



Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>



Caracterização da Paisagem Cárstica em Natividade e Chapada da Natividade – TO

Péricles Souza Lima¹, Fernando de Moraes²

¹ Doutorando no Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Goiás (PPGeo/IESA/UFG), Campus Samambaia, Goiânia – GO, Brasil. Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Tocantins (PPGG/UFT), Campus de Porto Nacional, Porto Nacional – TO, Brasil. E-mail: periclesouza@discente.ufg.br. ² Professor Associado III da Universidade Federal do Tocantins. Professor do Programa de Pós-Graduação em Geografia (PPGG/UFT), Campus de Porto Nacional, Porto Nacional – TO, Brasil. Professor do Programa de Pós-Graduação em Ciências do Ambiente (PPGCiamb/UFT) Campus Palmas, Palmas – TO, Brasil. E-mail: morais@uft.edu.br.

Artigo recebido em 12/08/2022 e aceito em 05/01/2023

RESUMO

A caracterização de paisagens cársticas apresenta elementos relevantes à evolução do conhecimento, notadamente daqueles locais com grande carência, como é o caso de Natividade e Chapada da Natividade, no sudeste do Tocantins. Descrever feições geomorfológicas permite apontar os aspectos e o estado de conservação delas frente às ações humanas, assim como demarcar pontos de coletas de amostras para outros estudos, a exemplo dos físico-químicos. O objetivo desta pesquisa foi expor as características de algumas formas superficiais do carste situado entre os municípios mencionados. Buscou-se caracterizar pontos contendo feições cársticas, e outros em litologias não carbonáticas, que fazem parte da paisagem estudada. Fez-se uma avaliação dos tipos de cobertura e uso do exocarste, com imagens dos satélites Landsat-5 e Landsat-8, para os anos de 2010, 2015 e 2020. A partir dessa, detectou-se que a vegetação natural tem sido substituída por atividades agropastoris. A respeito das morfologias cársticas, dolinas de colapso de cobertura e de ponto de recarga reabastecem o aquífero, enquanto as surgências dos córregos do Mutum, do Salobro e do Morro do Carneiro comportam-se como locais de descarga. Quanto aos impactos decorrentes das ações humanas, o uso de dolinas como reservatório de água para dessedentação animal, minerações, barramentos, represamentos e desflorestamentos estão entre os principais. Considera-se que o trabalho possibilitou reconhecer os componentes da paisagem estudada, podendo servir ao planejamento ambiental, pois suscitou novos estudos e tomadas de decisões.

Palavras-Chave: Paisagem, Exocarste, Geoprocessamento, Tocantins.

Characterization of the Karst Landscape in Natividade and Chapada da Natividade – TO

ABSTRACT

The characterization of karst landscapes presents relevant elements to the evolution of knowledge, notably those places with great need, as is the case of Natividade and Chapada da Natividade, in the southeast of Tocantins. Describing geomorphological features allows us to point out their aspects and their state of conservation in relation to human actions, as well as demarcating sample collection points for other studies, such as physical-chemical studies. The objective of this research was to expose the characteristics of some superficial forms of the karst located between the mentioned municipalities. We sought to characterize points containing karst features, and others in non-carbonate lithologies, which are part of the studied landscape. An evaluation of the types of cover and use of exokarst was carried out, with images from the Landsat-5 and Landsat-8 satellites, for the years 2010, 2015 and 2020. From this, it was detected that the natural vegetation has been replaced by agropastoral activities. Regarding the karst morphologies, sinkholes of cover collapse and recharge point replenish the aquifer, while the upwellings of the Mutum, Salobro and Morro do Carneiro streams behave as discharge sites. As for the impacts resulting from human actions, the use of sinkholes as a water reservoir for animal watering, mining, damming, damming and deforestation are among the main ones. It is considered that the work made it possible to recognize the components of the studied landscape, being able to serve the environmental planning, as it raises new studies and decision making.

Keywords: Landscape, Exokarst, Geoprocessing, Tocantins.

Introdução

Na atualidade, é consenso que o ser humano, através de suas inúmeras culturas e “modos de vida”, vem alterando as características da paisagem natural em virtude da necessidade de sobrevivência e de tornar mais cômoda a maneira de viver (Hajna, 2019). As transformações técnicas e tecnológicas têm facilitado o agir humano, criando inúmeros espaços geográficos e deixando impressos na superfície terrestre simbologias e artefatos, que têm possibilitado interpretar a história de antigas civilizações, bem como a relação com os locais habitados. Moreira (2008) faz um exercício histórico a respeito dos diferentes espaços, situando o ser humano nas distintas temporalidades e o modo como suas ações incidiram e incidem no planeta.

Cabe resgatar que essa relação humana com os aspectos físicos naturais foi motivo de preocupação por parte de naturalistas como Alexander von Humboldt e George Perkins Marsh ainda no século XIX. Segundo Wulf (2016), enquanto Humboldt denunciava o caráter sanguinário da colonização espanhola no tocante à exploração das riquezas Sul-americanas, Marsh buscava detalhar o impacto humano, resgatando acontecimentos históricos e correlacionando-os aos vivenciados por ele. O mesmo dizia que “em toda a parte o homem é um agente perturbador” (Wulf, 2016, p. 409).

No contexto do relevo cárstico, objeto principal desta pesquisa, também convém situar a forma degradante de apropriação destes ambientes por parte de antigas civilizações. A própria toponímia do carste clássico (**kras**), adotada mundialmente para designar topografias sobre rochas altamente solúveis, e cuja etimologia da palavra significa (**terreno pedregoso**), com ausência de água e de vegetação, surgiu em decorrência das queimadas e desflorestamento, atrelados a sucessivos modos de uso da terra (Gams, 1993; Ford e Williams, 2007; Alves, 2018; Hajna, 2019).

Desenvolvido tradicionalmente em calcários e dolomitos, o relevo cárstico também pode ocorrer em outros tipos de rochas, como os evaporitos, arenitos e quartzitos (Wray, 2009).

Com o passar do tempo e com a evolução da ciência, as vulnerabilidades desse tipo de sistema têm sido cada vez mais evidenciadas, principalmente por ele possuir um caráter heterogêneo e peculiaridades que o difere de outras paisagens (Hussain et al., 2020; Veress, 2020).

Rochas fraturadas, com porosidade secundária, rotas preferenciais, ocorrências de dolinas, sumidouros e cavernas, são características do carste (Goldscheider et al., 2020).

Estes aspectos, juntamente com os modos de ocupação do relevo, torna os recursos hídricos susceptíveis à contaminação (Goldscheider et al., 2020). Como água é um bem primordial para a sobrevivência, conseqüentemente, a sua má qualidade poderá fornecer riscos à saúde dos seres vivos.

Ford e Williams (2007) demonstram o quanto as rochas carbonáticas foram utilizadas para a construção de templos, muitos, na atualidade, considerados patrimônios mundiais. No espaço rural, diversos cercados para animais tinham suas paredes feitas de rocha calcária e várias dolinas eram colmatadas, para possibilitarem o plantio. A respeito dos recursos hídricos, Humboldt, em suas abordagens sobre o carste, cita o uso desordenado da água na mineração (Travassos, 2013).

Os surgimentos de dolinas, principalmente as de colapsos e as de abatimento de solos, se influenciados pelas práticas inadequadas dos seres humanos podem impactar no sistema e na qualidade de vida. Nas áreas urbanas situadas sobre o carste é comum a presença de rachaduras em imóveis, nos casos mais brandos, e destruição parcial ou total, nos casos mais graves. Nas áreas rurais, também é comum haver colapsos, que surgem com facilidade e rapidez em decorrência das práticas de desmatamento (Delle Rose et al., 2004; Sallun Filho, 2009; Pueyo Anchuela et al., 2012; Travassos, 2019; Karagüzel et al., 2020; Amaral et al., 2021; Santos et al., 2022).

Em *poljes*, que são depressões cársticas quilométricas, o uso do solo para a produção agrícola e para o plantio de gramíneas destinadas à pecuária é uma prática realizada há muito tempo. Vilarejos, sobretudo na região do carste clássico, também foram construídos no interior destas amplas superfícies de dissolução, assim como em uvalas (Kranjc, 2013; Travassos, 2019).

Diante das fragilidades, essas morfologias podem sofrer impactos ambientais significativos. Em *poljes* de relevos cársticos tropicais, por exemplo, a perda de solos para os ambientes subterrâneos, através de dolinas e uvalas, é da ordem de toneladas. Durante o período chuvoso isso tende a se agravar, o que se traduz em problemas para a produção (Amaral et al., 2021). A respeito da perda de solos em áreas cársticas, Zhou et al. (2020) aborda que afeta o sistema de redes

subterrâneas, a capacidade produtiva e os aspectos socioeconômicos. Como as rochas carbonáticas ocupam aproximadamente 15,2% ou 23,3 milhões de km² da superfície terrestre livre de gelo, supõem-se que isso seja um problema de ordem global (Goldscheider et al., 2020; Zhou et al., 2020).

Outros tipos de alterações na dinâmica do carste podem ser citados, a exemplo do bombeamento das águas subterrâneas (*pumping well*), da extração do calcário para o uso na indústria, na agricultura e na construção civil, do entulhamento de dolinas por lixo e da instalação de cemitérios (Milanovic, 2002; Ford e Williams, 2007; Timo et al., 2018).

Além do mais, observa-se que muitas outras formas de desestruturação ambiental e natural vêm surgindo como resultado da evolução cultural e tecnológica. Isso tem incentivado os pesquisadores a direcionarem vários estudos para a avaliação da qualidade ambiental das paisagens.

Aliás, nas últimas décadas, justamente pelo surgimento de novos equipamentos, programas computacionais, pela especialização dos cientistas e pelo interesse na temática, as pesquisas no carste têm ampliado. Amaral et al. (2022), através de estudo de cienciometria, mesmo sem computar trabalhos publicados em muitas revistas nacionais, as quais não são indexadas nas fontes consultadas, demonstram que aproximadamente 79% de todas as publicações sobre o carste no Brasil ocorreu entre 2010 e 2020.

