zonas externas.

A condição de paisagem foi avaliada por meio da porcentagem de habitat natural (ver Tabela 3, da seção 2.2) nas zonas de amortecimento e zonas externas. A perda de habitat é um grande problema em paisagens originalmente cobertas por ecossistemas florestais, estando diretamente associada aos processos de fragmentação. Estudos desenvolvidos à luz da ecologia da paisagem demonstram que a redução da cobertura de habitat pode levar à superação de limiares críticos, a partir dos quais a configuração espacial compromete a conectividade e a viabilidade das populações, afetando o alcance dos objetivos de conservação da biodiversidade (e.g., Fahrig, 2003; Villard & Metzger, 2013; Banks-Leite et al., 2014).

Diversos estudos têm analisado as dinâmicas do uso e cobertura da terra no entorno de áreas protegidas, tanto no Brasil (e.g. Terra et al., 2014; Amaral et al., 2019; Oliveira et al., 2020; Almeida-Rocha & Peres, 2021; Souza et al., 2024), quanto em outros países (e.g., Kintz et al., 2006; Yadeta et al., 2022; Mingarro & Lobo, 2023). Contudo, o presente estudo inova ao comparar zonas de amortecimento oficialmente instituídas e geridas por um mesmo órgão gestor, com zonas externas de área equivalente, em uma análise temporal de longa duração. Ademais, as áreas analisadas situam-se em dois *hotspots* de biodiversidade – Mata Atlântica e Cerrado – o que amplia a relevância e a contribuição científica dos resultados.

Assim, ao analisar as condições da paisagem nas zonas de amortecimento e zonas externas, este estudo busca verificar a existência de diferenças entre essas zonas, identificar mudanças ao longo do período analisado e compreender quais usos da terra estão associados às transformações observadas. Espera-se que os resultados contribuam para o aprimoramento da gestão territorial no entorno das unidades de conservação, fornecendo subsídios técnicos para a formulação de políticas públicas e ações estratégicas voltadas à mitigação das vulnerabilidades identificadas.

2. Metodologia

2.1. Área de estudo

As zonas de amortecimento de 25 unidades de conservação localizadas no estado de São Paulo (Brasil) foram selecionadas como área de estudo dessa pesquisa. O estado de São Paulo abriga dois *hotspots* de biodiversidade – Cerrado e Mata Atlântica –, além de ser o mais populoso (44.411.238 pessoas) e apresentar a maior área urbanizada do país (8.614,62 km^2) (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística [IBGE], 2022).

As delimitações oficiais das zonas de amortecimento foram estabelecidas e disponibilizadas pelo órgão ambiental responsável por sua gestão, a Fundação para a Conservação e a Produção Florestal do Estado de São Paulo, ou simplesmente Fundação Florestal. A partir desses arquivos, foram selecionadas as zonas de amortecimento cujas unidades de conservação possuíam o plano de manejo publicado (verificação realizada em 2021) e cujos territórios (unidade de conservação, zona de amortecimento e zona externa) eram integralmente continentais (Tabela 1 e Figura 1).

Tabela 1 Unidades de conservação selecionadas para esse estudo.

Sigla	Nome da unidade de conservação	Grupo SNUC*	Categoria SNUC*
EEB	Sebastião Aleixo Da Silva (Bauru)	Proteção Integral	Estação Ecológica
EEC	Caetetus		
EEI	Itapeti		
EEJ	Jataí		
EEPF	Paulo De Faria		
EERP	Ribeirão Preto		
EEX	Xitué		
PEA	Aguapeí	Proteção Integral	Parque Estadual
PEC	Cantareira		
PECB	Carlos Botelho		
PECE	Campina Do Encantado		
PECJ	Campos Do Jordão		
PEI	Intervales		
PEITB	Itaberaba		
PEITG	Itapetinga		
PEJ	Jaraguá		
PEJU	Jurupará		
PEMCJ	Mananciais De Campos Do Jordão		
PEMD	Morro Do Diabo		
PEPF	Porto Ferreira		
PERP	Rio Do Peixe		
PETAR	Turístico Do Alto Ribeira		
PEV	Vassununga		
FEENA	Edmundo Navarro De Andrade	Uso Sustentável	Floresta Estadual
FEG	Guarulhos		

Legenda: Parque Estadual = categoria II (National park) da IUCN; Estação Ecológica = categoria Ia (Strict nature reserve); e Floresta Estadual = VI (Protected area with sustainable use of natural resources) (Dudley, 2008).
* SNUC significa "Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza", estabelecido pela Lei Federal nº 9.985/2000.

