

DIAGNÓSTICO GEOECOLÓGICO DA PAISAGEM CÁRSTICA DA BACIA DO RIO SOBRADO, SUDESTE DO TOCANTINS

GEOECOLOGICAL DIAGNOSIS OF THE KARST LANDSCAPE OF THE SOBRADO RIVER WATERSHED, SOUTHEAST OF TOCANTINS

DIAGNÓSTICO GEOECOLÓGICO DEL PAISAJE KÁRSTICO DE LA CUENCA DEL RÍO SOBRADO, SURESTE DE TOCANTINS

Heloisa Rodrigues Nascimento¹

Fernando de Moraes²

Resumo: As paisagens cársticas são detentoras de beleza singular e importantes recursos naturais. As diversas formas de ocupação desse ambiente de alta fragilidade ambiental exigem planejamento integrado devido aos impactos negativos. Para compreender a estrutura e a dinâmica dessas paisagens, a Geoecologia da Paisagem apresenta-se como um modelo teórico e metodológico, visto que analisa a interação entre a dinâmica natural e a social. Este artigo objetivou elaborar o diagnóstico geoecológico para a paisagem cárstica da bacia hidrográfica do rio Sobrado, sudeste do Tocantins. A elaboração do diagnóstico consistiu em três etapas: 1) organização dos temas e das características físico-naturais; 2) análise dos fatores geoecológicos e da compartimentação das unidades; 3) diagnóstico de acordo com os níveis de ocupação da terra. Foram identificadas 37 unidades geoecológicas. A partir da sobreposição do mapa de unidades com o mapa exploratório de fenômenos cársticos, verificou-se que 12 unidades apresentam feições cársticas em sua abrangência, com características que retratam a presença de rochas do Grupo Bambuí, solos mais suscetíveis à ocorrência de processos erosivos e avanço das pastagens sobre a vegetação nativa. Por outro lado, ainda predominam remanescentes das formações savânicas e formações florestais vinculadas à existência de maciços de afloramento de rochas carbonáticas, matas ciliares e áreas com relevo movimentado. Assim, as informações obtidas servirão de subsídio para a implantação de planejamento e gestão ambiental sustentável em face do atual cenário identificado.

Palavras-chave: Carste; Cavernas; Unidades geoecológicas.

Abstract: The karst landscapes hold unique beauty and essential natural resources. The various forms of occupation in this high fragility environment require integrated planning due to the negative impacts. The geoecology of landscape presents itself as a theoretical and methodological model to understand the structure and dynamics of these landscapes since it analyzes the interaction between natural and social dynamics. This paper aimed to elaborate on

¹ Doutoranda em Ciências do Ambiente pela Universidade Federal do Tocantins. Palmas/TO. Professora do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins (IFTO), Campus de Palmas/TO. E-mail: heloisa@ifto.edu.br. Lattes iD: <http://lattes.cnpq.br/3686185433364679> Orcid iD: <https://orcid.org/0000-0002-1478-5000>

² Professor Associado IV da Universidade Federal do Tocantins (UFT), Campus de Porto Nacional/TO. E-mail: morais@mail.uft.edu.br. Lattes iD: <http://lattes.cnpq.br/2925654570470585> Orcid iD: <https://orcid.org/0000-0002-0311-3823>

the geocological diagnosis of the karst landscape in the watershed of the Sobrado River, southeast of Tocantins. The elaboration of the diagnosis consisted of three stages: 1) organization of the themes and the physical-natural characteristics; 2) analysis of the geocological factors and the compartmentalization of the units; 3) diagnosis of according to the levels of land occupation. Thirty-seven geocological units were identified. The overlay of landscape units map to karst phenomena exploratory map one resulted in 12 units with karstic features in their scope, with characteristics that portray the presence of Bambuí Group rocks, soils more susceptible to erosive processes, and pasture advance over native vegetation. On the other hand, remnants of savanic formations and forest formations linked to massive outcroppings of carbonate rocks, riparian vegetation, and areas with rugged relief still predominate. Therefore, the information obtained will serve as a subsidy for implementing planning and sustainable environmental management given the current scenario.

Keywords: Karst; Caves; Geocological units.

Resumen: Los paisajes kársticos son detentores de belleza singular e importantes recursos naturales. Las diversas formas de ocupación de este ambiente de alta debilidad ambiental exigen planificación integrada debido a los impactos negativos promovidos. Para comprender la estructura y la dinámica de esos paisajes, la Geología del Paisaje se presenta como un modelo teórico y metodológico adecuado, puesto que analiza la interacción entre la dinámica natural y la social. Este artículo tuvo como objetivo elaborar el diagnóstico geológico para el paisaje kárstico de la cuenca hidrográfica del río Sobrado, sureste de Tocantins. La elaboración del diagnóstico consistió en tres etapas: 1) organización de los temas y de las características físico-naturales abordadas; 2) análisis de los factores geocológicos y de la compartimentación de las unidades; 3) diagnósticos de las unidades de acuerdo con los niveles de ocupación de la tierra. Fueron identificadas 37 unidades geocológicas del paisaje. A partir de la sobreposición del mapa de unidades del paisaje con el mapa exploratorio de fenómenos kársticos, se verificó que 12 unidades presentan rasgos kársticos en su cobertura, con características que retratan la presencia de rocas del grupo Bambuí, suelos más susceptibles a la ocurrencia de procesos erosivos y al avance de los pastos sobre la vegetación nativa. Por otro lado, todavía predominan reminiscentes de las formaciones de la sabana y formaciones forestales vinculadas a la existencia de macizos de afloramiento de rocas carbonatadas, bosques ciliares y áreas con relieve de movimiento. Frente a esto, las informaciones obtenidas servirán de subvención para la implantación de planificación y gestión ambiental sostenible a luz del actual escenario identificado, considerando sus debilidades.

Palabras clave: Karst; Cueva; Unidades geocológicas

Introdução

As paisagens estão em constante transformação, seja por ação de fatores naturais ou devido a intervenções humanas que alteram o estado de equilíbrio e influenciam diretamente na qualidade ambiental (CAVALCANTI, 2018).

O estudo da paisagem sob a lógica sistêmica tem sido amplamente utilizado em pesquisas de caráter ambiental, uma vez que a realização da análise integrada de seus componentes, propicia subsídios para o planejamento ambiental e territorial (RODRIGUEZ; SILVA, 2002).

Nesse sentido, a Geocologia da Paisagem representa um arcabouço teórico e metodológico para o estudo das paisagens e permite a compreensão sistêmica e integrada das inter-relações entre a dinâmica natural e social. Para isso, emprega procedimentos técnicos e operacionais que permitem identificar forma, estrutura e função paisagística (RODRIGUEZ; SILVA; CAVALCANTI, 2022).

A abordagem geocológica utiliza ferramentas da cartografia para identificar, classificar e mapear as unidades da paisagem, pois representam uma síntese dos elementos e dos processos que a constituem, definindo a homogeneidade relativa que há nesses espaços (SALINAS CHÁVEZ *et al.*, 2013; CAVALCANTI, 2018).

O diagnóstico geocológico das unidades de paisagem identifica as principais fragilidades ambientais, valor e estado de preservação da área de estudo, níveis de transformação e ocupação da terra e permite, assim, conhecer as variáveis responsáveis pela sua dinâmica e proposição de formas mais adequadas para apropriação dos espaços, bem como organização e planejamento sustentável dos territórios e valorização das qualidades paisagísticas (TEIXEIRA; SILVA; FARIAS, 2021; ARAGÃO; SILVA, 2022).