No trabalho dos autores é possível observar que a maioria das publicações estão vinculadas à região sudeste do Brasil. Destacam-se os terrenos cársticos de Lagoa Santa – MG e Alto Ribeira – SP, importantes províncias espeleológicas brasileiras (Karmann, 1994; Piló e Castro, 2020; Amaral et al., 2022). Apesar de aparecer de maneira sutil no estudo de cienciometria, com apenas 3 menções, o carste do estado do Tocantins, local da presente pesquisa, tem recebido atenção, com trabalhos publicados em diversos periódicos e eventos científicos. Geologia, caracterização espeleológica, compartimentação geomorfológica, gênese de solos, batimetria de lagoa, análise ambiental, bioespeleologia e paleoclima estão entre os temas pesquisados (Ferreira, 2015; Pereira, 2016; Azevedo et al., 2019; Paschoal e Morais, 2019; Maranhão et al., 2020; Toscani et al., 2021; Lima e Morais, 2022; Simone e Ferreira, 2022).

No entanto, algumas áreas, ainda que sejam na região sudeste do Tocantins, onde o carste é mais proeminente e objeto de maior atenção dos cientistas, carecem de estudos, mesmo os de

reconhecimento e catalogação de feições, o que tem motivado novas investigações.

Diante do enunciado, esta pesquisa teve como objetivo descrever os elementos superficiais que compõem o mosaico paisagístico do carste situado nas proximidades da Serra da Natividade, sobretudo numa perspectiva interativa entre os diferentes compartimentos do relevo estudado.

Assim, além das feições exocársticas típicas, e das descrições básicas destas, são enaltecidos os fatores intrinsecamente relacionados à paisagem geral.

De forma complementar, esses elementos da paisagem são situados nesse contínuo processo de modificação da natureza por parte da sociedade humana, principalmente, no que se refere à cultura da lavra à Terra. A fim de demonstrar as transformações estampadas no relevo, as discussões tomam rumo através de elementos imagéticos e interpretativos, sustentados a partir de sucessivos trabalhos de campo.

Desse modo, enquanto não houver uma modificação na racionalidade econômica que, conseqüentemente, almeje uma sociedade neguentrópica, como pontua Leff (2008), analisar e representar as forças antrópicas na inter-relação com os elementos físicos naturais torna-se de suma importância, para implementar o debate, favorecer a reflexão, e traçar estratégias favoráveis à manutenção da biodiversidade e da geodiversidade.

Material e métodos

Iniciou-se a pesquisa com a organização de um banco de dados bibliográficos, composto de livros, dissertações e artigos científicos, que versam sobre a paisagem cárstica de várias localidades, tanto do exterior, quanto do estado do Tocantins, propriamente. Também, montou-se um banco de dados cartográficos, com arquivos matriciais e vetoriais, disponibilizados de forma gratuita por órgãos internacionais, nacionais e estaduais.

Para a caracterização e análise temporal da paisagem, principalmente no que tange às modificações na cobertura vegetal, optou-se por utilizar as imagens dos satélites Landsat-5 TM e Landsat-8 OLI, Orbita/Ponto (221/068), adquiridas no sítio eletrônico do *United States Geological Survey (USGS)*. Nesse contexto, foi feita uma classificação supervisionada, com um intervalo de dez anos (2010 a 2020), efetuada a partir das cenas registradas em 06/08/2010 (sensor TM), 03/07/2015 e 16/07/2020 (sensor OLI).

Para a classificação das imagens de satélite, fez-se uso do *Semi-Automatic Classification Plugin (SCP)*, complemento disponível no *software* QGIS.

Na ocasião foram utilizadas as versões 2.18.0 e 3.4.5, do *software* mencionado. Na figura 1 é possível visualizar os procedimentos realizados.

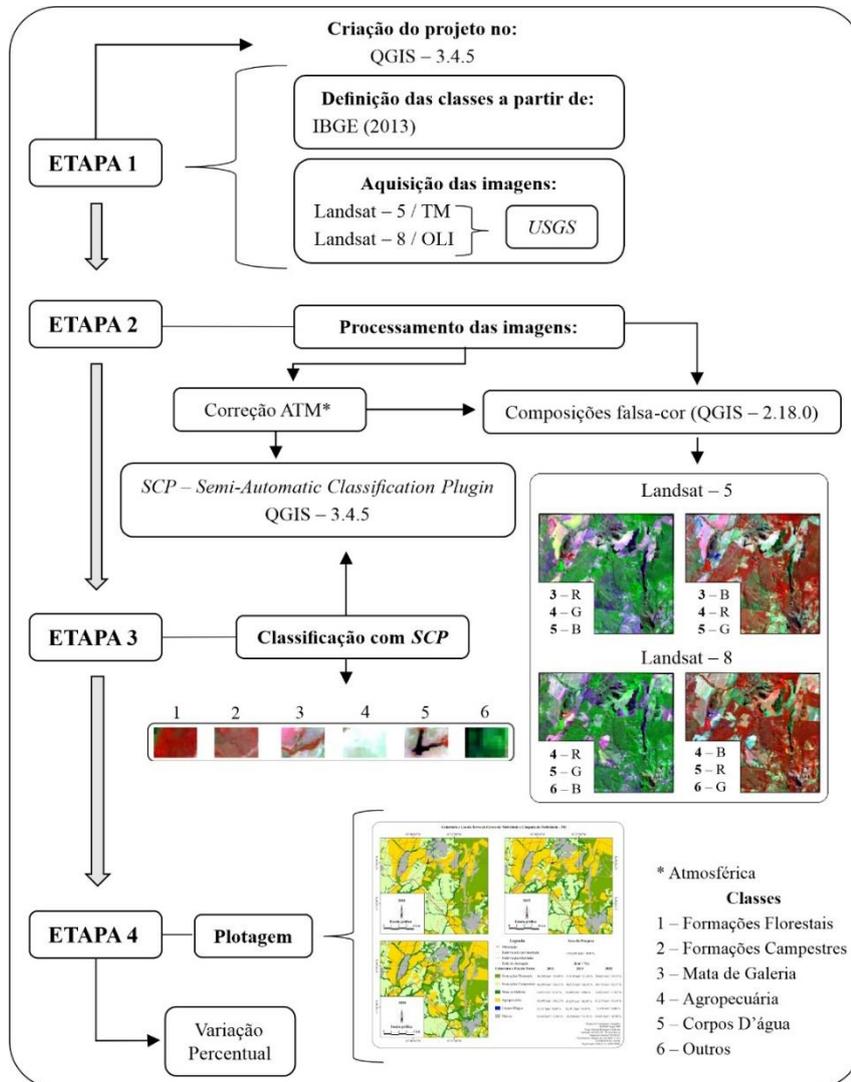


Figura 1. Fluxograma referente às etapas de confecção dos mapas de cobertura e uso da terra. Fonte: Autores (2020).

Após a classificação das imagens, que adotou os procedimentos sugeridos pelo Manual Técnico de Uso da Terra (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), 2013), e que pôs em evidência as transformações espaço-temporais produzidas pelos seres humanos, realizou-se várias campanhas de campo na área de estudo, para o registro de coordenadas e caracterização das morfologias cársticas em si, assim como para a verificação das interpretações das imagens com a realidade observada *in situ*.

Em campo, dada a necessidade de caracterização das feições que melhor evidencie características da paisagem cárstica, recorreu-se ao método de amostragem por caminamento livre (Cavalcanti, 2014).

No recorte espacial estabelecido para a pesquisa, foram definidos 24 pontos de amostragem, distribuídos entre feições cársticas e feições complementares ao carste. Alguns pontos foram descritos de maneira detalhada, enquanto que algumas feições foram descritas de maneira expedita.

Para aqueles pontos complementares, usou-se os procedimentos metodológicos contidos em Leite (2011) e em Cavalcanti (2014 e 2018). Já as geoformas exocársticas foram caracterizadas com base em Cvijić (1895), Tricart (1956), Kohler (1998), Kohler e Castro (2002) e Travassos (2010). De modo a otimizar o tempo de coleta, também foi utilizada uma ficha de campo, organizada com base em Ferreira e Uagoda (2019).

Ao final das campanhas de campo, os dados coletados foram organizados e refinados em laboratório. Posteriormente, plotou-se as informações da classificação supervisionada em três mapas de cobertura e uso da terra, em escala de

1:100.000. Os pontos amostrados, por sua vez, foram espacializados em uma prancha, confeccionada com o uso da imagem do satélite Sentinel 2A, Órbita (81), resolução espacial de 10 metros, registrada em 07/07/2019 e obtida no site do *USGS*.

Área de Estudo – Localiza-se no sudeste do estado do Tocantins, a aproximadamente 221 km da capital Palmas, abrangendo os municípios de Natividade e Chapada da Natividade. A mesma pode ser acessada pela TO-280, que liga Natividade à cidade de Almas – TO (Figura 2).