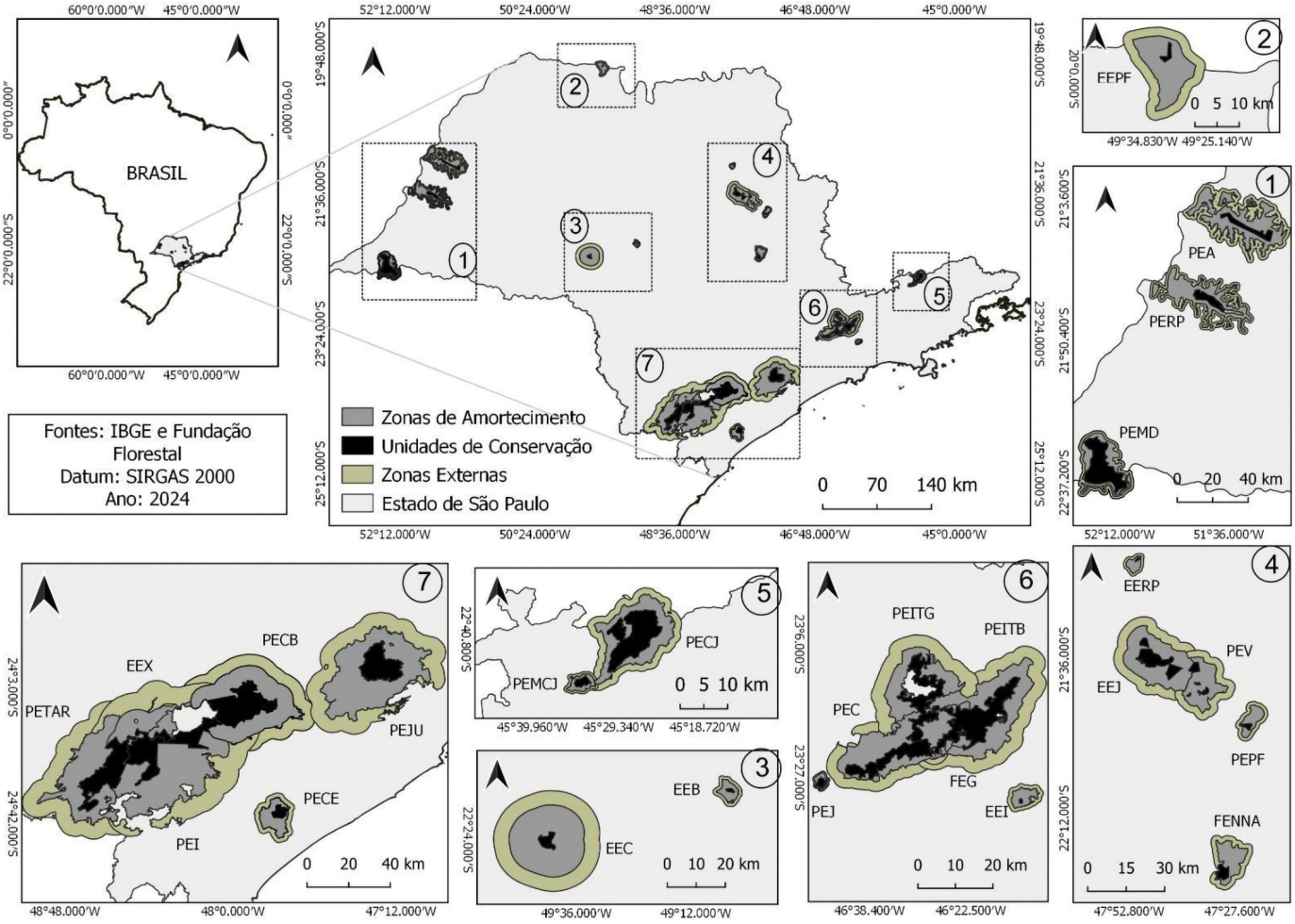


Figura 1
Localização da área de estudo.

As zonas externas foram delimitadas especificamente para este estudo, por meio de um modelo semiautomático de geração de buffers, conforme metodologia descrita por Guerra et al. (2025), utilizando o modelo gráfico do software QGis. A largura do buffer correspondente à zona externa foi ajustada iterativamente até que sua área se tornasse equivalente à da respectiva zona de amortecimento, admitindo-se variação máxima de 10%. Foram excluídas das áreas das zonas de amortecimento e zonas externas eventuais sobreposições com terras indígenas e com unidades de conservação federais, estaduais ou municipais. As delimitações das terras indígenas foram obtidas junto à Fundação Nacional dos Povos Indígenas (FUNAI[1]); as das unidades de conservação federais e municipais, no Cadastro Nacional de Unidades de Conservação (CNUC[2]); e as das unidades de conservação estaduais, diretamente junto à Fundação Florestal.

2.2. Método

Foi conduzida uma análise temporal individual para cada unidade de conservação, com o objetivo de avaliar a porcentagem de habitat natural nas respectivas zonas de amortecimento e zonas externas, considerando dois marcos

1 Disponível em: https://www.gov.br/funai/pt-br/

2 Disponível em: https://cnuc.mma.gov.br/

temporais: o ano de criação da unidade de conservação e o ano de publicação do plano de manejo em vigor. Para essa análise, foram utilizados os dados do Projeto de Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo no Brasil (MapBiomas, 2024), Coleção 8.0. As classes originais de uso e cobertura da terra disponibilizadas pelo MapBiomas foram reclassificadas (Tabela 2). Os processos de reclassificação e extração das áreas por classe foram realizados no software ArcGis Pro, utilizando as ferramentas *Reclassify (Spatial Analyst)*, *Extract by Mask (Spatial Analyst)* e *Zonal Geometry as Table (Spatial Analyst)*, suporte dos pacotes arcpy e os do Python. Todos os dados foram organizados e sistematizados no Microsoft Excel.

Neste estudo, definiu-se como habitat natural o conjunto de classes do MapBiomas correspondentes a remanescentes de formações vegetais naturais originais dos biomas Mata Atlântica e Cerrado, independentemente de

Tabela 2 Relação das classes originais do MapBiomas e das reclassificadas para a finalidade deste trabalho.

Novas Classes	Classes originais do MapBiomas
Habitat Natural	Formação Florestal Formação Savânica Mangue Floresta Alagável Restinga Arbórea Campo Alagado e Área Pantanosa Formação Campestre Restinga Herbácea
Formação Natural não Florestal	Apicum Afloramento Rochoso Outras Formações não Florestais Praia, Duna e Areal
Pastagem	Pastagem
Lavoura Temporária	Outras Lavouras Temporárias Algodão Arroz
Soja	Soja
Cana	Cana
Lavoura Perene	Outras Lavouras Perenes Dendê
Café	Café
Citrus	Citrus
Silvicultura	Silvicultura
Mosaico de Usos	Mosaico de Usos
Área não Vegetada	Outras Áreas não Vegetadas
Área Urbanizada	Área Urbanizada
Mineração	Mineração
Água	Rio, Lago e Oceano
Aquicultura	Aquicultura

seu estado de conservação ou restauração. Essas classes foram consideradas como habitat natural para espécies da flora e fauna nativas. Para as espécies da fauna, o habitat natural representa áreas essenciais para abrigo, alimentação e reprodução. Assim, a perda ou fragmentação destes habitats foi interpretada como prejudicial para a conservação destas espécies, enquanto a matriz – ainda que não necessariamente inóspita para todas as espécies – foi considerada um filtro seletivo, capaz de restringir a mobilidade das espécies na paisagem.

A avaliação das condições da paisagem baseou-se em estudos desenvolvidos sob a ótica da Ecologia de Paisagem que identificam limiares críticos de cobertura de habitat na paisagem associados à conservação da biodiversidade. Evidências indicam que, abaixo de 10% de habitat, a configuração espacial dos fragmentos exerce pouca influência sobre a conectividade funcional da paisagem, caracterizando um cenário negativo (Villard & Metzger, 2013). Em paisagens com cobertura entre 20% e 33%, observa-se o mínimo necessário para manutenção da conectividade e Suporte à biodiversidade (Fahrig, 2003; Banks-Leite et al., 2014). Acima de 60% de habitat, a configuração espacial dos fragmentos não interfere de forma significativa na conectividade, conforme previsto pela teoria da percolação, configurando um cenário positivo (Villard & Metzger, 2013). Com base nesses referenciais, os valores de 10%, 30% e 60% de habitat natural foram adotados como limiares críticos neste estudo. A Tabela 3 foi elaborada a partir desses limiares, servindo como base para a classificação da condição das paisagens analisadas. A porcentagem de habitat natural foi calculada em relação à área total de cada zona, considerando todas as classes presentes na paisagem.

Para a análise das dinâmicas de uso e cobertura da terra nas zonas estudadas, foram construídas matrizes de transição e elaborados diagramas de Sankey, a fim de identificar e quantificar os fluxos de conversão entre as diferentes classes ao longo do tempo. A geração das matrizes de transição foi realizada no software ArcGIS Pro, utilizando as ferramentas *Combine (Spatial Analyst)* e *Tabulate Area (Spatial Analyst)*. Os diagramas de Sankey foram elaborados na plataforma Flourish, permitindo a visualização gráfica dos fluxos de mudança entre classes. Todos os dados foram organizados, sistematizados e analisados no Microsoft Excel.

3. Resultados e discussões

Entre as unidades de conservação analisadas, apenas 1 (EERP) apresentou mudança na condição da paisagem da zona de amortecimento ao longo do

Tabela 3 Base para a classificação da condição da paisagem de acordo com os limiares críticos.

Limiares Críticos	Condição da Paisagem
Habitat Natural < 10%	Muito Ruim
10% < Habitat Natural < 30%	Ruim
30% < Habitat Natural < 60%	Boa
Habitat Natural > 60%	Excelente

período estudado. Isso indica que, para a maioria das unidades de conservação ($n = 24$), a condição da paisagem nas zonas de amortecimento permaneceu estável. Em relação às zonas externas, três (3) unidades de conservação apresentaram mudanças na condição da paisagem (PECE, PEMD e PEPF).

