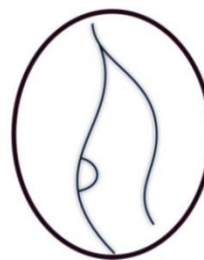




INTERFACE  
ISSN 2448-2064



---

## **DINÂMICA DO USO E COBERTURA DA PAISAGEM CÁRSTICA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SOBRADO, SUDESTE DO TOCANTINS**

**DYNAMICS OF THE USE AND COVERAGE OF THE KARST LANDSCAPE IN THE SOBRADO RIVER WATERSHED, SOUTHEAST OF TOCANTINS**

Heloisa Rodrigues Nascimento  
heloisa@ifto.edu.br

Fernando de Moraes  
moraism@mail.uft.edu.br

### **Resumo**

A compreensão das modificações antrópicas ocorridas em paisagens naturais é fundamental para identificar alterações na sua estrutura, principalmente quando se refere a uma bacia hidrográfica inserida em ambientes cársticos. Assim, o objetivo do trabalho consistiu em analisar a dinâmica do uso e cobertura da terra entre os anos de 1985 e 2020, na bacia hidrográfica do rio Sobrado, na região sudeste do Tocantins, e analisar a evolução da estrutura da paisagem, a partir do uso de métricas, sob a abordagem da Ecologia da Paisagem. Para a compreensão da dinâmica, foram elaborados mapas de uso e cobertura da terra, a partir das imagens orbitais dos satélites Landsat 5/TM e Landsat 8/OLI, utilizando o método supervisionado, classificador *Bhattacharya*, no *software* SPRING e QGIS. Posteriormente, se realizou a quantificação da estrutura, a partir do uso de métricas, utilizando o *software* Fragstats. Os resultados obtidos demonstraram aumento de 22,16% na área da classe pastagem entre 1985 e 2020 e consequente redução das áreas de cobertura vegetal nativa (27,82%). Os dados das métricas da paisagem possibilitaram constatar que alterações antrópicas têm modificado a estrutura espacial da paisagem em função da retirada da vegetação e da substituição por atividades agropecuárias.

**Palavras-chave:** Cavernas; Métricas da Paisagem; Fragmentação da Paisagem; Mudança de Uso da Terra.

### **Abstract**

Understanding anthropogenic changes in natural landscapes is fundamental to identifying changes in their structure, mainly when referring to a watershed inserted in karst environments. Thus, the objective of the work was to analyze the dynamics of land use and land cover between the years 1985 and 2020 in the basin of Sobrado River, southeast Tocantins, and to analyze the evolution of the landscape structure, using metrics under the approach of Landscape Ecology. To understand the dynamics, land use and land cover maps were prepared from the orbital images of the Landsat 5/TM and Landsat 8/OLI satellites, using the supervised method, Bhattacharya classifier, in the SPRING and QGIS software. Subsequently, the quantification of the structure was carried out based on the use of metrics using the Fragstats software. The results showed an increase of 22.16% in the area of the pasture class between 1985 and 2020 and a consequent reduction in the areas of native vegetation cover (27.82%). The landscape metrics data made it possible to verify that anthropogenic changes have modified the spatial structure of the landscape due to the removal of vegetation and replacement by agricultural activities.

**Keywords:** Caves; Landscape Metrics; Landscape Fragmentation; Land Use Change.

## **Introdução**

O processo de desenvolvimento da sociedade tem modificado as paisagens naturais em função das relações socioculturais e econômicas estabelecidas ao longo do tempo. A intensificação dos processos de conversão do uso da terra, a partir das características e das potencialidades de cada região, promove alteração da estrutura espacial e diversos impactos ambientais.

A elaboração do mapa de uso e cobertura da terra, a partir do uso de geotecnologias, tem se tornado um instrumento muito utilizado em pesquisas ambientais, por possibilitar o entendimento das relações físicas e socioeconômicas estabelecidas sobre as paisagens, sobretudo aplicadas em bacias hidrográficas, por serem consideradas como uma unidade de planejamento em que sociedade e natureza se integram (MEDEIROS; ALVES, 2021).

Nesse contexto estão inseridas as paisagens cársticas desenvolvidas sobre as rochas carbonáticas, que caracterizam ambientes com grande riqueza de espécies da fauna e da flora, com alta taxa de endemismo, fontes de água subterrânea e nascentes, presença de diversas feições, com destaque para as cavernas, detentoras de importantes registros do passado e abrigo para diversos animais que habitam o meio subterrâneo (SOUZA; AULER, 2018).

As formas de ocupação em paisagens cársticas necessitam de planejamento específico, pois apresentam um grau significativo de fragilidade devido ao contexto geológico que possibilitou a sua formação. Os ambientes cársticos devem ser avaliados com a noção de conjunto, devido à conectividade entre os elementos da superfície e do meio subterrâneo, pois impactos em elementos individuais do ecossistema podem gerar impactos inesperados sobre outros elementos (HARDT, 2008).

As modificações promovidas pelas atividades humanas no carste e suas consequências, nos últimos anos, despertaram a atenção de diversos autores, os quais têm apresentado discussões relevantes acerca do tema, como Williams (1993) e Parise e Gunn (2007).

Entre as alterações na dinâmica estrutural das paisagens naturais, incluindo os ambientes cársticos, devido às ações antrópicas, uma das mais relevantes se refere à supressão da cobertura vegetal nativa, que resulta no processo de fragmentação de remanescentes da vegetação, constituindo-se em uma grave ameaça à manutenção da biodiversidade (FARIA; SILVA, 2020), e reflete prejuízos como perda de biota e alteração na dinâmica dos recursos hídricos (WILLIAMS, 1993).

A abordagem metodológica da Ecologia da Paisagem, ao inserir o homem no contexto de análise, integra os elementos culturais às paisagens naturais, e possibilita quantificar a estrutura da paisagem, auxiliando na compreensão sobre os efeitos advindos da alteração do seu padrão espacial e suas influências sobre os processos ecológicos (METZGER, 2001).

A quantificação da estrutura da paisagem tem sido realizada por meio da aplicação de métricas da paisagem, que permitem interpretar a heterogeneidade e apresentar a relação entre as unidades, avaliadas descritivamente. Isso possibilita avaliar a configuração histórica da paisagem, identificar áreas prioritárias para conservação, além de oferecer indicadores para o planejamento de áreas com alta relevância ambiental, a fim de minimizar os efeitos provocados pela fragmentação (SILVA *et al.*, 2015).