Entre as paisagens que necessitam de estudos sistêmico no Brasil, destacam-se as paisagens cársticas. Estes locais apresentam um conjunto de feições típicas como maciços rochosos, drenagem subterrânea, dolinas, sumidouros, surgências, além das cavernas, que preservam importantes registros arqueológicos e paleontológicos, além de abrigar, em muitos casos, várias espécies endêmicas (SOUZA; AULER, 2018).

Entretanto, diversas intervenções humanas têm promovido ações de degradação e transformação do carste, incluindo extração mineral, desmatamento, atividades agropecuárias, descarte de lixo, turismo em cavernas, entre outros (DE WAELE, 2009).

As paisagens cársticas são complexas, pois diversos sistemas superficiais e subterrâneos estão em conexão. Destacam-se entre os ambientes naturais com alto nível de fragilidade, por isso demandam abordagem sistêmica das ameaças que podem impactar recursos e serviços ecossistêmicos fornecidos por esse ambiente (PILO; CRUZ, 2022).

Nessa perspectiva, o diagnóstico de bacias hidrográficas inseridas em ambientes cársticos tem o potencial de fornecer subsídios para planejamento ambiental e territorial dessas áreas, que frequentemente se encontram sob pressão das atividades antrópicas (MEDEIROS; CHÁVEZ, 2021; MEDEIROS, 2022; MEDEIROS *et al.*, 2022).

O objetivo do artigo é elaborar o diagnóstico geocológico das unidades de paisagens com a presença de feições cársticas da bacia hidrográfica do rio Sobrado (BHRS), a fim de

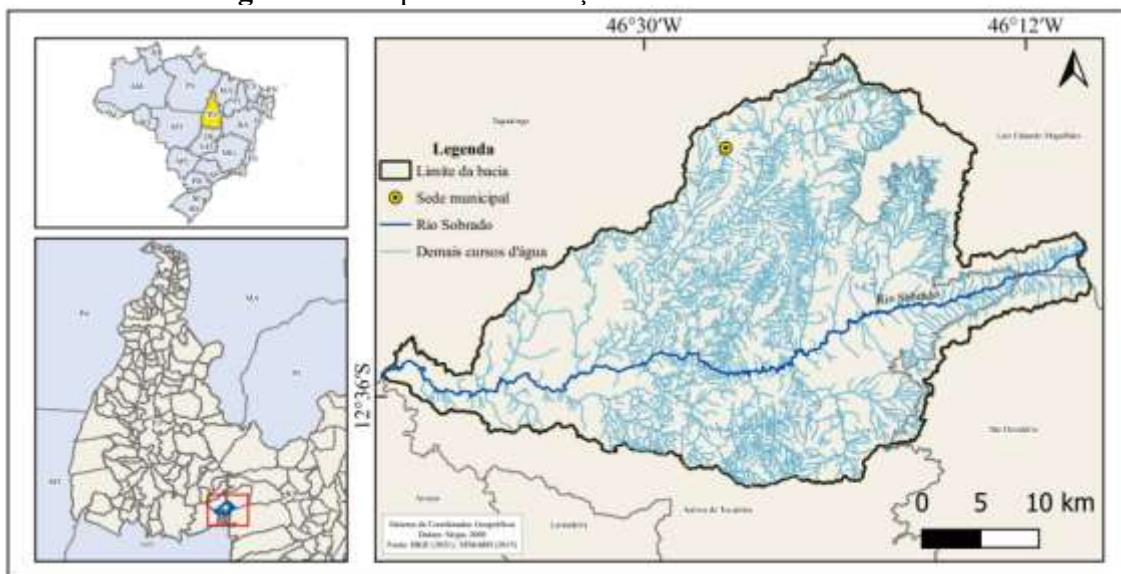
conhecer suas principais potencialidades e fragilidades e, assim, utilizar tais informações como subsídio para o planejamento ambiental.

Na presente pesquisa, optou-se por adotar a abordagem da Geoecologia da Paisagem para a análise da bacia hidrográfica do rio Sobrado (BHRS), situada na região sudeste do Tocantins, que, além de representar uma importante fonte de recursos hídricos, possui áreas cársticas na sua abrangência desenvolvidas em rochas carbonáticas do Grupo Bambuí (MORAIS, 2012).

Área de Estudo

A bacia hidrográfica do rio Sobrado (BHRS) está localizada na região sudeste do Tocantins (Figura 1). A área corresponde a 1.103,26 km² e abrange quatro municípios, dois deles localizados no estado do Tocantins: Taguatinga (56,48%) e Aurora do Tocantins (31,24%); e uma pequena parte em dois municípios no estado da Bahia: Luís Eduardo Magalhães (8,94%) e São Desidério (3,34%).

Figura 1 – Mapa de localização da bacia do rio Sobrado



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

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 Urucuaia, 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).

A vegetação da área constitui-se de savana arborizada, savana parque, floresta estacional decidual e floresta estacional semidecidual (IBGE, 2020).

A área apresenta latossolo vermelho-amarelo, neossolo litólico, neossolo quartzarênico, gleissolo háplico, cambissolo háplico, nitossolo vermelho, além da presença de afloramento rochosos, com destaque para aqueles carbonáticos, que hospeda a maioria das feições cársticas (IBGE, 2020).

Na área de abrangência da BHRS, há 51 cavernas, 12 delas localizadas no município de Taguatinga, e 39, no município de Aurora do Tocantins (CECAV, 2022).

A BHRS situa-se na região indicada pelo Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas (CECAV), no ano de 2018, como área prioritária para a conservação do patrimônio espeleológico, considerando características do meio físico, biótico e histórico-cultural (CECAV, 2018).

Procedimentos Metodológicos

A metodologia para a elaboração do mapa síntese das unidades da paisagem da bacia do rio Sobrado foi baseada na fundamentação teórico-metodológica da Geoecologia da Paisagem, conforme proposta de Rodriguez, Silva e Cavalcanti (2022), dividida em três etapas: organização e inventário, análise e diagnóstico. Esses procedimentos são essenciais para análise, compreensão, diagnóstico, planejamento e gestão das paisagens.

A etapa de organização e inventário compreendeu levantamento bibliográfico e de dados cartográficos dos temas que caracterizam os aspectos físico-naturais da paisagem da bacia do rio Sobrado.

Os dados cartográficos vetoriais sobre a área de estudo foram: Geomorfologia, Geologia e Pedologia, no formato *shapefile* (.shp), produzidos pelo IBGE, na escala 1:250.000, e disponibilizados pelo Banco de Informações Ambientais (BDiA), versão 2.7.0. Para tanto, utilizou-se o *software* QGIS para organização e elaboração dos mapas temáticos.

Os dados altimétricos (declividade e hipsometria) foram coletados a partir das imagens SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), obtidas na página do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais).

O mapa de uso e cobertura da terra foi elaborado no *software* SPRING a partir de imagens do satélite Landsat 5/TM para o ano de 1985 (órbita/ponto 220/69 de 23/06/1985;

221/69 de 30/06/1985) e Landsat 8/OLI (órbita/ponto 220/69 07/06/2020; 221/69 de 14/06/2020) para o ano de 2020. 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* e inserida no *software* QGIS, a fim de realizar conferência das classes e algumas correções.

