



UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE PALMAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DO AMBIENTE

OSCAR EDUARDO PAEZ MANCHOLA

FUNÇÃO GEOAMBIENTAL DE DEPRESSÕES DOLINIFORMES NA
PLANÍCIE DO ARAGUAIA

Palmas - TO

2022

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS PROGRAMA DE PÓS-
GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DO AMBIENTE**

OSCAR EDUARDO PAEZ MANCHOLA

**FUNÇÃO GEOAMBIENTAL DE DEPRESSÕES DOLINIFORMES NA
PLANÍCIE DO ARAGUAIA**

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação
em Ciências do Ambiente, como requisito para
obtenção de grau de Doutor em Ciências do
Ambiente.

Orientador: Dr. Fernando de Moraes

Palmas - TO

2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Tocantins

- O81f Manchola, Oscar Eduardo Paez.
 Função geoambiental de depressões doliniformes na planície do
 Araguaia. / Oscar Eduardo Paez Manchola. – Palmas, TO, 2022.
 149 f.
- Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Tocantins – Câmpus
 Universitário de Palmas - Curso de Pós-Graduação (Doutorado) em Ciências
 do Ambiente, 2022.
 Orientador: Fernando de Moraes
 Coorientadora : Kellen Ferreira Silva Lagares
1. Geoambiente. 2. Toponímia. 3. Geoprocessamento. 4. Suscetibilidade. I.
 Título

CDD 628

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS – A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio deste documento é autorizado desde que citada a fonte. A violação dos direitos do autor (Lei nº 9.610/98) é crime estabelecido pelo artigo 184 do Código Penal.

Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFT com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

OSCAR EDUARDO PAEZ MANCHOLA

FUNÇÃO GEOAMBIENTAL DE DEPRESSÕES DOLINIFORMES NA
PLANÍCIE DO ARAGUAIA

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação
em Ciências do Ambiente, como requisito para
obtenção de grau de Doutor em Ciências do
Ambiente.

BANCA EXAMINADORA

_____ Prof. Dr.
Fernando de Moraes (Orientador), UFT

_____ Prof. Dr.
Heber Rogerio Gracio (Avaliador interno), UFT

_____ Prof. Dr.
Camilo Torres Sanchez (Avaliador externo), UEA

_____ Prof. Dr.
Rodolfo Alves da Luz (Avaliador interno), UFT

_____ Prof. Dr.
Sandro Sidnei Vargas de Cristo (Avaliador interno), UFT

_____ Prof. Dra.
Lucas Barbosa e Souza (Avaliador interno suplente), UFT

_____ Prof. Dra.
Renata Santos Momoli (Avaliadora externa suplente), UFG

*Dedico este trabalho ao meu maior
incentivador da minha trajetória
acadêmica, meu querido tio Joaquim
Eduardo Manchola Cifuentes (in
memoriam)*

“Não há efeito sem causa. Procurai a causa de tudo o que não é obra do homem e a vossa razão vos responderá.”

Allan Kardec

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter me concedido a oportunidade de existir e aprender um pouco das maravilhas da sua criação.

À toda minha família, em especial ao meu tio Joaquin Eduardo Manchola Cifuentes que foi meu principal apoiador e incentivador desde início da minha trajetória acadêmica, sem a ajuda dele não teria chagado a esta fase da minha vida. À minha avó Concepción Rodriguez de Manchola pela força e a coragem que me ajudaram nos momentos difíceis. Ao meu Pai José Antonio Paez Parra e minha mãe Maria Marleny Manchola Rodriguez pelo amor incondicional e incentivos permanentes.

À minha amada esposa Bruna Sousa Gonçalves por todo o amor, companheirismo e apoio durante todo este processo, és o meu alicerce e princípio vital da minha força.

Ao meu orientador Prof. Dr. Fernando de Moraes pela dedicação, humanidade e força nos momentos mais difíceis, obrigado por não me deixar desistir e por todos os conhecimentos transmitidos desde o início até o final desta etapa.

À professora Dra. Karylleila Andrade que me auxiliou de forma muito prestativa no entendimento da abordagem sociocultural desta pesquisa e sua importância na valoração do meio ambiente.

Ao meu médico oncologista Dr. Gray Portela por me ajudar a superar o câncer que me acometeu durante a elaboração deste trabalho e pelas palavras de encorajamento nos momentos mais difíceis do meu tratamento.

Ao Programa de Pós-graduação em Ciências do Ambiente (UFT), em especial à coordenadora Dra. Kellen Lagares e ao servidor Eclesio Santos que foram prestativos e solidários com a minha situação. Assim como a todos os professores, professoras e colegas que compartilharam seus saberes, experiências e tornaram este processo de evolução acadêmica mais ameno e agradável.

E a todos que de alguma forma contribuíram para este trabalho.

Muito obrigado!

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Processo de carstificação superficial (externo) e subterrânea (interno)	22
Figura 2 - Esquema das principais morfológicas cársticas superficiais e subterrâneas.....	24
Figura 3 - Caverna Hang Son Doong localizada no maciço calcário de Phong Nha Ke Bang no centro-oeste de Vietnam.	25
Figura 4 - Caverna e espeleotemas de sílica localizados no complexo cavernas de Imawari Yeuta na Venezuela.....	27
Figura 5 - Uvala formada pela dissolução de três dolinas alinhadas, denomina “Lagoa do Vânico” localizada à margem direita do Rio das Mortes, Cocalinho, Mato Grosso, Brasil.....	28
Figura 6 - Classificação das zonas de carstificação: Exocarste, Epicarste e endocarste.	29
Figura 7 - Lapiás ou karren localizados na costa oeste de British Columbia, Canada.	32
Figura 8 - Sumidouro de um 1 m de profundidade localizado em Cordisburgo, Minas Gerais, Brasil.	33
Figura 9 - Surgência cárstica denominada de “Fervedor” localizada em Cocalinho, Mato Grosso, Brasil.....	33
Figura 10 - Vale cego denominado de “Dead river” localizado na bacia hidrográfica do Rio Alapaha, Georgia, Estados Unidos.	34
Figura 11 - Polje de Zafarraya localizado na “Sierra Gorda”, Granada, Espanha.	35
Figura 12 - Dolina de colapso de 300 metros de profundidade denominada “Sima de Sarisariñama” localizado no Parque Nacional Jaua-Sarisariñama, estado de Bolívar, Venezuela.	36
Figura 13 - Dolina de dissolução.....	37
Figura 14 - Dolina de colapso.....	37
Figura 15 - Dolina de subsidência	38
Figura 16 - Desabamentos causados pelo colapso de dolinas no povoado de Maohe, Maohe, Guangxi, China.	40
Figura 17 - Localização da área de estudo (Planície do Araguaia)	45
Figura 18 - Percentual de Unidades lexicográficas identificadas para o referente “depressão doliniforme”, descrito a partir de trabalhos acadêmicos realizados na Planície do Araguaia no período de 1985 a 2019.	59

Figura 19 - Vinculações disciplinares e interdisciplinares de trabalhos acadêmicos relacionados ao referente “depressão doliniforme” na Planície do Araguaia, no período de 1985 a 2019.....	64
Figura 20 - Comparação das áreas de estudo com <i>ipucas/impucas</i> no Brasil e (Dolinas) Sinkholes nos Estados Unidos. A: <i>Ipucas</i> localizadas na Planície do Araguaia, município de Lagoa da Confusão, Brasil, área de estudo de Martins et al., 2002 (Lat. -10.85°; long. -49.75°).	69
Figura 21 - Localização da Planície do Araguaia e suas unidades geomorfológicas.	75
Figura 22 - Distribuição espacial das feições doliniformes na Planície do Araguaia. (A) Localização das feições doliniformes com relação à Planície do Araguaia e área de ocorrência; (B) Mapa de Densidade de Kernel da ocorrência das feições.	80
Figura 23 - Frequência relativa das principais características morfométricas das feições doliniformes identificadas na Planície do Araguaia.	81
Figura 24 - Orientação das feições doliniformes (N: total de feições analisadas).	83
Figura 25 - Análise de componentes principais (PCA) das principais variáveis morfométricas identificadas das feições doliniformes da Planície do Araguaia (área, declividade, altimetria, distância do vizinho mais próximo (DNI), coeficiente de alongamento (ELG); índice de circularidade (C), Orientação das feições).	84
Figura 26 - Modelo de geração de feições doliniformes em áreas planas com substrato carbonático subjacente a depósitos sedimentares aluviais. (a) área de recarga com afloramento de rochas carbonáticas. (b) área de descarga, onde a dolinas de <i>piping</i> profundo podem ocorrer sobre planícies com depósitos aluviais.....	88
Figura 27 - Fases da organização metodológica do trabalho.	93
Figura 28 - Distribuição e densidade das feições doliniformes da área de ocorrência de feições doliniformes. A: distribuição das feições; B: densidade das feições por km ² (kernel).	98
Figura 29 - Recursos hídricos superficiais da área de ocorrência de feições doliniformes.....	100
Figura 30 - Recursos hídricos subterrâneos da área de ocorrência de feições doliniformes.....	101
Figura 31- Unidades litológicas da área de ocorrência de feições doliniformes.	103
Figura 32 - Hipsometria da área de ocorrência de feições doliniformes.	105
Figura 33 - Declividade da área de ocorrência de feições doliniformes.	106
Figura 34 - Classificação pedológica da área de ocorrência de feições doliniformes.....	108
Figura 35 - Uso e ocupação do solo da área de ocorrência de feições doliniformes.....	110
Figura 36 - Distribuição de precipitação média/anual na área de ocorrência de feições doliniformes no período de 1977 – 2006.	112