Diversas pesquisas têm analisado os efeitos das mudanças de uso e cobertura da terra nas paisagens, aplicando métricas da paisagem para quantificar sua configuração e avaliar os efeitos da fragmentação da vegetação em diversos ambientes no bioma Cerrado (*e.g.* FARIA; SILVA, 2020; OLIVEIRA; FARIA, 2021).

Estudos envolvendo a Ecologia da Paisagem e a análise da fragmentação da vegetação em áreas cársticas têm demonstrado a necessidade da aplicação da análise quantitativa da estrutura da paisagem neste tipo de ambiente, para identificação de áreas vulneráveis e avaliação de como as principais atividades antrópicas ali exercidas estão influenciando-as. Tais levantamentos também são importantes para a manutenção dos fragmentos de vegetação remanescentes em áreas próximas às

cavernas, visando a conservação da biodiversidade e manutenção dos serviços ecossistêmicos (HOU; GAO, 2020; GOMES; RUCHKYS, 2021).

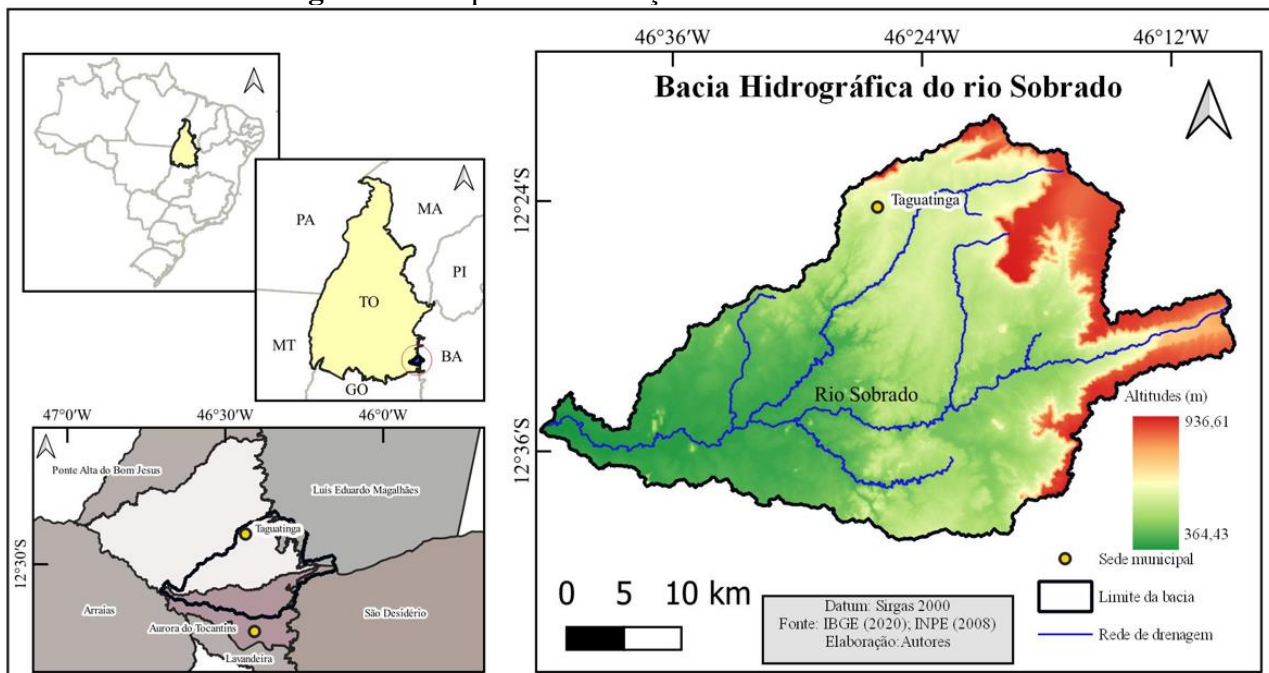
Nesse contexto, o objetivo deste artigo é avaliar a dinâmica de uso e a cobertura da terra na bacia hidrográfica do rio Sobrado para os anos de 1985 e 2020 e analisar a evolução na estrutura da paisagem a partir do uso de métricas da paisagem, com destaque para o processo de fragmentação na paisagem do entorno das cavernas.

## Metodologia

### Área de estudo

A bacia hidrográfica do rio Sobrado (BHRS) está localizada na região sudeste do Tocantins (Figura 1). A área da bacia do rio Sobrado é de 1.103,266 km<sup>2</sup>, abrangendo os municípios de Taguatinga (56,48%), Aurora do Tocantins (31,24%), Luís Eduardo Magalhães (8,94%) e São Desidério (3,34%). Possui como divisor de águas, a Serra Geral, localizada na divisa entre os estados do Tocantins e Bahia.

Figura 1 – Mapa de localização da bacia do rio Sobrado



Fonte: elaborada pelos autores.

Os municípios de Taguatinga e Aurora do Tocantins estão compreendidos no mapa de áreas prioritárias para conservação do patrimônio espeleológico brasileiro, em função de seus atributos bióticos, do meio físico e sócio-histórico-cultural (CECAV, 2018). Juntos concentram 34,24% da ocorrência de cavernas no estado do Tocantins.

Na área de abrangência da bacia do rio Sobrado, tem-se a presença de 51 cavernas, sendo que 12 estão localizadas no município de Taguatinga, e 39, no município de Aurora do Tocantins (CECAV, 2021). Além disso, a área de estudo localiza-se no bioma Cerrado, conhecido como um dos *hotspots* mundiais de biodiversidade (KLINK; MACHADO, 2005).

Em relação à geologia, a área de estudo está localizada na Bacia Sedimentar Sanfranciscana, com a ocorrência das unidades geológicas do Complexo Almas-Cavalcante (Embasamento Cristalino), Grupo Bambuí, Grupo Urucua, Grupo Areado e Depósitos Aluvionares Recentes

(MORAIS, 2013). Quanto à geomorfologia, está localizada no domínio de duas unidades geomorfológicas: Chapadão Ocidental Baiano e Patamares do Chapadão Ocidental Baiano (IBGE, 2020).

### Procedimentos Metodológicos

Os procedimentos metodológicos compreenderam o processamento digital das imagens do satélite Landsat 5/TM e Landsat 8/OLI (Quadro 1), obtidas na página do *United States Geological Survey*, que integram a coleção Landsat 1, nível 1, ortorretificadas e radiometricamente calibradas (USGS, 2019). A partir dessas imagens, foi possível elaborar os mapas de uso e cobertura da terra para os anos de 1985 e 2020.