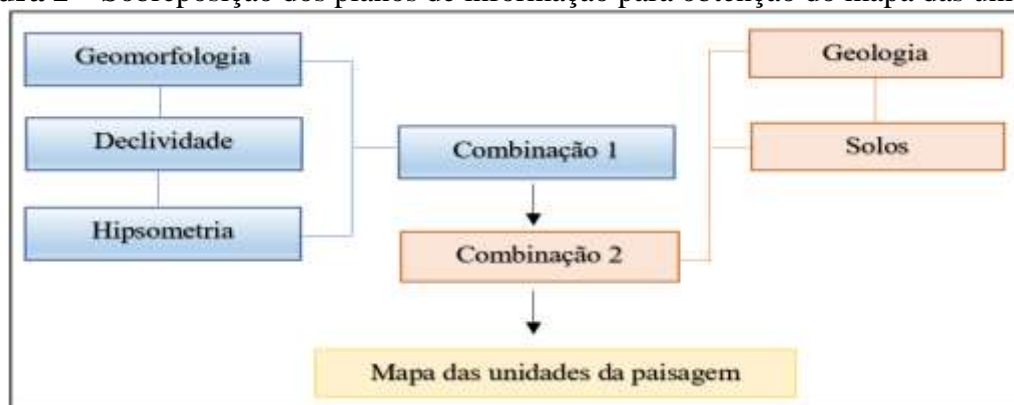
As classes selecionadas para a elaboração do mapa de uso e cobertura da terra da bacia do rio Sobrado foram: Afloramento Rochoso, Agricultura, Área Urbana, Formação Campestre, Formação Florestal, Formação Savânica, Pastagem e Solo Exposto.

Para a elaboração do mapa das unidades da paisagem da bacia do rio Sobrado, utilizou-se a abordagem tipológica, que, segundo Martinelli e Pedrotti (2001), consiste na distinção das unidades por meio da sua semelhança (homogeneidade) e repetição, fundamental para a compreensão da estrutura da paisagem.

A metodologia para a síntese cartográfica das unidades de paisagem teve como base as propostas apresentadas por Martinelli e Pedrotti (2001), Salinas Chávez *et al.* (2013) e Cavalcanti (2018), os quais usaram o enfoque em que os conjuntos espaciais, por apresentarem características semelhantes, foram agrupados em unidades da paisagem.

A etapa de análise pautou-se na verificação das condições geoambientais da bacia do rio Sobrado, a partir da observação de cada tema selecionado na etapa anterior. Para tanto, foi necessário uniformizar as escalas para análise e, posteriormente, compartimentar as unidades da paisagem.

Para definição das unidades de paisagem, foram utilizados os dados de geomorfologia, declividade e hipsometria, os quais foram inseridos no *software* ArcGis, e realizaram-se os procedimentos para sobreposição dos dados do primeiro nível do mapa, para definir as unidades de relevo. Em seguida, obteve-se o segundo nível de unidades da paisagem, resultado da combinação dos dados de geologia e solos. Por fim, o mapa de unidades da paisagem foi produzido a partir da sobreposição entre o primeiro e segundo nível das unidades da paisagem (Figura 2).

Figura 2 – Sobreposição dos planos de informação para obtenção do mapa das unidades

Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

A etapa de diagnóstico consistiu na análise das unidades geológicas da paisagem, a partir das informações sobre as suas características físico-naturais. Além disso, foi realizada a sobreposição do mapa de unidades geológicas da paisagem com o mapa exploratório de fenômenos cársticos, a fim de identificar as unidades com a presença de feições cársticas.

Em seguida, realizou-se a análise multitemporal de uso e cobertura da terra dessas unidades para os anos de 1985 e 2020. A partir dos resultados, foi elaborado um quadro síntese com limites e potencialidades compatíveis com as características identificadas.

As unidades foram nomeadas considerando os dados de relevo (modelado geomorfológico, declividade e hipsometria), seguido das características referentes à geologia e solos. Às unidades com dados de relevo semelhantes, diferenciando-se apenas da geologia e/ou tipos de solos, adicionou-se uma identificação textual (a, b, c). E, para as unidades geológicas com repetição, acrescentou-se mais um algarismo arábico.

A elaboração do mapa exploratório de fenômenos cársticos foi referenciada no trabalho desenvolvido por Travassos (2010). Inicialmente, foram adquiridas duas cenas das imagens do satélite CBERS-4A, câmera WPM (multiespectral e pancromática de ampla varredura): 205/129 (26/07/2021) e 206/129 (21/07/2021), necessárias para abranger a área de estudo (INPE, 2021).

As bandas espectrais 1, 2, 3 e 4 foram inseridas no *software* QGIS 3.16.10, em seguida, realizou-se o empilhamento a partir da geração da composição colorida. Depois, utilizou-se a ferramenta *pansharpening* para o procedimento de fusão, o qual consiste em integrar a essas bandas a imagem pancromática de alta resolução espacial, resultando numa imagem colorida com resolução espacial de 2 metros.

A base de dados geoespacializados de cavidades naturais subterrâneas do CECAV foi usada para identificação das cavernas (formas endocársticas). Adicionou-se a representação das formações geológicas presentes na área de estudo, disponibilizada pelo IBGE (2020) na escala 1:250.000, bem como a rede de drenagem da bacia.

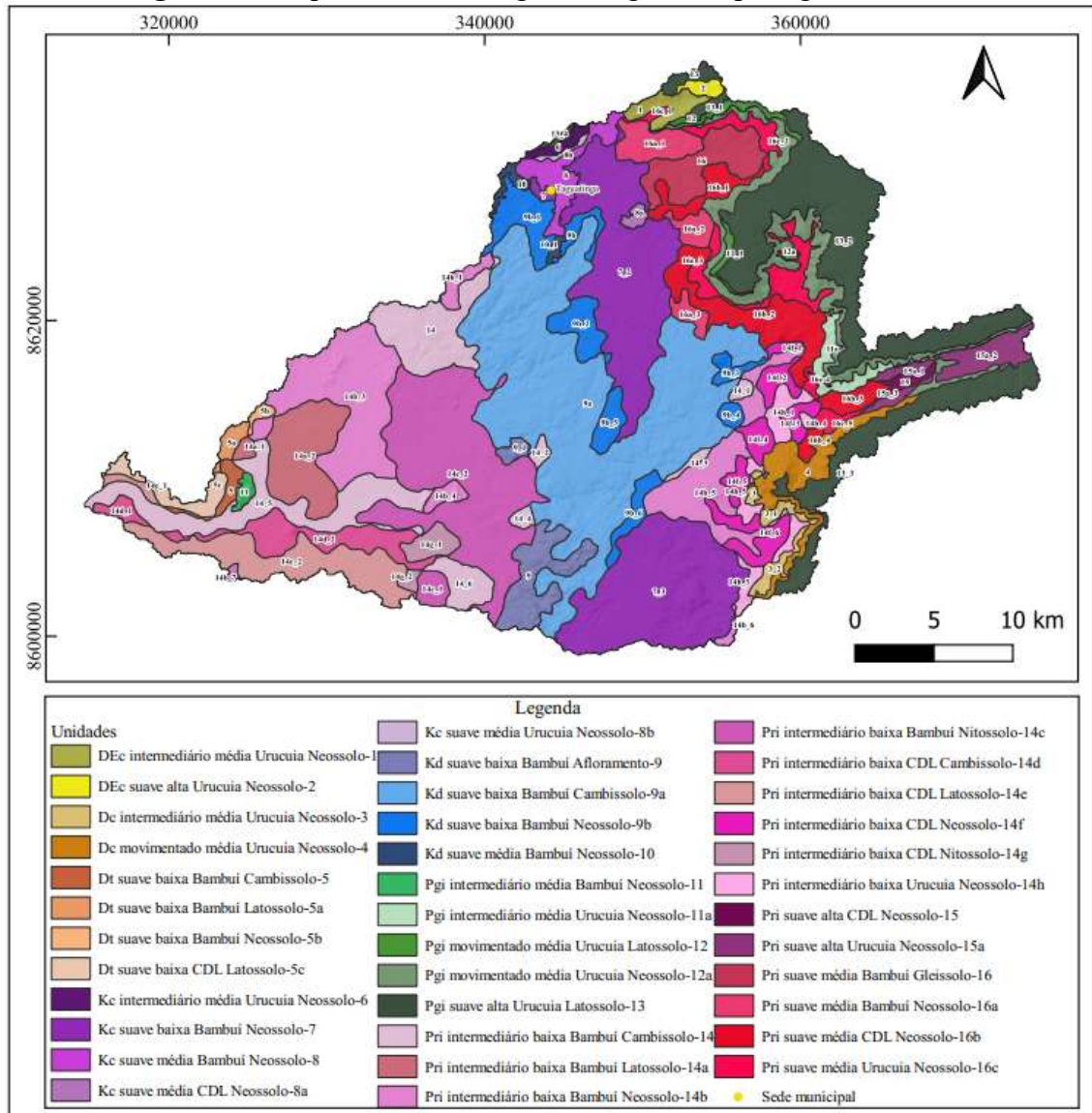
A partir da sobreposição dos dados à imagem, foi realizada a vetorização das feições cársticas (dolinas, poljés, humes e outros) com base na interpretação visual e nas informações coletadas em trabalho de campo.