Figura 37 - Distribuição da Intensidade da precipitação do trimestre mais chuvoso na área de ocorrência de feições doliniformes no período de 1977 – 2006.....	113
Figura 38 - Classificação da suscetibilidade ambiental da área de ocorrência de feições doliniformes.....	119

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Parâmetros morfométricos das feições doliniformes na Planície do Araguaia.	80
--	----

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Impactos ambientais associados a dolinas.	39
Quadro 2 - Elementos utilizados na ficha lexicográfica-toponímica, baseados em Dick (2004)..	56
Quadro 3 - Categorias taxonômicas de Natureza física e Antropo-cultural	56
Quadro 4 - Amostra da classificação realizada por meio da matriz de adjacência.	58
Quadro 5 - Classificação morfodinâmica das unidades territoriais da Planície do Araguaia.....	95

RESUMO

A análise geoambiental constitui-se uma ferramenta multidisciplinar capaz de avaliar de forma integrada as dinâmicas socioambientais com base nos processos geológicos, geomorfológicos e pedológicos, com base neste pressuposto este trabalho teve como principais objetivos caracterizar a função geoambiental das depressões doliniformes localizadas na Planície do Araguaia, na região central do Brasil, para isto foram estruturadas quatro etapas de realização, sendo a primeira etapa constituída de uma revisão bibliográfica contendo a fundamentação teórica das possíveis características cársticas destas feições; na segunda etapa foram identificadas as terminologias empregadas na nomeação, destas estruturas doliniformes, por meio métodos linguísticos como a aplicação da ficha lexicográfica toponímica e análise de redes para avaliar a relação do uso das terminologias em diferentes estudos acadêmicos. Na terceira etapa foi realizado o mapeamento e análise da morfometria e distribuição das depressões por meio da fotointerpretação de imagens do satélite Sentinel 2A sobreposto a modelos de elevação digital de 30 metros de resolução; e na última etapa foi analisada a função geoambiental das depressões doliniformes no contexto da paisagem por meio da sobreposição de mapas temáticos e aplicação de modelo geoespacial de suscetibilidade ambiental. Os resultados obtidos por meio ficha lexicográfica identificaram a uma estreita relação semântica entre as tipologias ipuca, impuca e dolina associadas a depressões inundadas cobertas por vegetação, pois os seus significados enfatizam a ideia da água como um forte elemento modelador do terreno. Por outro lado, as aplicações das terminologias ipuca representou uma alta frequência em trabalhos de índole interdisciplinar, já o conceito impuca foi amplamente observado em estudos florísticos (disciplinares). Por meio do mapeamento e análise morfométrico foi possível identificar 24.023 feições doliniformes em uma área de ocorrência de 114.900 km² da qual a maior parte destas formações encontra-se nos municípios de Cocalinho – MT, Luciara – MT, Ribeirão Cascalheira –MT, Lagoa da Confusão – TO e Pium – TO, tendo sua origem possivelmente associada dissolução de uma camada de calcário subjacente à camada sedimentar do bananal, devido à suas formas predominantemente circulares e alinhamentos predominantes no sentido NE, indicando um possível controle estrutural sobre estas feições. A análise da função geoambiental obtido pelo modelo de suscetibilidade demonstrou que as regiões ecotonais de alta densidade de feições localizam-se em áreas altamente suscetíveis devido ao aumento dos processos de denudação provenientes do desmatamento e elevada captação hídrica da região.

Palavras-chave: Toponímia, Geoambiente, Geoprocessamento, Suscetibilidade

ABSTRACT

The geoenvironmental analysis constitutes a multidisciplinary tool capable of evaluating in an integrated way the socio-environmental dynamics based on the geological, geomorphological and pedological processes, based on this assumption this work had as main objectives to characterize the geoenvironmental function of the doliniform depressions located in the Araguaia Plain, in the central region of Brazil, four stages were structured for this purpose, the first stage consisting of a bibliographical review containing the theoretical foundation of the possible karst characteristics of these features; in the second stage, the terminologies used in the naming of these doliniform structures were identified, through linguistic methods such as the application of the toponymic lexicographic form and network analysis to evaluate the relationship of the use of terminologies in different academic studies. In the third stage, the mapping and analysis of the morphometry and distribution of the depressions was carried out through the photointerpretation of images from the Sentinel 2A satellite superimposed on digital elevation models of 30 meters of resolution; and in the last stage, the geoenvironmental function of the doliniform depressions in the context of the landscape was analyzed by superimposing thematic maps and applying a geospatial model of environmental susceptibility. The results obtained through a toponymic lexicographical form identified a close semantic relationship between the typologies ipuca, impuca and dolina associated with flooded depressions covered by vegetation, as their meanings emphasize the idea of water as a strong shaping element of the terrain. On the other hand, the application of ipuca terminologies represented a high frequency in works of an interdisciplinary nature, while the concept of ipuca was widely observed in floristic (disciplinary) studies. Through mapping and morphometric analysis, it was possible to identify 24,023 doliniform features in an area of occurrence of 114,900 km², of which most of these formations are located in the municipalities of Cocalinho – MT, Luciara – MT, Ribeirão Cascalheira – MT, Lagoa da Confusion – TO and Pium – TO, having its origin possibly associated with the dissolution of a limestone layer underlying the sedimentary layer of the banana plantation, due to its predominantly circular shapes and predominant alignments in the NE direction, indicating a possible structural control over these features. The analysis of the geoenvironmental function obtained by the susceptibility model showed that ecotonal regions with high density of features are located in highly susceptible areas due to the increase in denudation processes resulting from deforestation and high water intake in the region.

Keywords: Toponymy, Geoenvironment, Geoprocessing, Susceptibility

SUMÁRIO

1. CAPITULO I – APRESENTAÇÃO	17
1.1. INTRODUÇÃO	17
1.2. OBJETIVOS	20
1.2.1. <i>Objetivo geral</i>	20
1.2.2. <i>Objetivos específicos</i>	20
1.3. ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	20
2. CAPITULO II – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	21
2.1. SISTEMA CÁRSTICO	21
2.2. PROCESSO DE FORMAÇÃO	21
2.2.1. <i>Carstificação em rochas carbonáticas</i>	24
2.2.2. <i>Carstificação em rochas não carbonáticas</i>	25
2.3. ENDOCARSTE	29
2.3.1. <i>Cavernas</i>	29
2.3.2. <i>Aquíferos cársticos</i>	30
2.4. EXOCARSTE	31
2.4.1. <i>Lapiás</i>	31
2.4.2. <i>Sumidouros</i>	32
2.4.3. <i>Surgências</i>	33
2.4.4. <i>Vale cego (blind valleys)</i>	34
2.4.5. <i>Poljes</i>	34
2.5. DOLINAS	35
2.5.1. <i>Processos de formação de dolinas</i>	36
2.5.2. <i>Riscos geológicos associados à formação de dolinas</i>	38
2.6. DOLINAS NO BRASIL	41
2.7. SENSORIAMENTO REMOTO NA IDENTIFICAÇÃO DE AMBIENTES CÁRSTICOS	42
3. CAPITULO III – ASPECTOS FISIAGRÁFICOS DA PLANÍCIE DO ARAGUAIA	44
3.1. GEOLOGIA	46
3.2. GEOMORFOLOGIA	46
3.3. CLIMA	47
3.4. HIDROGRAFIA	47
3.5. VEGETAÇÃO	48
3.6. USO DO SOLO	49
4. CAPITULO IV – CONCEITOS RELACIONADOS A ESTRUTURAS DOLINIFORMES NA PLANÍCIE DO ARAGUAIA	52

4.1.	RESUMO	52
4.2.	ABSTRACT.....	52
4.3.	INTRODUÇÃO	53
4.4.	METODOLOGIA.....	54
4.4.1.	<i>Caracterização da área de estudo</i>	<i>54</i>
4.4.2.	<i>Ficha lexicográfica-toponímica.....</i>	<i>55</i>
4.4.3.	<i>Rede interdisciplinar</i>	<i>57</i>
4.5.	RESULTADOS.....	58
4.5.1.	<i>Ficha lexicográfica-toponímica.....</i>	<i>58</i>
<i>Fonte: autores.....</i>		<i>59</i>
4.5.2.	<i>Rede Interdisciplinar</i>	<i>63</i>
4.6.	DISCUSSÕES	66
4.7.	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	71
5.	CAPITULO V – CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA DE FEIÇÕES DOLINIFORMES NA PLANÍCIE DO ARAGUAIA.....	73
5.1.	RESUMO	73
5.2.	ABSTRACT.....	73
5.3.	INTRODUÇÃO	74
5.4.	METODOLOGIA.....	78
5.5.	RESULTADOS.....	79
5.6.	DISCUSSÃO	85
5.7.	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	89
6.	CAPITULO VI – FUNÇÃO GEOAMBIENTAL DAS FEIÇÕES DOLINIFORMES NA PLANÍCIE DO ARAGUAIA.....	90
6.1.	RESUMO	90
6.2.	ABSTRACT.....	90
6.3.	INTRODUÇÃO	91
6.4.	METODOLOGIA.....	92
6.5.	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	98
6.5.1.	<i>Caracterização Geoambiental da área de estudo</i>	<i>98</i>
6.5.2.	<i>Função Ambiental.....</i>	<i>114</i>
6.5.3.	<i>Suscetibilidade ambiental.....</i>	<i>118</i>
6.6.	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	123
7.	CONCLUSÕES.....	125
8.	REFERÊNCIAS.....	129

1. CAPITULO I – Apresentação

1.1. Introdução

As soluções dos problemas ambientais requerem uma visão integrada e multidisciplinar que permitam a compreensão da funcionalidade dos sistemas sociais, ecológicos e geológicos. A compreensão dos sistemas ambientais requer uma visão sistêmica (não generalista) que evite separar os problemas em variáveis isoladas ou partes de processos, mas que inclua as interações entre os componentes hierarquicamente organizados, dentro dos limites estabelecidos (BERTALANFFY, 1986).

