ANPEGE

Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Geografia

REVISTA DA ANPEGE

ISSN 1679-768X

VOLUME 19

N. 38 (2023)

30 ANOS ANPEGE

DOI: 10.5418/RA2023.V19I38.17305

REVISTA DA ANPEGE | v. 19 nº. 38 (2023) | e-issn: 1679-768x

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE AMBIENTAL DOS FRAGMENTOS DE CERRADO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO VERMELHO EM GOIÁS

Evaluation of the environmental quality of cerrado fragments in the Rio Vermelho watershed in Goiás

Évaluation de la qualité environnementale des fragments du cerrado dans le bassin hydrographique du Rio Vermelho à Goiás

JOSÉ CARLOS DE SOUZA
Universidade Estadual de Goiás (UEG)

JANETE RÊGO SILVA
Universidade Estadual de Goiás (UEG)

LEOMAR RUFINO ALVES JUNIOR
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Campus Goiânia

30 a ANPEGE ANOS

Resumo: Este trabalho traz como proposta avaliar as condições biofísicas e ecológico-ambientais dos fragmentos de Cerrado da Bacia Hidrográfica do Rio Vermelho, no estado de Goiás. Os indicadores foram gerados por imagens do sensor Sentinel 2-A e do eBee Plus RTK. Nas análises consideraram-se os fragmentos iguais ou maiores que 50 hectares, em que se aplicaram os parâmetros de métricas da paisagem, além dos índices de vegetação, efeito de borda, exposição antrópica e dimensão fractal. Os fragmentos apresentaram alta capacidade de produção fotossintética e boas condições biofísicas, inclusive em condições de estiagem. As métricas indicaram que a maior parte dos fragmentos apresentaram de médio a alto grau de exposição antrópica e efeito de borda, em áreas inferiores a 129 hectares, que na bacia são bordejadas por agricultura irrigada e pastagens plantadas.

Palavras-chave: Métricas de paisagem, Índices de vegetação, Indicadores ambientais, Agropecuária.

Abstract: This paper proposes to evaluate the biophysical and ecological-environmental conditions of Cerrado fragments in the Rio Vermelho watershed, in the state of Goiás. The data were generated by images from the Sentinel 2-A sensor and the eBee Plus RTK. In the analyses, fragments equal to or greater than 50 hectares were considered, in which landscape metrics parameters were applied, in addition to vegetation index, edge effect, anthropic exposure and fractal dimension. The fragments showed a high capacity for photosynthetic production and good biophysical conditions, even in dry conditions. The metrics indicated that most of the fragments presented a medium to high degree of anthropic exposure and edge effect, in areas smaller than 129 hectares, which in the basin are bordered by irrigated agriculture and planted pastures.

Keywords: Landscape metrics, Vegetation Index, Environmental index, Farming.

Résumé: Ce travail propose d'évaluer les conditions biophysiques et éco-environnementales des fragments du Cerrado dans le bassin hydrographique du Rio Vermelho, dans l'état de Goiás. Les indicateurs ont été générés par des images du capteur Sentinel 2-A et de l'eBee Plus RTK. Dans les analyses, des fragments égaux ou supérieurs à 50 hectares ont été pris en compte, dans lesquels des paramètres de métrique du paysage ont été appliqués, en plus des indices de végétation, de l'effet de bordure, de l'exposition anthropique et de la dimension fractale. Les fragments ont montré une grande capacité de production photosynthétique et de bonnes conditions biophysiques, même en conditions sèches. Les mesures ont indiqué que la plupart des fragments présentaient un degré moyen à élevé d'exposition anthropique et d'effet de bordure, dans des zones inférieures à 129 hectares, qui dans le bassin sont bordées d'agriculture irriguée et de pâturages plantés.

Mot-clés: Métrique du paysage, Indices de végétation, Indicateurs environnementaux, Élevage.

INTRODUÇÃO

A fragmentação das paisagens está relacionada ao processo de alteração dos ecossistemas naturais por espaços antropizados. Portanto, este processo acarreta consequências ambientais importantes, pois torna um ambiente natural contínuo, em manchas

distanciadas, que acabam por romper trocas ecológicas de dispersão e colonização, perda de biodiversidade, alteração nos processos hidrogeológicos e climáticos e perda da estabilidade dos solos (Joly; Metzger; Tabarelli, 2014; Parrotta; Yeo-Chang; Camacho, 2016).

A relação entre os aspectos ecológicos e a estrutura das paisagens fragmentadas é objeto de estudos da ecologia de paisagem, que é uma abordagem teórico-metodológica que se utiliza das categorias estrutura, função e mudança na análise da paisagem. Vale ressaltar que, a estrutura compreende os elementos que compõem os ecossistemas, a função se refere à interação entre os elementos espaciais; e a mudança é a dinâmica da estrutura e função no decorrer do tempo (metzger, *et al*., 2007; Wu; Hobbs, 2007; Lang; Blaschke, 2009).

As métricas de paisagem e os índices de vegetação são técnicas utilizadas pela ecologia de paisagem, para compreender os padrões espaciais dos fragmentos florestais. Essas técnicas geram indicadores ambientais que podem contribuir no monitoramento e avaliação dos fragmentos de vegetação natural, com vistas à elaboração de diagnósticos da qualidade ambiental dos fragmentados (Massoli Junior; Statella; Santos, 2016). Nestes indicadores são consideradas as dimensões, formas, relações ecológico-ambientais, usos da terra no entorno, bem como as condições fitossanitárias dos fragmentos.

Além disso, as métricas de paisagem são técnicas matemáticas que mensuram as características espaciais dos fragmentos, gerando modelos para a análise da estrutura e funcionamento da paisagem, com objetivo de avaliar a qualidade ambiental de ecossistemas (Metzger, 2009; Lang; Blaschke, 2009; Santos; Rocha, 2020). Similarmente, os índices de vegetação são resultados de equações realizadas com bandas espectrais, utilizados para diagnosticar vários parâmetros biofísicos da vegetação, incluindo o índice de área foliar, biomassa, fluxo de dióxido de carbono, atividade fotossintética, estresse hídrico e outros (Ponzoni; Shimabukuro, 2007; Jensen, 2009; Bolfe, 2010).

A partir destes indicadores e parâmetros ambientais é possível desenvolver modelagens, como o índice efeito de borda, o índice de exposição antrópica e a dimensão fractal. Estes parâmetros associam a forma do fragmento com as condições ambientais de seu entorno, indicando níveis de conservação e graus de interferência antrópica (Viana; Pinheiro, 1998; Borges *et al*., 2004; Sousa, 2021).

Todos esses dados e informações ambientais são processados em ambiente de Sistema de Informações Geográficas (SIG), com aplicações de modelagens e utilização de imagens orbitais para mapeamento dos fragmentos, dos usos da terra e cálculo dos índices espectrais. Segundo Souza (2017), as técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto, tornaram-se indispensáveis nos estudos ambientais da paisagem. Dessa forma, o uso de imagens orbitais tem possibilitado o diagnóstico do comportamento espectral da vegetação, como também do monitoramento das mudanças da superfície, resultante das atividades humanas.

Dentre os domínios fitogeográficos brasileiros, o Cerrado tem apresentado os maiores índices de perda de cobertura vegetal natural nos últimos anos, promovendo um intenso processo de fragmentação de habitantes e onde a matriz da paisagem passou a

ser pastagens plantadas ou culturas anuais, com destaque para a produção de soja. Isto ocorre, em função da inserção deste bioma no arranjo produtivo brasileiro, que provocou nos últimos cinquenta anos um acelerado processo de conversão da cobertura natural, por espaços de produção de *commodities*. Essas atividades requerem extensas áreas produtivas, implicando em significas perdas de ecossistemas naturais, provocado a fragmentação das paisagens (Castillo, 2007; Souza; Martins; Druciaki, 2020).

O Cerrado compreende um importante domínio de biodiversidade, pois possui alto grau de endemismo, mas apresenta vulnerabilidade à fragmentação de habitats (Klink e Machado, 2005; Oliveira, 2015). Em função destas condições, das altas de taxas de desmatamentos e perdas de *habitats*, o Cerrado passou a fazer parte do *rol* dos *hotspots* mundiais, ou seja, se tornou uma área prioritária para conservação da biodiversidade (Myers *et al*., 2000).