As etapas iniciais do processamento foram realizadas no *software* QGIS versão 3.16.10. Inicialmente, as imagens foram processadas utilizando o *plugin Semi-Automatic Classification Plugin* (SCP), para conversão dos números digitais em reflectância de superfície, utilizando o método DOS (*Dark Object Subtraction*).

**Quadro 1** – Dados das imagens dos satélites Landsat 5/TM e Landsat 8/OLI

Satélite	Órbita/ponto	Data	Resolução espacial
Landsat 5/TM	220/69	23/06/1985	30 m
Landsat 5/TM	221/69	30/06/1985	30 m
Landsat 8/OLI	220/69	07/06/2020	30 m
Landsat 8/OLI	221/69	14/06/2020	30 m

Fonte: USGS (2019).

Em seguida, as imagens foram reprojetaadas para o sistema de referência SIRGAS 2000, sistema de coordenadas planas UTM (*Universal Transversa de Mercator*), fuso 23 Sul. A partir de então, as imagens processadas foram importadas para o *software* SPRING versão 5.5.6, no qual se realizou o mosaico das duas cenas, seguido do recorte da área de interesse e aplicação da composição colorida para as imagens Landsat 5/TM (5R4G3B) e imagem Landsat 8/OLI (6R5G4B).

O processo de classificação das imagens utilizado foi o método supervisionado, classificador *Battacharya*, que utilizou o limiar de aceitação 99,9%. Após essa etapa, a imagem temática “uso e cobertura da terra” foi exportada em formato *Geotiff*, em seguida, foi inserida no *software* QGIS e realizada a conferência das classes e algumas correções, de modo a eliminar confusão entre classes agricultura e pastagem e as formações vegetais.

As classes selecionadas para a elaboração do mapa de uso e cobertura da terra da bacia do rio Sobrado foram: Afloramento Rochoso, Agricultura, Área Urbana, Formação Campestre, Formação Florestal, Formação Savânica, Pastagem e Solo Exposto.

A avaliação da acurácia foi realizada a partir do complemento AcaTama (*Accuracy Assessment of Thematic Maps*), no *software* QGIS. Para tanto, utilizaram-se dados do portal Mapbiomas, imagens do *Google Satellite* e imagens do satélite Sentinel (ano 2020) para validar as informações do mapeamento temático. A análise da acurácia dos resultados da classificação foi realizada por meio da matriz de erros, do valor da acurácia global e do valor do índice Kappa.

As imagens classificadas obtiveram os respectivos valores de acurácia global e índice Kappa: imagem do ano 1985 (91,76% e 90,07%) e imagem do ano 2020 (92,36% e 89,70%). Ao fazer uma relação dos resultados obtidos com os parâmetros elaborados por Landis e Koch (1977) para avaliar a qualidade das classificações, considerando o índice Kappa, foi possível observar que eles estão no intervalo de 0,81 a 1,00 considerado como excelente.

A partir dos mapas elaborados, foi analisada a dinâmica de uso e cobertura da terra para os anos de 1985 e 2020 na bacia do rio Sobrado e sua evolução, a fim de identificar os principais agentes

transformadores da paisagem no período supracitado e visualizar as alterações produzidas nas áreas próximas às cavernas.

Após obter a imagem classificada, em formato raster, utilizou-se o *software Fragstats*, versão 4.2.1, desenvolvido por McGarigal e Marks (1995), para realização do cálculo das métricas, que permitiu a avaliação da estrutura da paisagem na bacia do rio Sobrado (Quadro 2). O critério para seleção das métricas adotadas no trabalho se baseia no destaque destas em outras pesquisas desenvolvidas no âmbito do bioma Cerrado (e.g. FARIA; SILVA, 2020; OLIVEIRA; FARIA, 2021).

As métricas foram calculadas em nível de classe com base nos conceitos de mancha, corredor e matriz, de acordo com as classes estabelecidas no mapeamento de uso e cobertura da terra, permitindo mensurar seus polígonos e quantificar a composição da paisagem. Além disso, foi realizada a análise temporal desses índices para avaliar a dinâmica da estrutura da paisagem, durante o período analisado, e identificar se houve o processo de fragmentação dos remanescentes da paisagem.

**Quadro 2** – Métricas utilizadas para a quantificação da estrutura da paisagem na bacia do rio Sobrado

<b>Sigla</b>	<b>Métrica</b>	<b>Definição</b>
CA	Área da classe e mancha	Área da classe apresenta a área de todos os fragmentos da classe. É uma medida da composição da paisagem, em hectare (ha).
PLAND	Porcentagem de fragmentos da classe	Porcentagem da ocupação de fragmentos da mesma classe na paisagem. Quantifica a distribuição proporcional de cada tipo de mancha na paisagem.
NP	Número de fragmentos	Número de fragmentos da classe existentes na paisagem. Valores maiores de NP indicam maior fragmentação da classe, e valores menores indicam união ou extinção de fragmentos de mesma classe.

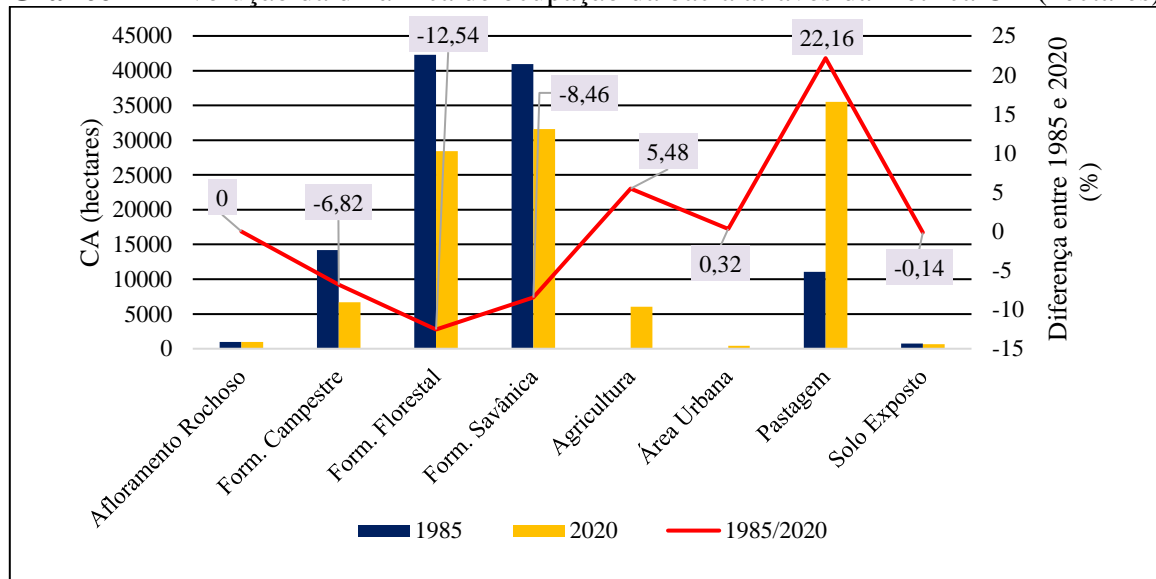
Fonte: organizado a partir de McGarigal e Marks (1995).