No conjunto das 24 unidades de conservação que não apresentaram alterações na condição da paisagem da zona de amortecimento, verificou-se a seguinte distribuição: sete (7) zonas de amortecimento classificadas como em condição da paisagem excelente, sete (7) como boa, nove (9) como ruim e uma (1) como muito ruim. Esses resultados revelam que, embora parte significativa das zonas de amortecimento apresente condições favoráveis, ainda há uma parcela expressiva em situação preocupante, com implicações para a conservação da biodiversidade e para a funcionalidade ecológica das áreas protegidas associadas.

A comparação entre as condições da paisagem nas zonas de amortecimento e zonas externas permitiu avaliar se as zonas de amortecimento estão desempenhando o papel esperado de mitigação de impactos antrópicos. Em nove (9) casos (PEI, PETAR, PEJ, PEMD, PERP, EERP, FENNA, PEA e PEPF), a zona de amortecimento apresentou condição de paisagem superior à respectiva zona externa. Entretanto, na maioria das unidades de conservação ($n = 16$), a condição da paisagem na zona de amortecimento foi inferior à da zona externa (EEX, PECB, PECJ, PEJU, PEMCJ, PECE, EEI, FEG, PEC, PEITB, PEITG, EEB, EEC, EEJ, PEV e EEPF). Esse resultado contraria parcialmente a hipótese inicial do estudo (i.e., de que as zonas de amortecimento apresentariam melhor condição da paisagem do que suas zonas externas) e sugere que a simples delimitação normativa dessas zonas não garante, por si só, melhores indicadores de conservação de habitat natural. Esta descoberta converge com evidências amplamente documentadas na literatura internacional, que apontam as limitações e ineficiência na gestão das zonas de amortecimento como um sério desafio de conservação (e.g., Kintz et al., 2006; Terra et al., 2014; Amaral et al., 2019; Oliveira et al., 2020; Almeida-Rocha & Peres, 2021).

Em todos os casos classificados como contraintuitivos, com exceção do PECE – no qual a condição da zona externa se mostrou superior à da zona de amortecimento – observou-se que as duas zonas apresentavam as mesmas condições da paisagem. Esse padrão sugere que não houve diferenças significativas de porcentagens de habitat entre as zonas, considerando os limiares da paisagem adotados como referência (10%, 30% e 60% de habitat natural). Esses achados convergem com as conclusões de Almeida-Rocha e Peres (2021), que demonstram que o estado geral das zonas de amortecimento de áreas protegidas no Brasil não difere substancialmente das paisagens adjacentes sob uso irrestrito da terra. Cabe destacar que, no referido estudo, as análises foram conduzidas a partir da definição de um raio fixo de 3 km para todas as zonas de amortecimento.

Todos os dados sobre a condição de paisagem nas zonas de amortecimento

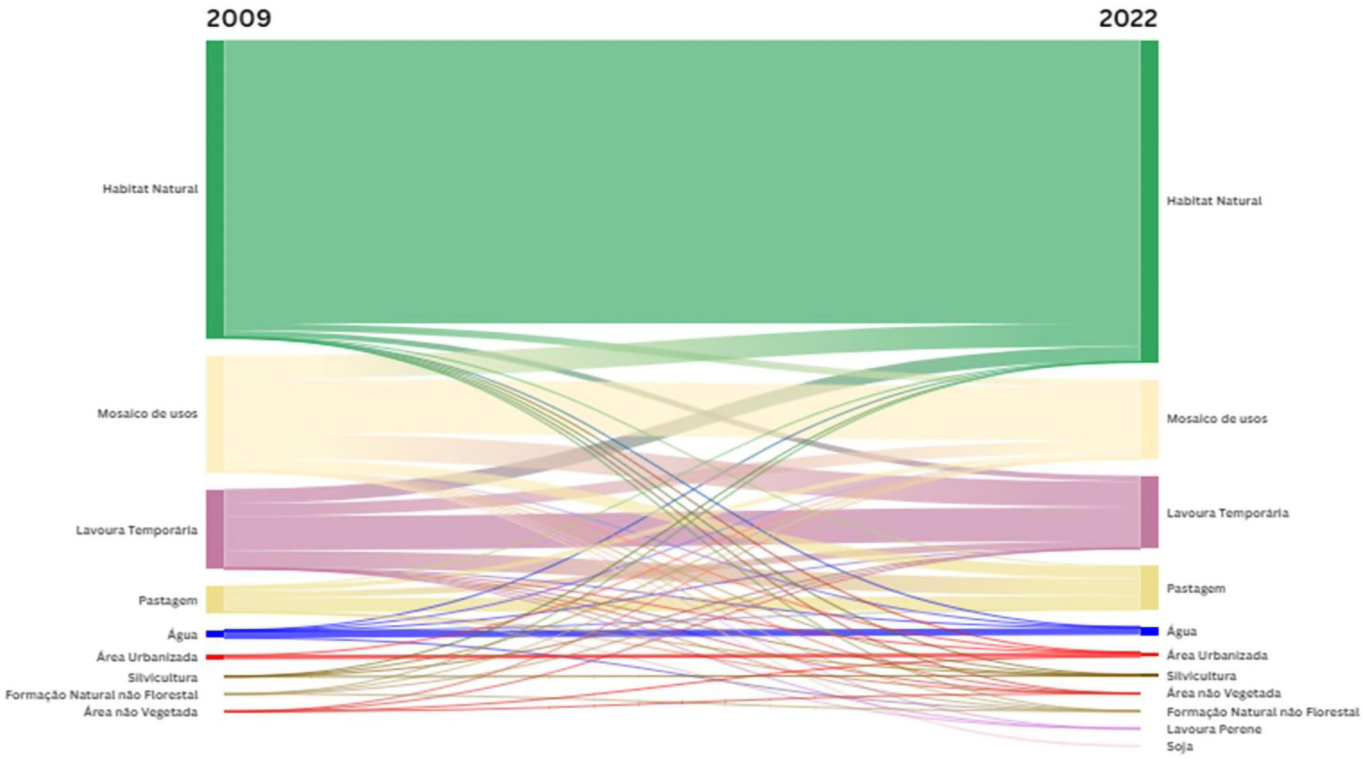
e zonas externas analisadas neste artigo podem ser visualizados na íntegra no Material suplementar A.

A análise detalhada apresentada no Material suplementar A permite identificar as unidades de conservação em que ocorreram mudanças na condição da paisagem ao longo do período investigado, especificamente nas zonas externas do PECE, PEMD e PEPF e na zona de amortecimento da EERP. As alterações temporais registradas distribuíram-se da seguinte forma: na zona externa do PECE, entre a publicação do plano de manejo (2009) e 2022; na zona externa do PEMD, entre 1985 e a publicação do plano de manejo (2006); na zona externa do PEPF, nos intervalos 1985-2006 (publicação do plano de manejo) e 2006 (publicação do plano de manejo) -2022; e, por fim, na zona de amortecimento da EERP, entre 1985-2011 (publicação do plano de manejo) e 2011 (publicação do plano de manejo) -2022.