Neste contexto, este estudo se propõe a avaliar as condições biofísicas e ecológico-ambientais dos fragmentos de Cerrado da Bacia Hidrográfica do Rio Vermelho, no estado de Goiás, por meio de índices de vegetação e métricas da paisagem.

MATERIAIS E MÉTODOS

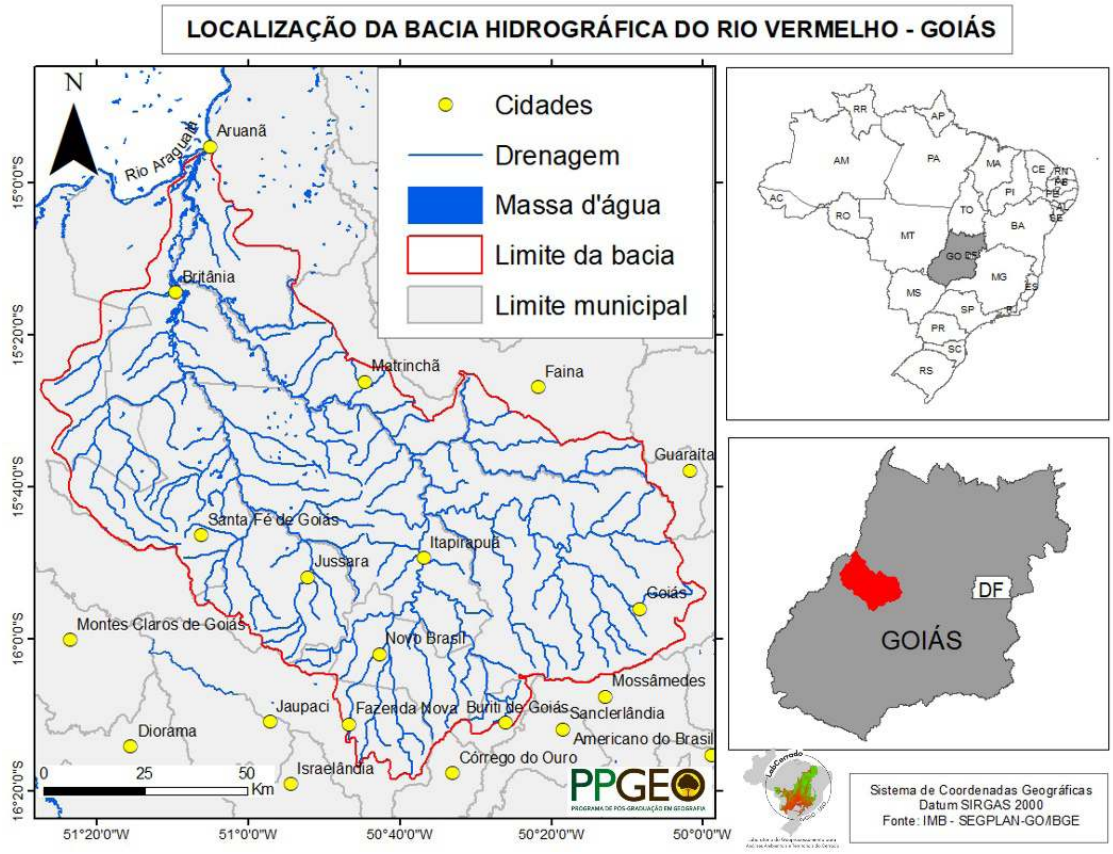
Caracterização da área de estudo

A bacia hidrográfica do rio Vermelho (BHRV) é uma das principais bacias que compõe o sistema de drenagem da bacia do rio Araguaia. Ela está localizada na porção Oeste do estado de Goiás (Figura 1), entre as coordenadas 14°55'00"/16°20'00" de Latitude Sul e 50°00'00" e 51°30'00" de Longitude Oeste. A bacia ocupa possui 10.824,60 km² e sua área é composta por território dos municípios de Goiás, Aruanã, Matrinchã, Britânia, Jussara, Santa Fé de Goiás, Fazenda Nova, Novo Brasil, Buriti de Goiás, Faina e Itapirapuã.

A BHRV está no domínio do Cerrado, bioma que ocupa aproximadamente 21% do território brasileiro, o qual é considerado uma das mais importantes fronteiras agrícolas do planeta que, infelizmente, vem apresentando perdas significativas de coberturas vegetais naturais, para agricultura e pastagem. Dados do Mapbiomas,[1] 2021, apontam uma redução de 28 milhões de hectares de vegetação nativa de 1985 a 2021, e incremento da pastagem na ordem de 9 milhões de hectares, enquanto a agricultura teve um aumento de 21 milhões de hectares no período analisado. Em função destas condições, este domínio tornou-se uma área prioritária para conservação da biodiversidade (Klink; Machado, 2005; Myers *et al.,* 2000).

1 Mapeamento Anual do Uso e Cobertura da Terra no Brasil (MapBiomas) é uma iniciativa do SEEG/OC (Sistema de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa do Observatório do Clima) e é produzido por uma rede colaborativa de co-criadores formado por ONGs, universidades e empresas de tecnologia organizados por biomas e temas transversais.

Figura 1 – Mapa de localização da bacia hidrográfica do rio Vermelho, Goiás



Fonte: Os autores, 2023.

As características do relevo, solos e disponibilidade hídrica possibilitaram o desenvolvimento das pastagens cultivadas, em sua maioria gramíneas do gênero *brachiaria*, nas paisagens da bacia. Alguns estudos indicam que pelo menos 65% da área já foi convertida, resultando em reduzidas manchas de vegetação de Cerrado (Vieira; Ferreira; Ferreira, 2015).

Em relação ao clima da BHRV, ele é classificado como do tipo Tropical Semiúmido, uma vez que, apresenta uma marcada sazonalidade das chuvas e elevadas temperaturas. As chuvas ocorrem predominantemente de outubro a março, os demais meses apresentam estiagem. Os totais anuais de chuva, variam de 1500 a 1800 mm e, as temperaturas médias variam de 24° a 26º, com mínimas entre 18° a 21º e máximas entre 28° a 34º (IBGE, 1999; Machado, Lima, 2011).

Técnicas de sensoriamento remoto e métricas da paisagem

Para o mapeamento dos fragmentos de Cerrado e o cálculo dos índices de vegetação, foram utilizadas imagens do sensor MSI/Sentinel 2-A, datadas de julho de 2019. As bandas foram adquiridas com a correção geométrica e radiométrica e foram posteriormente reamostradas para reflectância na base da atmosfera (BOA), utilizando a extensão Sen2Cor do *software* SNAP 6.0. Por outro lado, na classificação foram identificados/

selecionados os fragmentos de formação florestal e formação savânica de tamanho grande, ou seja, maiores que 50 hectares, parâmetros estes que foram baseados na classificação proposta por Pirovani *et al.* (2014).

Os índices de vegetação foram calculados pelas seguintes equações:

$$NDWI = \frac{(NIR - SWIR)}{(NIR + SWIR)} \qquad SAVI = \frac{(1 + L).(\mathrm{NIR} - \mathrm{R})}{(L + \mathrm{NIR} + \mathrm{R})}$$

$$CO_2Flux = \mathrm{NDVI} * \mathrm{sPRI} \qquad NDVI = \frac{(NIR - R)}{(NIR + R)} \qquad sPRI = \frac{(B-G)}{(B+G)} + 1/2$$

Em que: NIR = refletância na faixa do infravermelho próximo; R = refletância na faixa do vermelho; SWIR= refletância na faixa do infravermelho médio; L = fator de ajuste do solo, valor 0,5; PRI é o índice de reflectância fotoquímica; B = refletância na faixa do azul; e G = refletância na faixa do verde; NIR= refletância na faixa do infravermelho próximo e R= refletância na faixa do vermelho.

