

Avaliação ambiental de fragmentos florestais de Cerrado por meio de métricas de paisagem e índice de vegetação

Environmental assessment of Cerrado Forest fragments using landscape metrics and vegetation index

Evaluación ambiental de fragmentos de bosque del Cerrado utilizando métricas de paisaje e índice de vegetación

Nelton Nattan Amaral Nunes  

Universidade Estadual de Goiás – UEG, Anápolis (GO), Brasil

neltonnattan@hotmail.com

José Carlos de Souza  

Universidade Estadual de Goiás – UEG, Anápolis (GO), Brasil

jose.souza@ueg.br

Resumo

O objetivo deste artigo foi avaliar as condições ambientais dos fragmentos florestais de Cerrado da bacia hidrográfica do Rio das Pedras, em Itaberaí (Goiás), por meio de métricas de paisagem e índice de vegetação. Os fragmentos foram mapeados e classificados por tamanho, sendo aplicados os índices de efeito de borda, de exposição antrópica e o de vegetação por diferença normalizada (NDVI). A bacia possui área de 36.900 hectares, onde foram mapeados 296 fragmentos, que totalizaram 4.421,02 ha. Os resultados indicaram que 75,68% dos fragmentos apresentaram alto índice de efeito de borda, abrangendo 224 fragmentos. Em relação ao índice de exposição antrópica, o predomínio também foi para a classe alta, com 237 fragmentos. Os valores de NDVI variaram de 0,2 a 0,92, com média de 0,75, indicando boas condições de vigor vegetativo e produção fotossinteticamente ativa, embora melhores condições tenham sido observadas nos maiores fragmentos e em suas regiões nucleares.

Palavras-chave: Fragmentação de paisagens. NDVI. Bacia hidrográfica. Agropecuária.

Abstract

The objective of this article was to evaluate the environmental conditions of Cerrado forest fragments in the Pedras River basin, in Itaberaí (Goiás), using landscape metrics and



vegetation index. The fragments were mapped and classified by size and the edge effect, anthropogenic exposure and normalized difference vegetation (NDVI) indices were applied. The basin has an area of 36900 hectares where 296 fragments were mapped, totaling 4,421.02 ha. The results indicated that 75.68% of the fragments had a high rate of edge effect, totaling 224 fragments. In relation to the anthropogenic exposure index, the predominance was also for the upper class, with 237 fragments. NDVI values ranged from 0.2 to 0.92, with an average of 0.75, indicating good conditions for vegetative vigor and photosynthetically active production, but with better conditions for the largest fragments and their nuclear region.

Keywords: Fragmentation of landscapes. NDVI. Hydrographic basin. Agriculture.

Resumen

El objetivo de este artículo fue evaluar las condiciones ambientales de fragmentos de bosque del Cerrado, en la cuenca Del río Pedras, en Itaberaí (Goiás), utilizando métricas paisajísticas e índices de vegetación. Los fragmentos fueron mapeados y clasificados por tamaño y se aplicaron índices de efecto de borde, exposición antropogénica y diferencia normalizada de vegetación (NDVI). La cuenca tiene una superficie de 36900 hectáreas donde se cartografiaron 296 fragmentos, que totalizando 4.421,02 hectáreas. Los resultados indicaron que el 75,68% de los fragmentos tenían una alta tasa de efecto de borde, totalizando 224 fragmentos. En relación al índice de exposición antropogénica, El predominio también fue para la clase alta, con 237 fragmentos. Los valores de NDVI oscilaron entre 0,2 y 0,92, con um promedio de 0,75, lo que indica buenas condiciones para el vigor vegetativo y la producción fotosintéticamente activa, pero com mejores condiciones para los fragmentos más grandes y su región nuclear.

Palabras-clave: Fragmentación de paisajes. NDVI. Cuenca. Agricultura.

Introdução

As métricas de paisagem e os índices de vegetação são indicadores da qualidade ambiental e ecológica de coberturas vegetais, sejam essas áreas contínuas de vegetação natural ou fragmentos, ou áreas cultivadas, no caso dos índices de vegetação. Esses parâmetros se aplicam bem a ambientes com paisagens fragmentadas, especialmente por atividades agropecuárias que requerem extensas áreas desmatadas para produção (Souza; Silva; Alves Jr., 2023).

As métricas de paisagens estão vinculadas às concepções metodológicas da ecologia de paisagens e consistem em modelos matemáticos que quantificam as características espaciais das manchas (fragmentos). Esses modelos podem ser utilizados como suporte para avaliação da dinâmica ecológica de ecossistemas fragmentados e sua condição em relação ao seu entorno (Lang; Blaschke, 2009; Sousa, 2021). Entre os parâmetros vinculados às métricas de paisagem, têm-se o índice de efeito de borda e o índice de exposição antrópica, parâmetros que avaliam diretamente as condições ambientais e ecológicas dos fragmentos em relação ao seu tamanho-forma e à dinâmica

em seu entorno (Turner *et al.*, 1990; Ribeiro *et al.*, 2009).

Os índices de vegetação são aplicados para avaliar as condições biofísicas e fitossanitárias da cobertura vegetal. Esses índices são elaborados por meio da combinação matemática de bandas espectrais do visível e infravermelho que mensuram parâmetros como área foliar, vigor vegetativo, estresse hídrico, teor de clorofila, produção fotossintética e fotoquímica, fluxo de carbono, entre outros (Shimabukuro; Ponzoni, 2007; Jensen, 2009). Os índices de vegetação têm-se tornado cada vez mais usuais nas técnicas de monitoramento e avaliação ambiental de cobertura e uso da terra. O *Index Vegetation Difference Normalized* (NDVI) está entre os mais aplicados e mensura o vigor vegetativo e a capacidade fotossinteticamente ativa (Huang; Chen; Cosh, 2009; Jamali, 2014; Souza, 2017).