A Figura 2 ilustra a dinâmica das transições de uso e cobertura da terra na zona externa do PECE entre 2009 (publicação do plano de manejo) e 2022. Nesse período, as perdas de habitat natural totalizaram 444,3 ha, decorrentes principalmente da conversão para Mosaico de usos (n = 216,3 ha; 48,7%) e Lavoura Temporária (n = 173,4 ha; 39,0%). Conversões para Pastagem (n = 25,6 ha; 5,8%) e Silvicultura (n = 25,6 ha; 5,8%) também contribuíram para a redução de habitat natural, enquanto as demais classes somaram perda residual de 3,6 ha (0,8%).

Em contrapartida, os ganhos de habitat natural no mesmo período e área atingiram 1163,4 ha, superando amplamente as perdas registradas. A maior parte desse ganho resultou da conversão de áreas classificadas como Mosaico de usos (n = 696,3 ha; 59,8%) e Lavoura Temporária (n = 436,0 ha; 37,5%).

Figura 2
Gráfico de Sankey – zona externa do PECE (2009-2022).

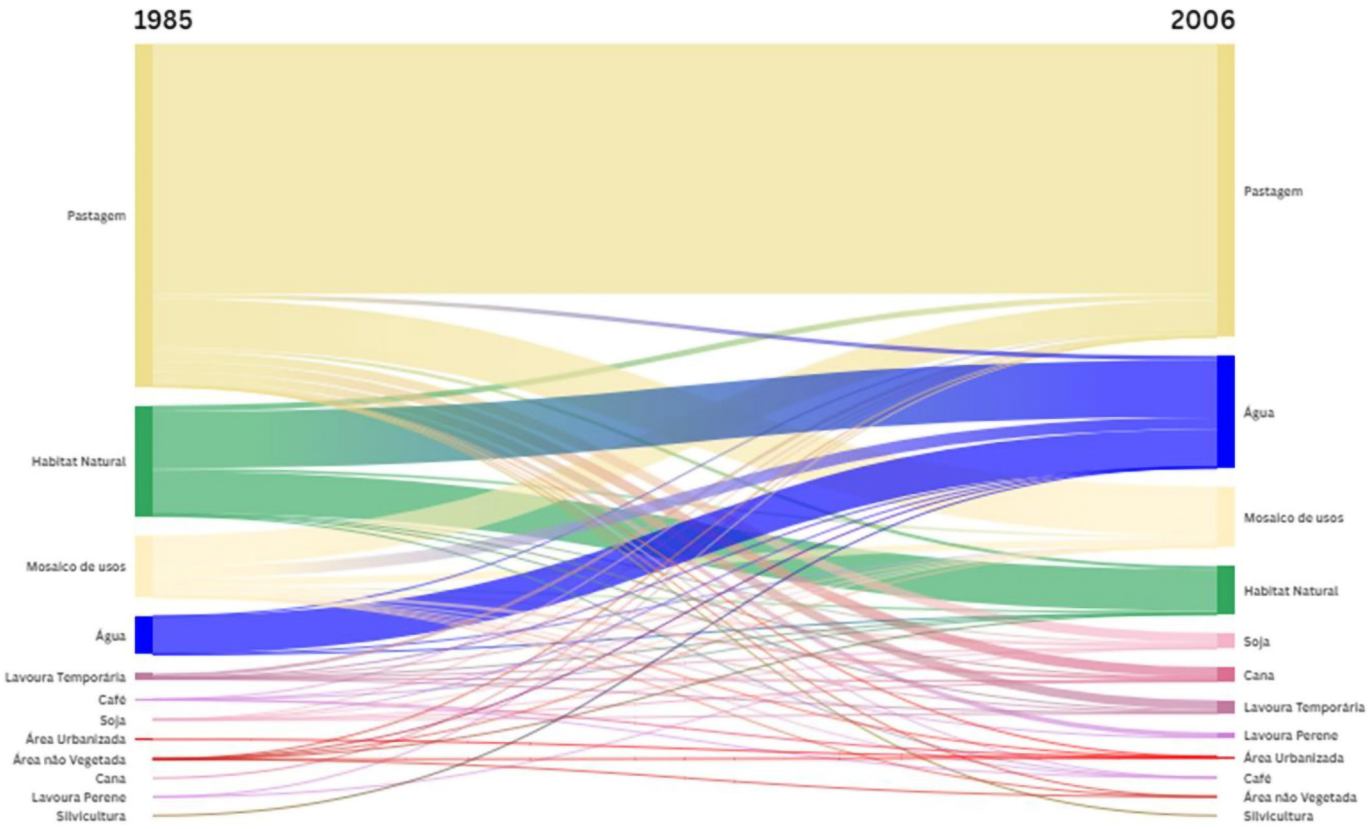


As demais classes contribuíram conjuntamente com 16,5 ha (1,4%) para o ganho total.

As mudanças identificadas na zona externa do PECE obtiveram um saldo final positivo, com os ganhos de habitat natural maiores que as perdas. No entanto, tanto as perdas como os ganhos ocorreram principalmente pela conversão de usos de origem agropecuária. Esse padrão sugere que a matriz agropecuária local atua tanto como vetor de supressão como de recuperação. Por conta disso, a melhoria quantitativa da cobertura de habitat natural nesta zona pode não implicar necessariamente avanço na qualidade ecológica da paisagem, uma vez que ganhos derivados da conversão de mosaico de usos e/ou lavoura temporária podem refletir regeneração secundária, com funcionalidade ecológica limitada. Mesmo assim, pode-se afirmar que o caso do PECE configura um exemplo de comportamento contraintuitivo, uma vez que a zona externa, com suas mudanças, apresentou ao final uma melhor condição da paisagem que a zona de amortecimento (Material suplementar A). Os dados detalhados das transições entre os usos e coberturas da terra na zona externa do PECE estão apresentados no Material suplementar B deste artigo.

A Figura 3 ilustra a dinâmica das transições de uso e cobertura da terra na zona externa do PEMD entre 1985 e 2006 (publicação do plano de manejo). Nesse período, as perdas de habitat natural totalizaram 3260,0 ha, decorrentes principalmente da conversão para Água ($n = 2681{,}3$ ha; 82,2%). Conversões para Pastagem ($n = 286{,}4$ ha; 8,8%) e Mosaico de Usos ($n = 136{,}9$ ha; 4,2%) também contribuíram para a redução de habitat natural, enquanto as demais classes somaram perda residual de 82,2 ha (2,5%).

Figura 3
Gráfico de Sankey – zona externa do PEMD (1985-2006).



Em contrapartida, os ganhos de habitat natural no mesmo período e área atingiram 292,3 ha, numericamente bem menores que as perdas registradas. A maior parte desse ganho resultou da conversão de áreas classificadas como Pastagem ($n = 165,8$ ha; 56,7%) e Mosaico de Usos ($n = 99,8$ ha; 34,1%). As demais classes contribuíram conjuntamente com 26,7 ha (9,1%) para o ganho total.