O entendimento da função dos sistemas terrestres, considerando o comportamento de cada componente e sua relação entre si, permitirá gerenciar de forma eficiente o uso dos recursos naturais, podendo corrigir e prever os danos das interações entre as atividades humanas e o meio ambiente (CAVALCANTI e CORRÊA, 2017).

A análise geoambiental constitui-se numa ferramenta multidisciplinar capaz de avaliar de forma integrada as dinâmicas socioambientais com base nos processos geológicos, geomorfológicos e pedológicos (SILVA, RODRIGUEZ e MEIRELES, 2011). Com isso, é possível detectar as potencialidades e restrições do uso do solo, oferecendo uma alternativa eficiente na tomada de decisão no que tange ao planejamento sustentável do território, criação de unidades de preservação e gestão de áreas vulneráveis (FREIRES e COSTA, 2015; SANTOS et al., 2016). Entre as aplicações geoambientais mais comuns estão os estudos relacionados à caracterização dos impactos ambientais nos sistemas hidrogeológicos especialmente em águas superficiais e subterrâneas (EYLES, 1994; OLIVEIRA et al., 2018; RODRIGUEZ et al., 2018).

Os sistemas hidrogeológicos cumprem um papel importante no ciclo da água, no continente, funcionando como um sistema de recarga, armazenamento e descarga, sendo fortemente influenciada pelos fatores climáticos (precipitação e evaporação), assim como pelo arranjo litológico, permeabilidade do solo e inclinação da superfície (FORD e WILLIAMS, 2007). Nesse contexto, destaca-se o ambiente cárstico pelas altas taxas de recarga devido à elevada capacidade de captação de água, grandes cavidades e condutos que favorecem a eficiente condutividade hidráulica (WARNER, 1996). No sistema cárstico, as águas meteóricas podem percolar pelo substrato e alcançar zonas subterrâneas de baixa permeabilidade, nesta etapa, ocorre o armazenamento da água em aquíferos, podendo ser utilizada para fins econômicos ou de

abastecimento (BAKALOWICZ, 2005). O referido autor observou ainda que a descarga das águas subterrâneas pode ocorrer por meio de mananciais que fornecem vazão de base para rios, lagos ou nascentes, contribuindo para a manutenção da umidade do solo e preservação do meio ambiente.

Porém, as intensas atividades antrópicas como: produção agropecuária, mineração e disposição inadequada de resíduos sólidos têm aumentado o risco de poluição de águas subterrâneas, provocando potenciais desequilíbrios ambientais e sérios impactos à saúde da população (HARDT, 2008). Neste sentido, estima-se que 16,5% da população mundial (1,18 bilhões de pessoas) vivem em áreas cársticas carbonáticas (GOLDSCHIEDER et al., 2020) e grande parte dessa população é abastecida por aquíferos subterrâneos com alta vulnerabilidade de contaminação, pela presença de metais pesados e substâncias solúveis biopersistentes (FORD e WILLIAMS, 2007; RODRIGUEZ et al., 2018).

Entre as formações cársticas de maior vulnerabilidade ambiental encontram-se as depressões doliniformes denominadas dolinas, feições cársticas elípticas ou circulares, que funcionam como pontos de carga e descarga no sistema hidrogeológico, estas desenvolvem um importante papel no ciclo da água, funcionando como sumidouros que interligam as águas superficiais com as subterrâneas, esse padrão de distribuição favorecendo, por outro lado, o transporte direto de poluentes até o lençol freático e inviabilizando a remediação química ou biológica dos recursos hídricos subjacentes (FIELD, 1993; GUTIÉRREZ et al., 2014).

A origem das dolinas, geralmente, está relacionada à dissolução de rochas carbonáticas e ao colapso do material inconsolidado da superfície que podem ocorrer de forma natural ou por atividades humanas que intensifiquem sobrecarga ou aumento dos processos de dissolução das estruturas (FORD e WILLIAMS, 2007). Desta forma, é recomendável a aplicação de estudos morfométricos e de distribuição espacial que caracterizem as depressões cársticas e sirvam como base no planejamento territorial para evitar impactos ambientais, riscos à saúde da população e perdas materiais (MALDONADO et al., 2000).

No estado do Tocantins, a ocorrência de depressões inundadas doliniformes foi verificada, inicialmente, em estudos de caracterização ambiental na Planície do Araguaia, sendo denominadas de “*ipucas*” e descritas como fragmentos florestais circundantes sujeitos a inundações sazonais (MARTINS et al., 2002). Essa caracterização também é atribuída ao conceito de “*impuca*” em estudos florísticos na planície de inundação do Araguaia mato-grossense (MARIMON et al., 2012).

Estudos geoambientais e análises físicas e químicas do solo constataram a influência de litologia carbonática na formação das “*ipucas*” do Tocantins estabelecendo-se a hipótese de que

sejam feições cársticas produto da dissolução de calcário (MARTINS et al., 2006). Estudos mais recentes sobre caracterização morfológica, na região de Lagoa da Confusão-TO, revelaram que há aproximadamente um milhar de depressões associadas às feições cársticas doliniformes incluindo as relacionadas com o conceito regional de “*ipucas*” (MORAIS, 2017).

Observa-se, portanto que as “*ipucas*”, “*impucas*” e dolinas localizadas na Planície do Araguaia do Tocantins e Mato Grosso possuem características estruturais e florísticas semelhantes. Desta observação surgem os seguintes questionamentos:

- a) A formação das estruturas doliniformes se deve à composição da vegetação que modifica o terreno ou por fatores geomorfológicos que propiciam a adaptação da vegetação?
- b) Quais são os agentes geomorfológicos que influenciam a sua formação?
- c) Até onde tais estruturas doliniformes podem ser encontradas e quais fatores influenciam sua dispersão?

Com a intenção de responder aos questionamentos citados anteriormente, este trabalho tem como objetivo ratificar a seguinte hipótese:

- As depressões inundadas com e sem vegetação, localizadas na Planície do Araguaia são estruturas cársticas do tipo dolinas.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo geral

Caracterizar função geoambiental das depressões doliniformes localizadas na Planície do Araguaia, na região central do Brasil.

1.2.2. Objetivos específicos

- Identificar as terminologias empregadas na nomeação de estruturas doliniformes na Planície do Araguaia;
- Mapear e analisar a morfometria e distribuição das depressões doliniformes partindo da Unidade Geomorfológica da Planície do Araguaia;
- Analisar a função geoambiental das depressões doliniformes no contexto da paisagem da Planície do Araguaia.

1.3. Organização do trabalho

A realização deste trabalho foi executada em três etapas (descritas abaixo) que foram organizadas e apresentadas no formato de artigos científicos.

1. **Etapa:** Levantamento e análise da revisão bibliográfica das terminologias empregadas para depressões inundadas cobertas ou não por vegetação na Planície do Araguaia.
2. **Etapa:** Mapeamento e caracterização morfométrica das estruturas doliniformes;

Esta etapa será subdivida em:

- I. A coleta e processamento de dados espaciais;
 - II. Mapeamento cartográfico e caracterização morfométrica.
3. **Etapa:** Análise geoambiental e função ambiental das estruturas doliniformes.

2. CAPÍTULO II – Fundamentação Teórica

2.1. Sistema Cárstico

O sistema cárstico é um conjunto de elementos estritamente relacionados com a dinâmica hidrológica e sua gênese, ou princípio gerador do relevo que está relacionado à ação físico-química da água sobre as rochas solúveis (KOHLENER, 2007).

O termo carste (Português) ou Karst (Germânico) surge a partir do termo indo-europeio *kar* ou *karra* cujo significado fazia referência à rocha exposta na superfície ou rocha desnuda (TRAVASSOS, 2019). No final do século XIV a variante “Kras” foi usada como nome da região localizada entre nordeste da Itália e sudoeste da Eslovênia (antiga Iugoslávia) caracterizada como uma paisagem de pouca floresta, pedregosa e pouca água (GAMS, 1991).