O *software Fragstats*, ao realizar o cálculo das métricas em nível de mancha, gera uma representação espacial em formato raster dos fragmentos de vegetação remanescentes. A partir desta, realizou-se a sobreposição com os dados de localização das cavernas, para verificar a evolução do processo de fragmentação na área adjacente.

## **Resultados e Discussões**

O mapeamento do uso e cobertura da terra da bacia do rio Sobrado, no ano de 1985, indicou que a maior parte da área (88,31%) ainda se encontrava coberta por vegetação nativa, e as áreas de uso antrópico ocupavam 10,79%, tendo na classe pastagem o seu representante mais expressivo, ocupando 10,03% (Gráfico 1 e Figura 2).

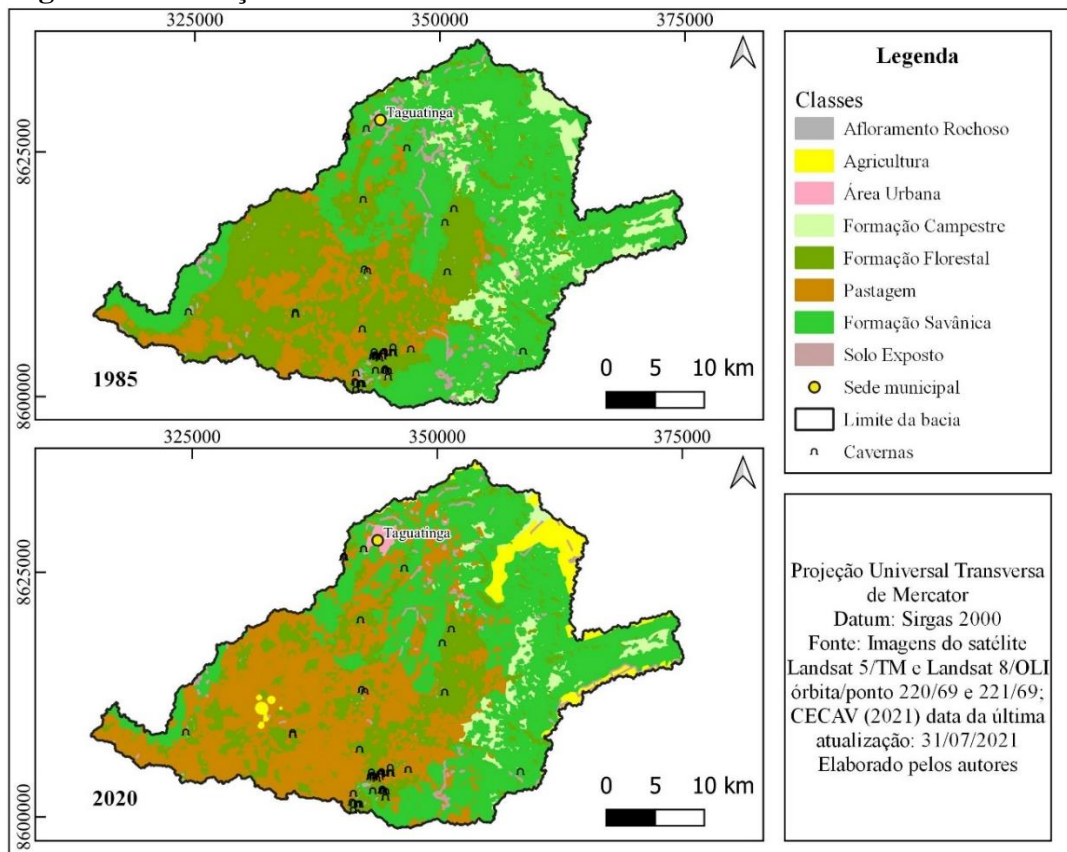
**Gráfico 1** – Evolução da dinâmica de ocupação da bacia através da métrica CA (hectares)



Fonte: elaborado pelos autores. Legenda: CA: Área de classe.

A cobertura vegetal nativa é dominada pela Formação Florestal, seguida pela Formação Savânica e Formação Campestre. Observa-se redução da área ocupada por essas classes no decorrer dos anos e o expressivo aumento de áreas de pastagem e agricultura. Esta última se destaca na abrangência dos municípios de Luís Eduardo Magalhães e São Desidério, mais especificamente na Serra Geral.

**Figura 2** – Evolução do uso e cobertura da terra nos anos de 1985 e 2020 na BHRS



Fonte: elaborada pelos autores.

Os dados revelam que as pastagens constituem o uso antrópico predominante na área de estudo (32,19%) no ano de 2020. Ao analisar os valores da área urbana do município de Taguatinga, ressalta-se que essa classe apresentou aumento de 0,32%, pois, em 1985, ocupava 64,54 hectares e, em 2020, houve expansão, chegando a 423,05 hectares.

A classe agricultura, em 1985, não foi identificada, porém, no ano 2020, passou a ocupar 6046,46 hectares, representando, assim, um incremento de 5,48% (Gráfico 1). O desenvolvimento da produção agrícola no oeste baiano foi impulsionado a partir de 1985. É importante citar que as atividades do agronegócio no bioma Cerrado avançaram principalmente sobre as Formações Savânicas (SOUZA; MARTINS; DRUCIANKI, 2020).

Ao observar a métrica área de classe (CA) para as categorias de uso antrópicas (agricultura, área urbana, pastagem e solo exposto), percebe-se que, em 1985, correspondiam a 10,79% da área total e apresentaram um crescimento no percentual de ocupação para o ano de 2020, sendo igual a 38,61%.