Com base na metodologia proposta por Lang e Blaschke (2009), foram aplicados parâmetros de métricas de estrutura da paisagem aos fragmentos, utilizando o *Patch Analyst*, ferramenta do ArcGis e o módulo LecoS – *Landscape Ecology Statistics* do QGIS, em que foi definido o número de manchas, classificação por tamanho, dimensão fractal, perímetro e densidade de borda, tamanho e densidade de manchas. Ademais, gerou-se o índice de efeito de borda (IEB) e a dimensão fractal (DFrac). Deste modo, o índice de exposição antrópica (IEA) foi produzido a partir da correlação do índice de forma e o índice de efeito de borda, com base nas equações a seguir, propostas por Sousa (2021):

$$\mathrm{IC} = \frac{2\sqrt{\pi A}}{P} \qquad IEB = \sum_{i=1}^{n} \left(\frac{Ui\ x\ Ai}{A} \right) \qquad IEA = \frac{(1 - IC) + 2.IEB}{3}$$

Em que: IEA = Índice de exposição antrópica; IC = Índice de circularidade e IEB = Índice de efeito de borda; A = Área do fragmento; P = Perímetro do fragmento; □□ = Peso atribuído ao tipo de cobertura e uso da terra que se encontram ao redor do fragmento (classificação baseada em Sousa (2021); □□ = Área de cada tipo de cobertura e uso da terra ao redor do fragmento;n = Quantidade de cobertura e uso da terra; i = Tipo de cobertura e uso da terra.

Os valores do IEA variam de 0 a 1, sendo que quando mais próximo de 1, maior a pressão antrópica sobre o fragmento, vale ressaltar que a classificação foi baseada em Sousa (2021).

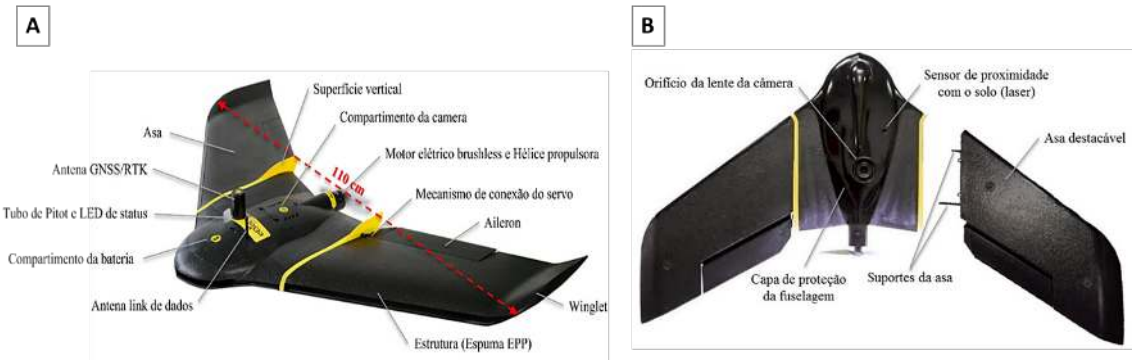
Para o mapeamento dos tipos de relevo da bacia, foi utilizada a base de geomorfologia elaborada pela Superintendência de Geologia e Mineração do Estado de Goiás e que está disponível na plataforma do Sistema de Geoinformação do Estado de Goiás – SIEG. Neste caso, todos os procedimentos supracitados foram desenvolvidos no

LabCerrado – Laboratório de Geoprocessamento para Análises Ambientais e Territoriais do Cerrado da Universidade Estadual de Goiás, Campus Cora Coralina.

Foram amostrados, dados de *Remotely Piloted Aircraft System* (RPAS) em duas manchas de Cerradão, as quais possibilitou validar a boa representatividade dos dados. O RPAS utilizado foi o eBee Plus com *Real Time Kinematic* (RTK), de propriedade do Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento (LAPIG) do Instituto de Estudos Socioambientais (IESA) da UFG.

O eBee Plus RTK, é uma asa fixa de pequeno porte, fabricada com espuma de polipropileno expandido, conhecido como *Expanded Polypropylene* (EPP). Seus componentes estão representados nas Figuras 2 (A e B).

Figura 2 – Vista superior (A) e inferior (B) do eBee Plus RTK



Fonte: Adaptado de senseFly (2018a).

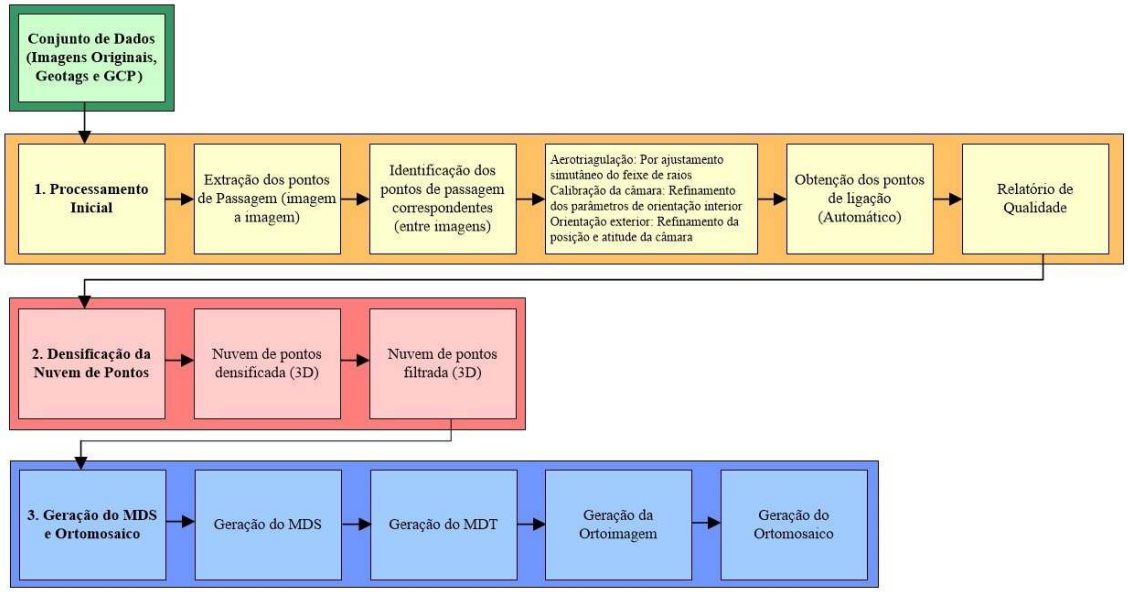
A câmera digital acoplada ao RPAS, do modelo *Sensor Optimised for Drone Applications* (SODA), ultracompacta, com resolução de 20 *megapixel*, equipada com sensor tipo CCD 1” (5472 x 3648 *pixels*), *pixel pitch*de 2,33 µm. Além do mais, utilizou-se a câmera multiespectral, modelo Sequoia, com resolução de 1.2 *megapixel*, tamanho da imagem de 1280 x 960 *pixels*, distância focal de 3,98 mm e, quatro bandas espectrais com os seguintes intervalos: *Green* (comprimento de onda 550 nm e largura da banda de 40 nm), *Red* (comprimento de onda 660 nm e largura de banda de 40 nm), *Red-edge* (comprimento de onda 735 nm e largura de banda de 10 nm) e *NearInfrared* (comprimento de onda 790 nm e largura de banda 40nm), os dados de NVDI foram obtidos com essa câmera.

O mosaico ortorretificado e o MDS foram gerados no programa *Pix4Dmapper Pro* (versão 2.0.104, licença acadêmica pertencente à UFG / LAPIG). Todo o processamento para a geração do ortomosaico é automático, cabendo ao operador importar as fotografias e as coordenadas tridimensionais dos pontos de apoio, se houver, indicando sua posição em cada fotografia (i.e., buscando-se o alvo rastreado no terreno com o GNSS geodésico).

Na Figura 3, é representado o fluxograma para a obtenção do ortomosaico e da nuvem de pontos, em quatro cores distintas. Portanto, cada cor representa uma etapa no processo de obtenção do ortomosaico. A cor verde representa a entrada de dados; A

segunda etapa do processamento, representada na cor rosa, envolve a densificação e filtragem na nuvem de pontos, visando à geração do MDS (Modelo Digital de Superfície); na terceira e última etapa, são geradas as ortofotos em função do MDT, e a sua junção origina o ortomosaico.