Atualmente esta região (*Kras*) é conhecida como “*Dinaric Karst*” e compreende uma área 60.000 km² com extensos sistemas hidrogeológicos formados por rochas solúveis e condutos de circulação de água subterrânea e superficial, onde vêm sendo realizadas muitas pesquisas devido a suas peculiares características gênicas, servindo como base para a classificação de relevos semelhantes em outras partes do mundo. Desta forma o termo “*Karst*” é amplamente aceito pela comunidade acadêmica para denominar este tipo formação (FORD, 2007; FORD e WILLIAMS, 2007).

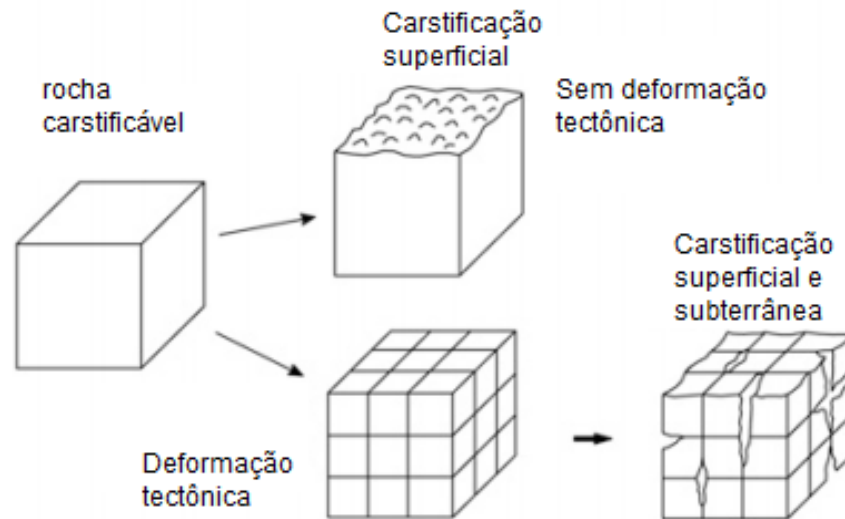
Caracterizado pelas formas de relevo hierarquizado e integrado o sistema cárstico pode se desenvolver conectando o sistema de circulação fluvial externo (rios e lagoas superficiais) com o interno (aquíferos) (ANDREU et al., 2016). O desenvolvimento do relevo cárstico ocorre quando a ação físico-química da água penetra as discontinuidades ou fissuras da rocha matriz, diluindo o material em função das linhas de fluxo. Essa dissolução que ocorre em rochas sedimentárias do tipo carbonáticas, evaporíticas ou siliciclásticas que determinam a formação do relevo, criando diversas formas como depressões fechadas, sistemas de drenagens subterrâneos e cavernas (FORD e WILLIAMS, 2007; KOHLER, 2007).

2.2. Processo de formação

Os principais fatores que controlam o processo de carstificação podem ser classificados em externos e internos (Figura 1). Entre os externos se destacam: o clima, a vegetação, a microbiota, o relevo e distribuição hidrográfica superficial e os fatores internos são intrínsecos às características

litológicas como: tipologia, capacidade de dissolução, estrutura (fissuras e descontinuidades) e arranjo estratigráfico (STEVANOVIC, 2015).

Figura 1 - Processo de carstificação superficial (externo) e subterrânea (interno)



Fonte: Adaptado de Stevanovic (2015).

As primeiras etapas do desenvolvimento cárstico ocorrem na zona de absorção ou epígea (entre o solo e a superfície) onde a água meteórica, por meio do intemperismo químico, penetra nas fissuras e descontinuidades da rocha formando os primeiros condutos de dissolução com diâmetros de 5 a 15 mm (FORD e WILLIAMS, 2007). Ao longo do tempo, os processos de dissolução tornam-se mais intensos pelo aumento da vazão de percolação, proporcionando a ampliação dos condutos e a formação de uma extensa rede de drenagem subterrânea (BAKALOWICZ, 2005).

Os fatores que condicionam o fluxo de dissolução dependem, principalmente, das características: litológicas (tipo de rocha); mecânicas (estrutura tectônica, posição, compactação) e do arranjo estrutural da rocha, incluindo aposidade e planos de estratificação (FERNANDEZ et al., 1995). Porém, para Dreybrodt, (1988) o desenvolvimento dos fluxos de dissolução também envolve uma complexa associação de processos endógenos e exógenos tais como:

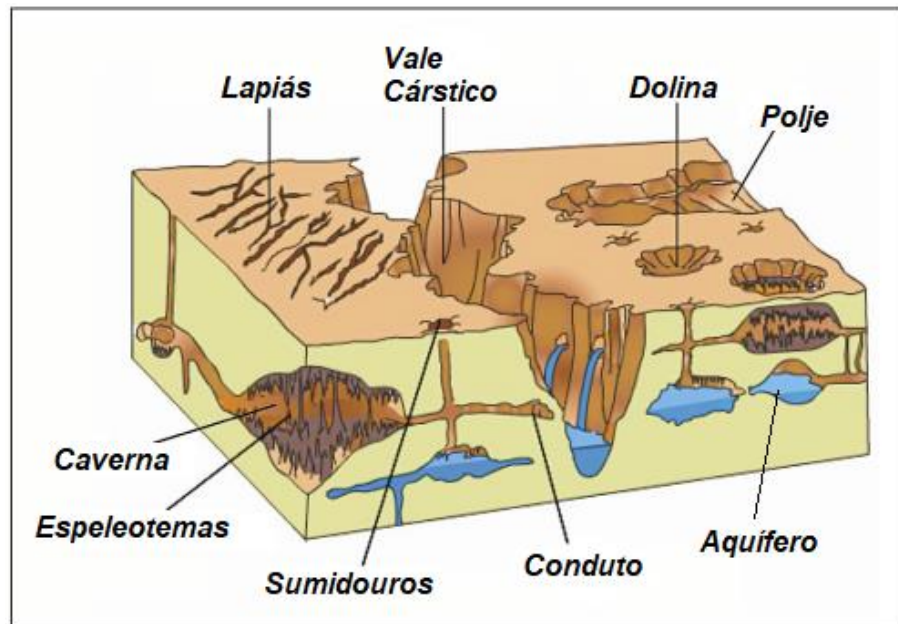
- O estabelecimento de um gradiente hidráulico que permita a passagem do fluxo de água pelas fissuras até um nível de base;

- A formação de uma solução agressiva (de rocha solúvel) que flua pelas discontinuidades do gradiente hidráulico, alongando as fissuras por dissolução e formando um novo padrão de fluxo subterrâneo;
- O surgimento de novas entradas de água ou mudanças na sua posição podem ocorrer com o desenvolvimento do sistema;
- A composição litológica e química do substrato rochoso pode contribuir na variação as taxas de dissolução, aumentando assim a complexidade do sistema;
- A produção de CO₂ por processos biológicos no solo pode intensificar os processos de dissolução, tornando-se altamente agressivo quando absorvido na percolação águas meteóricas.

A velocidade dos processos de carstificação depende da taxa de dissolução da rocha. Neste sentido, as rochas evaporíticas são caracterizadas como as mais solúveis, destacando-se os sais (NaCl – Solubilidade: 360.000 mg/L) e os gessos (CaSO₄·2H₂O – Solubilidade: 2.400 mg/L); as moderadamente solúveis, as rochas carbonáticas, como calcários (CaCO₃ – Solubilidade: 100-500 mg/L) e dolomitas (CaMg(CO₃)₂ - Solubilidade: 90-480 mg/L); e as pouco solúveis, as rochas siliciclásticas, como os quartzitos (SiO₂+2H₂O – Solubilidade: 12-120 mg/L) (ANDREU et al., 2016).

De acordo com os referidos autores o desenvolvimento de ambientes cársticos envolve uma complexa interação de processos endógenos e exógenos que proporcionam as mais variadas estruturas subterrâneas como condutos, cavernas, aquíferos; e superficiais como dolinas, vales, lapiás, sumidouros (Figura 2). A gênese de cada estrutura está condicionada à variabilidade climática, características geomorfológicas e ao arranjo estrutural de cada sistema (FORD e WILLIAMS, 2007) Nesse sentido, modelos conceituais de desenvolvimento de ambientes cársticos vêm sendo elaborados com o objetivo de sintetizar os processos envolvidos na formação de cada estrutura, destacando-se os modelos baseados nas características morfoestruturais como: a relação à amplitude e espaçamento de fissuras; taxa vertical de dissolução e controle tectônico estrutural (DREYBRODT, 1988; VERESS, 2010)

Figura 2 - Esquema das principais morfológicas cársticas superficiais e subterrâneas.



Fonte: Adaptado de Andreu et al. (2016).

2.2.1. Carstificação em rochas carbonáticas

Com base no mapeamento mundial de aquíferos cársticos – *The world karst aquifer map* (WAKAM) – estima-se que 15,2 % da superfície terrestre está caracterizada pela presença de rochas carbonáticas (GOLDSCHIEDER et al., 2020). A grande extensão de domínios litológicos no planeta está associada a espessas camadas de depósitos sedimentares do Pré-cambriano (2.000 milhões de anos) formadas, em grande medida, pela atividade orgânica das primeiras formas de vida (FORD e WILLIAMS, 2007; TRAVASSOS, 2019).