Essas técnicas de análise da paisagem são instrumentos que têm contribuído para a avaliação ambiental e o monitoramento de territórios altamente fragmentados por atividades econômicas intensivas e extensivas, como as atividades agropecuárias. A fragmentação de ambientes naturais pode causar inúmeras alterações na dinâmica ecológica e ecossistêmica dos ambientes, com consequência na estabilidade dos solos, na dinâmica hidrogeológica e climática, na ciclagem de nutrientes e na perda da biodiversidade (Souza *et al.*, 2018; Sousa *et al.*, 2022).

O domínio do Cerrado no Brasil vem enfrentando um processo acelerado e intensivo de fragmentação de ambientes, resultado da expansão da fronteira agrícola e da criação de animais, que se reflete na perda de mais de 50% das coberturas naturais, num período de pelo menos 50 anos (Souza; Martins; Druciaki, 2020). A ocupação do Cerrado no estado de Goiás por atividades agropastoris se inicia na década de 1970, tornando-se o estado/território do agronegócio, voltado principalmente para a produção de grãos (Miziara, 2006; Santana, 2020).

A região centro-sul do estado de Goiás apresenta as mais expressivas perdas de cobertura natural de Cerrado para o cultivo de soja e introdução de pastagens – o município de Itaberaí figura nesse contexto espacial. Isso ocorre pelas condições geomorfológicas e pedológicas da região, as quais favoreceram a expansão dessas atividades. Essas condições implicam a necessidade de se compreenderem as consequências ambientais e ecológicas da fragmentação das paisagens de Cerrado nas áreas de intenso uso da terra por atividades agropecuárias.

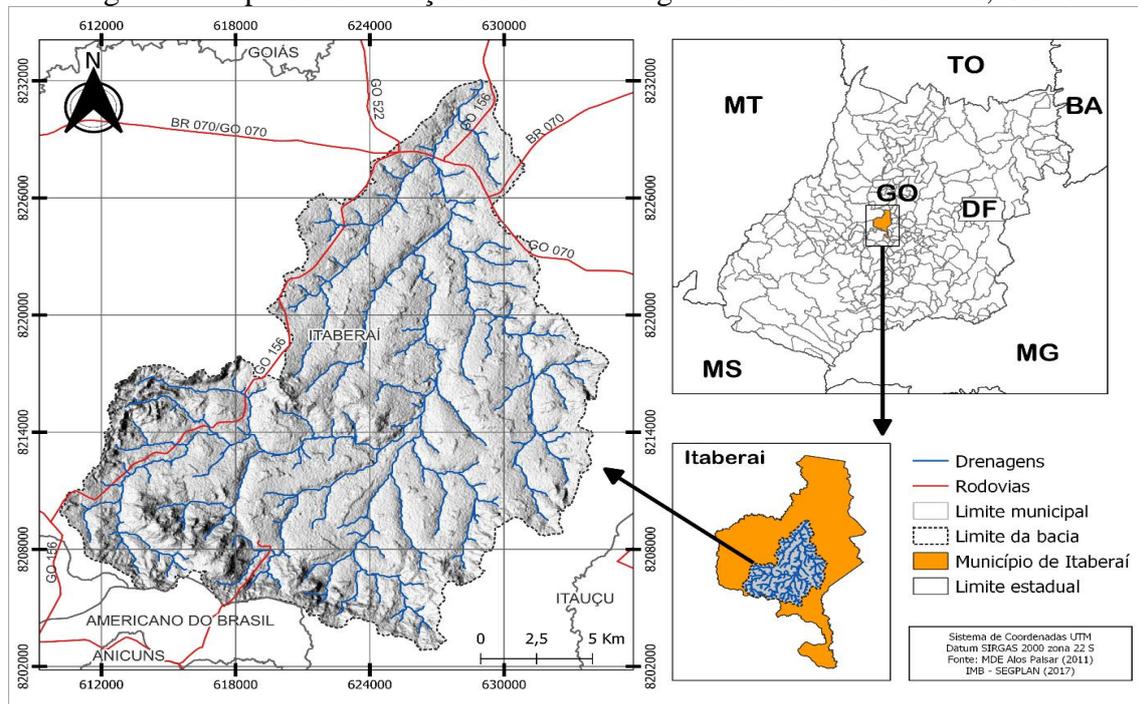
Assim, objetivou-se com este estudo avaliar as condições ambientais dos fragmentos florestais de Cerrado, da bacia hidrográfica do Rio das Pedras, em Itaberaí (Goiás), por meio de métricas de paisagem e índice de vegetação.

MATERIAIS E MÉTODOS

Área de estudo

A bacia hidrográfica do Rio das Pedras (BHRP) se localiza na porção central do território goiano e compõe o sistema de drenagem da alta bacia hidrográfica do rio Uru que, por sua vez, drena suas águas para o rio Tocantins (Figura 1). A bacia tem uma área de 369 km² e está localizada predominantemente no município de Itaberaí, estado de Goiás, abrangendo áreas compostas originalmente pelo domínio morfoclimático e fitogeográfico do Cerrado.

Figura 1: Mapa de localização da bacia hidrográfica do Rio das Pedras, Goiás



Fonte: Elaborada pelos autores, 2024.

Segundo Silva e Sano (2016), o Cerrado pode ser considerado um ecossistema de savanas, que ocorre na região central do Brasil, sob influência das características do

meio físico e da sazonalidade climática. Apresenta fitofisionomias florestais, arbustivas e gramíneo lenhosas e ocupa uma área de cerca de 2.000.000 km², que corresponde a, aproximadamente, 23% do território brasileiro (Brasil, 2015).

Procedimentos metodológicos

Para definição das classes de uso e cobertura da terra, para o ano de 2022, foi feita uma vetorização manual das classes sobre a composição RGB de imagens OLI/Landsat 8, de 2022, com datação de 30 de março (órbita 222, ponto 71). Essas imagens são disponibilizadas pelo *United States Geological Survey* (USGS). A partir desse mapeamento, foi feita a separação dos fragmentos florestais de Cerrado e a classificação desses por tamanho para aplicação das métricas de paisagem. Foram considerados os fragmentos de tamanhos pequeno (≥ 5 a 10 ha), médio (> 10 a 50 ha), grande (> 50 a 100 ha) e muito grande (> 100 ha). Esses parâmetros são baseados na classificação proposta por Pirovani *et al.* (2014). Após a definição dos fragmentos que foram analisados, procedeu-se à correlação desses com o índice de vegetação.