Em contrapartida, a vegetação nativa que, em 1985, ocupava 88,31% da área teve uma redução nos demais anos analisados, constituindo 60,49% da vegetação da área de estudo no ano de 2020. Os dados demonstram que, em 1985, a Formação Campestre correspondia a 12,88% da área, distribuída nas porções nordeste e sudeste da bacia. A Formação Florestal (38,31%) está bem distribuída na área e associada à Serra Geral, próxima aos cursos d'água e afloramentos rochosos. Já a Formação Savânica ocupava 37,12% da área da bacia.

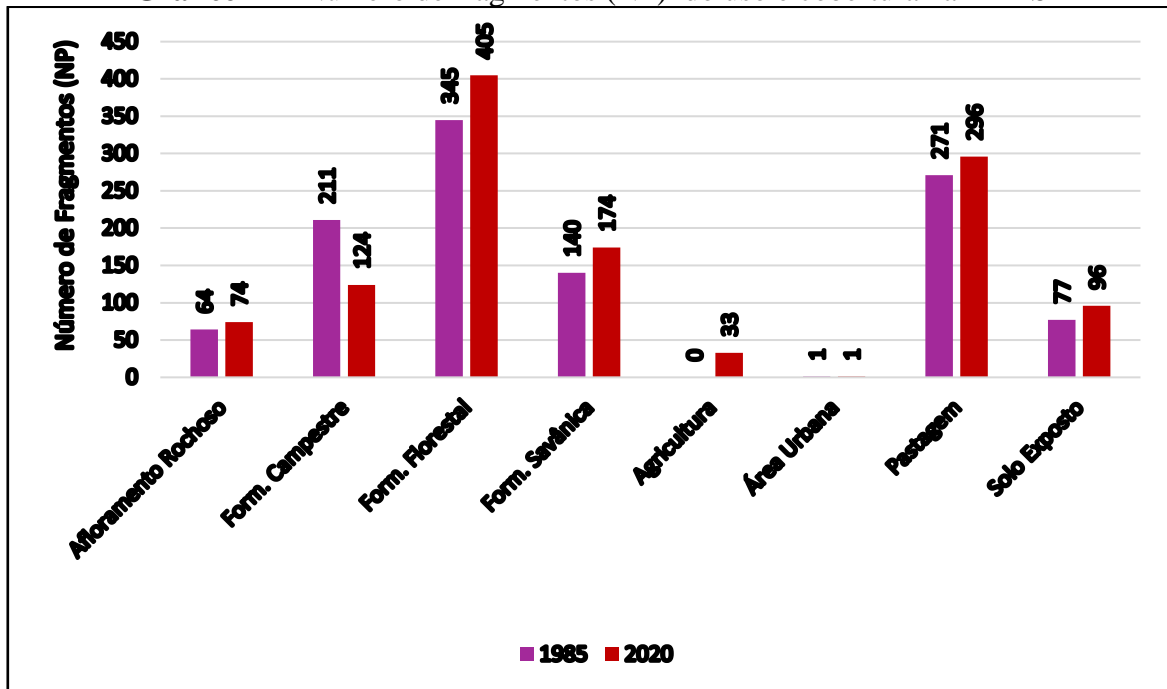
A partir dos dados apresentados (Gráfico 1 e Figura 2), foi possível verificar redução nas áreas ocupadas pela Formação Campestre (6,82%), Formação Florestal (12,54%) e Formação Savânica (8,46%), entre os anos de 1985 e 2020, principalmente devido ao avanço da pastagem, seguida pela agricultura, na bacia do rio Sobrado, e como consequência, ocorreu a diminuição das áreas de cobertura vegetal nas áreas de entorno das cavernas.

A substituição da vegetação nativa por pastagens, principalmente quando se trata do contexto de bacia hidrográfica, pode acarretar mudanças nos regimes hidrológicos e nos níveis freáticos, na qualidade das águas, entre outros (MEDEIROS; ALVES, 2021). No tocante às diversas implicações para o carste, as ações provenientes do desmatamento e da pecuária nesses ambientes podem promover a erosão do solo, a destruição do epicarste e a desertificação rochosa (PARISE; GUNN, 2007).

As alterações decorrentes das dinâmicas de uso da terra ocasionam a fragmentação de remanescentes da vegetação. A ocorrência do processo de fragmentação pode ser identificada por meio da evolução do número de fragmentos (NP) das classes mapeadas (Gráfico 2). Observa-se que houve variação do número de fragmentos em todas as classes relacionadas à cobertura da vegetação nativa.

A análise da métrica NP indica uma dinâmica diferenciada para as três formações vegetais presentes na área estudada. Na Formação Campestre, verifica-se redução entre 1985 e 2020. Já para a Formação Florestal e Formação Savânica, nota-se aumento em relação ao número de fragmentos, entre 1985 e 2020.

Gráfico 2 – Número de fragmentos (NP) do uso e cobertura na BHRS



Fonte: elaborado pelos autores.

Em 1985, a cobertura vegetal apresentava 696 fragmentos, passando para 703 no ano de 2020, demonstrando pequena variação (1,01%). Já em relação às classes de uso antrópico, observa-se que a interferência das atividades humanas na paisagem se consolidou diante do aumento do número de fragmentos comparando os dados entre 1985 e 2020,

Ao correlacionar as informações sobre o número de fragmentos e o somatório da área dos fragmentos (Tabela 1), a bacia do rio Sobrado apresenta maior quantidade de fragmentos com área inferior a 10 hectares, para todas as classes de cobertura vegetal. Porém, ao considerar o somatório da área total dos fragmentos, notou-se que para todas as formações (Florestal, Campestre e Savânica), este valor se destaca para os fragmentos com área superior a 100 hectares, indicando a necessidade de ações que visem a sua conservação.

Para a Formação Florestal, os fragmentos com área menor que 10 hectares demonstraram aumento na comparação entre os anos de 1985 e 2020 (12,67%). Observa-se a ampliação no número de fragmentos com área maior que 100 hectares (13 fragmentos), bem como diminuição do valor da área total desses fragmentos (37,45%), indicando a fragmentação nessa classe. Já para os fragmentos com área entre 10 e 50 hectares, ocorreu aumento da quantidade de fragmentos (22,92%), e do valor do somatório da área total destes (13,80%).