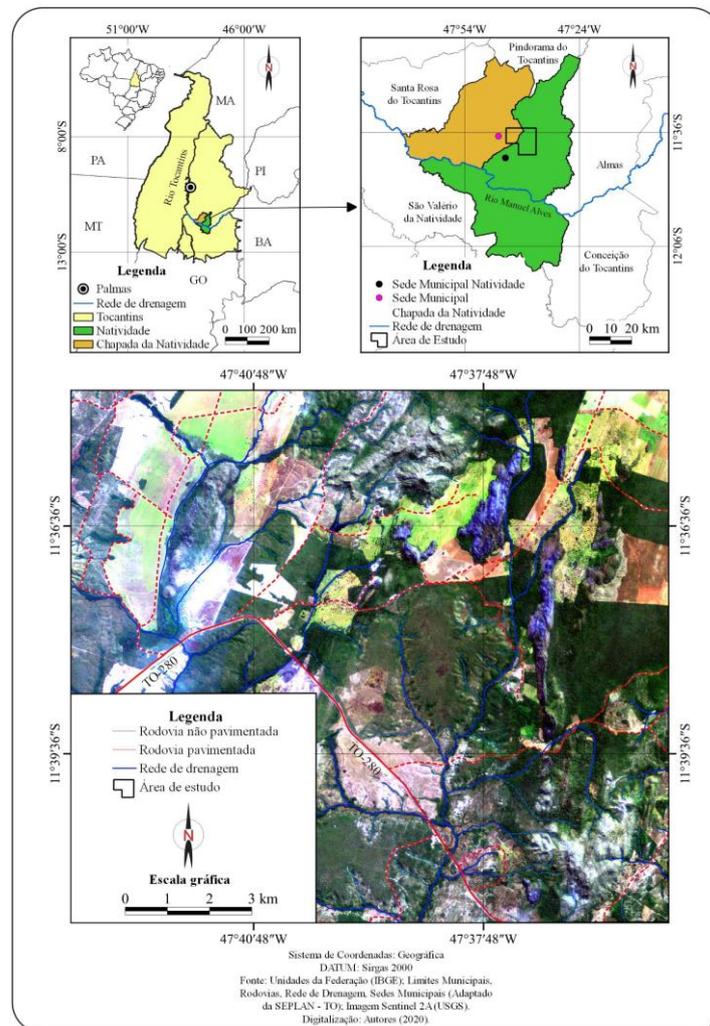


Figura 2. Mapa de localização da área de estudo. Fonte. Autores (2020).

Do ponto de vista geológico, a área localiza-se na zona externa da Faixa de Dobramentos Brasília, parte leste da Província Geológica Tocantins. O substrato é composto por paranaisses da Formação Tincunzal e por rochas graníticas. Sobrepondo-o, há uma sequência de rochas psamo-pelito-carbonatada de idade paleo/mesoproterozóica, pertencentes ao Grupo

Natividade. De interesse para esta pesquisa, destacam-se as rochas quartzíticas, metapelíticas e metacarbonáticas, as quais tiveram seus sedimentos acomodados em uma plataforma mista, controlada pela paleogeografia do Bloco Natividade-Cavalcante (Gorayeb et al., 1988; Dardenne e Saboia, 2007; Saboia, 2009; Praxedes, 2015; Toscani et al., 2021).

Os materiais detríticos foram depositados em águas profundas, enquanto lamas carbonáticas micríticas sedimentaram-se sob condições de águas rasas, limpas e quentes, ora em não-conformidade com as partes elevadas do embasamento, ora sobre materiais pelíticos (Souza et al., 2017; Toscani et al., 2021). O conjunto de rochas siliciclásticas e carbonáticas sofreu influência do Sistema Orogênico Transbrasiliiano, através da ação das falhas de rejeito direcional dextral transpressiva, com destaque para as zonas de cisalhamento Mombuca e Cruz das Almas, influentes no direcionamento das feições e no processo de dissecação por parte dos agentes morfoesculturais pretéritos e atuais. Sinclinais e antifomes também se destacam na paisagem, controlando, principalmente, as morfologias de grande amplitude (Silva, 1987; Saboia, 2009; Praxedes, 2015).

No que se refere à geomorfologia, há planaltos, platôs e patamares, assim como escarpas nas bordas de serras proeminentes, como é o caso do espelho de falha na porção oriental da Serra da Natividade, importante topografia regional. Nesta serra, há quedas d'água controladas por deformações dúcteis e rúpteis, bem como a presença de *combe*, a exemplo dos vales relacionados às cachoeiras do Paraíso, do Amor e do Purgatório (Bemerguy et al., 1994). Também, morros cársticos com toponímia definida distribuem-se de leste a oeste na área.

Nos ambientes de deposição, destacam-se os bancos de areia associados ao rio Manuel Alves, ao ribeirão Água Suja, ao córrego Salobro, e demais cursos hídricos. Calhaus angulosos a subangulosos são retrabalhados no alto curso do córrego Mutum. Coberturas detrítico-lateríticas estão presentes na porção central da área, completando o domínio das unidades agradacionais (Bemerguy et al., 1994; Serviço Geológico do Brasil (CPRM), 2016).

Já no âmbito da vegetação, a cobertura é composta por cerrado, em diferentes subtipos. Nos topos das topografias siliciclásticas há cerrado rupestre, havendo transição para cerrado *stricto sensu* da encosta superior para meia encosta. Esta vegetação também ocorre em locais mais aplainados, sobretudo no interflúvio do ribeirão Água Suja com córrego Salobro. A fitofisionomia de cerrado ocorre na encosta inferior, principalmente onde o solo é mais espesso. Ladeando os corpos lóticos há matas de galeria. Soma-se, ainda, os palmeirais que se distribuem por distintas porções e as matas secas nas adjacências dos morros cársticos (Silva, 1987).

Resultados e discussão

Com o intuito de elucidar o contexto exocárstico numa concepção integral, tanto dos aspectos físicos geográficos, quanto da relação íntima expressa no binômio sociedade-natureza, optou-se por discutir primeiramente os resultados surgidos em decorrência das interpretações de imagens registradas por sensores remotos. Logo em seguida, foram descritos os pontos de visualização da paisagem em campo, com suas características sustentadas nas bibliografias pertinentes.

A respeito da classificação das imagens de satélite, aquilo que foi definido como Formações Florestais corresponde à Savana Florestal e diz respeito à fitofisionomia de cerrado, com árvores densas, semidecíduas, dossel característico, com poucos espaçamentos entre os indivíduos vegetais.

As Formações Campestres referem-se à Savana Arborizada, e correspondem aos diferentes padrões de cerrado, desde o *stricto sensu*, com árvores e arbustos não muito elevados, por vezes espaçados, e com extratos emergentes extrapolando o dossel de algumas árvores, até as formações de campo, sobre litossolos, com herbáceas alternando-se com arbustos tortuosos, às vezes rupestres. Os ambientes de domínio dessa classe historicamente têm servido como local de pastagem, aproveitando as gramíneas naturais. A Mata de Galeria, por sua vez, corresponde à vegetação ripária, alternando-se às vezes a mata ciliar com a mata de galeria propriamente dita.

A classe Agropecuária refere-se às subclasses Culturas Temporárias e Pastagens (IBGE, 2013). As Culturas Temporárias equivalem às unidades das graníferas e cerealíferas, tais como soja, milho, sorgo e milheto. As pastagens correspondem à pecuária de animais de grande porte, com leguminosas inseridas artificialmente, diferente da pastagem de campo, realizada nas Formações Campestres.

Eventualmente, alguns polígonos com agricultura de pequeno porte foram inseridos na categoria Agropecuária.

A classe Corpos D'Água abarca, tão somente, um barramento que foi feito no curso do ribeirão Água Suja. Por fim, a classe "Outros" está relacionada aos afloramentos rochosos, possíveis áreas de rodovia e solos expostos, que tenham sido capturados pelos sensores. A litologia dos afloramentos compreende os metadolomitos, metacalcários e metapsamo-pelitos das unidades 3 e 4 de Saboia (2009).

Com base na classificação realizada (Quadro 1 e Figura 3), é possível identificar uma predominância das Formações Campestres em relação aos outros tipos de vegetação natural, em todos os anos analisados. Numa comparação da cobertura com o tipo de uso e demais classes,

identificou que, apesar da vegetação nativa (Formações Florestais, Formações Campestres, Mata de Galeria) corresponder a mais de 50% em todos os três anos estudados (2010, 2015, 2020), houve significativas reduções nesses 10 anos, perdendo espaço para as práticas agropastoris.

Quadro 1. Área e variação percentual das classes de cobertura e uso da terra. Fonte. Autores (2020).

Anos	2010		2015		2020		Variação (%)	
	Área*						2010/2015	2015/2020
Classes	km ²	%	km ²	%	km ²	%		
Formações Florestais	36,288	23,69	32,910	21,48	29,645	19,35	-9,31	-9,92
Formações Campestres	46,493	30,35	40,575	26,49	39,176	25,57	-12,73	-3,45
Mata de Galeria	14,925	9,74	13,885	9,06	16,933	11,05	-6,97	21,95
Agropecuária	36,945	24,12	47,437	30,97	51,219	33,44	28,40	7,97
Corpos D'Água	0,115	0,08	0,147	0,10	0,126	0,08	27,83	-14,29
Outros	18,448	12,04	18,248	11,91	16,082	10,50	-1,08	-11,87

* A área total da presente pesquisa equivale a 153,188 km²

Identificadas, principalmente, nas partes leste e nordeste da área, as Formações Florestais, do tipo Savana Florestal (cerradão) diminuíram em 9,31% do ano de 2010 para o ano de 2015. De 2015 à 2020, também houve decréscimo, com variação percentual negativa de -9,92% e redução da área de 21,48% para 19,35%.

Ainda que as Formações Campestres correlacionadas à Savana Arborizada (cerrado sentido restrito, campo sujo, campo limpo) sobressaiam ao cerradão, perderam mais cobertura florística do que comparado às Formações Florestais. Assim, de 46,493 km² (30,35%) em 2010, passou a contar com 40,575 km² (26,49%) em 2015 (variação percentual de -12,73%). De 2015 para 2020, a diminuição foi bem menor (-3,45%), representando, ao final dos 10 anos, 25,57% da área.

Dentre as áreas com mata nativa, a única classe a ter aumentado ao final desses 10 anos foi a de Matas de Galeria. Primeiramente, houve diminuição de 14,925 km² (9,74%) em 2010 para 13,885 km² (9,06%) em 2015, o que corresponde a uma variação percentual de -6,97%. Não obstante, de 2015 para 2020 aumentou em 21,95%, chegando a ocupar 16,933 km² da área pesquisada. Há de se considerar a resolução radiométrica das imagens e o processo de digitalização dos vetores, os quais podem ter influenciado nessa oscilação.

É perceptível a ascensão das atividades antrópicas agrícolas no quadro paisagístico, expandindo-se em área, subtraindo tanto espécimes de cerradão quando exemplares campestres. O crescimento mais significativo foi de 2010 para 2015, com uma variação percentual de 28,40%. Por

outro lado, de 2015 à 2020 o crescimento foi menor (7,97%), o que corresponde a um acréscimo de 3,782 km², menos da metade dos 10,492 km² implementados nos primeiros 5 anos analisados.