Foram aplicados alguns parâmetros de métricas de estrutura da paisagem aos fragmentos com base na metodologia proposta por Lang e Blaschke (2009). Foram considerados: Área da Classe (ha); Número de Fragmentos; Tamanho Médio dos Fragmentos (ha) e Índice de Circularidade (IC) (Pirovani *et al.*, 2014).

O valor de IC varia de 0 a 1, o que permite saber se o fragmento se apresenta mais circular, com valores próximos de 1 ou mais alongado (irregular), com valores próximos de zero. Os valores mais próximos de 1 (mais próximos do formato circular) são os desejáveis, já que a razão entre borda e interior será menor, conseqüentemente o fragmento estará mais protegido no seu interior quanto ao efeito de borda (Nascimento *et al.*, 2006; Pirovani *et al.*, 2014). Nesse caso, o centro do fragmento estará mais distante da borda (Pirovani *et al.*, 2014). O IC é obtido por meio da seguinte Equação 1:

$$IC = \frac{(2\sqrt{\pi A})}{P} \quad (\text{Eq. 1})$$

Em que: IC = Índice de Circularidade;

A = Área do fragmento florestal;

P = Perímetro do fragmento florestal.

O Índice de Efeito de Borda (IEB) é um indicador que mensura o quanto os fragmentos florestais estão suscetíveis a interferências antrópicas. Seu valor também varia de 0 a 1, sendo que quanto mais próximo de 1, maior será a pressão antrópica e menores as condições de manutenção e conservação dos fragmentos (Lourenço; Silva; Sales; 2014). A faixa de entorno (*b buffer*) utilizada foi de 50 metros, uma adaptação da metodologia proposta por Takikawa (2020) (Equação 2).

$$IEB = \sum_{i=1}^n \frac{U_i \times A_i}{A} \quad (\text{Eq. 2})$$

Em que: IEB = Índice de Efeito de Borda;

U_i = Peso atribuído ao tipo de cobertura e uso da terra do entorno em uma determinada faixa (Tabela 1);

A_i = Área de cada tipo de cobertura e uso da terra ao redor do fragmento;

A = Área da faixa do fragmento;

n = Quantidade de cobertura e uso da terra;

i = Tipo de cobertura e uso da terra.

Tabela 1: Pesos atribuídos às classes de uso e cobertura da terra

Classe	Peso
Área urbanizada	0,95
Cultura temporária	0,85
Pastagem	0,70
Cultura permanente	0,58
Silvicultura	0,33

Fonte: Adaptado de Sousa *et al.*, 2022.

O Índice de Exposição Antrópica (IEA) se refere ao grau de interferência antrópica em função dos diferentes tipos de cobertura e uso da terra que se encontram ao redor dos fragmentos. Esse índice foi obtido por meio da Equação 3, na qual foram consideradas as variáveis IC e IEB.

$$IEA = \frac{((1 - IC) + 2 IEB)}{3} \quad (\text{Eq. 3})$$

Em que: IEA = Indicador de Exposição Antrópica;

IC = Indicador de Circularidade;

IEB = Indicador de Efeito de Borda.

O valor desse índice varia entre 0 e 1, em que se considera que quanto mais próximo ou igual a 1, maiores são as pressões antrópicas sobre aqueles fragmentos; e quanto mais o valor se aproxima ou iguala a 0, essa pressão se torna menos intensa (Lourenço; Silva; Sales, 2014).

O NDVI foi gerado na plataforma *Google Earth Engine*, em que foi utilizado um *script* para seleção de imagens e cálculo do índice. As cenas utilizadas foram do sensor OLI/Landsat 8 para imagens disponíveis para todo o ano de 2022. No cálculo do índice, foi feita uma imagem do índice considerando os valores de mediana. O índice apresenta valores que variam de -1 a 1, sendo que quanto mais próximo de 1, melhores as condições ambientais dos fragmentos, com maior vigor vegetativo e produção fotossintética. No cálculo, foi aplicada a Equação 4.

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R} \quad (\text{Eq. 4})$$

Em que: NIR = refletância na faixa do infravermelho próximo;

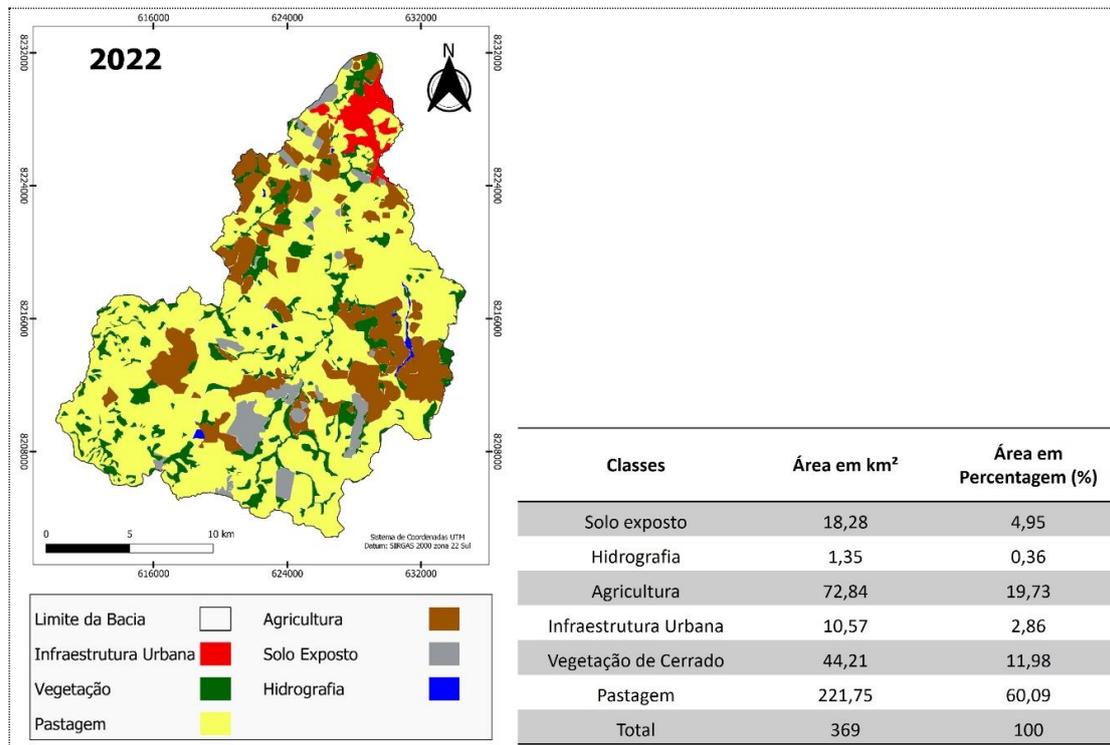
R = refletância na faixa do vermelho.