**Tabela 1** – Classes de tamanho e número de fragmentos das formações vegetais na BHRS

Tamanho do fragmento (ha)	Florestal				Campestre				Savânica			
	1985		2020		1985		2020		1985		2020	
	NP	Área total	NP	Área total	NP	Área total	NP	Área total	NP	Área total	NP	Área total
<b>0 a 10 ha</b>	221	1.010,25	249	1.140,30	108	526,68	72	325,17	101	412,83	102	391,32
<b>10 a 50 ha</b>	96	2.204,19	118	2.508,30	66	1.339,29	31	700,11	28	554,49	48	1.068,21
<b>50 a 100 ha</b>	17	1.171,35	14	1.081,62	15	1.095,48	09	636,03	06	411,39	06	462,78
<b>&gt; 100 ha</b>	11	37.881,72	24	23.695,74	22	11.244,33	12	5.019,03	05	39.585,15	18	29.694,78
<b>Total</b>	345	42.267,51	405	28.425,96	211	14.205,78	124	6.680,34	140	40.963,86	174	31.617,09

Fonte: organizada pelos autores.

A comparação dos dados referentes à Formação Campestre, no período entre 1985 e 2020, evidenciou diminuição da quantidade total de fragmentos (41,23%) e redução do somatório da área total para todas as classes. Oliveira e Faria (2021) ressaltam que, a Formação Campestre apresenta a predominância da vegetação herbácea e, por isso, características favoráveis ao processo de conversão dessa cobertura para o uso destinado à pastagem ou à agricultura.

A Formação Savânica, entre 1985 e 2020, teve aumento do número de fragmentos para as classes avaliadas, com destaque para os fragmentos com área superior a 100 hectares (13 fragmentos), indicando a ocorrência do processo de fragmentação e consequente perda de área (24,99%). Apenas a classe com área variando de 50 a 100 hectares manteve estável a quantidade de fragmentos, porém houve aumento no somatório da área total.

Os dados mostram a necessidade de priorizar a conservação dos fragmentos que apresentam áreas maiores, pois têm sido os mais afetados com a expansão das atividades agropecuárias presentes na bacia do rio Sobrado. Ao comparar a área média e a área máxima dos fragmentos, entre 1985 e 2020, verificou-se redução dos valores em todas as classes de cobertura vegetal nativa (Tabela 2).

**Tabela 2** – Comparação da área dos fragmentos por classe entre 1985 e 2020

Classes	1985			2020		
	Média (ha)	Mínima (ha)	Máxima (ha)	Média (ha)	Mínima (ha)	Máxima (ha)
<b>Formação Campestre</b>	67,32	0,09	1.595,52	53,87	0,09	1.205,28
<b>Formação Florestal</b>	122,51	0,09	35.849,25	70,18	0,09	15.998,22
<b>Formação Savânica</b>	292,59	0,09	34.002,9	181,70	0,09	21.508,65

Fonte: organizada pelos autores.

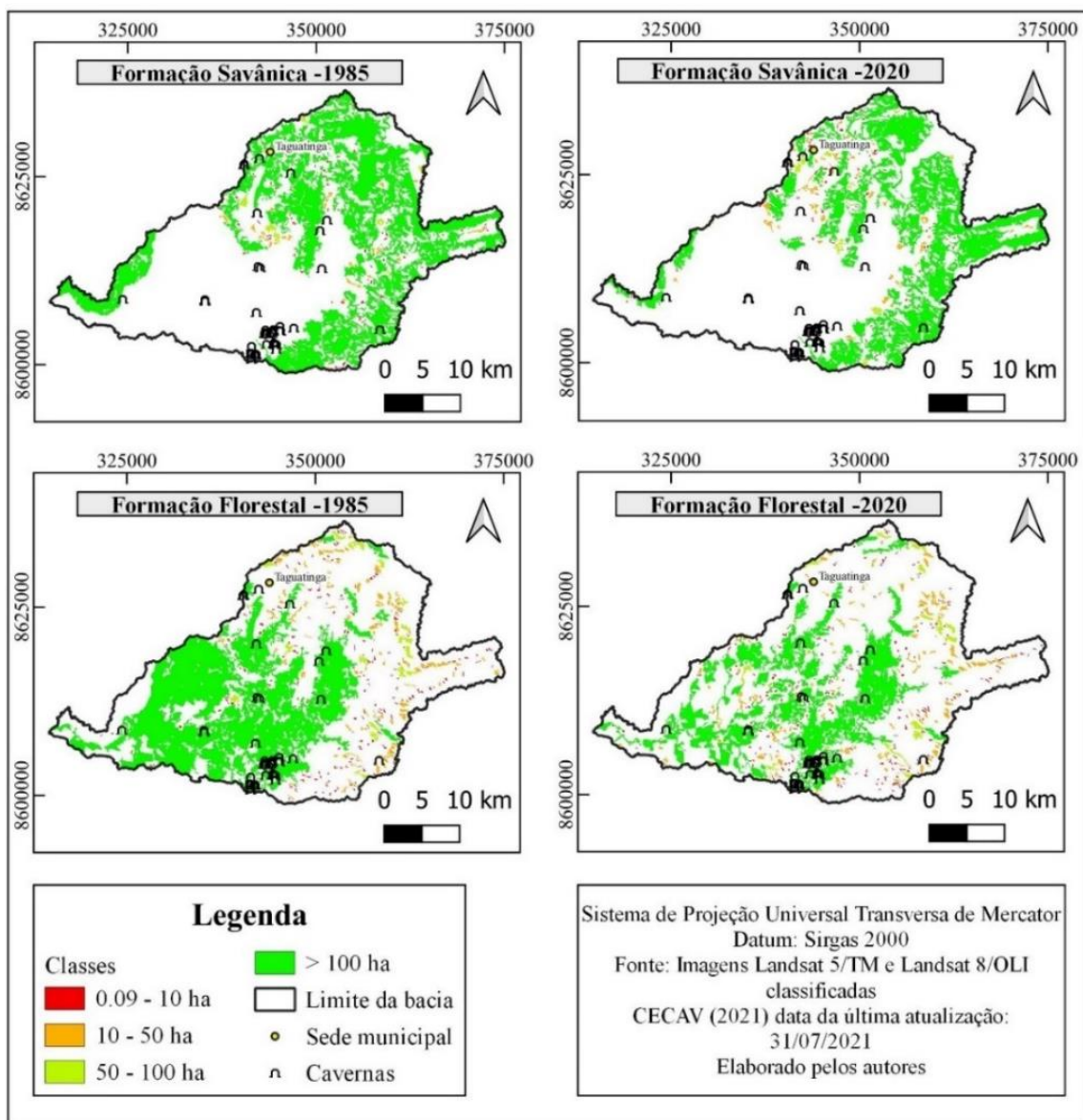
As medidas quantitativas obtidas a partir das métricas da paisagem na área de estudo demonstram que as alterações da estrutura em função das atividades antrópicas têm promovido o processo de fragmentação dos remanescentes da vegetação nativa, pois têm resultado nos efeitos citados por Fahrig (2003): aumento no número de fragmentos e diminuição do tamanho dos fragmentos.