As mudanças identificadas na zona externa do PEMD obtiveram um saldo final negativo, com perdas de habitat natural maiores que os ganhos. Os ganhos neste caso também estão, em sua maioria, associados a classes de origem agropecuária. Esse fato levanta os mesmos questionamentos apresentados no caso da zona externa do PECE quanto à qualidade ecológica dessa paisagem. A questão intrigante neste caso está no fato das perdas de habitat natural estarem quase exclusivamente associadas à conversão para Água, apesar de também ter uma representação menor de conversão para pastagem e mosaico de usos. Isso pode ser justificado pela construção da barragem da Usina Hidrelétrica Rosana, a mais próxima da foz do rio Paranapanema (Fundação para a Conservação e a Produção Florestal do Estado de São Paulo [Fundação Florestal], 2006). As mudanças negativas na zona externa do PEMD ajudaram a tornar esse caso um exemplo de comportamento esperado, uma vez que a zona de amortecimento apresentou uma melhor condição da paisagem que a zona externa (Material suplementar A). Os dados detalhados das transições entre os usos e coberturas da terra na zona externa do PEMD estão apresentados no Material suplementar C deste artigo.

A Figura 4 ilustra a dinâmica das transições de uso e cobertura da terra na zona externa do PEPF entre 1985 e 2006 (publicação do plano de manejo), e entre 2006 e 2022. No primeiro período, as perdas de habitat natural totalizaram 212,0 ha, decorrentes principalmente da conversão para Mosaico de Usos ($n = 107,3$ ha; 50,6%) e Cana ($n = 90,1$ ha; 42,5%). As demais classes somaram perda residual de 14,8 ha (7,0%).

Em contrapartida, os ganhos de habitat natural no mesmo período e área atingiram 244,6 ha, valor superior às perdas, apesar de numericamente bem próximo. A maior parte desse ganho resultou da conversão de áreas classificadas como Mosaico de Usos ($n = 208,2$ ha; 85,1%). As demais classes contribuíram conjuntamente com 36,5 ha (14,9%) para o ganho total.

Apesar dos valores de ganho e perda serem próximos, as mudanças identificadas na zona externa do PEPF obtiveram um saldo positivo no primeiro período analisado. No entanto, os ganhos apresentados são, principalmente, oriundos do setor agropecuário, o que torna esse caso semelhante aos anteriormente avaliados.

No período seguinte, as perdas de habitat natural totalizaram 164,3 ha, decorrentes principalmente da conversão para Mosaico de Usos ($n = 53,2$ ha; 32,4%), Cana ($n = 44,5$ ha; 27,1%), Soja ($n = 44,5$ ha; 27,1%) e Área Urbanizada ($n = 19,9$ ha; 12,1%). Já os ganhos de habitat natural neste mesmo período e área, atingiram 122,9 ha, numericamente menores que as perdas, apesar de

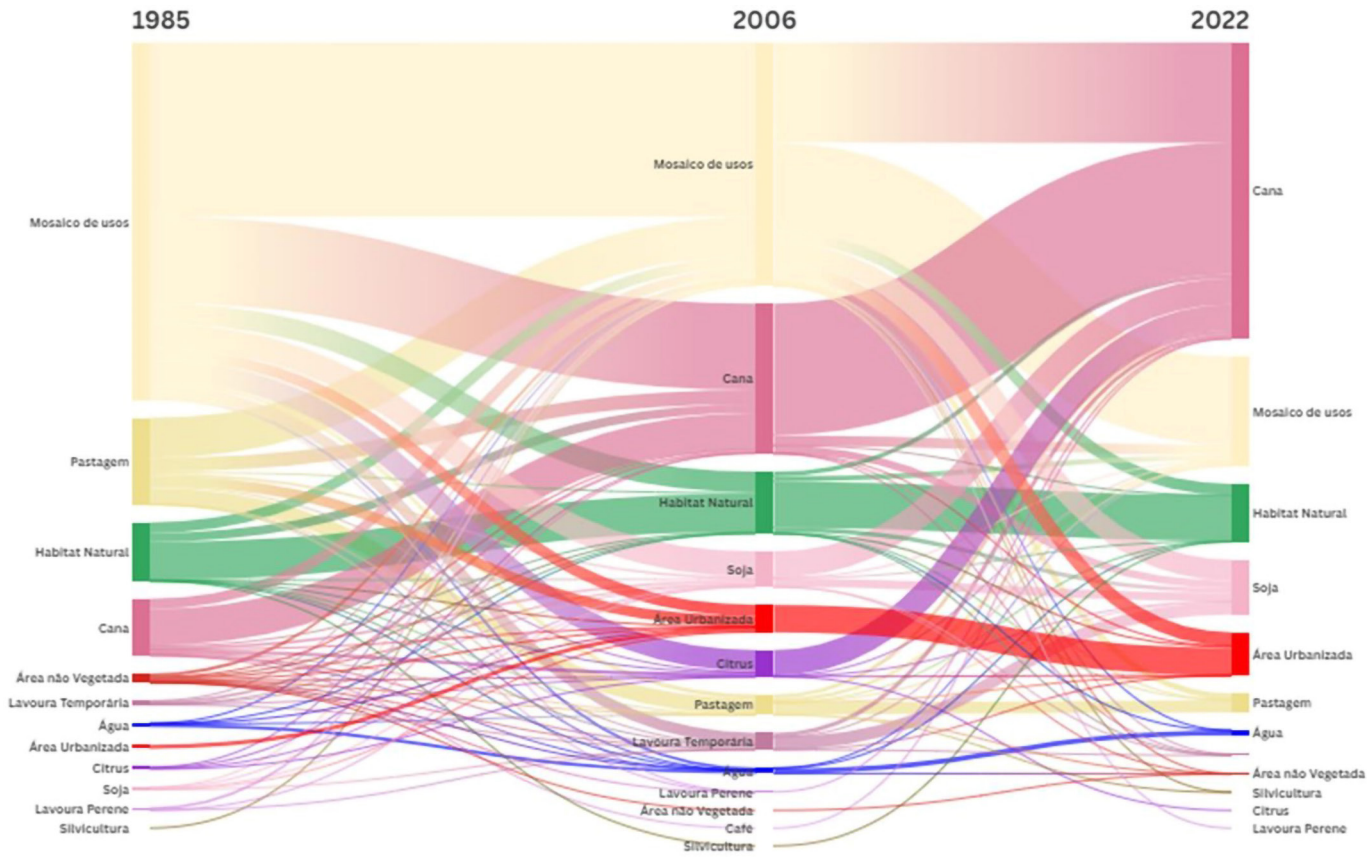


Figura 4

Gráfico de Sankey – zona externa do PEPF (1985-2006-2022).

ainda próximos. A maior parte desse ganho resultou da conversão de áreas classificadas como Mosaico de Usos ($n = 114{,}4$ ha; 93,1%).

Apesar dos valores totais de perda e ganho ainda permanecerem próximos nesse segundo período de análise, é possível perceber que as pressões exercidas pela expansão da Cana, do Mosaico de Usos, da Soja e da Área Urbana se sobressaíram na zona externa do PEPF e impulsionaram as perdas de habitat natural na área. Tais mudanças foram suficientes para impactar negativamente a condição dessa paisagem, resultando no retorno ao pior cenário quanto à porcentagem de habitat natural (<10%).