A primeira etapa do trabalho de campo (setembro/2021) consistiu na identificação das classes de uso e cobertura da terra. Além dessa, foram realizadas mais duas visitas de campo (outubro/2022 e novembro/2022) com a finalidade de identificar a existência de feições cársticas presentes na área. Foram visitados 198 pontos, distribuídos por toda a BHRS, seguindo a metodologia do caminhamento livre (CAVALCANTI, 2018).

Resultados e Discussões

Na identificação e na delimitação das unidades geológicas da paisagem da bacia do rio Sobrado, consideraram-se os aspectos físico-naturais, distinguindo-se 37 unidades (Figura 3).

Figura 3 – Mapa das unidades geocológicas da paisagem da BHRS

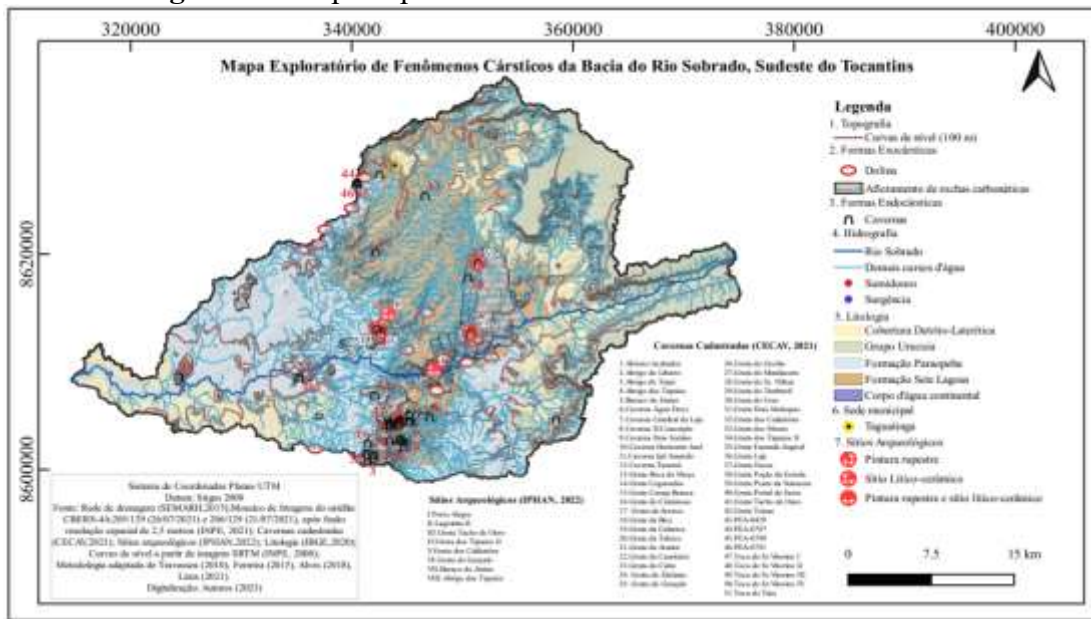


Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Após realizar a sobreposição do mapa de unidades com o mapa exploratório de fenômenos cársticos, foi possível identificar a presença de feições cársticas em 12 unidades, sendo elas: 3, 5, 7, 9, 9a, 9b, 10, 11, 14, 14b, 14c e 16a.

O mapa exploratório de fenômenos cársticos aponta a diversidade de feições presentes no âmbito da bacia do rio Sobrado, como: dolinas, sumidouro, surgência e maciços de afloramento de rochas carbonáticas (Figura 4). Entre as 51 cavernas presentes, seis delas foram consideradas pelo IPHAN (2022) como patrimônio histórico-cultural. Além de possuir a presença de dois sítios arqueológicos lito-cerâmicos denominados Lagoinha II e Porto Alegre (IPHAN, 2022).

Figura 4 – Mapa exploratório de fenômenos cársticos da BHRS



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

A elaboração do diagnóstico geológico de uma paisagem precisa contemplar o entendimento de sua estrutura e dinâmica, tendo em vista que a paisagem é reflexo da manifestação de aspectos físico-naturais e humanos, em constante interação, e que possuem ações interativas variáveis no tempo e no espaço (OLIVEIRA; SOUZA, 2013). O Quadro 1 apresenta o diagnóstico da paisagem cárstica da BHRS.