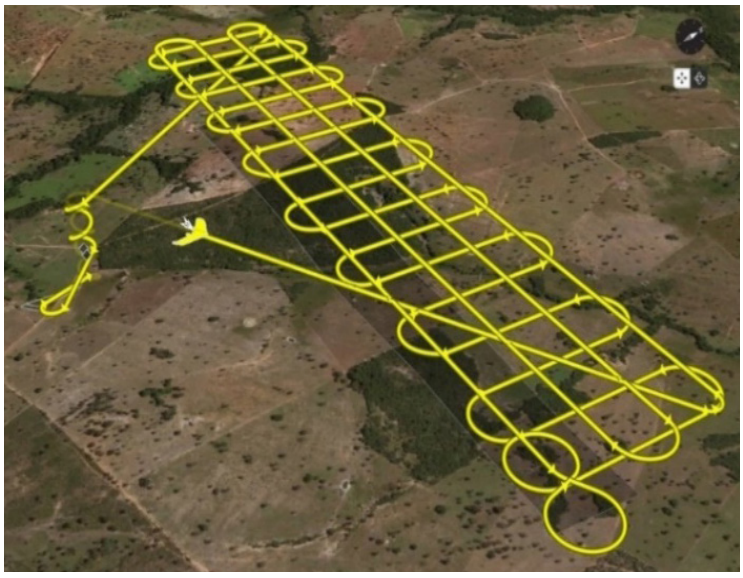
Figura 3 – Etapas do processamento para a geração do ortomosaico e nuvem de pontos



Fonte: Adaptado do suporte *on-line* Pix4Dmapper (2013).

No que diz respeito ao processo de definição da área a ser mapeada, é possível fazer um plano de voo (Figura 4) que nos permita recobrir a área e, ainda definir o tempo, altura e tamanho a ser recoberta. Neste plano de voo é importante estar atento ao tempo (vento, chuva e outros), ao tamanho da área e local de pouso e decolagem.

Figura 4 – Linhas planejadas do voo da área de estudo desta pesquisa.

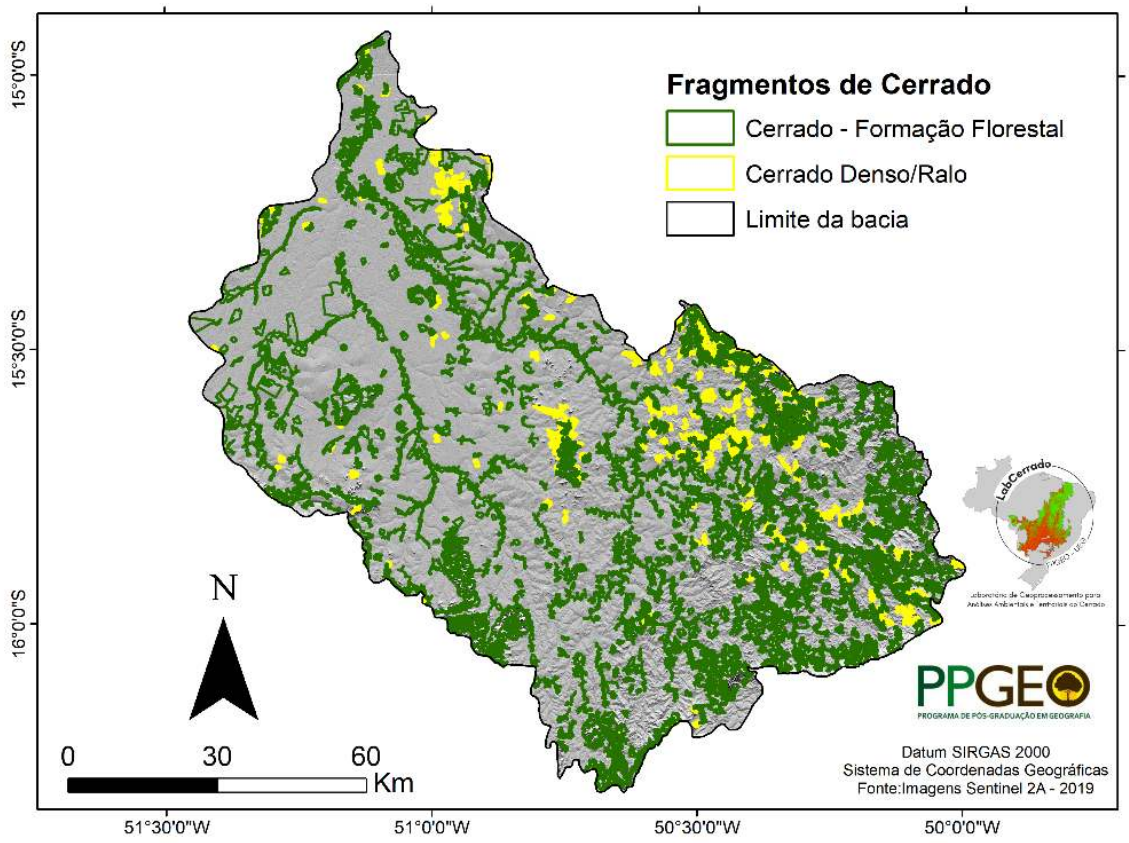


Fonte: Os autores, 2023.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Foram analisados um total de 803 fragmentos, totalizando 197.128 hectares. Na Figura 5, estão espacializados os fragmentos mapeados, sendo que foram considerados somente os fragmentos maiores que 50 hectares. Na tabela 1, são apresentadas as características métricas dos fragmentos em relação as fitofisionomias: Formação Florestal e Formação Savânica, em que se observa a maior ocorrência das formações florestais de Cerrado, com 599 fragmentos.

Figura 5 – Fragmentos de Cerrado com dimensões > 50 ha – BHRV



Fonte: Os autores, 2023.

Tabela 1 – Característica dos fragmentos em relação ao tamanho e tipos de Cerrado

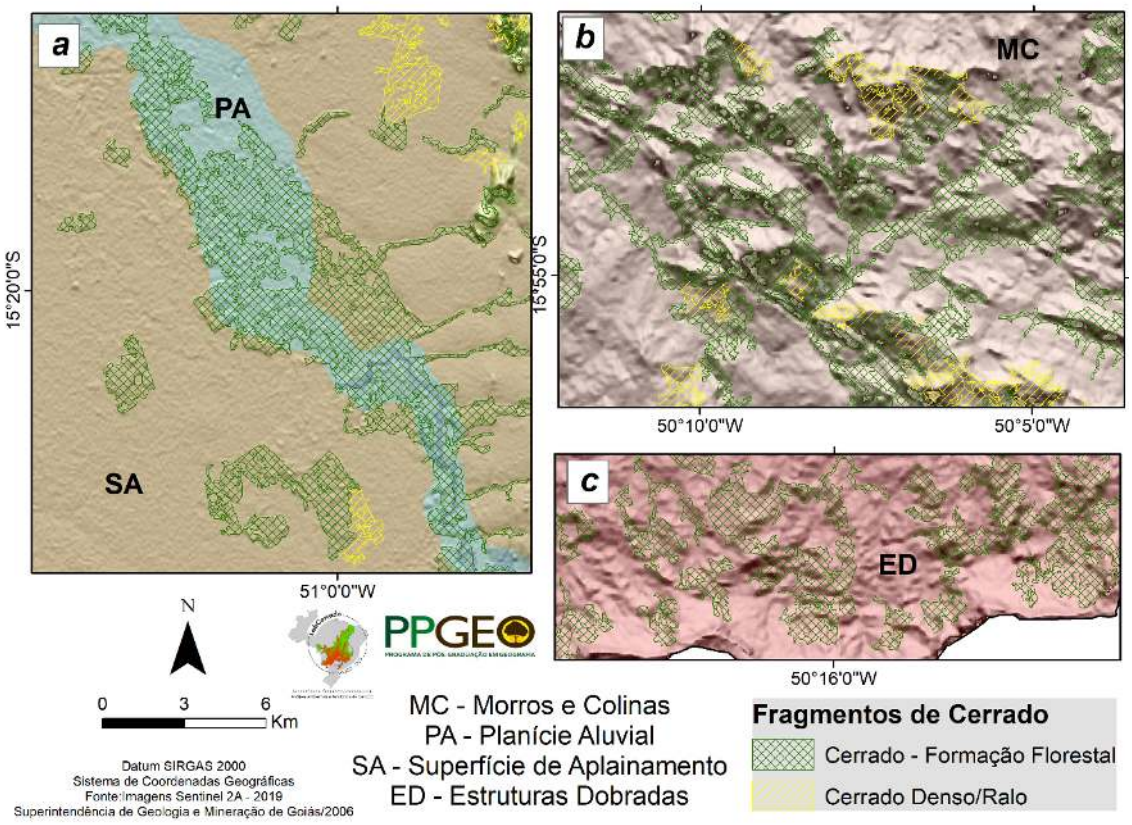
fitofisionomia	N. de fragmentos (> 50 ha)	Menor fragmento (ha)	Maior Fragmento (ha)	Área Total (ha)	Média (ha)
Cerrado – Formação Florestal	599	50	11632	170103	283,98
Cerrado Denso/ Ralo	204	50	1192	27025	132,47
Total	803	-	-	197128	

Fonte: Os autores, 2023.