Entre as rochas carbonáticas de maior relevância em sistemas cársticos destacam-se as rochas calcárias, compostas principalmente por CaCO_3 - carbonato de cálcio - e em menor proporção o MgCO_3 - carbonato de magnésio - (LLADÓ, 1970). Quando a concentração de carbonato de magnésio é superior à de carbonato de cálcio, a rocha passa de uma constituição mineral predominantemente de calcita para dolomita (FORD e WILLIAMS, 2007).

Em rochas carbonáticas, a presença de dióxido de carbono (CO_2) na água e valores baixos de pH (ácidos) intensificam os processos de dissolução, quebrando facilmente a rede cristalina e aumentando significativamente a porosidade secundária (STOKES et al., 2010). Em áreas tropicais, o acúmulo de matéria orgânica em decomposição torna a água altamente ácida, pois as taxas de

dissolução de calcário ultrapassam os 500 mg/L CaCO_3 devido ao aumento de ácidos nitrosos presentes no solo, produzidos pela constante atividade microbiana (FERNANDEZ, 1995)

Quando a dissolução forma pequenos canais no interior da rocha calcária são ativados os processos de carstificação hipogênica (abaixo da superfície) nos quais a erosão mecânica e a corrosão química expandem os condutos seguindo o fluxo de circulação das falhas e discontinuidades, formando ao longo dos períodos geológicos grandes condutos, cavidades e cavernas de extensas proporções (Figura 3), chegando até 9 km de extensão (STEVANOVIĆ, 2015; LIMBERT et al., 2016).

Figura 3 - Caverna Hang Son Doong localizada no maciço calcário de Phong Nha Ke Bang no centro-oeste de Vietnam.



Fonte: (LIMBERT et al., 2016)

2.2.2. Carstificação em rochas não carbonáticas

As rochas não carbonáticas de ambientes cársticos são comumente classificadas em: evaporíticas (gessos e sais) com alta solubilidade e predominantes em climas áridos; e siliciclásticas (arenitos, quartzos e feldspatos) menos solúveis e formadas somente em ambiente úmidos e tropicais (BÖGLI, 1980; WHITE et al., 1995).

Tradicionalmente as rochas siliciclásticas eram consideradas insolúveis e suas estruturas geradas eram classificadas pelo termo “pseudo-cársticas”, conceito que causa divergência em

alguns acadêmicos visto que as suas formações são semelhantes ou associadas às litologias carbonáticas (URBANI, 1986; HARDT e PINTO, 2009). Porém, as estruturas desenvolvidas, geralmente, apresentam menores dimensões, já que os principais processos modeladores destes ambientes estão mais relacionados à erosão mecânica e à corrosão o que permite uma maior desintegração da rocha e menor dissolução dos componentes minerais (BÖGLI, 1980; FORD e WILLIAMS, 2007).

O processo de dissolução em rochas siliciclásticas é influenciado principalmente pela alta pureza do mineral, estratos massivos intersectados por fraturas espaçadas e condições climáticas e topográficas favoráveis, no entanto, a velocidade da reação é mais lenta devido à forte resistência da rocha aos ataques intempéricos (FERNANDEZ, 1995; FORD e WILLIAMS, 2007), desta forma, a dissolução da rocha não ocorre somente nas fissuras ou descontinuidades, mas também nas superfícies intracristalinas (GALAN, 1991).

Nos quartzitos, por exemplo, a meteorização química dissolve o cimento da rocha nos contatos intragranulares, formando condutos onde a água penetra até formar fraturas profundas retirando o cimento silicático e dando lugar a sedimentos inconsolidados areníticos (BÖGLI, 1980). No ambiente subterrâneo a formação de condutos quartzíticos é realizada pela dissolução incompleta intracristalina seguida pela remoção mecânica grão a grão (*piping*), formando cavidades semelhantes às rochas carbonáticas (GALAN, 1991).

Entre as estruturas cársticas siliciclásticas de maior destaque turístico e espeleológico na América Latina (Figura 4) se encontram as pertencentes ao Grupo Roraima na Venezuela com planaltos escarpados de alto grau de fraturamento nos quais se desenvolve uma ampla rede de drenagem, predominantemente quartzítica, composta por várias cavidades, dolinas, surgências e sumidouros (WHITE, JEFFERSON e HAMAN, 1967; WRAY e SAURO, 2017). No Brasil, os afloramentos cársticos não carbonáticos também podem ser encontrados em grande parte do território nacional, destacando-se a maior caverna de desenvolvimento vertical no nordeste da Amazônia Brasileira, as cavernas quartzíticas da Chapada Diamantina, Bahia e da região de Ibitipoca, Minas Gerais (AULER e FARRANT, 1996; HARDT e PINTO 2009).

Figura 4 - Caverna e espeleotemas de sílica localizados no complexo cavernas de Imawari Yeuta na Venezuela.



Fonte: (WRAY e SAURO, 2017)

As rochas evaporíticas devido a sua alta solubilidade (gessos 2 g/L) não são muito comuns em áreas úmidas, desenvolvendo-se apenas em climas áridos e semiáridos com a presença de água circulante (BÖGLI, 1980). Esse processo proporciona um aumento da velocidade de dissolução e a rápida formação de estruturas cársticas (GALAN, 1991). Devido à baixa resistência mecânica, cavidades subterrâneas tendem a colapsar subitamente com a breve variação do nível da água (MALDONADO et al., 2000).

A formação de dolinas de colapso e dissolução também é frequentemente encontrada sobre rochas silicosas (HARDT, 2011), especialmente nas margens de planícies aluviais, sujeitas a oscilações de períodos áridos e inundados onde dolinas sobre rochas silicosas se desenvolvem com grandes tamanhos (Figura 5), chegando a aproximadamente 1 km de extensão e até 15 m de profundidade (TWIDALE, 1987; BUSCHE e SPONHOLZ, 1992).

Figura 5 - Uvala formada pela dissolução de três dolinas alinhadas, denomina “Lagoa do Vânico” localizada à margem direita do Rio das Mortes, Cocalinho, Mato Grosso, Brasil.

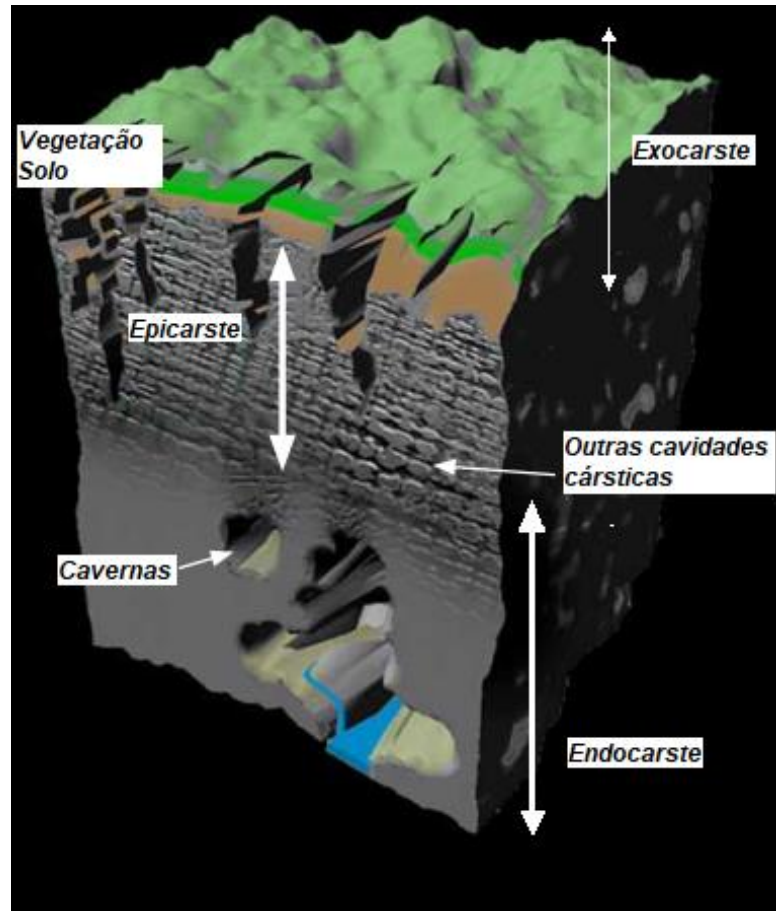


Fonte: (HARDT, 2004)

Desta forma as paisagens formadas pela dissolução das rochas carbonáticas ou não carbonáticas podem ocorrer independentemente do substrato litológico, sendo possível classificar as estruturas geradas em três zonas (Figura 6) conforme seu grau de exposição (FORD E WILLIAMS, 2007; STOKES, GRIFFITHS e RAMSEY, 2010).

- *Zona endocárstica*: ambiente interno ou subterrâneo onde ocorre uma ampla distribuição de canais, grutas e cavernas;
- *Zona exocárstica*: relacionada com os relevos externos ou superficiais podendo ser divididos em positivos (maciços, mongotes, torres e verrugas ou banquetas) e negativos (*karren* ou lápias, *poljes*, dolinas e uvalas);
- *Zona epicárstica*: relacionada com uma zona de contato entre o solo e a rocha, aberta ou fraturada que se estende pela superfície e em uma profundidade de 10-30 metros, no qual ocorrem processos de dissolução, abatimentos e corrosão (dolinas, aquíferos suspensos e cavernas).