Quadro 1 – Diagnóstico das unidades geológicas da paisagem da BHRS

Unidade geológica	Alterações no uso e na cobertura entre 1985 e 2020	Limites	Potencialidades	Feição cárstica
Dc Intermediário Média Uruçuia Neossolo – 3	Predomina, nessa unidade, a cobertura vegetal que se manteve estável na comparação entre 1985 e 2020, sem presença de intervenção humana.	A remoção da vegetação e a combinação do fator declividade e o tipo de solos podem acelerar a ocorrência de erosão.	Preservação da vegetação a fim de proteger o solo, os recursos hídricos e a biodiversidade.	Uma cavidade, denominada do Abrigo do Libarro.
Dt Suave Baixa Bambuí Cambissolo – 5	Em 1985, predominava a cobertura vegetal. Em 2020, ocorreu a conversão de áreas de vegetação para pastagem, que atualmente ocupa 42,35% da área.	O tipo de solo apresenta alta suscetibilidade à erosão e necessita de técnicas aplicadas e manejo adequado da terra para execução de atividades agropecuárias.	Práticas sustentáveis para a agropecuária. Manutenção da vegetação a fim de proteger o solo, processos cársticos, recursos hídricos e biodiversidade.	Maçio de afloramento de rochas carbonáticas.
Kc Suave Baixa Bambuí Neossolo – 7	No período compreendido entre 1985 e 2020, ocorreu redução das áreas de cobertura vegetal e conversão para a área urbana e pastagem, que juntos representam 41,21% do uso atual, porém ainda predomina 50% de vegetação nativa na unidade.	O tipo de solo apresenta alta suscetibilidade à ocorrência de processos erosivos e limitações para uso agrícola.	Práticas sustentáveis para a agropecuária. Manutenção da cobertura vegetal a fim de proteger o solo, processos cársticos, recursos hídricos e biodiversidade.	Uma cavidade, denominada Gruta do Grotão, uma dolina, além de maciços de afloramento de rochas carbonáticas.
Kd Suave Baixa Bambuí	No período analisado entre 1985 e 2020, ocorreu redução de cobertura vegetal e ampliação das áreas de pastagem nas duas unidades. Porém, ainda se	A combinação da litologia com o tipo de solo apresenta alto nível de fragilidade potencial à ocorrência de processos erosivos, mas o predomínio de declives inferiores a	Preservação da vegetação a fim de proteger o solo, manutenção da biodiversidade, processos cársticos, recursos hídricos e estabilidade desses ambientes.	Há 28 cavernas cadastradas pelo CECAV, dolina e maciço de afloramento de

Afloramento – 9	conserva um percentual superior a 60% referente às classes de vegetação.	20% e a presença de cobertura vegetal ajudam a minimizar os impactos negativos.	Turismo sustentável. Planejamento das atividades antrópicas a fim de minimizar a ocorrência de impactos negativos a longo prazo.	rochas carbonáticas.
Kd Suave Baixa Bambuú Cambissolo – 9a	No período analisado entre 1985 e 2020, ocorreu redução de cobertura vegetal e ampliação das áreas de pastagem. Porém, ainda se conserva um percentual superior a 60% referente à vegetação.	A área abriga patrimônio espeleológico e arqueológico, por isso necessita da preservação da cobertura vegetal, a fim de manter a estabilidade dessa unidade e os recursos hídricos.		Há treze cavernas catalogadas pelo CECAV, seis sítios arqueológicos, uma surgência, a PCH-Taguatinga, quatro dolinas e um sumidouro.
Kd Suave Baixa Bambuú Neossolo – 9b	Entre 1985 e 2020, ocorreu redução das áreas de cobertura vegetal e ampliação das áreas de pastagem, especificamente na unidade 9b_1 se tem a área urbana.			Há duas dolinas, três cavernas e maciços de afloramento de rochas carbonáticas.
Kd Suave Média Bambuú Neossolo – 10	Entre 1985 e 2020, ocorreu redução de cobertura vegetal e ampliação das áreas de pastagem, entretanto ainda se preserva mais de 70% referente à presença de vegetação.			Há uma caverna cadastrada pelo CECAV e maciço de afloramento de rochas carbonáticas.
Pgi Intermediário Média Bambuú Neossolo – 11	Entre 1985 e 2020, ocorreu pequena redução da cobertura vegetal, o que pode se considerar estável, e a ocupação de 0,39% equivalente à área de pastagem.	A combinação da litologia com o tipo de solo apresenta alto nível de fragilidade potencial à ocorrência de processos erosivos, porém o predomínio de declives inferiores a 20% e a presença de cobertura vegetal ajudam a minimizar os impactos negativos.	Preservação da vegetação a fim de proteger o solo, manutenção da biodiversidade, processos cársticos, recursos hídricos e estabilidade desses ambientes. Turismo sustentável. Planejamento das atividades antrópicas.	Há uma caverna cadastrada pelo CECAV, a Gruta da Bica, e maciço de afloramento de rochas carbonáticas.
Pri Intermediário Baixa Bambuú Cambissolo – 14	Em 1985, já havia áreas de pastagem em todas as unidades, ocorrendo redução da cobertura vegetal presente em todas e consequente conversão para áreas de pastagem naquele período.	O tipo de solo e litologia eleva o nível de fragilidade potencial da unidade em relação à suscetibilidade de processos erosivos. A substituição da cobertura vegetal por outros usos altera os fluxos de energia e matéria da unidade.	Preservação da vegetação a fim de proteger o solo, manutenção da biodiversidade, processos cársticos, recursos hídricos e estabilidade desses ambientes. Turismo sustentável. Planejamento das atividades antrópicas, a fim de minimizar a ocorrência de impactos negativos a longo prazo.	A Gruta do Urso e Gruta dos Moura, duas dolinas e maciços de afloramento de rochas carbonáticas.
Pri Intermediário Baixa Bambuú Neossolo – 14b	Entre 1985 e 2020, em todas as unidades, houve redução da área de cobertura vegetal e ampliação da área de pastagem e, especificamente na unidade 14b_3, identificou-se agricultura, com a implantação de pivôs.			Há duas dolinas e maciços de afloramento de rochas carbonáticas.
Pri Intermediário Baixa Bambuú Nitossolo – 14c	Entre 1985 e 2020, em todas as unidades, houve redução da área de cobertura vegetal e ampliação da área de pastagem e, especificamente na unidade 14c_2, identificou-se agricultura, com a implantação de pivôs.			A Gruta do Elefante, uma dolina e maciço de afloramento de rochas carbonáticas.
Pri Suave Média Bambuú Neossolo – 16a	Entre 1985 e 2020, ocorreu redução da cobertura vegetal, seguida da expansão das áreas de pastagem.	O tipo de solo apresenta alta suscetibilidade à erosão e necessita de técnicas aplicadas e manejo adequado da terra para execução de atividades agropecuárias.	Práticas sustentáveis para atividades voltadas à agropecuária. Manutenção da cobertura vegetal a fim de proteger o solo, processos cársticos, recursos hídricos e biodiversidade.	Nessa unidade, há maciço de afloramento de rochas carbonáticas.

Legenda: Declive Suave: 0 e 20%; Declive Intermediário: 20 e 45%; Altitude Baixa: 363-600 metros; Altitude Média: 600-800 metros; Dc: Homogênea Convexa; Dt: Homogênea Tabular; Kc: Carste Coberto; Kd: Carste Descoberto; Pri: Pediplano Retocado Inumado; Pgi: Pediplano Degradado Inumado.

Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

É importante considerar que, nos divisores da bacia do rio Sobrado, se encontra a Serra Geral, situada nos limites dos estados do Tocantins e da Bahia. As características físicas na área do topo do Chapadão Ocidental Baiano, como o declive suave associado ao latossolo, possibilitaram o desenvolvimento da agricultura de *commodities*, como a soja e o milho (Figura 5).

Figura 5 – Áreas destinadas à agricultura no topo do Chapadão Ocidental Baiano



Fonte: Autores (2023).

As altitudes na bacia do rio Sobrado variam entre 363 e 934 metros. A prática da agricultura de *commodities* ocorre nas áreas mais altas, por isso a realização dessa atividade pode provocar impactos negativos na qualidade ambiental das outras unidades geológicas localizadas nas partes mais baixas. Nesse sentido, a combinação da amplitude altimétrica e o declive acentuado contribuem para o aumento da velocidade do escoamento superficial, refletindo na suscetibilidade à ocorrência de processos erosivos durante a época das chuvas, fato que chama a atenção para a necessidade de preservação da vegetação nativa para minimizar esses efeitos (CREPANI *et al.*, 2001).

