

ESTRUTURA DE PAISAGENS COM FRAGMENTOS PRIORITÁRIOS PARA A CONSERVAÇÃO DO CERRADO NO CENTRO DO ESTADO DE SÃO PAULO

Alisson Cleiton de Oliveira¹, Thales Sehn Korting², Maria Isabel Sobral Escada³

^{1,2,3}Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto - PGSER, Divisão de Observação da Terra e Geoinformática - DIOTG, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, ¹alisson.oliveira@inpe.br; ²thales.korting@inpe.br; ³isabel.escada@inpe.br

RESUMO

O Cerrado é um dos 34 *hotspots* de conservação do planeta e desde a década de 70 presencia grandes mudanças na dinâmica de uso e cobertura da terra. Fragmentação e efeitos de borda são algumas das consequências ecológicas da ocupação humana. O objetivo do presente trabalho é o de compreender a estrutura de três paisagens com fragmentos prioritários de conservação do Cerrado na Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Tietê-Jacaré, na região central do estado de São Paulo. Os resultados mostram que, de forma geral, atividades agrícolas correspondem às matrizes das paisagens, enquanto a pastagem mostra-se estar mais diretamente correlacionada às métricas de densidade de *patches* e densidade de bordas da vegetação natural, indicando que quanto mais extensiva é a pastagem, maior é a densidade de fragmentos e o densidade das bordas.

Palavras-chave — *hotspot* de conservação, uso e cobertura da terra, fragmentação, efeitos de borda.

ABSTRACT

The Cerrado is one of the thirty-four hotspots for global conservation and changes in its land use and land cover have been intensified along the years, mainly since 1970. Fragmentation and edge effects represent some of the ecological consequences promoted by human occupation. This article has the objective to understand the structure of three landscapes with priority patches for conservation of the Cerrado in the Water Resources Management Unit (WRMU) of the Tietê-Jacaré rivers, located in the central region of São Paulo State. The results show that the matrix of the landscapes is composed by agricultural areas, while areas of pasture are more positively correlated with the patch density and the edge density of the natural vegetation, what means that as largest are these areas, higher is the number of natural patches and the edge length.

Key words — *hotspot* for conservation, land use and land cover, fragmentation, edge effects.

1. INTRODUÇÃO

O Cerrado é o segundo maior domínio fitogeográfico do Brasil e designa, com a Mata Atlântica, os dois *hotspots* de

conservação da biodiversidade à nível mundial localizados no país. Existem no planeta 34 *hotspots* que, devido ao alto endemismo de espécies e às intensas pressões de atividades antrópicas, são áreas prioritárias de conservação [1].

A ocupação intensiva sobre o Cerrado foi fomentada, a partir da década de 1970, por projetos e tecnologias como o II Plano Nacional de Desenvolvimento [2] e a chamada “Revolução Verde” [3], conduzidas por desmatamentos sucessivos e pela consolidação da agropecuária. Paisagens dominadas por agricultura e pastagens representam mosaicos que incluem outros tipos de uso e de manejo da terra.

Cobertura vegetal e corpos hídricos coexistem nesses espaços e fornecem, à biodiversidade local, diferentes *habitats* que podem ser restritos geograficamente, pois pressões antrópicas conduzem um processo contínuo de conversão da paisagem capaz de culminar em perda desses *habitats* naturais, fragmentação e efeitos de borda. Cerca de 50% da vegetação nativa do Cerrado já foram convertidos [4].

Fragmentação pode ser entendido como o processo no qual um *habitat*, representado por uma área natural com funções ecológicas, é dividido em partes menores que são, por consequência, desconectadas umas das outras [5]. O conceito de efeito de borda no Cerrado tem sido recentemente estudado, pois, por possuir fisionomias campestres e savânicas, difere-se da compreensão consolidada para ecossistemas florestais [6], e um dos principais *drivers* dos efeitos de borda no Cerrado é a proliferação de gramíneas exóticas por pastagens plantadas com capins africanos [7].

O Cerrado já ocupou 14% do estado de São Paulo e hoje está reduzido a menos de 1% [7]. Durigan *et al.* mapearam e caracterizaram floristicamente, no ano de 2003, 86 fragmentos que foram classificados como prioritários para a conservação do Cerrado paulista [8]. O presente trabalho tem por objetivo compreender a estrutura de três paisagens da Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Tietê-Jacaré, na região central do estado de São Paulo. Para isso, utilizou-se a classificação de uso e cobertura da terra de 2018, elaborada com imagens do sensor OLI a bordo do Landsat-8, disponibilizada pelo projeto TerraClass Cerrado [9].