Todas as técnicas de geoprocessamento e geração dos produtos cartográficos foram realizadas no *software* QGIS, versão 3.16. O QGIS é um *software* livre com código-fonte aberto e com comandos que permitem a visualização, edição e análise de dados espaciais georreferenciados.

Resultados e discussão

As atividades de uso da terra predominantes na BHRP são os cultivos agrícolas de lavouras irrigadas, como soja, milho e cana-de-açúcar, e pastagens plantadas para criação de gado leiteiro de corte (294,59 km²) (Figura 2). Essas atividades ocupavam, em 2022, cerca de 295 km² e são favorecidas pelas condições ambientais da região que apresenta relevos predominantemente planos a suave ondulado e solos profundos, como os Latossolos, que facilitam a mecanização.

Figura 2: Uso da terra e cobertura vegetal



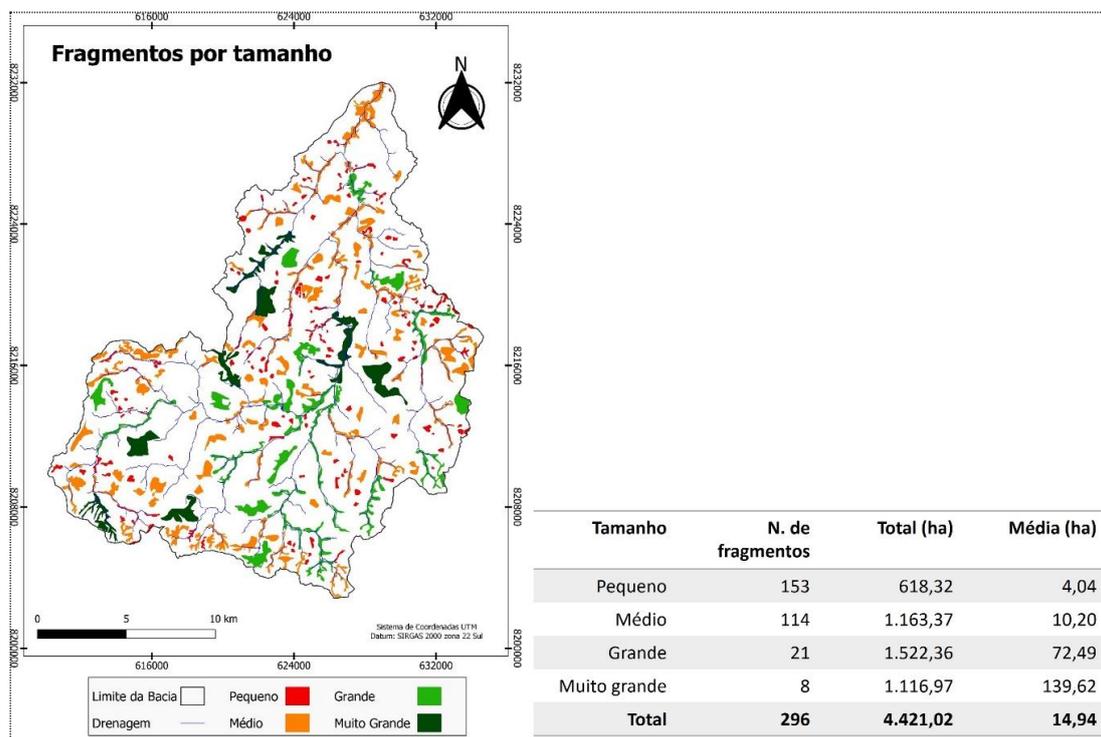
Fonte: Elaborada pelos autores, 2024.

A aptidão agropastoril da bacia provocou a supressão da vegetação de Cerrado e

fragmentação da paisagem, restando pouco mais de 44 km² de cobertura natural. Na Figura 3, estão espacializados os fragmentos florestais de Cerrado, classificados por tamanho. Ressalta-se que os remanescentes de Cerrado da bacia se classificam como formação florestal, pois foram identificados mata ciliar, mata de galeria, mata seca e cerradão (44,21 km²), de acordo com a classificação proposta por Ribeiro e Walter (2008).

Foram mapeados 296 fragmentos de tamanhos variados que, juntos, somam 4.421,02 ha. Os fragmentos pequenos são predominantes, totalizando 153 manchas, variando de 0,44 ha a 9,92 ha, somando 618,32 ha. Os fragmentos classificados como médios totalizaram 114, com dimensões variando de 10,04 ha a 49,8 ha, somando 1.163,37 ha.

Figura 3: Classes de fragmentos florestais por tamanho e descrição quantitativa das classes



Fonte: Elaborada pelos autores, 2024.