A expansão da Cana na paisagem é evidente e não se restringe à conversão de áreas de habitat natural, abrangendo também a substituição de outros usos do solo, como o Mosaico de Usos, Soja e Citrus. Esse fato reforça o setor agropecuário como grande fator transformador do ambiente. Uma novidade neste caso é a expansão urbana atuando como um driver significativo de mudança na paisagem, principalmente associada às perdas de habitat natural.

Apesar das variações observadas na condição da paisagem da zona externa do PEPF, a zona de amortecimento manteve-se estável ao longo de todo o período analisado. Esse comportamento sugere que a zona de amortecimento do PEPF apresentou relativa resiliência frente às dinâmicas de uso e cobertura da terra registradas na zona externa, indicando desempenho compatível com a função esperada para essa área (i.e., comportamento esperado) (Material suplementar A). Contudo, ressalta-se que a porcentagem de habitat natural na paisagem ainda está abaixo dos níveis considerados ideais para a conservação

da biodiversidade, o que evidencia limitações na qualidade ecológica no entorno do PEPF. Os dados detalhados das transições entre os usos e coberturas da terra na zona externa do PEPF estão apresentados no Material suplementar D e no Material suplementar E deste artigo.

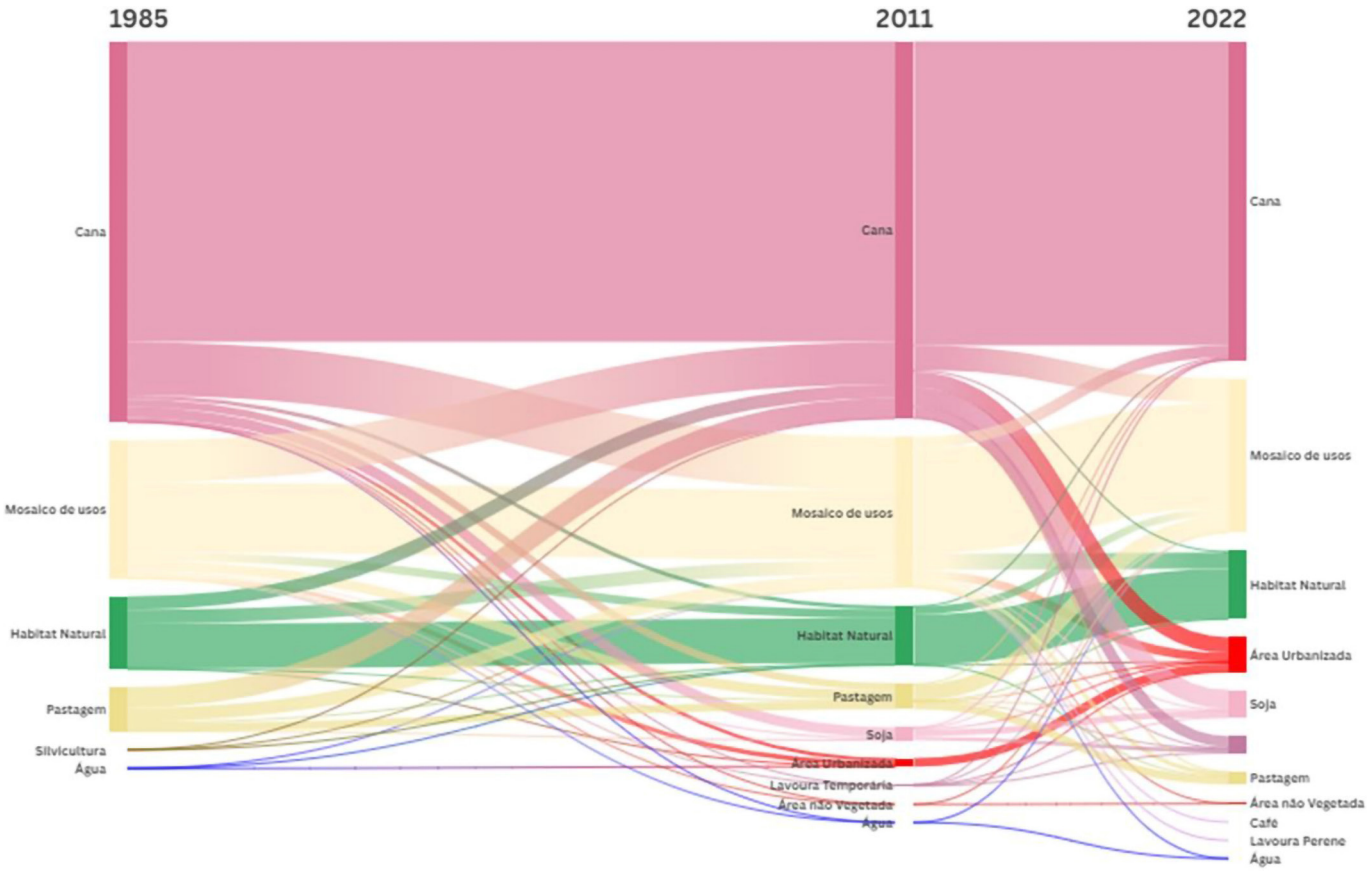
Por fim, a Figura 5 ilustra a dinâmica das transições de uso e cobertura da terra na zona de amortecimento da EERP entre 1985 e 2011 (publicação do plano de manejo), e entre 2011 e 2022. Este foi o único caso estudado com mudanças na condição da paisagem em zona de amortecimento.

No primeiro período, as perdas de habitat natural totalizaram 117,2 ha, decorrentes principalmente da conversão para Cana ($n = 56,7$ ha; 48,4%) e Mosaico de Usos ($n = 58,4$ ha; 49,8%). As demais classes somaram perda residual de 2,1 ha (1,8%).

Em contrapartida, os ganhos de habitat natural no mesmo período e área atingiram 61,4 ha, o que representa aproximadamente metade das perdas registradas. A maior parte desse ganho resultou da conversão de áreas classificadas como Mosaico de Usos ($n = 35,8$ ha; 58,3%) e Cana ($n = 17,1$ ha; 27,8%). As demais classes contribuíram conjuntamente com 8,4 ha (13,7%) para o ganho total.

As mudanças observadas na zona de amortecimento da EERP resultaram em saldo negativo no primeiro período analisado, uma vez que as perdas de habitat natural foram aproximadamente o dobro dos ganhos registrados. Tanto as perdas quanto os ganhos decorreram predominantemente de conversões diretas envolvendo classes associadas ao setor agropecuário, eviden-

Figura 5
Gráfico de Sankey – zona de amortecimento da EERP (1985-2011-2022).



ciando a influência dessa atividade na dinâmica de uso e cobertura da terra no entorno da EEPR.

No período subsequente, observou-se inversão do saldo, com ganho de habitat natural (76,6 ha) aproximadamente duas vezes superior às perdas (37,8 ha). A quase totalidade dos ganhos decorreu da conversão de áreas classificadas como Mosaico de Usos (n = 69,1 ha; 90,2%), seguida por Cana (n = 7,1; 9,3%) e, de forma residual, Pastagem (n = 0,4; 0,5%). De forma semelhante, as perdas de habitat natural concentram-se principalmente na conversão para Mosaico de Usos (n = 32,7 ha; 86,5%) e Cana (n = 4,8 ha; 12,7%). Esses resultados evidenciam a forte interação entre a dinâmica agropecuária e a recomposição ou supressão de habitat natural, indicando que as mesmas classes produtivas atuam simultaneamente como vetores de conversão e de reconversão da cobertura natural.