A classe Corpos D'água, mesmo variando positivamente e depois decaindo, está relacionada à dinâmica do represamento, não correspondendo a outras áreas similares, pois, via de regra, mesmo que se tenha conhecimento da presença destas, não foram captadas pelos sensores. A classe dos afloramentos rochosos e demais áreas descobertas tiveram uma tendência de diminuição, variando negativamente de 2010 à 2015 (-1,08%), assim como, de 2015 para 2020 (-11,87%). A maior diminuição nos últimos 5 anos está relacionada à qualidade das imagens, pois foi possível considerar alguns pixels como formações campestres.

Outro ponto importante a ser ressaltado é o aumento dos postos de extração de calcário, recorrente em áreas cársticas (Timo et al., 2018; Teles e Moraes, 2019; Piló e Castro, 2020). O do Morro do Mutum a noroeste da área é o mais antigo, ainda do ano de 1986, já os outros dois são mais recentes, e em mogotes de menores dimensões.

Após essas considerações gerais sobre as coberturas fitofisionômicas e sobre os modos de uso da Terra, compete agora descrever a paisagem pontualmente, correlacionando o observado em campo aos resultados expostos anteriormente. Nessa premissa, a figura 4 apresenta espacialmente os locais visitados. Mesmo não constando nesta figura, imagens complementares foram adicionadas em alguns dos pontos amostrais escolhidos para melhor elucidação.

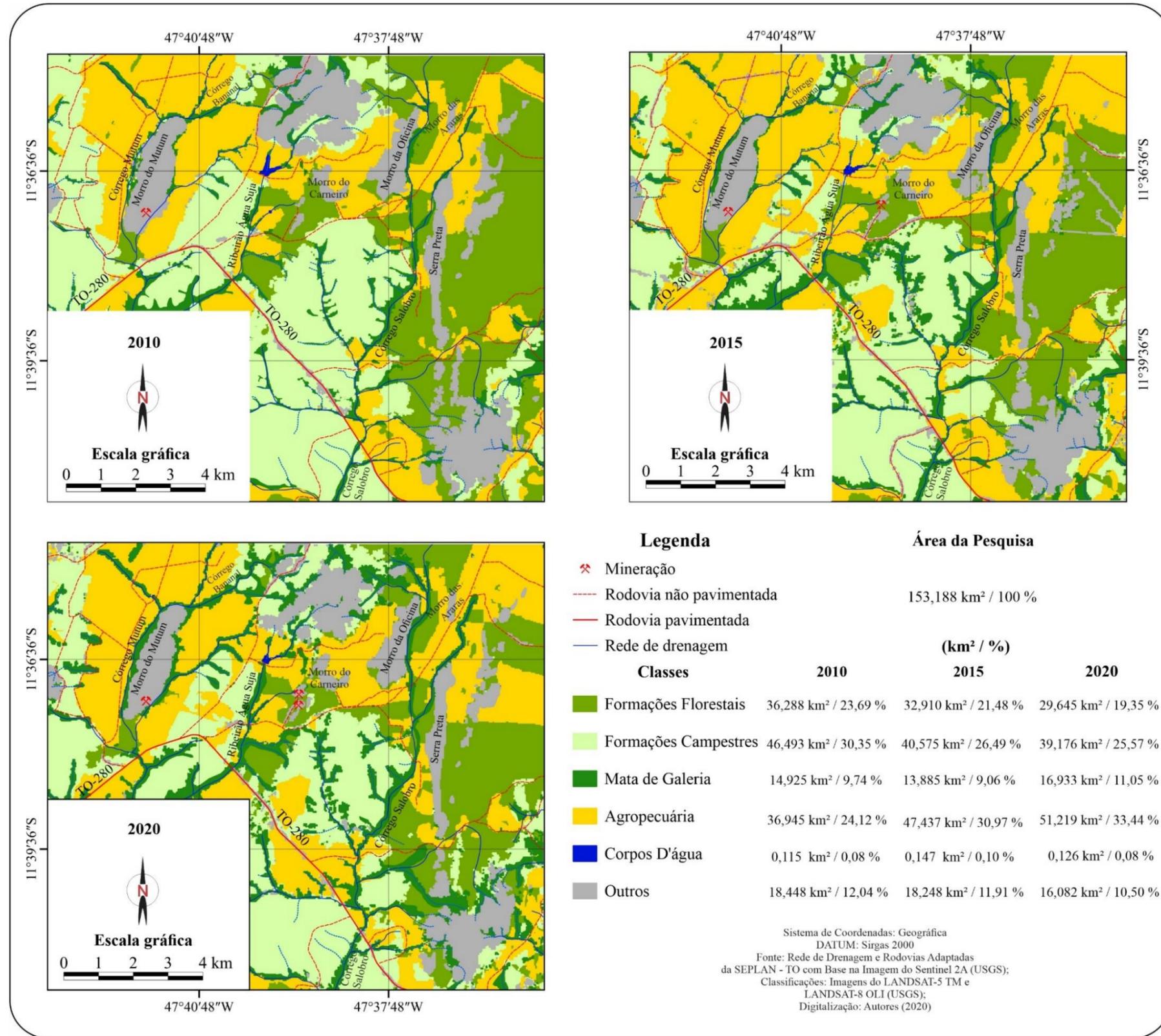


Figura 3. Mapas de cobertura e uso da terra do carste de Natividade e Chapada da Natividade – TO, para os anos de 2010, 2015 e 2020. Fonte. Autores (2020).

Deste modo, em localidades às vezes atapetadas por pastagens e lavouras aparecem feições cársticas dignas de nota, outras vezes, onde ainda não houve a supressão integral da vegetação nativa, também se vê morfologias positivas e negativas, de igual importância.

Os seguintes pontos amostrais trazem as descrições de dolinas e demais formações típicas de ambientes cársticos, observadas na paisagem estudada, seguidos das descrições dos pontos que complementam a caracterização concebida.

Ponto 1. Dolina de ponto de recarga próxima ao Morro do Mutum – Localizado na extremidade sudeste do Morro do Mutum, este ponto corresponde a uma dolina de ponto de recarga, assimétrica fluvial (Sauro, 2003). Suas coordenadas são: Latitude: 11°37'29.43" Sul e Longitude: 47°41'48.30" Oeste.

A dolina encontra-se ao sopé de um mogote com menos de 20 m de altura, contíguo ao Morro do Mutum, com mais de 150 m de altura. A depressão apresenta indícios de intermitência, com lâmina d'água coberta por vegetação aquática. Na ocasião, foram identificados pisoteio de animais, e que a feição é usada para abastecer criadouro de suínos. Presume-se que esteja interligada ao canal do córrego Mutum, aquele que margeia a parte leste do morro homônimo (Figura 4).

A feição situa-se a 318 m de altitude, em terreno plano para suave ondulado. Próximo a vertente do mogote, a vegetação é densa e, de forma mais ampla, a dolina encontra-se parcialmente interligada a um babaçual vizinho a área pantanosa (Figura 5).

Ao consultar os mapas de cobertura e uso da terra, nota-se que esse ponto se localiza na área classificada como Formações Florestais, não sofrendo alterações bruscas na cobertura natural. O risco de poluição dos recursos hídricos é evidente, sobretudo por receber dejetos dos animais domésticos.

Ponto 2. Surgência localizada no Morro do Mutum – Aproximadamente 120 m a sudoeste do ponto 1 surgem, no sopé do mesmo mogote interligado ao Morro do Mutum, águas provenientes do subterrâneo cárstico (Figura 6). Sua localização refere-se às coordenadas: Latitude: 11°37'32.09" Sul e Longitude: 47°41'51.03" Oeste. O fluxo originário dessa feição abastece o córrego Mutum. Encontra-se a 334 m de altitude, e em relevo plano para suave ondulado. Apesar de estar conservada, em uma área com “mata” fechada, próxima à vegetação hidrófila, a surgência sofre interferência

dos suínos que transitam por toda a área. Em relação aos mapas de cobertura e uso da Terra, localiza-se na classe Formações Florestais, observável na série de imagens classificadas (Figura 3).

Ponto 3. Dolina de ponto de recarga, assimétrica fluvial – Localizada no sopé do Morro do Carneiro e situada nas coordenadas: Latitude: 11°36'48.05" Sul e Longitude: 47°38'53.45" Oeste (Figura 4).

O processo de recarga subterrânea realizado por essa dolina segue direção contrária aos fluxos hídricos superficiais. Enquanto estes contêm direções N-S ou NE-SW, a dolina abastece o aquífero no sentido SW-NE. Durante a visita observou-se solo úmido, e que a feição segue o plano de acamamento do carbonato.

A altitude é de 353 m e o relevo é suave ondulado. No local, foram vistas árvores de porte baixo de (5 a 20 m), e (*dry-forest*) cobrindo parte dos afloramentos carbonáticos. O afloramento calcário possui mais de 20 m de altura e encontra-se fraturado, com *lapiás* diversificados. Alguns blocos, resquícios de processos dissolutivos e físicos, encontram-se afastados do morro e a estabilidade dos taludes é de baixa para média (Leite, 2011). O local em si é tombado como patrimônio histórico, reconhecido como Sítio Arqueológico Natividade I. Para os 10 anos analisados a partir das imagens de satélite, parece não ter sofrido alteração, enquadrando-se na classe Formações Florestais, do tipo cerradão.

Ponto 4. Surgência no sopé do Morro do Carneiro – Situada nas coordenadas: Latitude: 11°36'54.63" Sul e Longitude: 47°38'53.88" Oeste (Figura 4), ela está barrada atualmente, com laterais revestidas com cimento e blocos de calcário autóctones, o que pode influenciar no seu funcionamento natural. Em um ou dois lugares, o barramento é drenado por canaletas feitas artificialmente. A água é translúcida e a profundidade é de pouco mais de 1,5 m. No tocante a altitude, está a 356 m acima do nível do mar, já o relevo varia de forte ondulado para montanhoso. Alguns exemplares florísticos encontram-se próximos à surgência, e vão se adensando à jusante, em direção a um mogote baixo e parcialmente inumado.