Figura 6 - Classificação das zonas de carstificação: Exocarste, Epicarste e endocarste.



Fonte: Adaptado de STOKES, GRIFFITHS e RAMSEY (2010).

2.3. Endocarste

Zona onde os processos de dissolução ocorrem no ambiente subterrâneo (espeleogênese). Neste processo é originado um sistema complexo de condutos, aquíferos e cavernas que permitem o armazenamento e circulação de água subterrânea (PILÓ, 2000).

2.3.1. Cavernas

Cavidades naturais e vazias formadas pela infiltração de água meteórica ou hipogênica em maciços subterrâneos de rocha solúvel, gerando primeiramente pequenos protocondutos (protocavernas) de 15 mm ou de dimensões penetráveis pelos homens (TRAVASSOS, 2019). Sua morfologia está condicionada principalmente à estrutura litológica e à oscilação do regime hídrico

que proporciona um aumento da porosidade secundária e consequente ampliação da cavidade por dissolução (ANDREU et al., 2016; SOUZA et al., 2005).

A oscilação do nível da água no interior da caverna permite a entrada e depósito de sedimentos clásticos ou orgânicos provenientes das entradas e saídas do sistema de condutos subterrâneos, favorecendo a formação de estruturas sedimentares na superfície da caverna e nos níveis superiores da galeria, as quais poderão ser usadas como registro paleológico das condições geoambientais pretéritas (PILÓ, 2000).

Entre as morfologias mais características do interior das cavernas encontram-se as produzidas pela infiltração e gotejamento no interior da cavidade (estalactites e estalagmites). O gotejamento paulatino que surge no teto da cavidade por meio de fraturas ou descontinuidades da rocha solúvel permite a criação de uma estrutura do tipo canudo, tanto na parte superior (estalactites) crescendo em direção ao solo da cavidade, quanto na parte inferior (estalagmites) por sobreposição de camadas cônicas de rocha solúvel crescendo em direção ao teto (KOHLENER, 2007).

2.3.2. Aquíferos cársticos

Cavidades subterrâneas formadas pela fratura e condicionadas pelo fluxo de dissolução de rochas, preferencialmente, carbonáticas que funcionam como um sistema de transporte e armazenamento de água por meio de amplos condutos hierarquizados (BÖGLI, 1980).

As características hidrogeológicas dos aquíferos cársticos os diferenciam dos aquíferos de porosidade intergranular e de fratura ou porosidade secundária, pois parte de sua formação pode ocorrer tanto na zona saturada quanto na zona insaturada do substrato litológico solúvel (ANTIGÜEDAD et al., 2007; TRAVASSOS, 2019).

Segundo Duarte et al. (2013) os aquíferos cársticos podem ser classificados em três zonas:

- *Zona de recarga*: localizada na superfície entre o solo e relevo, proporciona a entrada de água ao sistema de maneira difusa ou armazenada temporariamente por estruturas exocársticas. Entre as estruturas cársticas que permitem a entrada de água direta encontram-se os sumidouros, dolinas, uvalas e poljes;
- *Zona de circulação não saturada*: por meio de uma rede vertical de condutos e fraturas que conecta a zona de infiltração superficial com a capilar os condutos são alargados por dissolução da rocha e erosão mecânica;

- Zona capilar ou de flutuação: área de contato de fluxo misto entre a zona saturada e não saturada, influenciada principalmente pelo nível do lençol freático;
- Zona saturada: localizada na parte inferior do aquífero cárstico com canais bem desenvolvidos de alta permeabilidade e cavidades com capacidade de armazenamento de água.

2.4. Exocarste

Modelamento do relevo originado pelo contato direto das águas meteóricas com a rocha solúvel ocorre quando o processo de carstificação na superfície está condicionado principalmente pelos fatores hidrodinâmicos, climáticos, geológicos (litologia e estrutura) (BÖGLI, 1980).

Nesta zona a microbiologia do solo, cobertura da vegetação e o uso do solo influenciam a decomposição da matéria orgânica produzindo uma grande quantidade de compostos de caráter ácido (TRAVASSOS, 2019). Essa reação torna a água bastante agressiva, com alta quantidade de CO₂, que em contato com a rocha cárstica acelera o processo de dissolução (FERNANDEZ, 1995; DE WAELE, 2017).

2.4.1. Lapiás

Também chamadas de *karren*, caneluras ou pontões (Figura 7): são estruturas de pequenas dimensões de forma oval ou linear, formadas pela corrosão da água pluvial sobre as zonas da rocha de menor resistência, sua morfologia dependerá do grau de exposição da rocha e do controle hidráulico, estruturas suaves ou arredondadas estão relacionadas a rochas solúveis parcialmente cobertas (ANDREU et al., 2016; SOUZA et al., 2005).

Figura 7 - Lapiás ou karren localizados na costa oeste de British Columbia, Canada.



Fonte: (STOKES, GRIFFITHS e RAMSEY, 2010).

2.4.2. Sumidouros

Pontos de absorção de água superficial, geralmente por meio de infiltração difusa para o interior de cavernas ou canais subterrâneos (Figura 8), podem ocorrer na forma de depressões, fissuras ou rachaduras da rocha matriz (SOUZA et al., 2005; TRAVASSOS, 2019).

Figura 8 - Sumidouro de um 1 m de profundidade localizado em Cordisburgo, Minas Gerais, Brasil.



Fonte: (TRAVASSOS, 2019).

2.4.3. Surgências

Afloramento da água (Figura 9), onde a drenagem subterrânea torna-se superficial (KOHLE, 2007).

Figura 9 - Surgência cárstica denominada de “Fervedor” localizada em Cocalinho, Mato Grosso, Brasil.

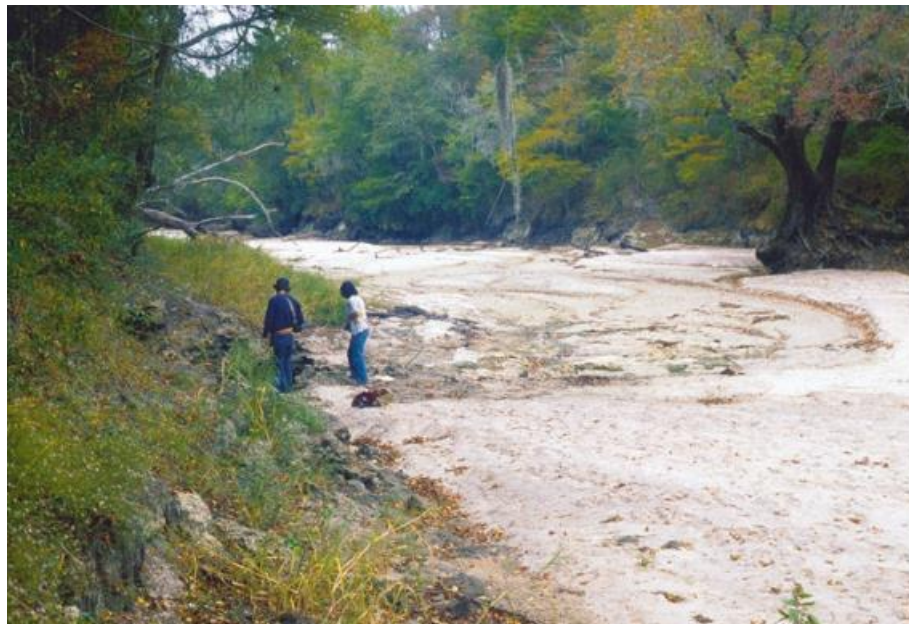


Fonte: (HARDT, 2004).

2.4.4. Vale cego (blind valleys)

Processo de incisão fluvial no qual o curso do rio é absorvido gradualmente por um conduto no subsolo (sumidouro) localizado a jusante (Figura 10), formando cursos fluviais de paredes íngremes abaixo da superfície (TRAVASSOS, 2019; JENNINGS, 1971).

Figura 10 - Vale cego denominado de “Dead river” localizado na bacia hidrográfica do Rio Alapaha, Georgia, Estados Unidos.



Fonte: (UPCHURCH et al., 2019).

2.4.5. Poljes

Áreas planas de grande extensão desenvolvidas por meio da dissolução horizontal da rocha próximo do nível freático e modeladas principalmente por fatores morfoclimáticos, tectônicos e estruturais (Figura 11). Caracterizados pela presença de canais fluviais, encostas abruptas, cones ou torres, os *poljes* podem ser classificados em função do tipo de drenagem como *Aberto*: canais fluviais superficiais perenes ou efêmeros; *Fechado*: quando o curso d'água entra em canais cársticos do subsolo por meio de sumidouros (ANDREU et al., 2016; SOUZA et al., 2005).

Figura 11 - Polje de Zafarraya localizado na “Sierra Gorda”, Granada, Espanha.



Fonte: (BOSCH, 2014).