Em razão da proximidade geográfica entre as duas unidades de conservação (PEPF e EERP), ambas situadas no interior do estado de São Paulo, observa-se a presença de características territoriais semelhantes. As duas áreas são marcadas pela forte influência da matriz agropecuária em seus entornos, com destaque para a expansão da cana-de-açúcar como principal vetor de transformação da paisagem. Embora a expansão urbana não tenha se configurado como força indutora predominante das perdas de habitat natural nos períodos analisados, sua presença crescente na paisagem reforça a complexidade das pressões antrópicas incidentes sobre a unidade de conservação. Atualmente, a EERP encontra-se praticamente inserida no tecido urbano do município de Ribeirão Preto, condição que intensifica os desafios relacionados à conservação e à gestão territorial de seu entorno.

O fato dos ganhos de habitat natural, neste caso, também estarem associados a classes de origem agropecuária, reforça incertezas quanto à qualidade ecológica da paisagem. Mesmo assim, pode-se afirmar que o caso da EERP configura um exemplo de comportamento esperado, uma vez que a zona de amortecimento, com suas mudanças, apresentou ao final uma melhor condição da paisagem que a zona externa (Material suplementar A). Contudo, ressalta-se que a porcentagem de habitat natural na paisagem ainda está abaixo dos níveis considerados ideais para a conservação da biodiversidade. Os dados detalhados das transições entre os usos e coberturas da terra na zona de amortecimento da EERP estão apresentados no Material suplementar F e no Material suplementar G deste artigo.

Este estudo analisou as mudanças de habitat natural nas zonas de amortecimento e zonas externas de unidades de conservação do estado de São Paulo (Brasil), ao longo de um extenso recorte temporal (1985-2022). De modo geral, as transformações mais expressivas na condição da paisagem estiveram associadas à expansão da agropecuária, com destaque para a cana-de-açúcar, como evidenciado nos casos do PEPF e da EERP. O protagonismo desse cultivo na dinâmica territorial regional não é circunstancial: o estado de São Paulo concentra aproximadamente 50% da área colhida de cana-de-açúcar no Brasil

e lidera as exportações do setor, tendo alcançado volume de 105,6 milhões de toneladas nos últimos sete anos (União da Indústria de Cana-de-Açúcar e Bioenergia [UNICA], 2023). Esse contexto evidencia a forte inserção da economia paulista nas cadeias nacional e internacional do setor sucroenergético e ajuda a explicar a intensidade das transformações observadas no entorno das áreas protegidas analisadas.

A conversão de áreas florestais em usos agrícolas constitui um dos principais vetores imediatos do desmatamento (Geist & Lambin, 2002) e suscita preocupação quanto à crescente pressão exercida sobre áreas protegidas e seus entornos, com potenciais implicações para a conservação da biodiversidade (Rafaai et al, 2020). Esse processo, entretanto, não se limita a decisões pontuais de uso do solo, sendo frequentemente impulsionado por sinergias entre fatores econômicos, institucionais e políticos que operam em diferentes escalas (Geist & Lambin, 2002). O Zoneamento Ecológico-Econômico do estado de São Paulo (*Decreto nº 67.430*, 2022) confirma que as regiões centrais do estado se caracterizam pela forte integração entre produção agropecuária e atividade industrial, especialmente vinculada à cadeia da cana-de-açúcar. À luz dos resultados aqui apresentados, observa-se que essa configuração produtiva regional tem repercussões diretas sobre as paisagens no entorno das unidades de conservação, indicando a necessidade de maior articulação entre políticas de desenvolvimento regional e estratégias de conservação ambiental.

Vale destacar que os resultados encontrados neste artigo traduzem a realidade dos casos estudados, não cabendo uma generalização para todas as zonas de amortecimento do país. Geist e Lambin (2002) afirmam que as evidências baseadas em estudos de caso revelam que não se pode conceber uma política universal para o controle do desmatamento tropical. Os autores defendem a necessidade de um entendimento detalhado do complexo conjunto de causas imediatas e das forças motrizes que afetam as mudanças na cobertura florestal em um determinado local antes de qualquer intervenção política. Isso reforça a importância de estudos como esse para subsidiar decisões mais assertivas de tomadores de decisão na gestão de áreas protegidas e seus arredores.

Embora o presente estudo contribua ao oferecer subsídios iniciais para a formulação de ações estratégicas voltadas à gestão das áreas protegidas e de seus entornos, ele não esgota as possibilidades analíticas e instrumentais necessárias ao aprofundamento da compreensão dos contextos específicos e ao aprimoramento da governança dessas áreas. Investigações futuras podem avançar, por exemplo, na avaliação da aplicação de instrumentos econômicos em áreas de zona de amortecimento, bem como na incorporação da Avaliação Ambiental Estratégica na elaboração de planos de manejo de unidades de conservação e planos diretores municipais. Nesse sentido, Lima e Ranieri (2018) evidenciam a persistente falta de integração entre esses instrumentos de gestão territorial, destacando as consequências negativas e a complexidade decorrentes dessa desconexão para a efetividade da gestão das zonas de amortecimento.

4. Conclusões

Os resultados deste estudo indicam que quase a totalidade das unidades de conservação, com exceção da Estação Ecológica de Ribeirão Preto (EERP), não apresentou alterações na condição da paisagem no que se refere à porcentagem de habitat natural em suas zonas de amortecimento entre 1985 e 2022. Este achado refuta parcialmente uma hipótese inicial do estudo, que previa melhoria na condição da paisagem das zonas de amortecimento ao longo do período analisado. Embora tenham sido registradas mudanças positivas entre 2011 (publicação do plano de manejo) e 2022 na zona de amortecimento da Estação Ecológica de Ribeirão Preto, este constituiu o único caso de variação detectado. Em relação às zonas externas, três unidades de conservação (Parque Estadual Campina do Encantado – PECE, Parque Estadual Morro do Diabo – PEMD e Parque Estadual Porto Ferreira – PEPF) apresentaram mudanças na condição da paisagem no mesmo intervalo temporal. A comparação entre as duas zonas proporcionou a percepção de que, na maioria dos casos ($n = 16$; 64%), as zonas de amortecimento apresentaram condições da paisagem iguais ou inferiores às respectivas ZE. Esse resultado contradiz com o esperado para essas zonas e refuta parcialmente a outra hipótese inicial do estudo, que previa uma melhor condição da paisagem nas zonas de amortecimento.

De modo geral, as transformações observadas nas zonas de amortecimento e zonas externas estiveram predominantemente associadas à expansão da agropecuária, com destaque para a cana-de-açúcar, como evidenciado nos casos do Parque Estadual Porto Ferreira e da Estação Ecológica de Ribeirão Preto. Os resultados indicam que a configuração produtiva regional tem repercussões diretas sobre as paisagens no entorno das unidades de conservação, indicando a necessidade de maior articulação entre políticas de desenvolvimento regional e estratégias de conservação ambiental. Ademais, reforçam a importância da integração entre a gestão das zonas de amortecimento e das próprias unidades de conservação para o alcance de resultados mais consistentes em termos de conservação da biodiversidade. Considera-se que as evidências aqui apresentadas podem subsidiar a atuação de gestores e formuladores de políticas públicas, orientando a adoção de medidas específicas voltadas à mitigação das vulnerabilidades identificadas no entorno das unidades de conservação.