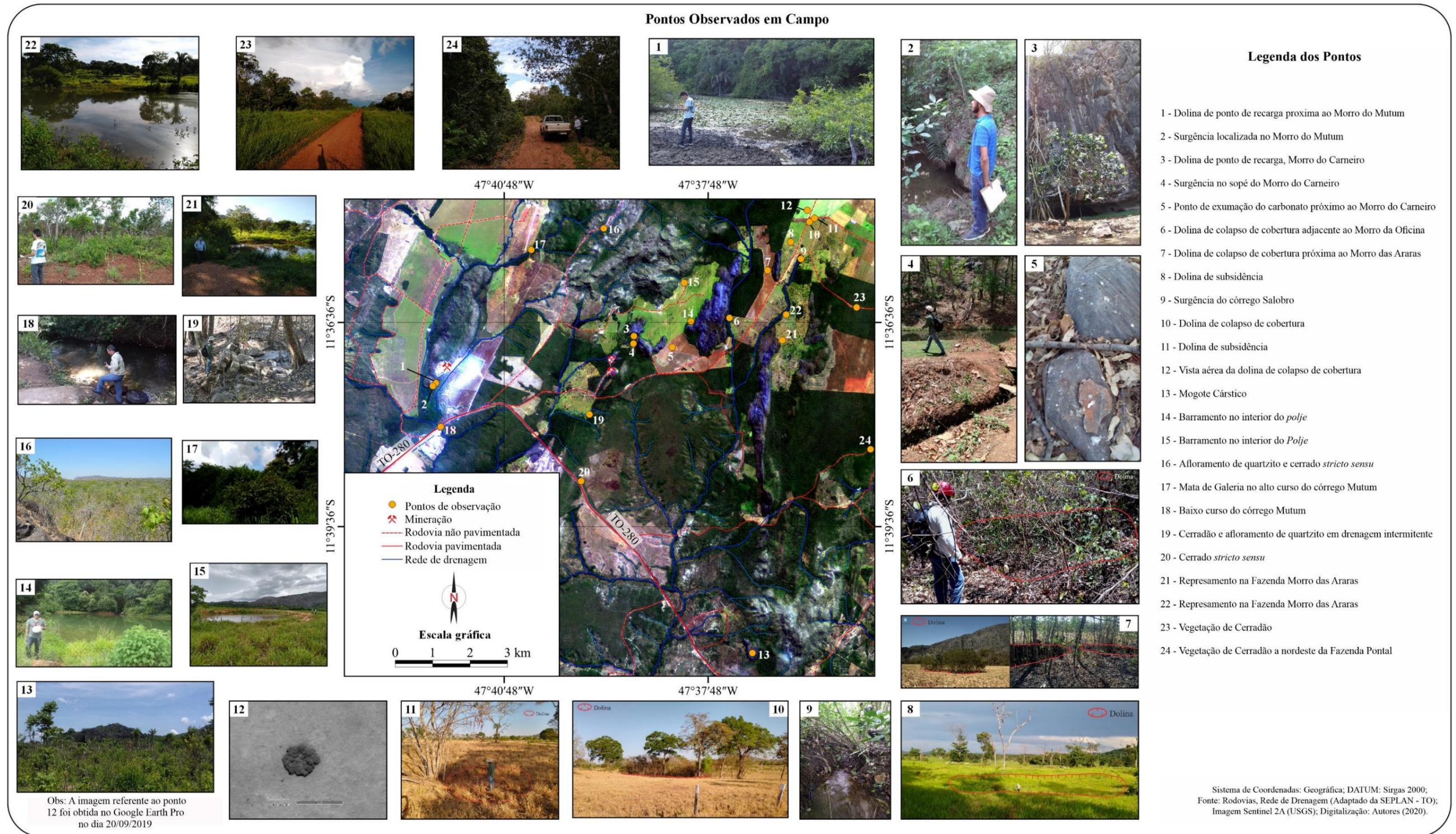


Figura 4. Distribuição dos pontos amostrais na área da pesquisa. Fonte: Autores (2020).



Figura 5. Dolina de ponto de recarga próxima ao Morro do Mutum. Fonte. Autores (2019).

Ponto 5. Ponto de exumação do carbonato próximo ao Morro do Carneiro – Situado nas coordenadas: Latitude: $11^{\circ}36'57.89''$ Sul e Longitude: $47^{\circ}38'19.69''$ Oeste, o epicarste encontra-se encoberto por vegetação muito baixa, até 5 m de altura, com capoeira rala abaixo do subdossel e na altura do piso florestal (Cavalcanti, 2018). A rocha aflorante não ultrapassa 30 cm de altura e encontra-se lapiezada, com caneluras pequenas e com raros pingos de chuva (*rain pits*). Ademais, testemunha, através dos remanescentes carbonáticos, a união paleogeográfica entre os morros do Carneiro e da Oficina, os quais, atualmente, estão separados e fazem parte do contexto do *polje* de contato aberto. Na figura 4 é possível observar as características do local.

Pontos 6 e 7. Dolinas de colapso de cobertura – Enquanto a do ponto 6 está a leste do Morro da Oficina, nas coordenadas: Latitude: $11^{\circ}36'32.04''$ Sul e Longitude: $47^{\circ}37'29.11''$ Oeste, e sob vegetação arbórea alta, típica de cerradão, com fisiologia semidecidual e cobertura densa, que ultrapassa 20 m nas definições de Cavalcanti (2018), a do ponto 7 está a oeste do Morro das Araras, nas coordenadas: Latitude: $11^{\circ}35'50.03''$ Sul e Longitude: $47^{\circ}36'55.46''$ Oeste, e em terreno utilizado para a agricultura, onde alternam-se culturas temporárias (Figura 4).

Ponto 8. Dolina de subsidência – Localiza-se a 350 m a NE do Morro das Araras, no sopé de um mogote carbonático, nas coordenadas: Latitude: $11^{\circ}35'25.04''$ Sul e Longitude: $47^{\circ}36'35.04''$ Oeste. Situa-se a uma altitude de 412 m e em uma porção do relevo suave ondulada. Apresenta morfologia em bacia, a exemplo da demonstrada por Ferreira e Uagoda (2019), e encontra-se em área de pastagem, sofrendo interferência dos animais que transitam nas cercanias, assim como de maquinários agrícolas (Figura 4).

Ponto 9. Surgência do córrego Salobro – Localiza-se a leste do Morro das Araras, nas coordenadas: Latitude: $11^{\circ}35'40.00''$ Sul e Longitude: $47^{\circ}36'26.05''$ Oeste (Figura 4). Sob vegetação arbórea alta (20 a 30 m de altura) não surge no sopé de morros, como as demais citadas, mas sim em terreno suave ondulado.



Figura 6. Surgência localizada no Morro do Mutum. Fonte. Autores (2019).

Pontos 10 e 11. Dolinas de colapso de cobertura – A dolina do ponto 10 situa-se nas coordenadas: Latitude: $11^{\circ}35'07.33''$ Sul e Longitude: $47^{\circ}36'18.48''$ Oeste. Comporta-se como local de reabastecimento do aquífero cárstico no período chuvoso, permanecendo seca durante a estiagem. A do ponto 11, por sua vez, está situada nas coordenadas: Latitude: $11^{\circ}35'04.02''$ Sul e Longitude: $47^{\circ}36'14.06''$ Oeste. A mesma é uma depressão pequena e circular, em estágio “inicial” de abatimento, atestado pelas trincas de tração que evidenciam sua contínua evolução. Ambas se encontram em área com uso intensivo do solo, relacionado à prática da pecuária. Apesar disto, notou-se espécimes vegetais conservados, indicativos da presença pretérita de vegetação de cerradão (Figura 4).

Ponto 12. Dolina de colapso de cobertura – Na porção nordeste, quase no limite da área de estudo, há uma dolina localizada nas coordenadas: Latitude: $11^{\circ}34'57.13''$ Sul e Longitude: $47^{\circ}36'20.46''$ Oeste. Para esta feição há considerações relevantes no tocante à modificação recente da paisagem. Durante o primeiro campo,

realizado entre os dias 14 e 15 de setembro de 2019 não foi possível acessá-la, pois nessa época estava em meio à pastagem, não sendo possível fazer observações detalhadas. Havia uma pequena mata ao seu redor e, diante disso, foi inicialmente interpretada como dolina de subsidência com morfologia em bacia. Numa outra visita de campo, realizada no dia 12 de fevereiro de 2020, havia modificações na área de influência dessa feição. O modo de uso tinha sido alterado de pastagem plantada para monocultura de soja, e a mata ao redor da dolina, suprimida por inteira. Além disso, fragmentos rochosos provenientes da escarificação do terreno foram entulhados em suas laterais.

Em razão do avistado, emergiram novas interpretações morfogenéticas e morfológicas. Portanto, ainda que no contexto da subsidência, a dolina foi classificada como de colapso de cobertura, apresentando morfologia afunilada, não contendo bordas tão suaves quanto havia sido imaginado (Ford e Williams, 2007; Heidari et al., 2011; Ferreira e Uagoda, 2019).

Como local de reabastecimento subterrâneo, a dolina oferece sério risco à contaminação dos recursos hídricos por fertilizantes provenientes da lavoura (Goldscheider et al., 2020). Nessa perspectiva, em Lagoa da Confusão – TO, Simone e Ferreira (2022) alertam sobre os possíveis riscos dos pesticidas na qualidade de vida dos bivalves endêmicos à caverna Casa de Pedra.

Além do mais, a tentativa de obliteração da feição impacta esteticamente o local. Em termos de altitude, localiza-se a 421 m, em terreno suave ondulado. Não há vegetação nativa tão próxima, mas até o ano de 2010 o local era coberto por cerradão. A figura 7 elucida as transformações ocorridas em pouco menos de 5 meses.