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de estudo

A Política Estadual de Recursos Hídricos (Lei Estadual 7.663/1991) divide o estado de São Paulo em 22 Unidades

de Gerenciamento dos Recursos Hídricos, dentre as quais está a Bacia do Tietê-Jacaré (UGRHI-13), que abrange 34 municípios e aproximadamente 11.800 km². A bacia hidrográfica do Tietê-Jacaré (Figura 1) engloba três afluentes principais: o rio Tietê, o rio Jacaré-Guaçu e o rio Jacaré-Pedira [10]. A Figura 1 situa a área de estudo.

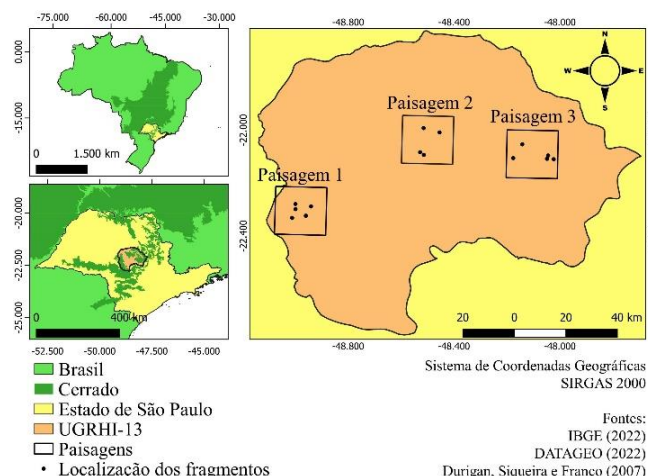


Figura 1: Área de estudo.

2.2 Procedimentos metodológicos

2.2.1 Perguntas norteadoras

Visando compreender a estrutura das paisagens estudadas, partiu-se das seguintes perguntas: a) Qual a extensão das classes nas paisagens prioritárias de conservação do Cerrado na UGRHI-13?; b) Para quais classes existe correlação significativa da métrica de área total com a área total, densidade de *patches* e de bordas da vegetação natural?; c) A estrutura das três paisagens é estatisticamente similar para as métricas de forma analisadas?

2.2.2 Banco de dados e processamento

Obteve-se, através do Portal de Mapas do IBGE [11], o arquivo vetorial com os limites do Brasil e do Cerrado, e os limites das UGRHIS do estado de São Paulo foram obtidos na plataforma *online* do DataGeo [12]. Os dados de uso e cobertura da terra utilizados como base foram obtidos do projeto TerraClass Cerrado, e se referem ao mapeamento de 2018. As coordenadas geográficas dos fragmentos prioritários foram obtidas no estudo “*Threats to the Cerrado Remnants of the State of São Paulo, Brazil*” [7].

Primeiro, as paisagens de estudo foram delimitadas com base nas coordenadas dos fragmentos. Ao todo, a UGRHI-13 contém 21 fragmentos prioritários, mas foram analisados no presente estudo 14 fragmentos (Tabela 1), pois considerou-se, a partir do centroide de cada fragmento, buffers de 10km em vistas a obter clusters espaciais que abrangessem o maior número de fragmentos próximos. Com base nos buffers que se intersectaram aplicou-se a ferramenta *dissolve* no QGIS

3.22.7 e plotou-se, então, o centroide do cluster a partir do qual foi gerado o retângulo envolvente de 20km x 20km. A área total de cada paisagem corresponde a 40.000ha.

| | Fragmento | Localização | Tamanho (ha) |
|------------|-----------|----------------------|--------------|
| Paisagem 1 | D14 | Bauru / Pedereiras | 399 |
| | D17 | Bauru | 20 |
| | D20 | Bauru | 1.155 |
| | D22 | Pedereiras | 75 |
| | D46 | Pedereiras | 490 |
| Paisagem 2 | P0 | Boa Esperança do Sul | 181 |
| | P7 | Boa Esperança do Sul | 684 |
| | P10 | Bocaina | 129 |
| | P11 | Bocaina | 460 |
| Paisagem 3 | Q1 | Ribeirão Bonito | 43 |
| | Q7 | Ribeirão Bonito | 700 |
| | Q12 | São Carlos | 395 |
| | Q14 | Ribeirão Bonito | 122 |
| | Q18 | Brotas | 499 |

Tabela 1: Localização dos fragmentos prioritários [7].