Agradecimentos

Este trabalho foi financiado em parte pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – Brasil (CNPq) - Código de Financiamento 140577/2020-3 - e pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Referências

Almeida-Rocha, J. M., & Peres, C. A. (2021). Nominally protected buffer zones around tropical protected areas are as highly degraded as the wider unprotected countryside. *Biological Conservation*, *256*, Artigo 109068. https://doi.org/10.1016/j.biocon.2021.109068

Amaral, Y. T., Santos, E. M. S., Ribeiro, M. C., & Barreto, L. (2019). Landscape structural analysis of the Lençóis Maranhenses national park: implications for conservation. *Journal for Nature Conservation*, *51*, Artigo 125725. https://doi.org/10.1016/j.jnc.2019.125725

Banks-Leite, C., Pardini, R., Tambosi, L. R., Pearse, W. D., Bueno, A. A., Bruscagin, R. T., Condez, T. H., Dixo, M., Igari, A. T., Martensen, A. C. & Metzger, J. P. (2014). Using ecological thresholds to evaluate the costs and benefits of set-asides in a biodiversity hotspot. Science, *345*(6200), 1041–1045. https://doi.org/10.1126/science.1255768

Decreto nº 67.430, de 30 de dezembro de 2022. (2022, 30 de dezembro). Dispõe sobre o Zoneamento Ecológico- Econômico no Estado de São Paulo – ZEE-SP, de que tratam a Lei nº 13.798, de 9 de novembro de 2009, e o Decreto nº 66.002, de 10 de setembro de 2021, e dá providências correlatas. Assembleia Legislativa do Estado de São Paulo. https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/decreto/2022/decreto-67430-30.12.2022.html

Dudley, N. (Eds.). (2008). *Guidelines for Applying Protected Area Management Categories*. IUCN. https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/PAG-021.pdf

Fahrig, L. (2003). Effects of Habitat Fragmentation on Biodiversity. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, *34*(1), 487–515. https://www.annualreviews.org/content/journals/10.1146/annurev.ecolsys.34.011802.132419

Fundação para a Conservação e a Produção Florestal do Estado de São Paulo. (2006). *Plano de manejo do Parque Estadual Morro do Diabo*. https://smastr16.blob.core.windows.net/fundacaoflorestal/2012/01/morrododiabo.pdf

Geist, H. J., & Lambin, E. F. (2002). Proximate Causes and Underlying Driving Forces of Tropical Deforestation. *BioScience*, *52*(2), 143–150. https://doi.org/10.1641/0006-3568(2002)052[0143:PCAUDF]2.0.CO;2

Guerra, B. R., Abrantes, P. C. R. M., & Ranieri, V. E. L. (2025). Land cover changes in buffer zones and the effectiveness of this conservation strategy: Case study of Southeastern Brazil. *Land Use Policy*, *157*, Artigo 107665. https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2025.107665

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2022, 16 de setembro). *Brasil/São Paulo*. https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/panorama.

Kintz, D. B., Young, K. R., & Crews-Meyer, K. A. (2006). Implications of Land Use/Land Cover Change in the Buffer Zone of a National Park in the Tropical Andes. *Environmental Management*, *38*(2), 238–252. https://doi.org/10.1007/s00267-005-0147-9

Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000. (2000, 18 de julho). Regulamenta o art. 225, § 1o, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. Presidência da República. https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9985.htm

Li, W., Wang, Z., & Tang, H. (1999). Designing the buffer zone of a nature reserve: a case study in Yancheng Biosphere Reserve, China. *Biological Conservation*, *90*(3), 159–165. https://doi.org/10.1016/S0006-3207(99)00011-7

Lima, E. A. C. F., & Ranieri, V. E. L. (2018). Land use planning around protected areas: Case studies in four state parks in the Atlantic forest region of southeastern Brazil. *Land Use Policy*, *71*, 453–458. https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2017.12.020

Martino, D. (2001). Buffer zones around protected areas: a brief literature review. *Electronic Green Journal*, *1*(15). https://doi.org/10.5070/G311510434

Medeiros, R. (2006). Evolução das tipologias e categorias de áreas protegidas no Brasil. *Ambiente & Sociedade*, *9*, 41–64. https://doi.org/10.1590/S1414-753X2006000100003

Medeiros, R., Irving, M., & Garay, I. (2004). A proteção da natureza no Brasil: evolução e conflitos de um modelo em construção. *Revista de Desenvolvimento Econômico*, *9*, 83-93. https://revistas.unifacs.br/index.php/rde/article/view/115

Mingarro, M., & Lobo, J. M. (2023). European National Parks protect their surroundings but not everywhere: A study using land use/land cover dynamics derived from CORINE Land Cover data. *Land Use Policy*, *124*, Artigo 106434. https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2022.106434

Oliveira, B. R., Carvalho-Ribeiro, S. M., & Maia-Barbosa, P. M. (2020). A multiscale analysis of land use dynamics in the buffer zone of Rio Doce State Park, Minas Gerais, Brazil. *Journal of Environmental Planning and Management*, *63*, 935–957. https://doi.org/10.1080/09640568.2019.1617681

Projeto de Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo no Brasil. (2024, 25 de setembro). *Coleções Mapbiomas*. https://brasil.mapbiomas.org/colecoes-mapbiomas/

Rafaai, N. H., Abdullah, S. A., & Hasan Reza, M. I. (2020). Identifying factors and predicting the future land-use change of protected area in the agricultural landscape of Malaysian peninsula for conservation planning. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, *18*, 100298. https://doi.org/10.1016/j.rsase.2020.100298

Souza, J. C., Mendes, T. S. G, Bignotto, R. B., Alcântara, E. H, & Massi, K. G. (2024). Land use dynamics in a tropical protected area buffer zone: is the management plan helping? *Journal of Environmental Studies and Sciences*, *15*, 156–166. https://doi.org/10.1007/s13412-024-00905-5

Terra, T. N., Santos, R. F., & Costa, D. C. (2014). Land use changes in protected areas and their future: The legal effectiveness of landscape protection. *Land Use Policy*, *38*, 378-387. https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2013.12.003

União da Indústria de Cana-de-Açúcar e Bioenergia. (2023, september 22). *UNICA Data*. https://unicadata.com.br/listagem.php?idMn=4

Villard, M. A., & Metzger, J. P. (2013). REVIEW: Beyond the fragmentation debate: a conceptual model to predict when habitat configuration really matters. *Journal of Applied Ecology*, *51*(2), 309–318. https://doi.org/10.1111/1365-2664.12190

Yadeta T., Tessema, Z. K., Kebede, F., Mengesha, G., & Asefa, A. (2022). Land use land cover change in and around Chebera Churchura National Park, Southwestern Ethiopia: implications for management effectiveness. *Environmental Systems Research*, *11*, Artigo 21. https://doi.org/10.1186/s40068-022-00267-3