Considera-se, no contexto da evolução da paisagem, que essas 6 dolinas, relacionadas a abatimentos ou rebaixamento gradual da cobertura pedológica, são controladas por dobras e falhas. As

dos pontos 6 e 7 emergiram no interior de uma antiforme vazada, em contínuo processo de dissolução, controlada por falhamento a oeste da Serra Preta, como demonstrado pelo mapeamento de Saboia (2009). As dos pontos 8, 10, 11 e 12, assim como a surgência do córrego Salobro, surgiram no flanco leste da anticlinal, influenciadas pela falha ao norte da Serra da Natividade, que concentra os fluxos subsuperficiais preferencialmente para sul dessas morfologias (Praxedes, 2015). Esta falha, também é relevante na dinâmica das dolinas de ponto de recarga, aludidas anteriormente.

Ponto 13. Mogote cárstico – Localiza-se a sudeste da área, nas coordenadas de Latitude: 11°41'27.60" Sul e Longitude: 47°37'08.85" Oeste. A feição é um seguimento da Serra Preta, e encontra-se a 414 m de altitude, em relevo forte ondulado (Figura 4). Em suas proximidades há um misto de atividade Agropecuária, remanescentes de Formações Campestres sobre litossolo pedregoso (50% a 75%) e Formações Florestais, com cerradão na meia vertente dos metapsamo-pelitos da unidade 4 de Saboia (2009). Além destes exemplos de vegetação nativa, há também uma vereda na porção sul do maciço, que tem sofrido com incêndios e/ou queimadas, uns dos tipos de impactos à dinâmica do carste, conforme salientado por Moraes e Nascimento (2022). Sobre o carbonato fraturado, lapiezado e dobrado, existem cactáceas e presença de intemperismo biológico atuante. Ademais, além de conter cavernas embutidas, nas laterais do maciço foram identificados pontos de infiltração, com sentido SW-NE.

A partir de então, as descrições se voltarão aos demais pontos que complementam a caracterização da paisagem. Ainda que estes não sejam feições cársticas em si, estão inter-relacionados, interligados à dinâmica de toda a área.



Figura 7. Dolina de colapso de cobertura: (a) vista aérea da dolina; (b) visão oblíqua da depressão. Fonte: *Google Earth Pro* (2019), Autores (2020).

Pontos 14 e 15. Barramentos no interior do *Polje* – Com Latitude: 11°36'35.06" Sul e Longitude: 47°38'03.09" Oeste, o ponto 14 corresponde ao barramento do córrego que escoia a oeste do Morro da Oficina (Figura 8). A vegetação possui porte de cerradão, porém, existe também mata seca ao redor do maciço. A altitude é de 381 m, o relevo é ondulado e a estabilidade do talude é alta, havendo, porém, blocos angulosos da meia para baixa vertente. A rochividade é alta em virtude da relação com o Morro da Oficina. Sulcos laminares ocorrem, principalmente, nas bordas do barramento e em meio à pastagem circundante.



Figura 8. Barramento no interior do *polje*: lâmina d'água em primeiro plano, desvio para captação e vegetação no segundo. Fonte. Autores (2020).

Esse barramento foi feito para abastecer rebanhos bovinos, que são criados no interior do *polje* em sistema de “piquetes”. Por estar associado ao curso fluvial, pode impactar na hidrologia cárstica, principalmente por receber dejetos dos animais. Área intensamente ocupada, contém atividade pastoril desde antes de 2010 (Secretaria do Planejamento e da Modernização da Gestão Pública (SEPLAN), 2012).

O ponto 15 localiza-se ao norte do *polje* e em contato com os metapsamo-pelitos da unidade 4 de Saboia (2009). Com as coordenadas: Latitude: 11°36'01.03" Sul e Longitude: 47°38'09.00" Oeste, corresponde ao barramento de um pequeno córrego, com nascente nas rochas detríticas. No sopé destas rochas há uma vegetação de cerradão, que vai raleando-se à medida em que a topografia se eleva (Figura 4).

Ponto 16. Afloramento de quartzito – Este ponto localiza-se nas coordenadas: Latitude: 11°35'13.05" Sul e Longitude: 47°39'20.08" Oeste, e corresponde a um afloramento rochoso. No local há uma vegetação arbórea, predominantemente baixa, típica de cerrado sentido restrito (Figura 9c). Em uma das vertentes do afloramento o dossel está conectado, formando cobertura densa, enquanto na outra, a cobertura é

aberta com piso florestal forrado por canelas-de-ema, sobrepostas ao solo pedregoso (25% a 50%) proveniente de detritos quartzíticos.

O relevo caracteriza-se pela presença de colinas (Figura 9a), e a altitude é de 379 m. A área é rochosa (25% a 50%) com média exposição das rochas e estabilidade média dos taludes, podendo ser percebidos blocos no sopé da vertente. Também foi possível observar erosões laminar e em sulcos. Ademais, observou-se lentes de sílica, indicativo da instabilidade tectônica (Figura 9d).

Por fim, constatou-se a ocorrência de canais de baixa ordem, sobretudo, canais que fazem parte do córrego Bananal, afluente do Córrego Mutum (Figura 9b). Esses canais apresentaram intermitência, com afloramentos de quartzitos em seu leito.

Na figura 9 é possível observar as características do local visitado, bem como o estado de conservação.

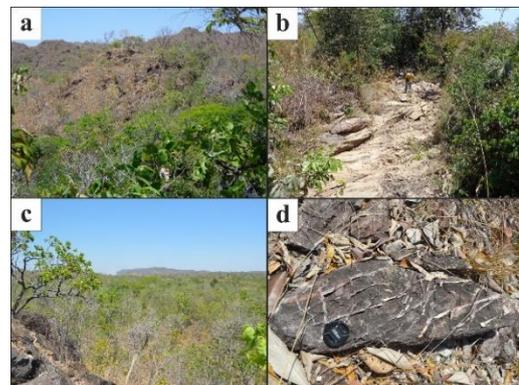


Figura 9. (a) colina com afloramento rochoso; (b) afloramento no canal fluvial; (c) cerrado *stricto sensu*; (d) *boxwork* (lentes de sílica). Fonte. Autores (2019).

Pontos 17 e 18. Correspondem ao alto e ao baixo curso do córrego Mutum – No alto curso (Latitude: 11°35'32.01" Sul e Longitude: 47°40'24.07" Oeste), o córrego Bananal, afluente desse, possui fluxo constante no período chuvoso, porém, com lâmina d'água não muito profunda, tampouco larga, no tocante ao leito de vazante. O mesmo transporta sedimentos mal selecionados, com lados angulosos, próximos ao calhau, provenientes dos metapsamo-pelitos da unidade 4 de Saboia (2009). O baixo curso (Latitude: 11°38'08.06" Sul e Longitude: 47°41'44.03" Oeste) caracteriza-se pela presença de fluxo laminar, sedimentos finos, e volume hídrico maior que o do ribeirão Água Suja. Para mais informações (Figura 4).

Ponto 19. Cerradão e afloramento de quartzito – Localiza-se na porção central da área

estudada, próximo a um canal fluvial intermitente, afluente do ribeirão Água Suja, sob coordenadas de: Latitude: 11°37'57.16" Sul e Longitude: 47°39'32.71" Oeste. As árvores são altas, com troncos grossos. Há poucas rochas expostas, com destaque para afloramentos de quartzitos no leito do canal, cuja direção preferencial (NE-SW) coincide com o controle do Lineamento Transbrasiliano, evidente nas feições cársticas relatadas (Figura 4).

Ponto 20. Cerrado *stricto sensu* – Localiza-se nas coordenadas: Latitude: 11°38'36.03" Sul e Longitude: 47°39'40.08" Oeste. Corresponde a uma vegetação de cerrado em sentido restrito, com cobertura vegetal aberta, apresentando copas esparsas, principalmente por ter sofrido incêndios florestais no período seco e raleamento com cortes de árvores de menor expressão. Continha vegetação adensada no ano de 2010, perdendo área para a classe Agropecuária a partir de 2015 (Figura 3). Reconheceu-se esse local como área de reabastecimento das cabeceiras de drenagem que alimentam o ribeirão Água Suja a oeste e o córrego Salobro a leste. Portanto, comporta-se como divisor das bacias hidrográficas dos principais cursos d'água da área de estudo (Figura 4).

Pontos 21 e 22. Correspondem a represas, localizadas no interior da superfície de dissolução a leste da Serra Preta – A do ponto 21 situa-se nas coordenadas: Latitude: 11°36'51.77" Sul e Longitude: 47°36'42.43" Oeste. Já a do 22 nas coordenadas: Latitude: 11°36'29.09" Sul e Longitude: 47°36'39.08" Oeste (Figura 4). Anterior vegetação de cerrado fazia parte da paisagem, tendo sido suprimida para plantio de pastagem. Nesse contexto, elas são utilizadas para o abastecimento dos bovinos. Sauro (2003 e 2012) aborda que algumas feições decorrentes da ação humana podem vir a se comportar como dolinas.

Diante disso, estudos futuros devem ser conduzidos nesta localização, acima de tudo para melhor entender o comportamento cárstico a leste da Serra Preta, haja vista a quantidade de áreas pantanosas passíveis de detalhamento, assim como a relação das represas com o endocarste.

Pontos 23 e 24. Vegetação de cerrado – Com Latitude: 11°36'22.77" Sul e Longitude: 47°35'36.87" Oeste, o ponto 23 diz respeito a uma mata fechada, arbórea baixa (5 a 20 m de altura) típica de cerrado. À medida em que se aproxima do carbonato, a oeste deste ponto, a vegetação tem

o porte mais elevado, com árvores altas (20 a 30 m).

Tanto a rochosidade quanto a pedregosidade são ausentes. Está em altitude de aproximadamente 419 m, com relevo variando de plano para suave ondulado. O local, em si, encontra-se conservado, talvez um dos maiores remanescentes de cerrado da área, juntamente com o ponto a nordeste da Fazenda Pontal. O solo possui coloração avermelhada, com característica de depósitos detrito-lateríticos (Figura 10).



Figura 10. Vegetação de cerrado a NE da área. Fonte. Autores (2020).