2.5. Dolinas

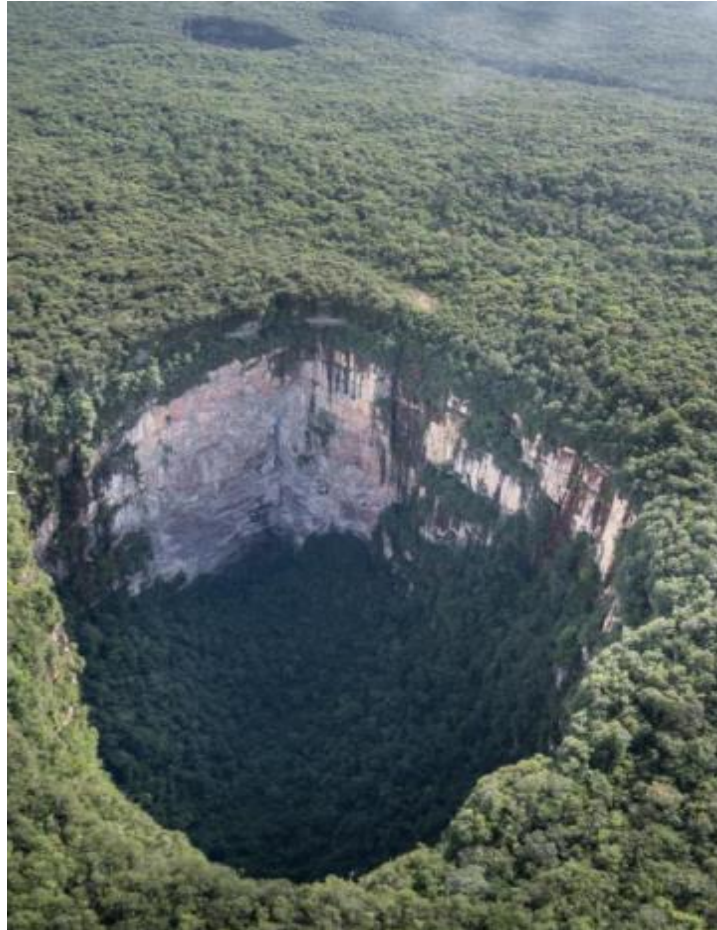
São estruturas fechadas de morfologia elíptica ou circular que se formam como depressões na superfície (exocárstica) por meio da dissolução de rochas (TRAVASSOS, 2019). Essa morfologia característica de sistemas cársticos permite a convergência das águas meteóricas para os fundos (sumidouros), podendo interligar o sistema hidrológico superficial com o subterrâneo (Figura 12). O tamanho de uma dolina pode variar de poucos metros até 2 km de extensão e geralmente mais larga do que profunda (KOHLER, 2007; JUNIOR et al., 2014; ANDREU et al., 2016).

A função hidrológica das dolinas está associada ao funcionamento de bacias de primeira ordem, nas quais atuam mecanismos de realimentação positiva e recarga de maior quantidade de água (SANTOLALLA, JIMÉNEZ e LÓPEZ, 2005). Porém, esse processo pode ser interrompido pelo acúmulo de materiais impermeáveis no seu interior (BONDESAN, MENEGHEL e SAURO, 1992).

A morfometria das dolinas está relacionada a unidades de formas circulares e ovaladas condicionadas principalmente por fraturas (JENNINGS, 1971). Quando próximas tendem a coalescer formando *Uvalas* (união de várias dolinas), depressões de elevado comprimento (500 metros) e profundidade com contornos irregulares (BÖGLI, 1980).

A sua origem está relacionada basicamente com três processos: dissolução, subsidência e colapso, descritos à continuação.

Figura 12 - Dolina de colapso de 300 metros de profundidade denominada “Sima de Sarisariñama” localizado no Parque Nacional Jaua-Sarisariñama, estado de Bolívar, Venezuela.



Fonte: (WRAY e SAURO, 2017).

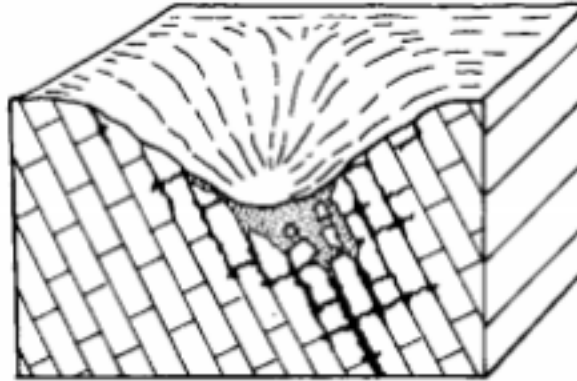
2.5.1. Processos de formação de dolinas

2.5.1.1. *Dissolução*

Processo que ocorre sob a forma de ponto de infiltração que promove a lenta e progressiva perda da cobertura da rocha solúvel (Figura 13). A convergência das águas superficiais é orientada para o interior pela ação das forças tectônicas como falhas, dobras, fraturas e juntas que originam pequenas depressões e aceleram a dissolução e corrosão da rocha (FORD e WILLIAMS, 2007). A rede de condutos subterrâneos permitirá evacuar a água para zonas de surgências ou uma maior recarga da superfície, onde sob formas menores, geralmente, estão associadas à alta quantidade de

fissuras da rocha solúvel, já as maiores a substratos rochosos mais solúveis e menos fissurados, sendo em geral mais largas e pouco profundas (BONDESAN, MENEGHEL e SAURO, 1992).

Figura 13 - Dolina de dissolução

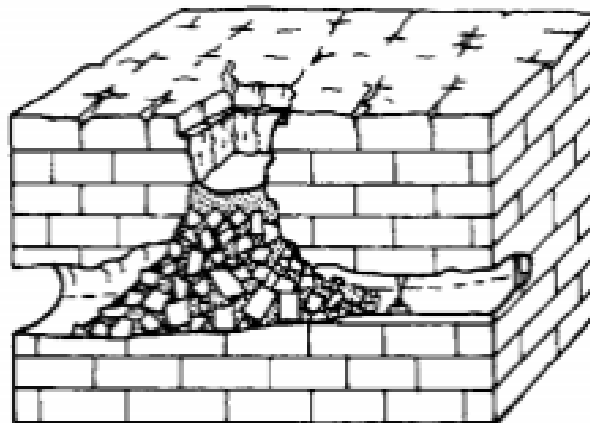


Fonte: (JENNINGS, 1971).

2.5.1.2. *Colapso*

O abatimento súbito e progressivo do terreno caracterizado pela presença de uma cavidade subterrânea e uma camada sobreposta de sedimentos não consolidados sobreposta (FORD e WILLIAMS, 2007) (Figura 14). Este processo é associado ao rebaixamento do nível freático e consequente quebra e causa o desmoronamento da camada superficial por erosão mecânica, formando bordas mais íngremes e profundas, favorecendo o acúmulo de material no interior que em alguns casos a erosão fluvial tende a suavizar sua forma original, servindo de entrada para cavernas (FERNANDEZ, 1995; SAURO, 2003).

Figura 14 - Dolina de colapso

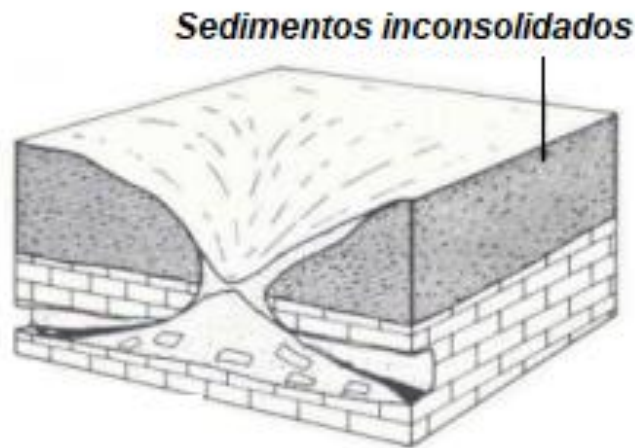


Fonte: (JENNINGS, 1971).

2.5.1.3. *Subsidência (carste encoberto)*

Processo de dissolução e desagregação que ocorre na zona epicárstica, na qual os sedimentos inconsolidados sobre uma camada de rocha solúvel influenciam a infiltração paulatina das águas meteóricas, ocasionando a dissolução do substrato litológico subjacente (FORD e WILLIAMS, 2007) (Figura 15). A dissolução da rocha subjacente forma cavidades internas de circulação hídrica que proporcionam o deslocamento gradual dos sedimentos superficiais, originando depressões ovaladas e pouco profundas sob a forma de prato ou bacia (GUTIERRÉZ et al., 2008).

Figura 15 - Dolina de subsidência



Fonte: Adaptado de Jennings (1971).

2.5.2. Riscos geológicos associados à formação de dolinas

A definição de risco geológico está associada à probabilidade de ocorrência de processos geológicos naturais (ou por influência antrópica) que afetam o ser humano ou suas atividades (ANDREU et al., 2016). Entre os riscos geológicos associados a ambientes cársticos se destacam o súbito o progressivo colapso de dolinas por causas naturais ou induzidas pelo homem (DE WAELE, 2017).