Os fragmentos pequenos são os que apresentam maior fragilidade ambiental por terem mais influência das alterações antrópicas em seu entorno (Souza *et al.*, 2022). Na BHRP, esses fragmentos ocorrem na maioria dos casos de forma isolada, como enclaves

nas pastagens ou culturas temporárias. Essa classe (fragmentos médios) apresentou alguns fragmentos isolados em áreas de atividade agropecuária, mas a característica dominante dos fragmentos médios é serem alongados, servindo como corredores ecológicos e estarem associados aos sistemas de drenagens, compondo as matas ciliares e matas de galeria.

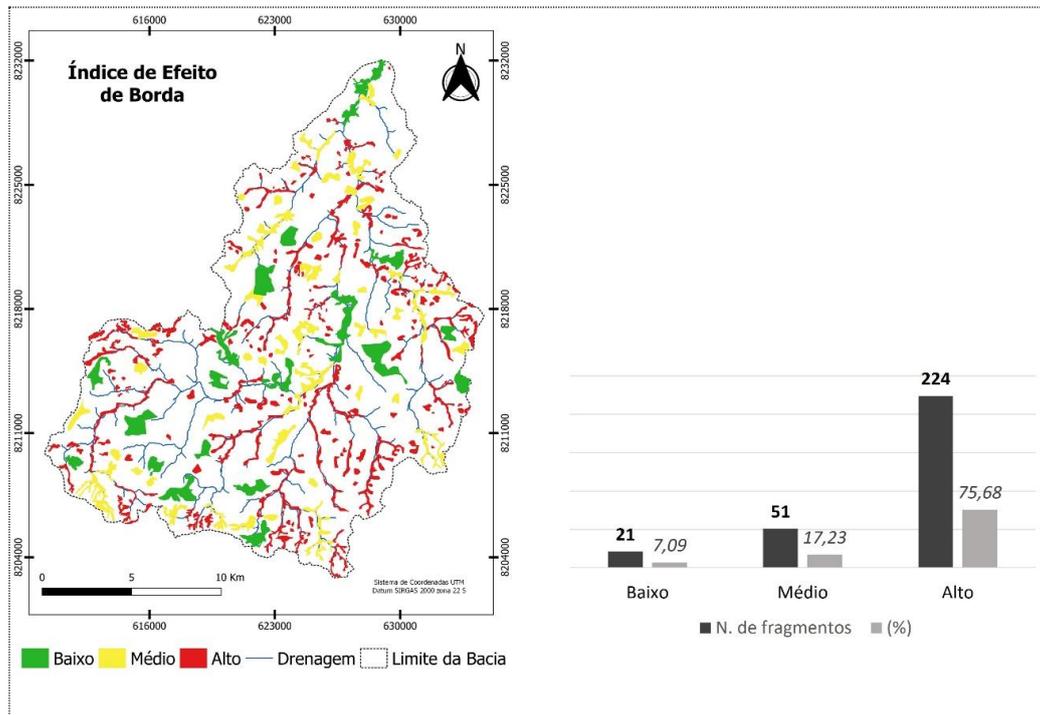
Quanto aos fragmentos grandes e muito grandes, foram mapeadas 21 e 8 ocorrências, respectivamente. Os fragmentos grandes são os que registraram a maior área total entre as classes (1.522,36 ha), com dimensões que variaram de 54,14 ha a 95,22 há. Esses fragmentos ocorrem predominantemente nos fundos de vale, próximo às drenagens e com feições mais lineares. Em relação à classe muito grande, os valores foram de 100,39 ha a 187,66 ha, ocorrendo nos fundos de vale e nos interflúvios.

Cabe destacar que, apesar de os fragmentos maiores serem considerados ideais para os serviços ecossistêmicos, processos ecológicos e conservação da biodiversidade, os fragmentos pequenos podem servir de trampolim ecológico ou pontos de ligação, favorecendo a manutenção das espécies dos fragmentos maiores (Ribeiro *et al.*, 2009; Pirovani *et al.*, 2014; Saura; Bodin; Fortin, 2014).

O Índice de Efeito de Borda (IEB) compreende as modificações nos parâmetros físicos, químicos e biológicos, observadas na área de contato do fragmento de vegetação com a matriz circundante, representada pelas atividades antrópicas (Blumenfeld *et al.*, 2016). Essas condições têm como causa a fragmentação das paisagens e, como consequência, a redução e/ou extinção de habitats e a perda de espécies locais em função do aumento do isolamento dos remanescentes florestais (Laurence; Yensem, 1991).

Na Figura 4, estão espacializados os fragmentos classificados de acordo com o IEB e apresentada a descrição quantitativa de cada classe. Pode-se observar que há o predomínio da classe alta de efeito de borda, com 224 fragmentos, que compreende 75,68% do total de 296 mapeados. Esses estão mais isolados, possuem formato mais circular ou feições lineares mais estreitas, acompanhando o leito dos rios. Os fragmentos com médio IEB, assim como os da classe alta, ocorrem principalmente nas margens dos cursos d'água, mostrando uma tendência de conservação das matas ciliares e de galeria. Os fragmentos com IEB baixo apresentam maiores extensões, ocorrendo nos interflúvios em relevos mais planos.

Figura 4: IEB dos fragmentos florestais e descrição quantitativa das classes



Fonte: Elaborada pelos autores, 2024.

Como observado na metodologia, o IEB não considera somente o tamanho do fragmento, mas também as atividades que ocorrem em seu entorno. Assim, fragmentos que estão em áreas agrícolas, com cultivos temporários, são mais impactados em suas bordas do que fragmentos envolvidos por silvicultura ou cultura perene, por exemplo. Na bacia, é recorrente o revezamento das culturas temporárias de soja e milho, nos métodos tradicionais de aragem da terra ou em plantio direto. Essas práticas deixam os fragmentos menores expostos a processos de degradação e perda de qualidade ambiental.