Depois, criou-se um *grid* contendo 25 células internas de 4km x 4km, às quais extraiu-se, utilizando o *plugin* GeoDMA 2.0.3 [13], presente no TerraView 5.6.1, as métricas das paisagens com base no mapeamento do TerraClass Cerrado, sendo que, nessa etapa, as classes cultura agrícola perene, cultura agrícola semi-perene e cultura agrícola temporária de um ciclo foram unificadas na classe agrícola. Para responder a segunda e a terceira perguntas, unificou-se, também, as classes vegetação natural primária e vegetação natural secundária na classe vegetação natural.

2.2.4 Análise

Para responder às perguntas norteadoras, processou-se, em ambiente Python, a correlação não paramétrica de Spearman e os testes de Kruskal-Wallis e de Mann-Whitney, utilizando-se a biblioteca *SciPy*. Para a análise dos resultados, considerou-se um nível de significância de 0,05 (5%).

3. RESULTADOS

A Figura 2 apresenta a distribuição espacial das classes de uso e cobertura presentes nas paisagens.

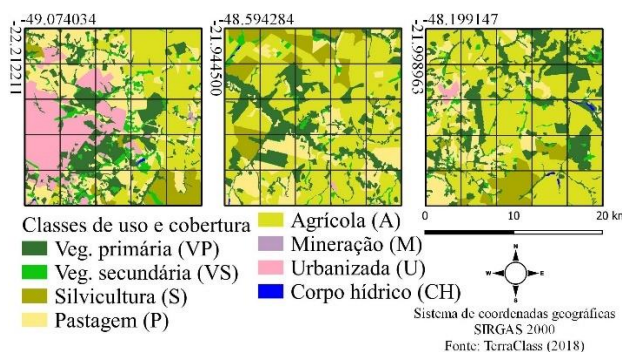


Figura 2: Uso e cobertura da terra da paisagem 1 (esquerda), paisagem 2 (centro) e paisagem 3 (direita).

A Figura 3 contém os gráficos de barras com a área total ocupada percentualmente pelas classes da Figura 2.

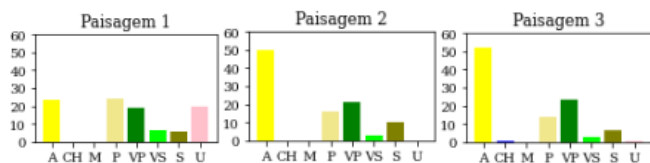


Figura 3: Gráficos da extensão (%) das classes presentes nas paisagens.

A Tabela 2 contém as correlações significativas para a métrica de área total das classes.

| | Classe | Classe | Coefficiente de correlação |
|------------|---------------|-----------------|----------------------------|
| Paisagem 1 | Urbanizada | Agrícola | -0,83225 |
| | Veg. primária | Veg. secundária | 0,66153 |
| | Pastagem | Veg. primária | 0,40923 |
| Paisagem 2 | Pastagem | Agrícola | -0,48615 |
| | Pastagem | Silvicultura | -0,49541 |
| Paisagem 3 | Pastagem | Agrícola | -0,51732 |
| | Pastagem | Veg. secundária | 0,40492 |

Tabela 2: Correlações de Spearman para a métrica de área total (H₀: não há correlação entre as classes).

A Tabela 3 aponta as correlações significativas entre a área (total area), densidade de patches (patch density) e de bordas (edge density) da vegetação natural e a área total das demais classes.

| | Métricas da classe vegetação natural | Métrica de área total por classe de uso e cobertura | Coefficiente de correlação |
|------------|--------------------------------------|---|----------------------------|
| Paisagem 1 | Patch density | Pastagem | 0,58753 |
| | Edge density | Pastagem | 0,62538 |
| Paisagem 2 | Patch density | Pastagem | 0,41406 |
| | Patch density | Silvicultura | -0,58176 |
| | Edge density | Pastagem | 0,50615 |
| | Edge density | Silvicultura | -0,63561 |
| Paisagem 3 | Patch density | Pastagem | 0,59183 |
| | Edge density | Pastagem | 0,66435 |
| | Edge density | Agrícola | -0,52846 |

Tabela 3: Correlações de Spearman entre métricas da classe vegetação natural e a área total das demais classes (H₀: não há correlação entre as métricas da vegetação natural e a área ocupada por cada classe nas paisagens).