Além disso, o topo do planalto do Chapadão Ocidental Baiano representa uma zona de recarga para o importante aquífero Urucuaia, que abastece a rede de drenagem das bacias hidrográficas dos rios Tocantins e São Francisco. Assim, o uso inadequado de agrotóxicos e fertilizantes na agricultura dessa região pode acarretar, a longo prazo, uma irreversível contaminação dos aquíferos superficiais e cárstico conectados, com severos prejuízos para o sistema ambiental e a saúde pública (DANTAS *et al.*, 2019).

O topo do planalto encontra-se separado das superfícies aplainadas e do carste por escarpas, área em que estão localizadas diversas nascentes. Por isso, torna-se essencial preservar a vegetação e adotar práticas mais sustentáveis da atividade de agricultura para minimizar ações de degradação nas áreas mais baixas (DANTAS *et al.*, 2019).

As unidades geológicas identificadas nas áreas escarpadas da Serra Geral e da Serra de Taguatinga encontram-se preservadas e mantêm a predominância da cobertura vegetal. Assim, contribuem para proteger o solo, os recursos hídricos e a biodiversidade. Por outro lado, em algumas unidades geológicas próximas à área de escarpa, verificou-se o avanço das atividades de pecuária. Isso deve estar relacionado às condições naturais como a declividade, que favoreceram a sua ocupação (Figura 6).



Legenda: a- Área de pastagem; b- Área com vegetação na Cachoeira do Registro.

Fonte: Autores (2023).

Ao analisar as unidades geológicas com a presença de feições cársticas, identificou-se que na maioria ocorrem atividades humanas, com destaque para a pecuária. A maior parte das unidades geológicas com feições cársticas apresenta declive suave, que varia de 0 a 20%, favorecendo a implantação de atividades agropecuárias.

Na BHRS, predomina a ocorrência de Neossolos e Cambissolos, que ocupam cerca de 71% da área. Essa característica física, associada à presença de vegetação savânica, áreas antropizadas e relevos movimentados, pode contribuir para elevar os níveis de fragilidade ambiental. Característica semelhante foi observada por Santos, Ruchkys e Travassos (2021) no Parque Nacional da Serra da Gandarela, área com alto potencial espeleológico, com aproximadamente 275 cavernas cadastradas pelo CECAV.

A expansão de atividades agropecuárias promove a retirada da vegetação natural. Essa modificação foi observada na maioria das unidades geológicas analisadas no período entre 1985 e 2020, resultando na redução da área de cobertura vegetal nativa. E isso promove desequilíbrio no ambiente natural, reflete na fertilidade, na estrutura e na resistência do solo à erosão pluvial, diminui a taxa de infiltração e, conseqüentemente, aumenta o escoamento das águas pluviais (ROSS, 2019).

Os trabalhos de campo permitiram identificar que as áreas com a presença de dolinas encontram-se sob influência das pastagens. Em sua maioria, a vegetação nativa foi substituída

por essa atividade (Figura 7), assim como observado por Melo e Pivari (2022) na região cárstica de Pains, Minas Gerais. Essa observação ressalta a necessidade de conservação dessas áreas, pois as dolinas exercem importante função no carste, visto que convergem as águas superficiais para o meio subterrâneo, constituindo-se, assim, em pontos de elevada vulnerabilidade dos aquíferos (SOUZA; AULER, 2018).

Figura 7 – Dolina e sumidouro na unidade geocológica 5 e 9a



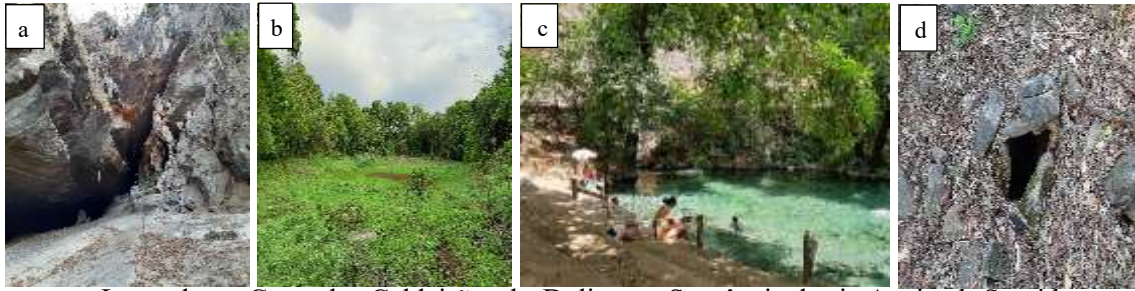
Legenda: a- Dolina; b- Sumidouro.

Fonte: Os autores (2023).

A unidade geocológica 3 apresenta um alto nível de fragilidade ambiental em função da inter-relação entre os diversos aspectos físico-naturais (declividade, altitude, geologia e solo). A preservação da vegetação nessa unidade é primordial para manter sua estabilidade, e a análise de uso demonstrou que se encontra preservada e sem presença de intervenção humana e diferencia-se das demais por estar associada ao Grupo Urucuaia.

As unidades geocológicas 5, 7, 9, 9a, 9b, 10, 11, 14, 14b, 14c e 16a se desenvolveram sobre as rochas do Grupo Bambuí, independentemente do modelado geomorfológico. As unidades que exibem maior quantidade de feições cársticas compreendem o modelado do carste descoberto, com destaque para as unidades 9, 9a e 9b, que abrigam 41 das 51 cavernas cadastradas pelo CECAV na área da bacia, além de maciços, dolinas e uma surgência bastante conhecida na rota dos atrativos turísticos da região, o rio Azuis (Figura 8).

Figura 8 – Exemplos de feições cársticas nas unidades geoecológicas 9, 9a e 9b



Legenda: a- Gruta dos Caldeirões; b- Dolina; c- Surgência do rio Azuis; d- Sumidouro.

Fonte: Os autores.

Os terrenos cársticos são sustentados por rochas carbonáticas e apresentam problemas de instabilidade do solo. Os impactos e os riscos associados à expansão das atividades humanas sugerem um planejamento adequado, levando em consideração a peculiaridade desses ambientes e as consequências que podem resultar em danos materiais e até mesmo humanos (GUTIÉRREZ *et al.*, 2014).

A unidade geoecológica 5 e 7 possuem características físicas como litologia e tipo de solo que contribuem para o alto nível de fragilidade ambiental. Entretanto, esse fator pode ser intensificado pela conversão de áreas naturais em pastagem e área urbana, fato observado na comparação entre os dados de uso para o período entre 1985 e 2020.

As unidades geoecológicas 9, 9a e 9b apresentam características geomorfológicas e geológicas semelhantes, diferenciando-se em relação ao tipo de solo. Essa combinação de características eleva o nível de fragilidade ambiental, que pode ser potencializado pela inserção de atividades humanas. Nas três unidades, a cobertura vegetal está preservada com nível superior a 60% de sua ocupação.

Esse alto nível de cobertura vegetal se deve à existência da vegetação que recobre os maciços de afloramentos calcários, pois representam barreiras que impedem o avanço da exploração de atividades como agricultura e pecuária (Figura 9). Essa característica foi observada em estudo realizado por Medeiros e Chávez (2021) em uma bacia hidrográfica inserida em ambiente cárstico, porém, nessa área, outro fator que contribuiu para a manutenção dos remanescentes florestais está associado à existência de unidades de conservação.