As formações florestais englobam tipos de vegetação com predominância de espécies arbóreas, com formação de dossel contínuo ou descontínuo (Ribeiro; Walter, 2008) e, na bacia, predominam os tipos mata ciliar, mata seca e o cerradão. As formações savânicas são constituídas por Cerrado Sentido Restrito com árvores baixas, tortuosas, irregulares, com ocorrência espaçada, não apresentando dossel contínuo (Ribeiro; Walter, 2008). Na bacia são predominantes o cerrado denso e o cerrado ralo.

Ao observarmos a relação do relevo com as áreas de vegetação mais preservadas, como apresentado na Figura 6, é possível identificar que os maiores fragmentos e a maior concentração destes estão sob relevos mais movimentados, a exemplo das estruturas dobradas como a Serra Dourada e áreas de morros e colinas que se estabelecem na alta e média bacia e nas planícies aluviais, que ocorrem no baixo curso da bacia.

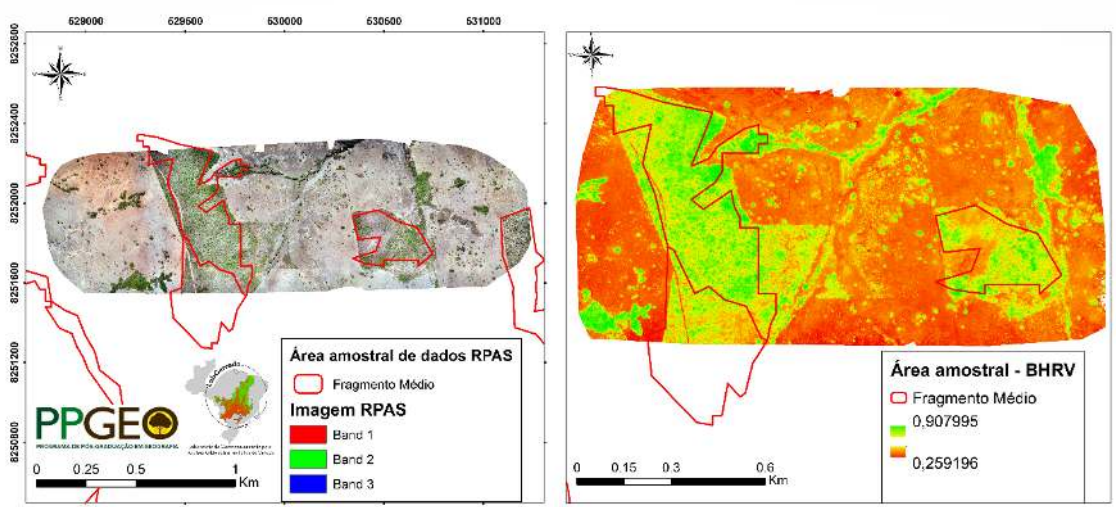
Figura 6 – Fragmentos e relação com os tipos de relevo: **a** – Planície Aluvial e Superfície de Aplainamento.**b** – Morros e Colinas e **c** – Estruturas Dobradas (Serra Dourada)



Fonte: Os autores, 2023.

Os resultados de validação do mapeamento de fragmentos florestais, utilizando dados de RPAS, demonstrou que, os limites da área de Cerrado observados foram bem reproduzidos ao que se observou em campo, na Figura 7.

Figura 7 – Área mapeada com RPA na bacia do Rio Vermelho, imagens do visível e NDVI



Fonte: Os autores, 2023.

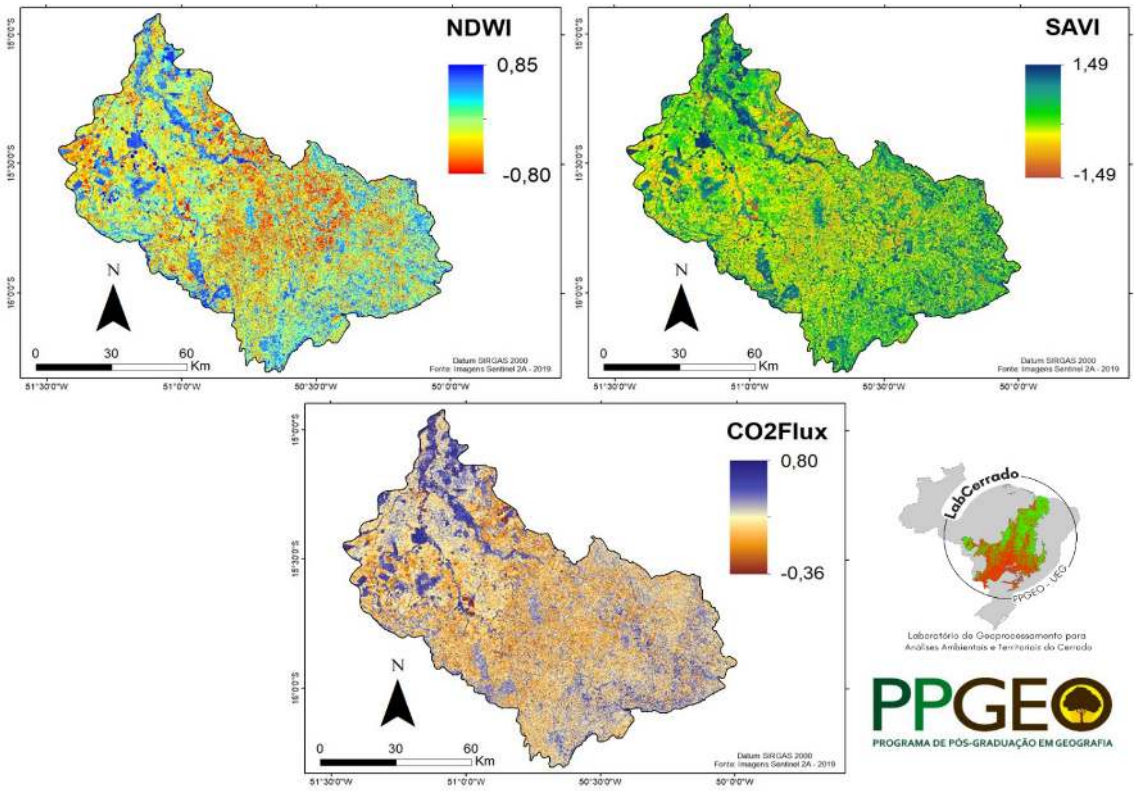
O Índice de Vegetação pela Diferença Normalizado (NDVI), obtida por meio da câmera multiespectral do RPAS, demonstrou que as manchas de vegetação conservadas na bacia têm uma variação deste índice de 0,3 a 0,8, em que é possível observar que, os menores valores correspondem às áreas com vegetação de porte arbustivo, enquanto, os maiores valores indicam vegetação mais arbórea.

Ainda, é possível observar nesta área de remanescente vegetal de Cerrado um efeito de borda que se intensifica na vegetação de porte mais arbustivo e herbáceo; por outro lado, na vegetação florestal (Cerradão) observa-se menor efeito de borda.

Nos mapas da Figura 8, temos a espacialização dos índices NDWI, SAVI e CO_2Flux para a bacia e, na Tabela 2, os valores mínimo, máximo e média das imagens índice. Nesse contexto, a amplitude dos dados dos índices é justificada pela diversidade de formas de uso e cobertura do solo, uma vez que, a pastagem é a cobertura predominante na bacia, seguida pela vegetação de Cerrado e áreas agrícolas. Estes tipos de coberturas apresentam valores positivos, no entanto, solos expostos, corpos hídricos, áreas urbanas e rochas expostas, registraram valores negativos ou próximos de zero.