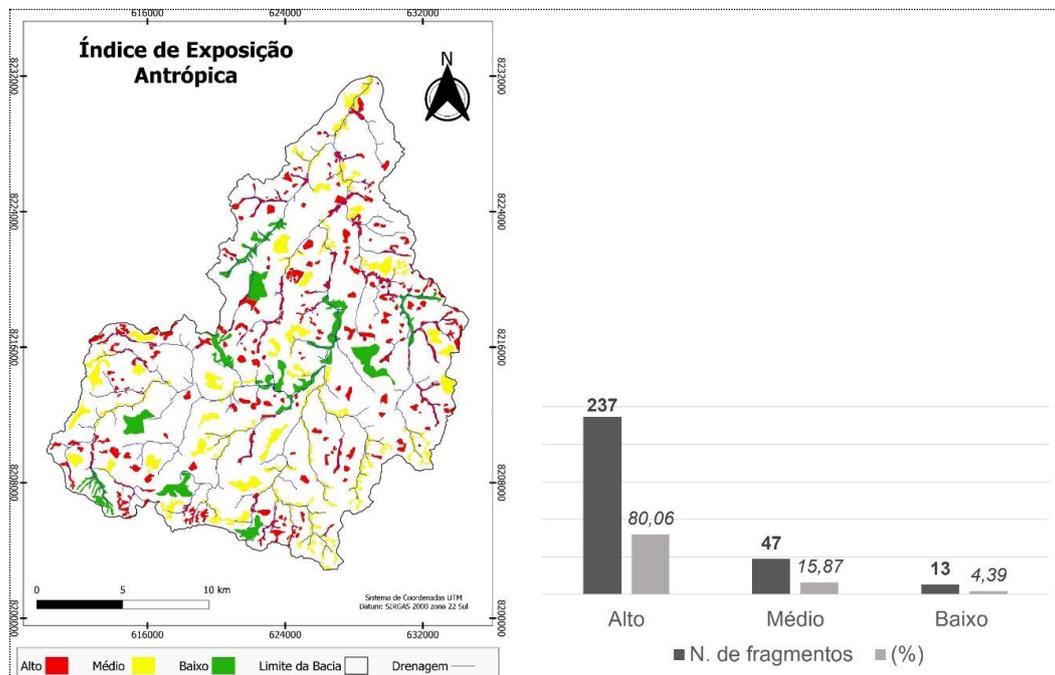
Entre as consequências do efeito de borda que mais impactam as condições ecológicas dos fragmentos na bacia, estão as pastagens plantadas. Essas são espécies de gramíneas exóticas, como o capim *Brachiaria* e o *Mombaça*, que se adaptam bem às condições ambientais do estado de Goiás, colonizando de forma acelerada e adentrando em áreas naturais, representando uma ameaça à biodiversidade (Klink; Machado, 2005; Brasil, 2014).

O IEA indica geoespacialmente a influência dos usos da terra do entorno do fragmento, associado ao IEB e ao IC. O IC é uma métrica que associa a forma com o

tamanho da mancha. Fragmentos mais alongados tendem a ser mais vulneráveis ao efeito de borda e aos impactos antrópicos, nesse caso, os valores de IC são próximos de zero. Os valores de IC próximos de 1 indicam feições mais circulares e com tendência à conservação (Lourenço; Silva; Sales, 2014; Lopes *et al.*, 2020).

Na Figura 5, estão os resultados do mapeamento do IEA para a bacia, acompanhados dos dados quantitativos em relação a cada classe. Os resultados indicaram que 80,06% dos fragmentos da bacia – um total de 237 – apresentam IEA Alto, estando em condições críticas de possibilidade de extinção.

Figura 5: IEA dos fragmentos e descrição quantitativa das classes



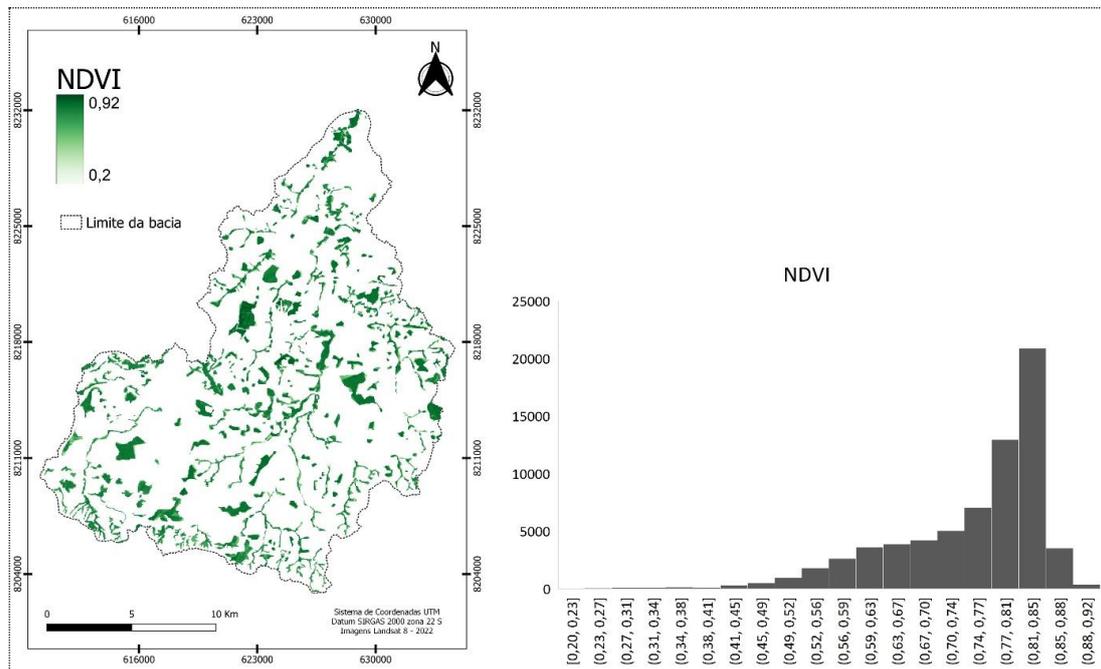
Fonte: Elaborada pelos autores, 2024.