Figura 9 – Maciços de afloramento de rochas carbonáticas na unidade geocológica 9

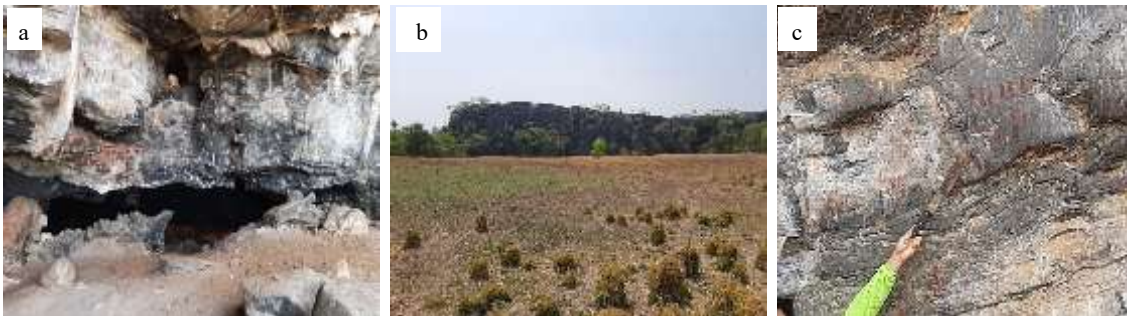


Fonte: Os autores (2023).

As unidades geocológicas 10 e 11 apresentam o tipo de solo com alta suscetibilidade à ocorrência de processos erosivos. Entretanto, os níveis de cobertura vegetal encontram-se acima de 50% da sua ocupação, mesmo com avanço da área de pastagem na comparação do uso da terra entre 1985 e 2020.

As unidades 14, 14b e 14c possuem características físicas (geomorfológicas e geológicas) semelhantes, porém os tipos de solos são diferentes e com alta suscetibilidade à ocorrência de processos erosivos, que podem ser potencializados pela declividade e pela conversão de uso para atividades humanas (Figura 10).

Figura 10 – Feições cársticas presentes na unidade geocológica 14



Legenda: a- Entrada da Gruta dos Moura; b- Maciço de afloramento de rochas carbonáticas da Gruta dos Moura e Gruta do Urso; c- Pintura rupestre no maciço da Gruta dos Moura.

Fonte: Os autores (2023).

A unidade 16a exibe características naturais que elevam o nível de fragilidade natural que pode ser ampliado de acordo com a expansão das atividades humanas, pois, em comparação com os dados de uso entre 1985 e 2020, a pastagem ocupa atualmente 30% da área.

A preservação da cobertura vegetal nativa em áreas cársticas tem uma função ecossistêmica essencial para evitar processos erosivos, manter o equilíbrio do sistema

hidrológico, fundamental na ocorrência dos processos cársticos e na continuidade da fauna e flora no solo (FENG *et al.*, 2021).

Além disso, a presença da cobertura vegetal na área entorno das cavernas contribui para reduzir a ocorrência de processos erosivos, serve para manter as condições climáticas e a umidade, além de garantir a disponibilidade de alimentos para a fauna cavernícola, que, em grande parte, depende de insumos transportados pela água, pelo vento, pela gravidade ou por animais que se locomovem do ambiente externo para o interior das cavernas (SCHNEIDER; CHRISTMAN; FAGAN, 2011).

Os ambientes cársticos possuem locais com características favoráveis à preservação de importantes registros do passado, como o interior das cavernas, e as suas reconstituições são um dos objetivos principais de seus estudos (SUGUIO, 2010).

No tocante ao potencial paleontológico da área de estudo, Hsiou *et al.* (2013) identificaram fósseis de *Squamata*: uma espécie de serpente *Boidae*, *Eunectes murinus* e dois táxons de lagartos *Teiidae*, *Ameiva* e *Tupinambis*, encontrados na Gruta do Urso, no município de Aurora do Tocantins. A área está localizada na unidade geocológica 14. No estudo dos fósseis, associou-se com mamíferos, e foi revelada a presença de um ambiente seco e aberto no final do período pleistocênico, bem diferente do ambiente atual.

Em grande parte das unidades geocológicas com feições cársticas, foi possível observar a presença da fitofisionomia Floresta Estacional, conhecida como Mata Seca. De acordo com Bianchi e Haig (2013), essa formação florestal é considerada uma das mais significativas do bioma Cerrado e está ameaçada pela intensa conversão de terras para pastagens e agricultura. Esse tipo de vegetação abriga uma rica fauna, que compreende várias espécies endêmicas e, frequentemente, está associado aos afloramentos de rochas carbonáticas (PEREIRA; VENTUROLI; CARVALHO, 2011).

Um exemplo para a área de estudo é o periquito Tiriba-do-Paraná (*Pyrrhura pfrimeri*), espécie endêmica das florestas estacionais, localizada na divisa entre a região sudeste do Tocantins e nordeste de Goiás. A supressão da cobertura vegetal tem provocado perda do *habitat*, acarretado redução de indivíduos e tornado a classificação dessa ave como “ameaçada de extinção” (DORNAS *et al.*, 2017, p. 8).

Assim como nas demais regiões cársticas do Brasil, a área de estudo apresenta potencial para desenvolvimento do ecoturismo e turismo espeleológico. Entretanto, as atividades turísticas exigem planejamento e estabelecimento de práticas voltadas à Educação Ambiental a fim de proporcionar aos visitantes conhecimento sobre esse importante patrimônio natural, bem

como diversificação de renda para as comunidades locais e mínimo impacto sobre o patrimônio espeleológico (FERREIRA, 2019).

Considerações Finais

A elaboração do mapa das unidades geoecológicas da paisagem da BHRS, baseada na aplicação da Geoecologia da Paisagem, possibilitou entender as características da bacia e o valor específico de cada unidade geoecológica para o equilíbrio e o funcionamento desse sistema.

A identificação das unidades permitiu reconhecer os limites e as potencialidades de acordo com os níveis de ocupação e demonstrar a necessidade da elaboração de propostas para minimizar os efeitos das pressões antrópicas sobre os recursos naturais desse frágil sistema ambiental, o carste.

Percebe-se que houve substituição de vegetação nativa por áreas de cultivo, pastagens, infraestrutura urbana, entre outras atividades, e que elas vêm impactando a paisagem cárstica e o seu entorno. Ressalta-se que a agricultura exercida nas unidades identificadas no topo da Serra Geral necessita de manejo adequado e sustentável para não impactar as unidades geoecológicas situadas à jusante, onde estão as feições cársticas, visto que as práticas atuais podem desencadear impactos negativos, como redução da biodiversidade, má qualidade das águas, processos erosivos, entre outros problemas.

A implantação de unidades de conservação constitui uma iniciativa importante para conservação dos recursos naturais da região a fim de assegurar a manutenção dessa área ambientalmente significativa no contexto regional. Além disso, as informações obtidas por este diagnóstico oferecem subsídio ao poder público para elaboração de políticas específicas que contemplem o aproveitamento sustentável dessa área, de acordo com a capacidade de suporte; estabelecimento de programas de Educação Ambiental para divulgação sobre a importância de proteção desse ecossistema singular e frágil; estímulo para conservação do patrimônio espeleológico, tendo em vista que abriga importantes registros históricos; e ainda promoção e suporte à atividade turística na região, com enfoque na proteção do carste, acompanhados da diversificação da renda para a população local através do turismo sustentável.