O ponto 24, por sua vez, localiza-se a nordeste da Fazenda Pontal, nas coordenadas: Latitude: 11°38'27.89" Sul e Longitude: 47°35'24.58" Oeste (Figura 4). Com porte arbóreo, em geral, contém árvores entre 5 e 20 m de altura, consideradas baixas para Cavalcanti (2018), porém, conforme se aproxima da Fazenda citada, árvores com troncos, alturas e copas maiores tornam-se recorrentes. A uma altitude de 408 m, o relevo possui pequenas rugosidades, mas a declividade é moderada. Na localidade a rochosidade é baixa, contudo, afloramentos de quartzitos foram avistados a leste, não mais na área pesquisada.

Com base nos dados levantados, tanto a nível de interpretação de imagem, quanto de trabalho de campo, cabe fazer alguns apontamentos complementares à guisa de ampliar o escopo das interpretações a respeito das informações aludidas no decorrer das apresentações supracitadas.

Nesses 10 anos analisados constata-se nitidamente o crescimento da Agropecuária em relação à vegetação nativa, observável visualmente ou estatisticamente. As atividades antrópicas, seja a monocultura ou mesmo a pastagem plantada, principalmente aquelas de maior extensão territorial, ocupam terrenos planos, favoráveis a grandes sistemas de repartição, no caso da pastagem, e ao preparo da terra e colheita dos grãos com mecanização pesada, no caso da agricultura extensiva. Por outro lado, as pequenas

propriedades rurais caracterizam-se pelo desmatamento em polígonos localizados e de pouca extensão territorial, distribuindo-se principalmente a sul e a sudeste da área.

Essas atividades antrópicas têm ocupado espaço em áreas diretamente interligadas aos recursos hídricos superficiais ou subterrâneos, contribuindo possivelmente para o escoamento superficial, bem como para a expansão e origem de feições cársticas. Sobre *Savana Arborizada* (formações de campo), expandiu entre o interflúvio do córrego Mutum com ribeirão Água Suja, e entre este e o córrego Salobro, o último sobre extensas coberturas de depósitos detrito-lateríticos. Já os locais de supressão de cerradão para plantio de capim ou monoculturas temporárias, coincidem com a localização das atuais dolinas de colapso de cobertura, similares às citadas por Heidari et al. (2011), Cahalan e Milewsk (2018), Paschoal e Morais (2019) e Travassos (2019).

Nos últimos dois anos da análise (2019 e 2020), a implementação de culturas temporárias transformou a relação carste-efluentes. Assim, a substituição de pasto para cultivo de soja nas proximidades do ponto 12 tende a impactar negativamente na surgência do córrego Salobro (ponto 9) e em outros locais, como aborda a literatura (Goldscheider, 2012; Timo et al., 2018; Goldscheider et al., 2020). Além disso, a pressão provocada pelas máquinas pesadas pode intensificar a formação de futuras dolinas de abatimento de solo ou a ampliação das já existentes, o que configura um risco, principalmente pelo caráter repentino dos desabamentos (Delle Rose et al., 2004; Ford e Williams, 2007; Karagüzel et al., 2020; Amaral et al., 2021; Santos et al., 2022).

Apesar das Formações Campestres, do tipo *Savana Arborizada* terem perdido mais espaço comparado às Formações Florestais, do tipo *Savana Florestal*, o avanço de atividades agropastoris sobre terrenos cobertos por cerradão constitui fator de maior preocupação, principalmente pela baixa capacidade de revitalização, às vezes remotas, algo preconizado por Ab'Sáber (2012) e carente de mais atenção governamental e popular. Já o cerrado *stricto sensu* e demais vegetações de campo revigoram mais rápido, o que também não anula o melhor planejamento para a ocupação destas áreas.

Depreende-se, portanto, que os remanescentes de cerradão precisam de maiores cuidados, pois sua resiliência é muito baixa, além de constituírem importante cobertura vegetal,

assegurando a sobrevivência de uma fauna diversificada (Ab'Sáber, 2012).

Por sua vez, o aumento da classe Mata de Galeria, ao final da análise, pode refletir o disposto na (Lei n. 12.651, 2012) que define as matas de fundo de vale como Área de Preservação Permanente (APP). Acrescenta-se, ainda, a qualidade das imagens de 2015 e 2020, as quais possibilitaram melhores classificações.

Conclusões

As informações suscitadas, seja por interpretações dos dados de sensoriamento remoto, quanto pelas campanhas de campo, permitiram descrever as principais características da paisagem cárstica de Natividade e Chapada da Natividade, Tocantins. Diante disso, considera-se os seguintes aspectos:

- O carste de Natividade e Chapada da Natividade possui diversas morfologias típicas, como cavernas, dolinas, morrotes e surgências, as quais de alguma forma têm sido impactadas pelas práticas de uso e ocupação dos seres humanos, tanto de maneira direta, quanto indireta.
- A vegetação natural tem perdido espaço para atividades agropecuárias nos 10 anos analisados, fato constante no carste do sudeste do estado do Tocantins, como demonstra outras pesquisas recentes;
- Apesar da supressão da vegetação ter incidido em maior grau nas Formações Campestres, as Formações Florestais demandam manejo adequado, pois necessitam de longos tempos para se recuperarem;
- As áreas de monoculturas temporárias, ou mesmo de pastagens, coincidem com as áreas das principais dolinas de colapso de cobertura e de subsidência. Além disso, as depressões encontram-se, principalmente, em terrenos anteriormente ocupados por cerradão;
- Em menor ou maior grau, as dolinas de contato, as de colapso de cobertura e as surgências/ressurgências vêm sofrendo impactos, que repercutem na estética das feições, e podem incidir nos recursos subsuperficiais. Dentre esses, destacam-se a presença de suínos nas proximidades de depressões, assim como plantações que usam defensivos agrícolas prejudiciais;
- É preciso realizar um planejamento ambiental para a área, levando em

consideração os aspectos bióticos, abióticos, e, também, os “modos de vida” e a condição social das diferentes famílias que residem naquelas terras. Para contribuir com isso, é necessário ampliar a educação ambiental nos diferentes níveis educacionais, e na sociedade em geral;

Logo, observa-se que a pesquisa no carste de Natividade, Chapada da Natividade e do sudeste do Tocantins de maneira geral, é um campo aberto, e que o intuito deste estudo não foi encerrar uma temática tão ampla, mas sim demonstrar o estado atual da paisagem cárstica, abrindo caminho para as novas investigações.

Agradecimentos

Esta pesquisa contou com a colaboração da CAPES, através da concessão da bolsa de Demanda Social (DS), ofertada ao 1º autor, em nível de mestrado. Também contou com os apontamentos e correções dos Drs. Luiz Eduardo Panisset Travassos e Sandro Sidnei Vargas de Cristo. Este último, tendo participado das campanhas de campo, juntamente com os Geógrafos Jair Souza da Silva e Lucas da Silva Ribeiro.

Referências

- Ab’Sáber, A. N., 2012. Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas, 7 ed. Ateliê Editorial, São Paulo.
- Alves, L. R. F., 2018. Aspectos da paisagem cárstica do entorno do rio Azuis, Tocantins: caracterização geomorfológica e contribuições para gestão ambiental. Dissertação (Mestrado). Porto Nacional, UFT.
- Amaral, A. K. N., Souza, C. A., Momoli, R. S., Cherem, L. F. S., 2021. Use of unmanned aerial vehicle to calculate soil loss. *Pesq. Agropec. Trop.*, Goiânia, 51, 1-9.
- Amaral, A. K. N., Cherem, L. F. S., Momoli, R. S., 2022. Scientometric analysis of scientific production on karst in Brazil over the last 30 years (1990 – 2020). *Journal of South American Earth Sciences*, 115, 1-7.
- Azevedo, V., Stríkis, N. M., Santos, R. A., Souza, J. G., Ampuero, A., Cruz, F. W., Oliveira, P., Iriarte, J., Stumpf, C. F., Vuille, M., Mendes, V. R., Cheng, H., Edwards, R. L., 2019. Medieval Climate Variability in the Eastern Amazon-Cerrado Regions and its Archeological Implications. *Scientific Reports*, 9, 1-10.
- Bemerguy, R. L., Borges, M. S., Costa, J. B., 1994. Geomorfologia da região de Natividade, Estado do Tocantins, in: 38º Congresso Brasileiro de Geologia. Boletim de Resumos Expandidos, SBG, Balneário Camboriú, pp. 194-195. Disponível: <http://www.sbgeo.org.br/home/pages/44>. Acesso: 06 de abr. 2020.
- Brasil, 2012. Lei nº 12.651, de 25 de maio. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa. *Diário Oficial da União*, seção 1, ano. 149, n. 102. Brasília.
- Cahalan, M. D., Milewski, A. M., 2018. Sinkhole formation mechanisms and geostatistical-based prediction analysis in a mantled karst terrain. *Catena* [online] 165. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2018.02.010>. Acesso em: 10 de nov. 2019.
- Cavalcanti, L. C. S., 2014. Cartografia de Paisagens: fundamentos. Oficina de Textos, São Paulo.
- Cavalcanti, L. C. S., 2018. Cartografia de Paisagens: fundamentos, 2 ed. Oficina de Textos, São Paulo.
- CPRM. Serviço Geológico do Brasil, 2016. Mapa Geodiversidade do Estado do Tocantins. Brasília.
- Cvijić, J., 2017. CARSTE: Uma monografia geográfica (1895). Tradução Luiz Eduardo Panisset Travassos. PUC Minas, Belo Horizonte.
- Dardenne, M. A., Saboia, A. M., 2007. Litoestratigrafia do grupo natividade na região de Natividade – Pindorama, sudeste do estado do Tocantins, in: Rosa-Costa, L. T., Klein, E. L., Viglio, E. P. (Eds.), *Contribuições à Geologia da Amazônia*, vol. 5. SBGeo – Núcleo Norte, Belém, pp. 29-38.
- Delle Rose, M., Federico, A., Parise, M., 2004. Sinkhole genesis and evolution in Apulia, and their interrelations with the anthropogenic environment. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 4, 747–755.
- Ferreira, C. F., Uagoda, R. E. S., 2019. Tipologias do carste e classificações de dolinas: uma revisão. *Caminhos de Geografia* [online] 20. Disponível: <https://doi.org/10.14393/RCG207044169>. Acesso: 20 de abr. 2020.
- Ferreira, Z. A., 2015. Diagnóstico físico-conservacionista do ambiente cárstico da bacia do córrego Cana-Brava, Aurora do Tocantins – TO. Dissertação (Mestrado). Palmas, UFT.