Os fragmentos classificados com médio índice de exposição representam 15,87% da totalidade da bacia, somando 47 fragmentos de Cerrado, e apresentam maior extensão de área em relação aos classificados com alto índice de exposição. Os fragmentos identificados com baixo índice de exposição são uma pequena parte de elementos de Cerrado na BHRP, com 13 ocorrências, compreendendo apenas 4,39% dos fragmentos mapeados. Esses resultados evidenciaram alto comprometimento ambiental e ecológico do que resta de Cerrado na bacia e, em função da dinâmica de uso da terra, essas condições podem agravar-se, com a possível extinção dos pequenos

fragmentos, principalmente os que estão encravados em áreas agrícolas de culturas temporárias.

Na Figura 6, são apresentados a imagem do índice de NDVI dos fragmentos florestais da BHRP e o respectivo histograma. O índice variou de 0,2 a 0,92, com média de 0,75. Como se pode observar no histograma, o pico de frequência variou entre 0,81 e 0,85.

Figura 6: NDVI dos fragmentos florestais do Cerrado



Fonte: Imagens OLI/Landsat 8 – 2022; elaborada pelos autores, 2024.

Os resultados indicaram que os fragmentos apresentaram condições muito boas de vigor vegetativo e produção fotossintética, com os valores mais elevados ocorrendo nos fragmentos grandes e muito grandes. As boas condições biofísicas dos fragmentos podem ser comprovadas se comparadas aos resultados de Gamarra *et al.* (2016) que, em estudos aplicados a fragmentos florestais de Cerrado, em Unidades de Conservação, encontraram valores médios entre 0,55 e 0,96.

O índice também apresentou significativa variação dos valores, apontando reduzida produção fotossintética e comprometimento da saúde das plantas na borda dos fragmentos pequenos e em formatos mais lineares. Nesses casos, os valores foram

baixos, denotando forte influência das atividades agrícolas de lavoura temporária.

Considerações finais

A fragmentação das paisagens de Cerrado tem-se intensificado nos últimos 50 anos, impulsionada pelo avanço da fronteira agrícola sobre áreas de relevos mais planos e solos mais profundos, como ocorre na porção centro-sul do estado de Goiás. A bacia do Rio das Pedras está inserida nesse contexto, com suas áreas naturais sendo convertidas em pastagens plantadas e culturas temporárias, especialmente o cultivo de soja.

Essa realidade ressalta a importância de aprimorar os estudos de avaliação ambiental, por meio da aplicação de índices, indicadores e modelos ambientais, das áreas de Cerrado que enfrentam fragmentação e superexploração devido às atividades agropastoris.

Na bacia do rio das Pedras, os resultados dos índices aplicados indicam que as condições de fragilidade dos fragmentos estão principalmente associadas às atividades agrícolas de culturas temporárias. Fragmentos menores e com geometrias mais lineares apresentaram as condições mais críticas em relação ao efeito de borda, à exposição antrópica e ao NDVI. Por outro lado, as áreas centrais dos fragmentos grandes e muito grandes apresentaram as melhores condições, devido à redução do efeito de borda que protege as regiões nucleares dos impactos antrópicos.

Em função dessas condições, os estudos ambientais têm recorrido a modelos e indicadores de avaliação de fragmentos de vegetação remanescente, porque são importantes instrumentos de análise ambiental e ecológica. Esses recursos contribuem para a elaboração de cenários diagnósticos, auxiliando na definição de áreas prioritárias para conservação e/ou preservação da biodiversidade, além da proteção dos recursos hídricos.

Agradecimentos

A Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás (FAPEG), pela concessão de bolsa de mestrado ao primeiro autor.

Referências

BLUMENFELD, E. C. *et al.* Relações entre Tipo de Vizinhança e Efeitos de Borda em Fragmento Florestal. **Ciência Florestal**, [S. l.], v. 26, n. 4, p. 1301-1316, 2016.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Mapeamento do Uso e Cobertura do Cerrado**: Projeto Terra Class Cerrado 2013/ MMA/ SBF/. Brasília: MMA, 2015.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (Org.). **PPCerrado** –Plano de Ação para prevenção e controle do desmatamento e das queimadas no Cerrado: 2ª fase (2014-2015). Brasília: MMA, 2014.

FERREIRA, L. G.; HUETE, A. R. Assessing the seasonal dynamics of the Brazilian Cerrado vegetation through the use of spectral vegetation indices. **International Journal of Remote Sensing**, [S. l.], v. 25, n. 10, p. 1837-1860, maio 2004.

GAMARRA, R. M. *et al.* Uso do NDVI na análise da estrutura da vegetação e efetividade da proteção de Unidade de Conservação no Cerrado. **Ra'e Ga**, Curitiba, v. 37, p 307 - 332, ago./2016.

HUANG, J.; CHEN, D.; COSH, M. H. Sub-pixelreflectanceunmixing in estimatingvegetationwatercontentanddrybiomassofcornandsoybeanscroplandusingnormalizeddifferencewater index (NDWI) fromsatellites. **International Journal of Remote Sensing**, [S. l.], v. 30, n. 8, p. 2075-2104, 20 abr. 2009.

JAMALI, S. *et al.* Automated mapping of vegetation trends with polynomials using NDVI imagery over theSahel. **Remote Sensing of Environment**, [S. l.], v. 141, p. 79-89, 2014.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. Tradução de José Carlos N. Epiphanyo (Coord). São José dos Campos: Parêntese, 2009.

KLINK, C. A.; MACHADO, R. B. A conservação do Cerrado brasileiro. **Megadiversidade**, [S. l.], v. 1, n. 1, p. 147-155, jul. 2005.

LANG, S; BLASCHKE, T. **Análise da Paisagem com SIG**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

LAURENCE, W. F.; YENSEM, E. Predicting the impacts of edge effects in fragmented habitats. **Biological Conservation**, [S. l.], v. 55, p. 77-92, 1991.