A Tabela 4 elucida que o resultado do teste de Kruskal-Wallis foi significativo para as métricas de densidade de patches e de bordas, o que indica que pelo menos uma das paisagens difere das demais. Portanto, a Tabela 5 contém os resultados do teste de Mann-Whitney entre pares (Tabela 5).

| | Total area (ha) | Patch density (nro/100ha) | Edge density (m/ha) |
|---------|-----------------|---------------------------|---------------------|
| p-value | 0,74122 | 1,67E+11 | 0,014245 |

Tabela 4: Resultados do teste de Kruskal-Wallis entre a classe vegetação natural das paisagens (H₀: não há diferenças entre as paisagens).

| Patch density | | | |
|---------------|------------|------------|------------|
| | Paisagem 1 | Paisagem 2 | Paisagem 3 |
| Paisagem 1 | | 3,04E+10 | 0,003037 |
| Paisagem 2 | 3,04E+10 | | 0,027438 |
| Paisagem 3 | 0,003037 | 0,027438 | |
| Edge density | | | |
| | Paisagem 1 | Paisagem 2 | Paisagem 3 |
| Paisagem 1 | | 0,005855 | 0,344840 |
| Paisagem 2 | 0,005855 | | 0,03709 |
| Paisagem 3 | 0,344840 | 0,03709 | |

Tabela 5: Resultados do teste de Mann-Whitney (p-value) por pares de paisagens da classe vegetação natural (H₀: não há diferenças entre as paisagens analisadas par a par).

4. DISCUSSÃO

4.1 Qual a extensão das classes nas paisagens prioritárias de conservação do Cerrado na UGRHI-13?

Os gráficos da Figura 3 apontam que a paisagem 1 é a mais urbanizada e que não há uma matriz bem definida espacialmente. A Tabela 2 permite visualizar que há correlação positiva entre as vegetações primária e secundária e entre a pastagem e a vegetação primária, ou seja, essas classes tendem a ocorrer próximas, e que há correlação negativa da classe urbanizada com a classe agrícola, o que indica ocuparem regiões distintas na paisagem.

A paisagem 2 é de matriz agrícola e a segunda classe mais extensa é a vegetação primária, seguida pela pastagem e pela silvicultura, sendo essa a paisagem mais silvícola. A correlação negativa entre a classe pastagem com as classes agrícola e silvicultura, indica que a classe pastagem é menor em regiões onde a classe silvicultura ou agrícola são mais extensas.

A extensão das classes na paisagem 3 é semelhante à da paisagem 2, pois a classe agrícola é a matriz e em ambas a classe urbanizada não chega a 1%. A classe pastagem se correlaciona positivamente à vegetação secundária, mas a

correlação negativa entre a pastagem e a classe agrícola mostra que áreas de pastagem tendem a ser menores quanto maiores são as áreas agrícolas, como indicado também na paisagem 2.

4.2 Para quais classes existe correlação significativa da métrica de área total com a área total, densidade de patches e de bordas da vegetação natural?

Não houve correlações entre a área total da classe vegetação natural com outras classes em nenhuma das paisagens, ou seja, pode-se dizer que essa classe não ocorre preferencialmente em regiões ocupadas por classes de uso e cobertura específicas.

Na paisagem 1, as métricas de densidade de patches e de bordas da classe vegetação natural, ilustradas na Tabela 3, correlacionam-se positivamente com a classe pastagem, indicando que em regiões ocupadas extensivamente por pastagem, o número de patches por 100ha e a densidade das bordas por m/ha tendem a ser maiores. Isso também se verifica nas paisagens 2 e 3 e, portanto, pode-se dizer que, onde a classe pastagem é mais extensa, as métricas analisadas da vegetação natural tendem a estar correlacionadas positivamente, indicando ser a classe pastagem a que mais influencia a fragmentação e os efeitos de borda nas paisagens.

Na paisagem 2, as métricas da vegetação natural se correlacionam negativamente com a silvicultura, indicando que a presença de silvicultura não implica diretamente em fragmentação. Na paisagem 3, a correlação entre a densidade de bordas e a classe agrícola é negativa, ou seja, apesar de não haver indícios de que a fragmentação é maior em regiões ocupadas pela classe agrícola, há evidências de que nessas regiões o efeito de borda seja intensificado.

4.3 A estrutura das três paisagens é estatisticamente similar para as métricas de área total, densidade de patches e de bordas da classe vegetação natural?