As imagens utilizadas no cálculo dos índices são do mês de julho de 2019, período de estiagem para a região, em que os totais de chuva são muito baixos ou nulos. No entanto, mesmo em condições de baixa umidade, e considerando toda a área da bacia, o SAVI registrou boas condições de vigor vegetativo e produção fotossintética, desde que, observados o valor máximo e a média. Já o NDWI, que registra o teor de umidade na vegetação, apresentou valor médio baixo 0,11, reflexo das áreas de pastagem, que apresentam estresse hídrico no período de estiagem. Quanto ao CO_2Flux, os resultados apresentam melhores condições em relação aos demais índices, isso indicado pelo valor mínimo e pela média, já os mais altos valores foram registrados nas formações mais densas de cerrado, assim, indicando alto potencial para o sequestro de carbono em relação às pastagens.

Figura 8 – Imagens índice NDWI, SAVI e CO_2Flux



Fonte: Os autores, 2023.

Tabela 2 – Dados estatísticos dos índices de vegetação para a BHRV e os fragmentos

Índice	Bacia			Fragmentos		
	Mínimo	Máximo	Média	Mínimo	Máximo	Média
SAVI	-1,49	1,49	0,85	0,51	1,49	1,15
NDWI	-0,80	0,85	0,11	0,18	0,84	0,67
CO_2Flux	-0,36	0,80	0,19	0,08	0,80	0,23

Fonte: Os autores, 2023.

Os valores mais elevados dos índices podem ser observados no baixo curso da bacia, onde são encontradas agricultura irrigada e grandes fragmentos de vegetação mais densa de Cerrado, que são extensos e, são formações florestais mais densas, desenvolvidas em superfícies de aplainamento, com solos mais profundos e próximos a cursos d'água.

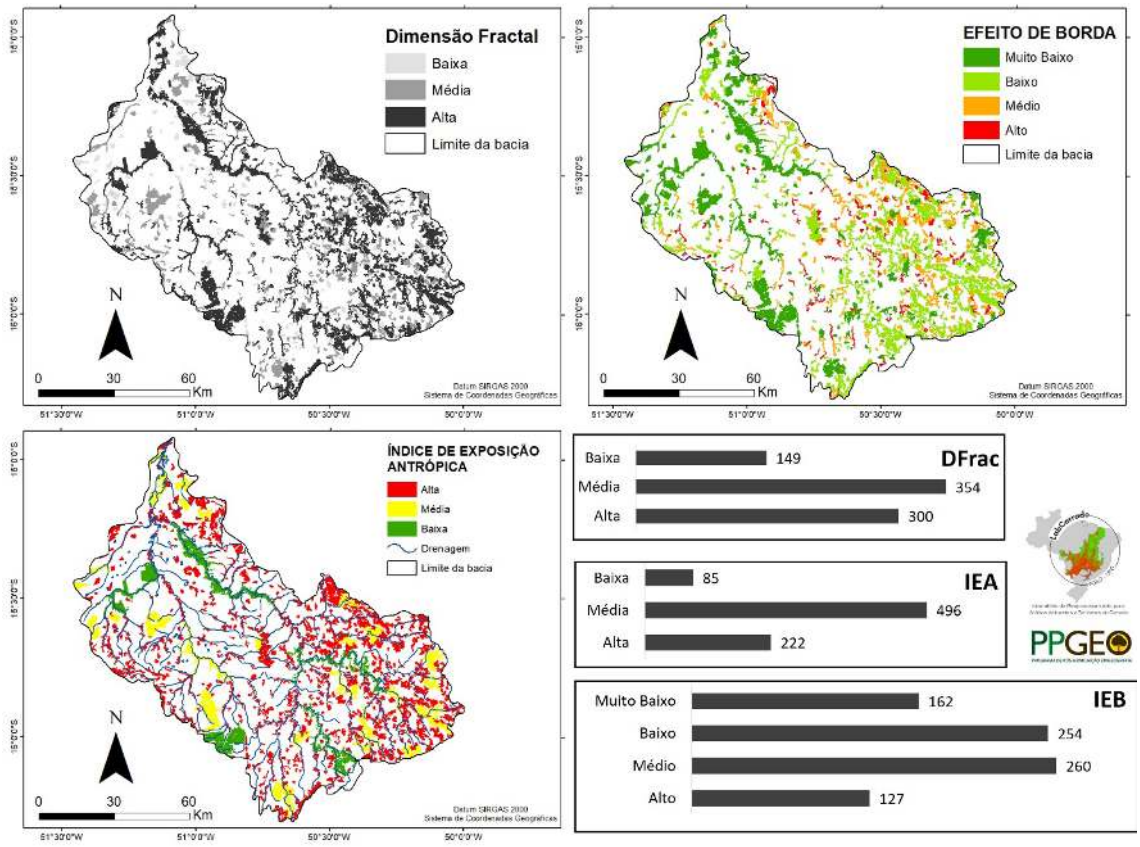
Em relação aos índices de vegetação, os fragmentos apresentaram boas condições biofísicas. Os valores de SAVI variaram entre 0,51 a 1,49, valores considerados altos se analisados outros estudos feitos para o domínio do Cerrado, como os achados de Shiroma *et al*. (2020), que encontraram valores entre 0,78 a 0,91 para formações densas de Cerrado, utilizando imagens Landsat. O NDWI registrou valores entre 0,18 e 0,84, indicando boas condições de umidade, considerando o período de estiagem e também a

variação fitofisionômica. Em estudos aplicados a fragmentos da Mata Atlântica, Sousa *et al* (2022) encontraram-se valores de NDWI entre 0,54 a 0,68.

Os valores de CO_2Flux dos fragmentos apresentaram uma amplitude importante e com valor médio baixo (0,23), reflexo da variação da densidade vegetal dos fragmentos e, apesar de registrar valor máximo de 0,80, 97% da área mapeada, registrou valores entre 0,11 e 0,33. Almeida e Rocha (2018), encontraram valores de CO_2Flux entre 0,27 e 0,39 para áreas florestais da Amazônia, em período de estiagem; e Lopes *et al*. (2020), utilizando imagens de alta resolução, encontraram valores entre 0,20 e 0,42 para fragmentos de Mata Atlântica. Assim, podemos inferir que os fragmentos de Cerrado da BHRV, com dimensões iguais ou superiores a 50 ha, podem apresentar alta capacidade de produção fotossintética, bons índices de umidade e boa capacidade de sequestro de carbono, ainda que em condições de estiagem. No entanto, deve-se considerar as variáveis geomorfológicas, pedológicas e a densidade de recursos hídricos, as quais favorecem a perenidade do vigor vegetativo.

Na Figura 9, são apresentados a espacialização dos índices de métricas da paisagem: dimensão fractal (DFrac), índice de efeito de borda (IEA) e índice de exposição antrópica (IEB) para a BHRV, acompanhados de gráficos com a quantificação em relação às classes.

Figura 9 – Índices de métricas da paisagem dos fragmentos de Cerrado e dados quantitativos



Fonte: Os autores.

A DFrac é a relação área/perímetro de um fragmento é um indicador da complexidade geométrica das formas (Christofoletti, 1999). Logo, quanto maiores e mais complexas as formas, melhores serão as condições ecológicas e ambientais dos fragmentos, pois indicam menor ação antrópica (Turner; Ruscher, 1988). Na BHRV 149 fragmentos apresentaram DFrac baixo, ou seja, são pequenas manchas, com formas regulares devido à forte influência antrópica. Predominaram os fragmentos com DFrac média (354), que apresentam condições ambientais relativamente boas e, as melhores condições foram registradas em 300 manchas, que apresentaram formações geométricas mais complexas e mais extensas.

Diante disso, nota-se que na bacia há uma diversidade de fragmentos, os quais corroboram com o estudo apresentado por Hott *et al*., (2007), no qual indicam que, os fragmentos com menores valores de DFrac são mais antropizados, ou seja, sofrem maior influência das atividades humanas em seu entorno, mesmo que demonstrando uma relação inversamente proporcional entre o índice e a preservação do fragmento.