LOPES, E. R. N. *et al.* Spatial Dynamics of Atlantic Forest Fragments in a River Basin. **Floresta**, Curitiba, v. 50, n. 1, p. 1053-1062, 2020.

LOURENÇO, R. W.; SILVA, D. C. C.; SALES, J. C. A. Development of a methodology for evaluation of the remaining forest fragments as a management tool and environmental planning. **Ambiência**, [S. l.], v. 10, n. 3, p. 685-698, 2014.

LOURENÇO, R. W.; SILVA, D. C. C.; SALES, J. C. A. Development of a methodology for evaluation of the remaining forest fragments as a management tool and environmental planning. **Ambiência**, [S. l.], v.10, n.3, p. 685-698, 2014.

MIZIARA, F. Expansão de fronteiras e ocupação do espaço no Cerrado: o caso de Goiás. **Natureza viva Cerrado**. Goiânia: Ed. da UCG, 2006.

NASCIMENTO, M. C.; *et al.*, Mapeamento dos fragmentos de vegetação florestal nativa da Bacia hidrográfica do rio Alegre, Espírito Santo, a partir de imagens do Satélite IKONOS II. **Revista Árvore**, [S. l.], v.30, n.3, p.389-398, 2006.

PIROVANI, D. B. *et al.* Análise Espacial de Fragmentos Florestais na Bacia do Rio Itapemirim, ES. **Revista Árvore**, [S. l.], v.38, n.2, p.271-281, 2014.

RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. As principais Fitofisionomias do Bioma Cerrado. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P. de; RIBEIRO, J. F. **CERRADO: Ecologia e Flora**. v. 1. Brasília: EMBRAPA, 2008.

RIBEIRO, M. C. *et al.* The Brazilian Atlantic Forest: How much is left, and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation. **Biological Conservation**, [S. l.], v. 142, p. 1141-1153, 2009.

SANTANA, C. A. M. Cerrado: pilar da agricultura brasileira. In: BOLFE, E. L.; SANO, E. E.; CAMPOS, S. K. (Ed.). **Dinâmica agrícola no cerrado: análises e projeções**. Brasília, DF: Embrapa, 2020. v. 1, cap. 2, p. 39-58.

SAURA, S., BODIN, Ö.; FORTIN, M. J. Steppingstones are crucial for species' long-distancedispersaland range expansionthrough habitat networks. **Journal of Applied Ecology**, [S. l.], v. 51, p. 171-182, 2014.

SHIMABUKURO, Y. E.; PONZONI, F. J. **Sensoriamento remoto no estudo da vegetação**. São José dos Campos, SP: A. Silva Vieira, 2007.

SILVA, L. da R.; SANO, E. E. Análise das Imagens do Satélite Rapideye para discriminação da cobertura vegetal do Bioma Cerrado. **Revista Brasileira de Cartografia**, Rio de Janeiro, n. 1277 68/7, p. 1269-1283, jul./ago. 2016.

SOUSA, J. A. P. **Elaboração de um índice de vulnerabilidade ambiental dos fragmentos florestais da Mata Atlântica**. 2021. 162 f. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Sorocaba – São Paulo, 2021.

SOUSA, J. A. P. *et al.* Proposta de um Indicador de Sustentabilidade para Fragmentos Florestais (ISFF) por Meio de Modelagem Ambiental. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [S. l.], v. 15, n. 1, p. 250-267, mar. 2022.

SOUZA, J. C. de, *et al.* Method for Evaluating Plant Cover and Quantification Using Pixel to Pixel Correlation Indices. **Journal of Urban and Environmental Engineering**, [S. l.], n. 12, 245-256, 2018.

SOUZA, J. C. de. **Metodologia para avaliação ambiental em bacias hidrográficas, utilizando técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto**. 2017. 96 f. Tese (Doutorado) – Instituto de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Sorocaba, 2017.

SOUZA, J. C.; MARTINS, P.; DRUCIANKI, V. Uso e cobertura do solo no Cerrado: panorama do período de 1985 a 2018. **Élisée – Revista de Geografia da UEG**, [S. l.], v. 9, n. 2, p. e922020, p. 1-15, 8 set. 2020.

SOUZA, J. C. de; SILVA, J. R.; ALVES JR. L. R. Avaliação da qualidade ambiental dos fragmentos de Cerrado na bacia hidrográfica do Rio Vermelho em Goiás. **Revista da ANPEGE**, [S. l.], v. 19, n. 38, p. 1-20, 2023.

TAKIKAWA, B. Y. **Proposta metodológica para elaboração de indicador de fragilidade florestal com o uso de geotecnologias**. 2020. 71 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Instituto de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista (Unesp), Sorocaba, São Paulo, 2020.

TURNER, M. G; O'NEILL, R. V.; GARDNER, R. H.; MILNE, B. T. Effects of Changing Scale on Landscape Pattern Analysis: Scaling Relations. **Landscape Ecology**, Amsterdam, v. 3, p. 153–162, 1990.

Autores

Nelton Nattan Amaral Nunes – É graduado e Mestre em Geografia pela Universidade Estadual de Goiás (UEG).

Endereço: BR-153, nº 3.105, Anápolis, Goiás, Brasil, Caixa Postal 459, CEP 75.132-903.

José Carlos de Souza – É graduado em Geografia pela Universidade Estadual de Goiás (UEG), Mestre em Geografia pela Universidade Federal de Goiás (UFG) e Doutor em Ciências Ambientais pela Universidade Estadual Paulista (UNESP). Atualmente é Professor na Graduação e no Programa Pós-Graduação em Geografia da Universidade Estadual de Goiás (UEG).

Endereço: BR-153, nº 3.105, Anápolis, Goiás, Brasil, Caixa Postal 459, CEP 75.132-903.

Artigo recebido em: 27 de agosto de 2024.

Artigo aceito em: 10 de outubro de 2024.

Artigo publicado em: 15 de outubro de 2024.