O teste de Kruskal-Wallis mostrou que não há diferenças na métrica de área total da vegetação natural entre as paisagens, mas que pelo menos uma difere em densidade de patches e densidade de bordas com relação às demais.

A métrica de densidade de patches mostrou-se diferente em todas as paisagens quando aplicado o teste de duas amostras de Mann-Whitney, sendo que a paisagem 1 contém 6,32 patches/100ha, a paisagem 2 contém 2,65 patches/100ha e a paisagem 3 contém 3,9 patches/100ha. Considerando essa métrica, pode-se dizer que a paisagem 1 é a mais fragmentada e a paisagem 2 é a menos fragmentada.

O teste de Mann-Whitney evidenciou que a métrica de densidade de bordas da vegetação natural não difere entre as paisagens 1 e 3 e que a paisagem 2 se difere de ambas, pois é a que tem menor densidade de bordas. A paisagem 1 contém 32,08 m/ha, a paisagem 2 contém 20,70 m/ha e a paisagem 3 contém 27,65 m/ha. Dessa forma, espera-se que os efeitos de borda sejam mais intensos nas paisagens 1 e 3.

5. CONCLUSÕES

Em síntese, considerando-se a unidade de mapeamento e análise espacial adotada nesse estudo, pôde-se identificar que a paisagem 1 é a mais urbanizada e que nas outras existe um predomínio da classe agrícola. Em todas as paisagens, a classe que mais se correlaciona positivamente com as métricas de forma da vegetação natural é a pastagem, demonstrando que em regiões onde essa classe é mais extensa, as densidades de patch e de borda da vegetação natural são maiores, indicando maior fragmentação e efeitos de borda. Apesar de se poder afirmar que a extensão da vegetação natural seja similar nas três paisagens, constatou-se diferenças nas métricas capazes de indicar que a paisagem 2 é a menos fragmentada e que nas paisagens 1 e 3 os efeitos de borda são provavelmente mais intensos.

6. REFERÊNCIAS

- [1] N. Myers *et al.* Biodiversity hotspots for conservation priorities, *Nature*, v. 403, 853-858 pp., 2000.
- [2] K. M. S. Faria, R. A. dos Santos. Análise Espacial da Densidade de Fragmentos Remanescentes e da Estrutura da Paisagem na Sub-Bacia do Rio Caiapó – GO, *Ateliê Geográfico*, v. 10, 115-127 pp., 2016.
- [3] R. M. S. Dutra, M. M. O. Souza. Cerrado, Revolução Verde e Evolução do Consumo de Agrotóxicos, *Soc. & Nat*, v. 29, 473-488 pp, 2017.
- [4] B. A. Crispim *et al.* Genetic Diversity of *Campomanesia adamantium* and its Correlation with Land Use and Land Cover, *Diversity*, v. 13, 1-12 pp, 2021.
- [5] T. O. Grande *et al.* Fragment Shape and Size, Landscape Permeability and Fragmentation Level as Predictors of Primate Occupancy in a Region of Brazilian Cerrado. *Acta Scientiarum*, v. 42, 1-15 pp., 2020.
- [6] F. C. Pereira, F. A. G. Guilherme e B. S. Marimon. Edge Effects of Successional Dynamics of Forest Fragments in the Brazilian Cerrado, *Floresta e Ambiente*, 28:1-8, 2021.
- [7] G. Durigan, M. F. Siqueira e G. A. D. C. Franco. Threats do the Cerrado Remnants of the State of São Paulo, *Sci. Agric*, v. 64: 355-363 pp, 2007.
- [8] G. Durigan *et al.* The Vegetation of Priority Areas for Cerrado Conservation in São Paulo State, Brazil, *Edinburgh Journal of Botany*, v. 60: 217-241 pp., 2003.
- [9] TerraClass. Geoportal – Cerrado. Acesso em: 02 set. 2022.
- [10] J.G. Tundisi *et al.* A Bacia Hidrográfica do Tietê/Jacaré: Estudo de Caso em Pesquisa e Gerenciamento. *Estudos Avançados*, v. 22: 159-172 pp., 2008.
- [11] Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Portal de Mapas do IBGE. Acesso em: 03 set. 2022.
- [12] Sistema Ambiental Paulista (DataGEO). Acesso em: 03. set. 2022.
- [13] GeoDMA 2.0.3. São José dos Campos, SP: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. (INPE), 2011. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/geodma>>. Acesso em: 05 set. 2022.