O IEB é a relação métrica da área central do fragmento com suas bordas, assim, quanto mais distante o núcleo da mancha com seus limites, maior será a manutenção da qualidade ambiental do fragmento (Blumenfeld, 2016). No cálculo do IEB foi considerado um *buffer* interno de 150 metros baseado na proposta de Martins *et al.* (2018). Os fragmentos com IEB muito baixo (162) e baixo (254) compreenderam 50,8% do total, com média de área 368 ha. Esses fragmentos possuem as maiores áreas-núcleo, apresentando uma distância considerável das interferências antrópicas, contribuindo para o equilíbrio ambiental e ecológico destes ambientes. Em contrapartida, os fragmentos com médio e alto IEB, totalizaram 260 e 127 áreas, com médias de 129 ha e 91 ha, respectivamente. Estes fragmentos apresentam menor distância entre interior e borda, especialmente os de IEB alto, tornando as machas mais sujeitas às alterações provocadas pelas atividades agropecuárias, impactando diretamente na composição florística, na biodiversidade e nos processos geoecológicos (Rocha *et al*., 2019).

O IEA é um indicador do grau de exposição de fragmentos de vegetação, no que diz respeito as atividades antrópicas que se desenvolvem em seu entorno (Lourenço; Silva; Sales, 2014; Sousa, 2021). Para a BHRV, o IEA indicou que 61,8% dos fragmentos, 496 no total, apresentam grau médio de exposição às atividades agropecuárias, que na bacia são agriculturas irrigadas, tipo cultura anual e pastagens plantadas para criação de gado de forma extensiva. O cenário mais crítico se aplica a 222 fragmentos, que apresentaram alta pressão antrópica, por possuírem área-núcleo próxima às bordas e intensa atividade antrópica nas margens das manchas. As melhores condições foram registradas em 85 fragmentos que indicaram baixo IEB. Estes são fragmentos mais extensos com área-núcleo mais distantes das bordas, portanto, apresentando boas condições de preservação ambiental.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em síntese, os índices aplicados indicaram melhores condições de vigor vegetativo, produção fotossintética e umidade para as coberturas de Cerrado mais densas e próximas às drenagens e áreas de culturas irrigadas. Mediante o exposto, a variação ocorreu mais no contexto espacial, apresentando melhores condições na porção baixa da bacia, uma vez que isso pode estar relacionado a maior densidade, extensão e vigor vegetativo dos fragmentos. Os altos valores indicaram relação com as condições topográficos e disposição dos recursos hídricos. Na ocorrência de relevos mais planos, planícies fluviais e fundos de vale, os índices registraram maiores valores, evidências que precisam ser melhor avaliadas.

Ao compararmos os dados obtidos pelo satélite Sentinel com os dados gerados pelo imageamento com o RPA, observamos que, os dois produtos podem ser correlacionados; e neste sentido, pode-se compreender melhor a estrutura e qualidade dos fragmentos vegetacionais que estão conservados na bacia. Ainda, é possível identificar que o uso destes dados de *downscaling* fornece ferramentas para podermos generalizar para demais áreas com as mesmas características na bacia.

Em suma, a associação dos índices de vegetação com os indicadores de métricas de paisagem contribuíram para entendermos as condições ecológicas, biofísicas e de exposição antrópica dos fragmentos. Assim, demostrando de forma geral, que os fragmentos maiores, com formas irregulares, em superfícies aplainadas e com densa rede de drenagens, apresentam melhores condições ambientais.

No entanto, estudos precisam ser aprofundados no sentido de compreender melhor a relação da sazonalidade das chuvas, que é marcante no domínio do Cerrado, com as condições biofísicas dos fragmentos, bem como entender as condições de vulnerabilidade a perda de biodiversidade.

AGRADECIMENTOS

Os pesquisadores agradecem à Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação (PrP), da Universidade Estadual de Goiás (UEG) pelo fomento através do Pró-Programas, que possibilitou a estruturação do Laboratório de Geoprocessamento para Análises Ambientais e Territoriais do Cerrado – LabCerrado, e viabilizou a realização desta pesquisa.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, J. R. R.; ROCHA, K. S. Aplicação dos índices de vegetação NDVI, PRI, e CO2flux na caracterização da cobertura vegetativa da área de proteção ambiental Raimundo Irineu Serra. **Anais 7º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal**, Jardim, MS, 20 a 24 de outubro 2018.

BOLFE, E. L. **Desenvolvimento de uma metodologia para a estimativa de biomassa e de carbono em sistemas agroflorestais por meio de imagens orbitais.**2010. 319 f. Tese (Doutorado) - Curso de Geografia, Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2010.

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

BORGES, L. F. R.; *et al*. Inventário de fragmentos florestais nativos e propostas para seu manejo e o da paisagem. **Cerne**, v. 10, n. 1, p. 22-38, 2004.

CASTILLO, R. Agronegócio e logística em áreas de cerrado: expressão da agricultura científica globalizada. **Revista da ANPEGE**, v. 03, 2007;

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de sistemas ambientais**. São Paulo: Edgard Blücher, 1999.

CULLEN JR., L.; RUDRAN, R.; VALLADARES-PADUA, C. (org.). **Métodos de estudos em biologia da conservação e manejo da vida silvestre**. 2. ed. Curitiba/PR: UFPR, 2006. ISBN 978857335174.

HOTT, M. C. *et al*. Análise fractal aplicada à fragmentação florestal no município de Viçosa – MG, Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianóplois/SC, Brasil, 21-26 de Abril de 2007.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Diagnóstico Ambiental da bacia do Rio Araguaia – Trecho Barra do Garças (MT) – Luis Alves (GO).** Por Del'Arco J. O. et al. Goiânia. 1999.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. Tradução da 2ª ed. por (pesquisadores do INPE): José Carlos N. Epiphanio (coord) [et al.]; São José dos Campos: Parêntese. 2009.

JOLY, C.A.; METZGER, J.P.; TABARELLI, M. Experiences from the Brazilian Atlantic Forest: ecological findings andc onservation initiatives. **New Phytologist**, v. 204, p. 459-473, 2014.

KLINK, C. A; MACHADO, R. B. A conservação do Cerrado brasileiro. **Megadiversidade**, v 1, n. 1. Julho 2005.

LANG, S; BLASCHKE, T. **Análise da Paisagem com SIG**. Tradução de Hermann Kux. São Paulo/SP: Oficina de textos, 2009.

LOPES, E. R. N. *et al.* Spatial Dynamics of Atlantic Forest Fragments in a River Basin. **Floresta**, *[S.l.],* v. 50, n. 1, p. 1053-1062, dez. 2019. ISSN 1982-4688. DOI: http://dx.doi.org/10.5380/rf.v50i1.61076.

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**, v.10, n.3, p. 685-698, 2014.

MARTINS, R. N. *et al*. Spatio-Temporal Analysis of Landscape Patterns in the Catolé Watershed, Northern Minas Gerais. **Revista Árvore**, v. 42, n. 4, p. e420407, 2018.

MACHADO, L. E. G.; LIMA, C. V. Compartimentação geomorfológica da bacia hidrográfica do Rio Vermelho (GO) utilizando imagens ASTER. **Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, Curitiba/PR, Brasil, 30 de abril a 05 de maio de 2011.

MASSOULI JUNIOR, E. V., STATELLA, T., SANTOS, V. S. dos., Estimativa da fragmentação florestal na microbacia Sepotubinha, Nova Marilândia –MT, entre os anos de 1990 a 2014. **Caminhos de Geografia,** Uberlândia/MG, v. 17, n. 60, p. 48–60, 2016. DOI: 10.14393/RCG176004.

METZGER, J. P. *et al*. O uso de modelos em ecologia de paisagens. **Revista Megadiversidade**. v. 3, n. 1-2, p. 64-73, 2007.

METZGER, J. P. W. Estrutura da paisagem: O uso adequado de métricas.. *In*: CULLEN JR., L.; RUDRAN, R.; VALLADARES-PADUA, C. (org.). **Métodos de estudos em biologia da conservação e manejo da vida silvestre**. 2. ed. Curitiba/PR: UFPR, 2006. ISBN 978857335174

MYERS, N. *et al*. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, v. 403, p. 853-858, jan. 2000. DOI: https://doi.org/10.1038/35002501

PARROTTA, J.; YEO-CHANG, Y.; CAMACHO, L. D. Traditional knowledge for sustainable forest management and provision of ecosystem services. **International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem Services & Management**, v. 12, p, n.1-2, p. 1-4, 2016.