Quanto mais fragmentada a área, maior tende a ser a heterogeneidade da paisagem, implicando aumento das perturbações nesses ambientes (SILVA; SOUZA, 2014). O processo de fragmentação florestal, proveniente das atividades antrópicas, acarreta diversos prejuízos para a conservação da biodiversidade, promovendo o risco de extinções locais, redução da área de *habitat*, redução de recursos, acentuação do efeito de borda, redução da variabilidade genética, entre outros (METZGER *et al.*, 2019).

Um exemplo para a área de estudo é o caso do periquito Tiriba-do-paraná (*Pyrrhura pfrimeri*), espécie endêmica das florestas estacionais, conhecidas como matas secas da bacia do rio Paranã, localizada na divisa entre a região sudeste do Tocantins e nordeste de Goiás (DORNAS *et al.*, 2016). A supressão da cobertura vegetal tem provocado a perda de seu *habitat*, implicando redução de indivíduos, tornando a classificação dessa ave como “ameaçada de extinção” (DORNAS *et al.*, 2017).

Como a vegetação nas proximidades das cavernas é composta predominantemente por Formação Florestal e Savânica, elaborou-se um mapa de avaliação dos fragmentos por tamanho (considerando o valor da área) em sobreposição à localização das cavernas, para os anos de 1985 e 2020 (Figura 3).

**Figura 3** – Mapa de avaliação dos fragmentos por tamanho (área) e sobreposição com a localização das cavernas



Fonte: elaborada pelos autores.

Para o mapa de fragmentos da Formação Florestal (Figura 3), constatou-se que, em 1985, havia fragmentos com área superior a 100 hectares nas áreas de entorno das cavernas. Porém, no

decorrer dos anos analisados, ocorreu a fragmentação dessa classe de vegetação, corroborada pela modificação do tamanho dos fragmentos próximos às cavernas, variando entre as classes de 10 a 50 hectares e de 50 a 100 hectares.

Convém ressaltar que, para a Formação Savânica, o mapa indica aumento do número de fragmentos na área de estudo. Ao sobrepor a localização das cavernas, foi possível observar que o tamanho da área dos fragmentos no entorno destas foi reduzido no período analisado. Isso demonstra a necessidade de avaliar os fragmentos próximos à área das cavernas, a fim de considerá-los como prioritários para conservação.

As modificações na cobertura vegetal da superfície podem afetar o ambiente subterrâneo, principalmente nas áreas externas às cavernas (exocarste), tendo em vista que são diversas as vantagens da sua conservação, entre elas, a manutenção da fonte de alimentos para a fauna cavernícola, fornecimento de detritos orgânicos transportados para o ambiente hipógeo, controle das condições microclimáticas, retenção de água e prevenção de processos erosivos (SCHNEIDER; CHRISTMAN; FAGAN, 2011).

Como a área de estudo está inserida em um ambiente cárstico, os impactos ocorridos no meio externo influenciam diretamente o ecossistema subterrâneo, pois as comunidades cavernícolas são compostas por diferentes espécies, as quais possuem grande interação entre si e o ambiente da caverna (FERREIRA, 2013).

Os ecossistemas cavernícolas, em sua maioria, dependem de insumos alóctones, que são transportados pela água, pelo vento, pela gravidade ou por animais que transitam entre as cavernas e o ambiente externo, demonstrando a dependência do ecossistema da superfície para obter recursos alimentares e manter toda essa comunidade (SCHNEIDER; CHRISTMAN; FAGAN, 2011).

As cavernas apresentam papel relevante para o equilíbrio dos ecossistemas em que estão inseridas, pois impactos ambientais resultantes de fatores naturais ou antrópicos em sua área de ocorrência podem causar sérios danos. Tais ambientes tornam-se altamente suscetíveis aos impactos, principalmente no que concerne a intensidade destes, tendo em vista que reduzem a capacidade de reestruturação das comunidades cavernícolas, inclusive levando à extinção de espécies (FERREIRA, 2013).

## **Considerações Finais**

Os dados obtidos a partir da elaboração do mapa de uso e cobertura da terra, para avaliar a dinâmica da estrutura da paisagem para um período de 35 anos (1985-2020), revelaram redução da cobertura vegetal nativa, que, em 1985, representava 88,31% e passou a ocupar 60,49%, em 2020. Isso ocorreu devido ao avanço das atividades antrópicas, com destaque para as pastagens, que expandiram sua área de ocupação em 22,16% no período avaliado.

A Formação Florestal foi a que teve maior redução de área, em comparação às demais formações presentes. A visualização da dinâmica de uso e cobertura da terra mostrou avanço das atividades antrópicas na área entorno das cavernas.

O uso das métricas, sob a abordagem da Ecologia da Paisagem, permitiu analisar as mudanças na estrutura da paisagem para o período supracitado e indicou aumento do número de fragmentos para Formação Savânica e Formação Florestal, evidenciando um processo de fragmentação. Já para a Formação Campestre ocorreu a diminuição da quantidade de fragmentos e redução da área de ocupação destes, demonstrando a sua substituição por outras formas de uso.

As classes que apresentaram maior processo de fragmentação foi a Formação Savânica, seguida da Formação Florestal, pois em todos os anos avaliados, ampliou-se a quantidade de fragmentos, principalmente para aqueles com área superior a 100 hectares, e redução da área total, indicando a fragmentação e a conseqüente substituição por outro uso.

Como a Formação Savânica e Formação Florestal apresentam o maior percentual de ocupação da cobertura vegetal na área da bacia, torna-se importante o monitoramento desse processo de fragmentação. Isso demonstra a necessidade de projetos de conservação tanto dos fragmentos maiores quanto dos fragmentos menores, principalmente daqueles situados na área entorno das cavernas, devido ao serviço ecossistêmico que exercem, e a inclusão dos fragmentos pertencentes à Formação Campestre.

Diante disso, percebe-se que a preservação da vegetação em paisagens cársticas é imprescindível para a manutenção da biodiversidade e serviços ecossistêmicos. A metodologia utilizada apresenta contribuição relevante para estudos ambientais, com informações que possibilitam compreender o comportamento espacial das atividades antrópicas presentes, permitindo assim, a definição de áreas prioritárias para a implementação de ações de planejamento e políticas ambientais, para a conservação da paisagem.