- Ford, D., Williams, P., 2007. Karst hydrogeology and geomorphology, 2 ed. John Wiley & Sons Ltd, Chichester.
- Gams, I., 1993. Origin of the term "karst," and the transformation of the Classical Karst (kras). *Environmental Geology*, 21, 110-114.
- Goldscheider, N., 2012. A holistic approach to groundwater protection and ecosystem services in karst terrains. *AQUA mundi*, 117-124. DOI 10.4409/Am-046-12-0047
- Goldscheider, N., Chen, Z., Auler, A. S., Bakalowicz, M., Broda, S., Drew, D., Hartmann, J., Jiang, G., Moosdorf, N., Stevanovic, Z., Veni, G., 2020. Global distribution of carbonate rocks and karst water resources. *Hydrogeology Journal*, 28, 1661–1677.
- Gorayeb, P. S. S., Costa, J. B. S., Lemos, R. L., Junior, T. G., Bemerguy, R. L., Hasui, Y., 1988. O pré-cambriano da região de Natividade, GO. *Revista Brasileira de Geociências*, 18, 391-397.
- Hajna, N. Z., 2019. From tradition towards the future – speleology and karstology in Slovenia, in: 35° Congresso Brasileiro de Espeleologia. *Anais... SBE, Bonito*, pp. 315-321.
- Heidari, M., Khanlari, G. R., Tabe Beydokhti, A. R., Momeni, A. A., 2011. The formation of cover collapse sinkholes in North of Hamedan, Iran. *Geomorphology [online]* 132. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2011.04.025>. Acesso: 10 jan. 2019.
- Hussain, Y., Uagoda, R., Borges, W., Nunes, J., Hamza, O., Condori, C., Aslam, K., Dou, J., Cárdenas-Soto, M., 2020. The Potential Use of Geophysical Methods to Identify Cavities, Sinkholes and Pathways for Water Infiltration. *Water*, 12, 1-19.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2013. Manual Técnico de Uso da Terra. Rio de Janeiro.
- Karagüzel, R., Mahmutoğlu, Y., Erdoğan Topçuoğlu, M., Şans, G., Dikbaş, A., 2020. Susceptibility mapping for sinkhole occurrence by GIS and SSI methods: A case study in Afsin-Elbistan coal basin. *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences*, 26, 8, 1353-1359.
- Karmann, I., 1994. Evolução e Dinâmica Atual do Sistema Cárstico do Alto Vale do Rio Ribeira de Iguape, Sudeste do Estado de São Paulo. Tese (Doutorado). São Paulo, USP.
- Kohler, H. C., 1998. Geomorfologia cárstica, in: Guerra, A. J. T., Cunha, S. B. (Org.), Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos, 3 ed. Bertrand Brasil, Rio de Janeiro.
- Kohler, H. C., Castro, J. F. M., 2002. Geomorfologia cárstica, in: Cunha, S. B., Guerra, A. J. T. (Org.), Geomorfologia: exercícios, técnicas e aplicações, 2 ed. Bertrand Brasil, Rio de Janeiro.
- Kranjc, A., 2013. Classification of closed depressions in carbonate karst, in: Shroder, J. (Editor in Chief), Frumkin, A. (Ed.), *Treatise on Geomorphology*. Academic Press, San Diego, 6, pp. 104-111, Karst Geomorphology.
- Leff, E., 2008. *Discursos sutentables. Siglo XXI Editores, México*.
- Leite, E. F., 2011. Caracterização, diagnóstico e zoneamento ambiental: exemplo da bacia hidrográfica do rio Formiga – TO. Tese (Doutorado). Uberlândia, UFU.
- Lima, P. S., Morais, F., 2022. Espeleotemas da Furna da Onça, Povoado Retiro, São Salvador do Tocantins – TO, in: 36° Congresso Brasileiro de Espeleologia. *Anais... SBE, Brasília*, pp. 334-341.
- Maranhão, D. D. C., Pereira, M. G., Collier, L. S., Anjos, L. H. C., Azevedo, A. C., Cavassani, R. S., 2020. Pedogenesis in a karst environment in the Cerrado biome, northern Brazil. *Geoderma*, 365, 1-15.
- Milanovic, P. 2002 The environmental impacts of human activities and engineering constructions in karst regions. *Episodes*, 25, 1, 13-21.
- Morais, F., Nascimento, H. R., 2022. As queimadas como fator de impacto sobre as cavernas no carste de Aurora do Tocantins, in: 36° Congresso Brasileiro de Espeleologia. *Anais... SBE, Brasília*, pp. 545-552.
- Moreira, R., 2008. *Pensar e ser em Geografia: ensaios de história, epistemologia e ontologia do espaço geográfico*. Contexto, São Paulo.
- Paschoal, L. G., Morais, F., 2019. Dinâmica do uso e ocupação da terra em áreas de expansão da fronteira agrícola no Baixo Curso do Rio Palmeiras, Estado do Tocantins. *Revista do Departamento de Geografia*, 37, 15-29.
- Pereira, G. C., 2016. Contribuições à geomorfologia da Lagoa da Confusão – TO. Dissertação (Mestrado). Porto Nacional, UFT.
- Piló, L. B., Castro, S. S., 2020. Soils of the Lagoa Santa Karst, in: Auler, A. S., Pessoa, P. (Ed.), *Lagoa Santa Karst: Brazil's Iconic Karst Region, Cave and Karst*. Springer, Switzerland, pp. 93-108.
- Praxedes, I. F., 2015. Lineamento Transbrasiliiano, contribuição aerogeofísica, tectônica e geocronológica no setor nordeste da Faixa

- Brasília. Dissertação (Mestrado). Brasília, UNB.
- Pueyo Anchuela, O., López, D. A., Juan, A. P., Casas Sainz, A., Simón, J. L., Gil, H., Lloréns, J. F. I., Gracia Abadías, J., 2012. Consideraciones sobre la construcción en zonas kársticas activas. Caso de la Avenida de las Estrellas de Zaragoza. *Geogaceta*, 51, 63-66.
- Saboia, A. M., 2009. O Vulcanismo em Monte do Carmo e Litoestratigrafia do Grupo Natividade, Estado de Tocantins. Dissertação (Mestrado). Brasília, UNB.
- Sallun Filho, W., 2009 Subsidiência e colapso em terrenos cársticos, in: Tominaga, L. K., Santoro, J., Amaral, R. (Org.), *Desastres naturais: conhecer para prevenir*. Instituto Geológico, São Paulo.
- Santos, C. L., Silva, O. G., Vital, S. R. O., 2022. Mapeamento de Áreas de Risco Associadas ao Carste em Área Urbana no Município de João Pessoa-PB. *Sociedade e Natureza*, 34, 1-16. DOI: 10.14393/SN-v34-2022-63641
- Sauro, U., 2003. Dolines and Sinkholes. aspects of evolution and problems of classification. *Acta Carsologica*, 32, 41-52.
- Sauro, U., 2012. Closed depressions in karst areas, in: White, W. B., Culver, D. C. (Eds.). *Encyclopedia of Caves 2 ed.* Academic Press, Amsterdam, pp. 140-155.
- SEPLAN. Secretaria do Planejamento e da Modernização da Gestão Pública, 2012. *Atlas do Tocantins: subsídios ao planejamento da gestão territorial*, 6 ed. Palmas.
- Silva, E. R. P., 1987. Estudo das ocorrências auríferas da área de Natividade – GO. Dissertação (Mestrado). Belém, UFPA.
- Simone, L. R. L., Ferreira, R. L., 2022. *Eupera troglobia* sp. nov.: the first troglobitic bivalve from the Americas (Mollusca, Bivalvia, Sphaeriidae). *Subterranean Biology*, 42, 165–184.
- Teles, E. F. B., Morais, F., 2019. Os grandes empreendimentos em áreas cársticas na Amazônia Legal brasileira: o caso do estado do Tocantins. *ACTA Geográfica*, 13, 33, 20-41.
- Timo, M. B., Travassos, L. E. P., Varela, I. D., 2018. *Espeleologia no Licenciamento Ambiental*. Instituto Minere, Belo Horizonte.
- Toscani, R., Campos, J. E. G., Matos, D. R., Martins-Ferreira, M. A. C., 2021. Complex depositional environments on a siliciclastic-carbonate platform with shallow-water turbidites: The Natividade Group, central Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 107, 1-21.
- Travassos, L. E. P., 2010. Considerações sobre o carste da região de Cordisburgo, Minas Gerais, Brasil. *Tradição Planalto*, Belo Horizonte.
- Travassos, L. E. P., 2013. O carste e as cavernas nas obras de Alexander Von Humboldt. *Revista Bibliográfica de Geografia y Ciencias Sociales*, 18, 1-16.
- Travassos, L. E. P., 2019. *Princípios de Carstologia e Geomorfologia Cárstica*. ICMBio, Brasília.
- Tricart, J., 1956. O karst das vizinhanças setentrionais de Belo Horizonte. *Revista Brasileira de Geografia*, 4, 451-470.
- Veress, M., 2020. Karst Types and Their Karstification. *Journal of Earth Science*, 31, 3, 621-634.
- Wray, R., 2009. Phreatic drainage conduits within quartz sandstone: Evidence from the Jurassic Precipice Sandstone, Carnarvon Range, Queensland, Australia. *Geomorphology*, 110, 3-4, 203-211.
- Wulf, A., 2016. *A invenção da natureza: a vida e as descobertas de Alexandre von Humboldt*. Tradução Renato Marques. Planeta, São Paulo.
- Zhou, L., Wang, X., Wang, Z., Zhang, X., Chen, C., Liu, H., 2020. The challenge of soil loss control and vegetation restoration in the karst área of southwestern China. *International Soil and Water Conservation Research*, 8, 26-34.