PIROVANI, D. B. *et al*. Análise espacial de fragmentos florestais na Bacia do Rio Itapemirim, ES. Revista Árvore, v. 38, n. 2, p. 271–281, mar. 2014.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E. **Sensoriamento remoto no estudo da vegetação**. 1. ed. São José dos Campos/SP: Parêntese, 2007. v. 1, 127 p. ISBN 978-85-60507-02-3.

RIBEIRO, J.F.; WALTER, B. M. T. As principais Fitofisionomias do Bioma Cerrado. *In*: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P. de; RIBEIRO, J. F. (org.). **Métodos de estudos em biologia da conservação e manejo da vida silvestre**. Brasília/DF: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Embrapa Cerrados Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2008.

ROCHA, S. J. S. S. *et al*. Efeito da borda na estrutura e estoque de carbono de uma Floresta Estacional Semidecidual. **Advances in Forestry Science**, Cuiabá/MT, v.6, n.2, p. 645-650, 2019.

SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P. de; RIBEIRO, J. F. (org.). **Métodos de estudos em biologia da conservação e manejo da vida silvestre**. Brasília/DF: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Embrapa Cerrados Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2008.

SANTOS, C. R.; ROCHA, P. C. Análise da Fragmentação da Paisagem na Região Extremo Oeste Paulista, Brasil. **Geosul**, Florianópolis/SC, v. 35, n. 75, p. 325-349, 2020.

SOUSA, J. A. P. **Elaboração de um Índice de Vulnerabilidade Ambiental dos Fragmentos Florestais da Mata Atlântica**. Orientador: Prof. Dr. Roberto Wagner Lourenço. 2021. 162 p. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais . Área de Concentração Diagnóstico, Tratamento e Recuperação Ambiental.) - Programa de Pós-Graduação da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Sorocaba,/SP, 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. ISSN 1984-2295..

SOUZA, J. C. **Metodologia para Avaliação Ambiental em Bacias Hidrográficas, Utilizando Técnicas de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto**. Orientador: Prof. Dr. Roberto Wagner Lourenço. 2017. 95 f. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais . Área de Concentração Diagnóstico, Tratamento e Recuperação Ambiental.) - Programa de Pós-Graduação da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Sorocaba,/SP, 2017.

SOUZA, J.; MARTINS, P.; DRUCIAKI, V. Uso e cobertura do solo no Cerrado: panorama do período de 1985 a 2018. **Élisée - Revista de Geografia da UEG**, v. 9, n. 2, p. e922020, 8 set. 2020.

SHIROMA, G. M. *et al*. Comparação entre Índices de Vegetação de Diferentes Sensores na Identificação de Fitofisionomias do Cerrado. **Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ**, Rio de Janneiro/RJ vol. 43, n.1, 2020.

TURNER, M. G.; RUSCHER, C. L. Changes in landscapepatterns in Georgia, USA. **LandscapeEcology**, v. 1, n. 4, p. 241-251, 1988.

VIANA, V. M.; PINHEIRO, L. A. F. V. Conservação da biodiversidade em fragmentos florestais**. Série Técnica IPEF**, v. 12, n. 32, p. 25-42, 1998.

VIEIRA, P. A.; FERREIRA, M. E.; FERREIRA, L. G. Modelagem Dinâmica da Paisagem Aplicada à Análise da Cobertura e Uso do Solo na Bacia Hidrográfica do Rio Vermelho, Estado De Goiás. **Revista Brasileira de Cartografia,** *[S. l.]*, v. 67, n. 6, 2015. DOI: 10.14393/rbcv67n6-44638.

WU, J.; HOBBS, R. **Key Topics in Landscape Ecology (Cambridge Studies in Landscape Ecology).** Cambridge/UK: Cambridge University Press, 2007.

SOBRE OS/AS AUTORES/AS

JOSÉ CARLOS DE SOUZA – Possui graduação (Licenciatura) em Geografia pela Universidade Estadual de Goiás (2001), Especialização em Geografia, Meio Ambiente e Turismo pela Universidade Estadual de Goiás (2003), mestrado em Geografia, com ênfase em Geografia Física pela Universidade Federal de Goiás (2010) e Doutorado em Ciências Ambientais (Área de Concentração: Diagnóstico, Tratamento e Recuperação Ambiental) pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho/Instituto de Ciência e Tecnologia de Sorocaba. Atualmente é docente em Regime de Dedicação Exclusiva da Universidade Estadual de Goiás, no curso de Geografia (Graduação e Mestrado) na Unidade Universitária de Anápolis – CSEH – Nelson de Abreu Júnior e no Campus Cora Coralina. Atua no ensino de Geografia Física e Geoprocessamento e desenvolve pesquisas em análise da vegetação de Cerrado, através de técnicas de sensoriamento remoto, estudos geoambientais em bacias hidrográficas e ecologia de paisagem.
E-mail: jose.souza@ueg.br

JANETE RÊGO SILVA – Possui graduações nas áreas de conhecimento de Gestão Turística pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás (2007) e em Geografia pela Universidade Federal de Goiás (2012), doutorado e mestrado em Geografia pela Universidade Federal de Goiás (2010) – Instituto de Estudos Socioambientais (IESA). Foi professora do ensino superior da Universidade Estadual de Goiás (UEG), ministrando a disciplina de Cartografia, entre os anos de 2010-2012. Foi bolsista DTI-B do Ministério de Ciência e Tecnologia e Inovação (MCTI), sendo gestora de projetos envolvendo diversas redes de pesquisa do MCTI. Foi bolsista DTI -B do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), atuando na gestão de dados para portal do Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento (LAPIG), também participou do projeto de mapeamento das pastagens no Brasil, liderado pelo professor Dr. Laerte Guimarães Ferreira. Atualmente, é Professora efetiva da Universidade Estadual de Goiás, já atuou na unidade universitária de Niquelândia, atuando nas áreas de Cartografia, Topografia, Geoprocessamento, Sensoriamento Remoto. Atua no curso de Turismo e Patrimônio no campus Cora Coralina. Possui experiência na área de Geografia, com ênfase em Geografia Física, Cartografia, Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto.
E-mail: janete.silva@ueg.br

LEOMAR RUFINO ALVES JUNIOR – Possui curso Técnico em Cartografia (2007) e, graduação em Agrimensura (2012) ambos pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás. -; Especialização em Docência do Ensino Superior pela Universidade Norte do Paraná, UNOPAR (2020-2021); Mestrado (2015) e Doutorado (2021) em Geografia ambos pela Universidade Federal de Goiás (IESA/UFG). – Pesquisador do Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento (LAPIG / www.lapig.iesa.ufg.br), (2013 – atual), onde desenvolve trabalhos na área ambiental e de geotecnologias; Técnico Administrativo na Prefeitura Municipal de Goiânia (2007 – 2012), onde

atuou com análise de projetos de pavimentação e drenagem dos novos loteamentos de Goiânia no Departamento de Projetos do Departamento de Estradas de Rodagens do Município (DERMU); Professor da Universidade Paulista (UNIP), (2014 – 2020), no curso de Engenharia Civil, onde ministrou as disciplinas de: Topografia; Geodésia, e; Desenho Técnico. – Professor da Faculdade Anhanguera (Goiânia), (2018 – atual) no cursos de Engenharia Civil, Engenharia de Produção, Engenharia Mecânica, Engenharia Elétrica e Engenharia de Controle e Automação, onde ministra disciplinas de: Topografia e Georreferenciamento; Estradas; Desenho Auxiliado por Computador (AutoCAD); Desenho Técnico e Projetivo; Projeto Arquitetônico para Engenharia Civil (Revit); Algoritmos e Lógica de Programação; Metrologia e Controle Geométrico; Gestão e Operação de Serviços, e; Administração e Economia para Engenharias. É Professor da Universidade Federal de Goiás (IESA/UFG), (2021 – atual), nos cursos de Geografia (Bacharelado e Licenciatura), Ciências Ambientais, Ecologia e Análise Ambiental e Engenharia Ambiental, onde ministra as disciplinas de: Geoprocessamento; Sensoriamento Remoto, e; Cartografia I e II. – Técnico de Laboratório na Área de Geomática (Topografia e Geodésia) do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás (IFG) (2012 – atual). – Tem experiência em planejamento territorial, Sensoriamento Remoto, Geoprocessamento, Aerofotogrametria, Cartografia Geodésia e Topografia.

E-mail: leomar.junior@ifg.edu.br