## Referências

CECAV – Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas. **Anuário Estatístico do Patrimônio Espeleológico Brasileiro 2020**. 2021. Disponível em: <https://www.icmbio.gov.br/cecav/destaques/90-anuario-estatistico-do-patrimonio-espeleologico-brasileiro-2018.html>. Acesso em: 22 mar. 2021.

CECAV – Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas. **Áreas Prioritárias para a Conservação do Patrimônio Espeleológico**. Brasília: ICMBio – MMA, 2018.

DORNAS, T. *et al.* Geophagy in Pffrimer's Parakeet (*Pyrrhura pffrimeri*), a critically threatened and endemic parakeet of dry forests in Central Brazil. **Ornitología Neotropical**, n. 27, p. 247-251, 2016.

DORNAS, T. *et al.* Proposta de alteração dos nomes vernáculos técnicos em português e inglês de duas aves endêmicas do Brasil: *Pyrrhura pffrimeri* (Psittaciformes: psittacidae) e *Celeus obrieni* (Piciformes: Picidae). **Atualidades Ornitológicas**, n. 196, p. 8-13, 2017.

FAHRIG, L. Effects of Habitation Fragmentation on Biodiversity. **Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.**, n. 34, p. 487-515, 2003.

FARIA, K. M. S. de; SILVA, E. V. da. Dinâmica das paisagens antropogênicas na microrregião do vão do Paranã (GO). **Rev. Geogr. Acadêmica**, v. 14, n. 2, p. 141-152, 2020.

FERREIRA, C. F. **Análise dos impactos ambientais em terrenos cársticos e cavernas**. IV Curso de Espeleologia e Licenciamento Ambiental. Brasília: Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio), p. 123-148, 2013.

GOMES, M.; RUCHKYS, U. de A. Geoscapes: a ecologia da paisagem no âmbito dos estudos sobre patrimônio espeleológico em geossistemas ferruginosos. In: RIBEIRO, S. M. C. *et al.* (org.). **Ecologia da paisagem no contexto luso-brasileiro**. Curitiba: Appris, 2021. p. 215-233. v. 2.

HARDT, R. Sistema cárstico e impactos antrópicos: considerações sobre o manejo. In: SIMPÓSIO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA DO ESTADO DE SÃO PAULO, 1., 2008, Rio Claro – SP. **Anais [...]**. São Paulo: UNESP, 2008. p. 1295-1309.

HOU, W.; GAO, J. Spatially variable relationships between Karst Landscape pattern and vegetation activities. **Remote Sens**, v. 12, p. 1-16, 2020.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Informações ambientais: Geologia, Geomorfologia, Pedologia e Vegetação**. 2020. Disponível em: <https://bdiaweb.ibge.gov.br/#/home>. Acesso em: 25 fev. 2021.

KLINK, C. A.; MACHADO, R. B. A conservação do Cerrado brasileiro. **Megadiversidade**, v. 5, n. 1, 2005.

LANDIS, J. R.; KOCH, G. G. The measurement of observer agreement for categorical data. **Biometrics**, v. 33, n. 1, p. 159-174, 1977.

MCGARIGAL, K.; MARKS, B. J. **Fragstats**: Spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. U.S. Forest Service General Technical Report PNW: 351. Portland, OR USA, 1995.

MEDEIROS, R. B.; ALVES, L. B. Uso e cobertura das terras na bacia hidrográfica do Córrego Taquaral, Bonito, Mato Grosso do Sul. **Caderno Prudentino de Geografia**, Presidente Prudente, v. 3, n. 43, p. 224-247, 2021.

METZGER, J. P. **O que é ecologia de Paisagens?** 2001. Disponível em: <http://www.biotaneotropica.org.br/v1n12/pt/abstract?thematic-review+BN00701122001>. Acesso em: 1 jun. 2020.

METZGER, J. P. *et al.* Why Brazil needs its Legal Reserves. **Perspectives in Ecology and Conservation**, n. 17, p. 91-103, 2019.

MORAIS, F. de. Caracterização Geomorfológica da Região de Aurora do Tocantins, Brasil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 14, n. 2, p. 163-170, 2013.

OLIVEIRA, R. B. de; FARIA, K. M. S. de. Análise multitemporal da dinâmica da paisagem na bacia hidrográfica do rio Tocantinzinho-Goiás. **Revista Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 22, n. 81, p. 74-87, 2021.

PARISE, M.; GUNN, J. Natural and Anthropogenic Hazards in Karst Areas: Recognition, Analysis and Mitigation. **Geological Society**, London, Special Publications, n. 279, p. 1-3, 2007.

SCHNEIDER, K.; CHRISTMAN, M. C.; FAGAN, W. F. The influence of resource subsidies on cave invertebrates: results from an ecosystem-level manipulation experiment. **Ecology**, v. 92, n. 3, p. 765-776, 2011.

SILVA, K. G. da *et al.* Análise da dinâmica espaço-temporal dos fragmentos florestais da sub-bacia hidrográfica do Rio Alegre, ES. **CERNE**, v. 21, n. 2, p. 311-318, 2015.

SILVA, M. do S. F. da; SOUZA, R. M. e. Padrões espaciais da fragmentação florestal na Flona do Ibura – Sergipe. **Mercator**, Fortaleza, v. 13, n. 3, p. 121-137, set./dez. 2014.

SOUZA, T.; AULER, A. (org.). **O Carste de Vazante-Paracatu-Unai**: revelando importâncias, recomendando refúgios. Belo Horizonte: Carste, Ciência e Meio Ambiente, 2018.

SOUZA, J. C. de; MARTINS, P. T. de A.; DRUCIANKI, V. P. Uso e cobertura do solo no Cerrado: panorama do período de 1985 a 2018. **Élisée**, Rev. Geo. UEG-Goiás, v. 9, n. 2, p. 1-15, jul./dez. 2020.

USGS – United States Geological Survey. **Landsat Collection 1**. 2019. Disponível em: [https://www.usgs.gov/core-science-systems/nli/landsat/landsat-collection-1?qt-science\\_support\\_page\\_related\\_con=1#qt-science\\_support\\_page\\_related\\_con](https://www.usgs.gov/core-science-systems/nli/landsat/landsat-collection-1?qt-science_support_page_related_con=1#qt-science_support_page_related_con). Acesso em: 5 ago. 2021.

WILLIAMS, P. W. Karst Terrains, Environmental Changes and Human Impact: Cremlingen-Destedt, Germany. **Catena Supplement**, n. 25, 1993.

Recebido para publicação em dezembro de 2022.

Aprovado para publicação em agosto de 2023.