Referências

ARAGÃO, L. de P.; SILVA, E. V. da. Geoecologia das Paisagens: uma abordagem da evolução teórico-conceitual e metodológica. **Rede - Revista Eletrônica do PRODEMA**, v. 15, n. 2, p. 91-100, 2022.

BIANCHI, C. A.; HAIG, S. M. Deforestation Trends of Tropical Dry Forests in Central Brazil. **Biotropica**, v. 45, n. 3, p. 395-400, 2013.

CAVALCANTI, L. C. de S. **Cartografia de paisagens: fundamentos**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2018.

CECAV – Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas. **Anuário Estatístico do Patrimônio Espeleológico Brasileiro 2021**. 2022. Disponível em: https://www.icmbio.gov.br/cecav/images/stories/downloads/Anuario/CECAV_-_Anuario_estatistico_espeleologico_2021.pdf. Acesso em: 22 mar. 2022.

CECAV – Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas. **Áreas prioritárias para a conservação do Patrimônio Espeleológico**. 2018. Disponível em: https://www.icmbio.gov.br/cecav/images/stories/Areas_Prioritarias_Patrimonio_Espeleologico_o_2018.pdf. Acesso em: 1 jun. 2020.

CREPANI, E. *et al.* **Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial**. São José dos Campos: INPE, jun. 2001.
DANTAS, M. E. *et al.* Origem das paisagens do estado do Tocantins. *In*: ROCHA, M. G. (org.). **Geodiversidade do estado do Tocantins**. Goiânia: CPRM, 2019. p. 47-84.

DE WAELE, J. Evaluating disturbance on Mediterranean karst areas: the example of Sardinia Italy. **Environmental Geology**, 58, p. 239-255, 2009.

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

FENG, S. *et al.* Forestation does not necessarily reduce soil erosion in a karst watershed in southwestern China. **Progress in Physical Geography**, v. 45, n. 1, p. 82-97, 2021.

FERREIRA, C. F. Fragilidades e impactos ambientais no carste e nas cavernas. *In*: CRUZ, J. B.; PILO, L. B. (org.). **Espeleologia e licenciamento ambiental**. Brasília: ICMBio, 2019. p. 167-216.

GUTIÉRREZ, F. *et al.* A review on natural and human-induced geohazards and impacts in karst. **Earth-Science Reviews**, Amsterdã, v. 138, p. 61-88, 2014.

HSIOU, A. S. *et al.* Dados preliminares sobre os lagartos e serpentes (LEPIDOSAURIA, SQUAMATA) do Pleistoceno final da região de Aurora do Tocantins, Província Espeleológica

do Grupo Bambuí, Tocantins, Brasil. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE ESPELEOLOGIA, 32., 2013, Barreiras-BA. **Anais [...]**. Barreiras: Sociedade Brasileira de Espeleologia, 2013. p. 427-431.

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.

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Imagens do satélite CBERS-4A**. 2021. Disponível em: <http://www2.dgi.inpe.br/catalogo/explore>. Acesso em: 30 de jan. 2022.

IPHAN – Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional. **Cadastro de sítios arqueológicos**. 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/iphan/pt-br/patrimonio-cultural/patrimonio-arqueologico/cadastro-de-sitios-arqueologicos>. Acesso: 6 jan. 2023.

MARTINELLI, M.; PEDROTTI, F. A cartografia das unidades de paisagem: questões metodológicas. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 14, p. 39-46, 2001.

MEDEIROS, R. B.; CHÁVEZ, E. S. Estado geocológico das paisagens da bacia hidrográfica do córrego Formosinho, Bonito/MS-Brasil: bases para a gestão territorial. **Geofronter**, Campo Grande, v. 7, p. 1-26, 2021.

MEDEIROS, R. B. *et al.* Geocological diagnosis of landscapes of the Formoso River Watershed, Bonito/MS, Brazil. **Environmental Earth Sciences**, v. 81, n. 174, p. 1-19, 2022.

MEDEIROS, R. B. Zoneamento ambiental da bacia hidrográfica do rio Mimoso, Bonito/MS: as contribuições da cartografia de paisagens e da ótica geossistêmica. **Entrelugar**, v. 13, n. 25, p. 277-305, 2022.

MELO, P. H. A. de; PIVARI, M. O. D. A vegetação da região cárstica de Pains. *In*: PILÓ, L. B.; CRUZ, J. B. (org.). **A região cárstica de Pains**. Brasília: ICMBio, 2022. p. 81-101.

MORAIS, F. de. Aspectos gerais da área cárstica de Aurora do Tocantins. Para conhecer a Terra – memórias e notícias de geociências no espaço lusófono. **Imprensa da Universidade de Coimbra**, Coimbra, p. 1-12, 2012.

MORAIS, F. de. Caracterização geomorfológica da região de Aurora do Tocantins, Brasil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 14, n. 2, p. 163-170, abr./jun. 2013.

OLIVEIRA, A. C. C. de A.; SOUZA, R. M. Cenários biofísicos e ordenamento territorial no litoral sul de Sergipe-Brasil. **Revista Equador**, v. 2, n. 2, p. 62-3, jul./dez. 2013.

PEREIRA, B. A. da S.; VENTUROLI, F.; CARVALHO, F. A. Florestas Estacionais no Cerrado: uma visão geral. **Pesq. Agropec. Trop.**, Goiânia, v. 41, n. 3, p. 446-455, jul./dez. 2011.

PILÓ, L. B.; CRUZ, J. B. Introdução. *In*: PILÓ, L. B.; CRUZ, J. B. (org.). **A região cárstica de Pains**. Brasília: ICMBio, 2022. p. 11-25.

RODRIGUEZ, J. M. M.; SILVA, E. V. da. A classificação das paisagens a partir de uma visão geossistêmica. **Mercator**, Revista de Geografia da UFC, ano 1, n. 1, p. 95-112, 2002.

RODRIGUEZ, J. M. M.; SILVA, E. V. da; CAVALCANTI, A. P. B. **Geocologia das Paisagens**: uma visão geossistêmica da análise ambiental. 6. ed. Fortaleza: Edições UFC, 2022.

ROSS, J. L. S. **Geomorfologia**: ambiente e planejamento. 9. ed. São Paulo: Contexto, 2019.

SALINAS CHÁVEZ, E. *et al.* Delimitación, clasificación y cartografía de los paisajes de la cuenca Ariguanabo, Cuba, mediante el uso de los SIG. **Revista Geográfica**, n. 154, p. 9-30, jul./dez. 2013.

SANTOS, D. J.; RUCHKYS, U. A.; TRAVASSOS, L. E. P. Perfil geocológico do Parque Nacional da Serra da Gandarela, Minas Gerais, Brasil. **Sociedade & Natureza**, v. 33, p. 1-10, 2021.

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.

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

SUGUIO, K. **Geologia do Quaternário e mudanças ambientais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

TEIXEIRA, N. F. F.; SILVA, E. V. da; FARIAS, J. F. Geocologia das Paisagens e planejamento ambiental: discussão teórica e metodológica para a análise ambiental. **Planeta Amazônia: Revista Internacional de Direito Ambiental e Políticas Públicas**, Macapá, n. 9, p. 147-158, 2017.

TRAVASSOS, L. E. P. **Considerações sobre o carste da região de Cordisburgo, Minas Gerais, Brasil**. Belo Horizonte: Tradição Planalto, 2010.

Recebido em 16 de maio de 2023.

Aceito em 18 de junho de 2023.

Publicado em 03 de julho 2023.