As causas que aumentam o risco de colapso de dolinas por atividades antropogênicas, frequentemente, se relacionam ao ineficaz gerenciamento do uso do solo sobre ambientes cársticos e à captação exacerbada de aquíferos (TRAVASSOS, 2019). No quadro 1 são relacionados os principais impactos antropogênicos que podem acelerar os processos de dissolução e colapso de dolinas:

Quadro 1 - Impactos ambientais associados a dolinas.

CATEGORIA	ATIVIDADE IMPACTANTE	EFEITO ADVERSO
Urbanização e indústria.	Impermeabilização do solo e aumento do escoamento superficial (DE WAELE, 2017).	Aumento das taxas de dissolução e erosão mecânica.
	Compactação do solo (SIMON et al., 1991).	Sobrecarga sobre camadas subjacentes de cavidades subterrâneas.
	Descarga inadequada de efluentes urbanos (BENITO et al., 1995).	Aumento da quantidade de compostos orgânicos no interior das depressões e consequente lixiviação de ácidos sobre rochas solúveis.
	Poluição atmosférica (ACERO et al., 2013).	Aumento das quantidades de CO ₂ e formação de chuvas ácidas.
Desmatamento e agropecuária	Remoção da cobertura vegetal (VALENZUELA et al., 2013).	Exposição de rochas solúveis aos efeitos intempéricos.
	Captação exacerbada de águas subterrâneas (GUTIÉRREZ, 2008).	Oscilações do lençol freático e aumento das taxas de dissolução por circulação hídrica subterrânea.
		Rebaixamento do nível freático e formação de cavidades e condutos vazios.
	Adubação química (RODRIGUÉZ et al., 2018).	Enriquecimento de nitrogênio nas depressões e formação de ácidos nitrosos.
Mineração	Alterações do relevo (WHITE et al., 1995).	Mudanças nos fluxos de escoamento superficial e aumento de recarga hídrica nas depressões.
	Extração mineral (HARDT, 2008).	Obstrução de depressões por resíduos impermeáveis.

Além dos impactos ambientais, a deformação do terreno pelo surgimento de dolinas pode trazer graves problemas econômicos e estruturais quando afeta edificações de cidades como: prédios, estradas, ferrovias, redes de aquedutos, centrais elétricas e aterros sanitários (SANTOLLANA et al., 2005).

Os efeitos de subsidência ou colapso de dolinas também podem colocar em perigo a vida das pessoas. Nesse contexto, destacam-se os prejuízos causados por dolinas colapsadas no sul da China, onde ocorreram súbitos desabamentos em áreas densamente povoadas (Figura 16), causando um dano a 143 prédios residenciais e 1.830 pessoas desabitadas (LEI, JIANG e GUAN, 2013).

Figura 16 - Desabamentos causados pelo colapso de dolinas no povoado de Maohe, Maohe, Guangxi, China.



Fonte: (LEI, JIANG e GUAN, 2013).

O risco de desabamento de edificações também pode aumentar em função do tipo de litologia subjacente. As rochas evaporíticas (solubilidade 2,4 a 360 g/l), por exemplo tendem a ser mais suscetíveis às alterações antrópicas externas, pois a compactação e percolação de efluentes sobre a rocha aceleram os processos de dissolução e reduzem a resistência mecânica do substrato, aumentando o risco de colapso súbito (GUTIÉRREZ, COOPER e JOHNSON, 2008; ACERO et al., 2013).

Porém, os impactos antropogênicos mais drásticos estão relacionados à contaminação de aquíferos, pois as dolinas funcionam como entradas ou recargas de sistemas de circulação de água subterrânea (FORD e WILLIAMS, 2007).

Quando as depressões cársticas concentram um alto volume de água poluída e existe um declínio no nível do lençol freático, a contaminação de aquíferos é muito rápida, pois o sistema de canais subterrâneos impossibilita a filtragem ou tratamento natural, ocorrendo o transporte de um

grande volume de água contaminada para outros reservatórios (GUTIERREZ et al., 2014; RODRIGUEZ et al., 2018).

Os aquíferos cársticos, devido à sua alta vulnerabilidade à contaminação, devem ser considerados áreas prioritárias de preservação e para este efeito é necessário conhecer o funcionamento de todo o sistema e dos possíveis impactos que possa sofrer (BRINKMANN e PARISE, 2012). Um dos importantes passos para conhecer o sistema cárstico está relacionado com o mapeamento das estruturas de entrada ou recarga hídrica. As dolinas como principais elementos de conexão entre o meio superficial e subterrâneo devem ser analisadas no contexto da paisagem, levando-se em consideração sua distribuição espacial, morfometria, estrutura morfogênica, cronologia (taxas de ocorrência ao longo do tempo) e relação com os condicionantes externos que influenciam seu desenvolvimento (GURIÉRREZ et al., 2014).

Entender os mecanismos envolvidos na subsidência e colapso de dolinas possibilita definir o grau de risco do sistema e assim determinar as possíveis atividades econômicas que poderão ser desenvolvidas sem comprometer os processos de circulação de água subterrânea (WALTHAM et al., 2005).

Preservar os recursos hídricos e reduzir os impactos devem ser as prioridades dos gestores e da população residente em ambientes cársticos, pois somente com a conscientização e conhecimento das limitações do sistema será possível usufruir dos benefícios econômicos que o sistema proporciona (GUTIÉRREZ, COOPER e JOHNSON, 2008).

Assim as ações sustentáveis e de conscientização são cruciais para a população e gestores de ambientes cársticos, pois conhecendo o funcionamento e limitações do sistema será possível preservar os recursos hídricos e redução dos impactos (DE WAELE et al., 2011).

2.6. Dolinas no Brasil

No Brasil, as formações cársticas iniciaram-se no período Pré-Cambriano, no entanto, as estruturas mais predominantes desenvolveram-se nos últimos 1,6 milhões (período Quaternário) tanto em rochas carbonáticas quanto em rochas siliciclásticas (SOUZA et al., 2005).

As depressões cársticas em rochas carbonáticas ocorrem geralmente em regiões tectonicamente estáveis que se distribuem em área estimada entre 450.000 – 600.000 km² do território nacional, classificadas em 19 regiões pelo Mapa das Regiões Cársticas do Brasil (AULER e FERRANT, 1996; CECAV, 2009; JANSEN, CAVALCANTI e LAMBLÉM, 2012), destas regiões, se destacam as dolinas e uvalas sob substratos calcários da Formação Sete Lagoas do

Grupo Bambuí, localizado no limite oriental do Cráton São Francisco entre os estados de Minas Gerais, Bahia e Goiás (TRAVASSOS e KOHLER 2009; TRAVASSOS, 2010). Também são evidenciadas, em menor proporção, as dolinas de colapso e subsidência do Grupo Una no estado da Bahia (SALLES et al., 2018); e depressões fechadas com carste subjacente no Grupo Açunguá nos estados de São Paulo e Paraná (HIRUMA et al., 2007).

Os estudos relacionados a depressões fechadas em ambientes cársticos com rochas não carbonáticas ainda são incipientes no Brasil, porém importantes estruturas vêm sendo classificadas nos últimos anos em todo o território nacional, com destaque em especial as formações oriundas de rochas silicosas (HARD e PINTO, 2009; FABRI, AULER e AUGUSTIN., 2014).

Entre as depressões cársticas não carbonáticas mais representativas no Brasil destacam-se as dolinas em arenitos da Bacia do Paraná, localizadas entre a Formação Aquidauana no estado de Mato Grosso do Sul e a Formação Furnas no estado do Paraná (SALLUM e KARMANN, 2007; MELO et al., 2011). Também evidenciam-se as dolinas formadas pela dissolução química de arenito na presença de matéria orgânica na superfície localizadas na Chapada dos Guimarães no estado de Mato Grosso e na Serra de Itaqueri, estado de São Paulo (HARDT, et al., 2009); assim como formações em arenitos e quartzitos na Chapada Diamantina, estado da Bahia (SALLES et al., 2018).

2.7. Sensoriamento remoto na identificação de ambientes cársticos

As técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento, nos últimos anos, têm permitido avaliar de forma multidisciplinar a dinâmica da paisagem por meio da integração de diferentes fontes de informação e aplicação de modelos computacionais que representam as feições do mundo real e sua variação ao longo do tempo (DAI, LEE e ZHANG, 2001).

A análise integrada das variáveis espaço-temporais permite a avaliação minuciosa das características das paisagens naturais (geológicas, geomorfológicas, pedológicas, hidrológicas, climáticas e florísticas) e dos efeitos derivados das atividades antrópicas na dinâmica territorial (SOUZA et al., 2005; FREIRES e COSTA 2016; OLIVEIRA et al., 2018).

A capacidade de manipular grandes quantidades de informações é possível por meio de um Sistema de Informação Geográfico (SIG) que gerencia todas as informações coletadas em camadas sobrepostas (*layers*), integrando os dados padronizados em categorias e gerando relatórios na forma de mapas, gráficos, tabelas e modelos matemáticos de previsão de cenários (DAI, LEE e ZHANG, 2001; OLIVEIRA et al., 2018).

Os produtos gerados são utilizados para diversos propósitos como: a pesquisa científica, gerenciamento de recursos naturais, planejamento regional, dinâmicas sociais, entre outros (JHA et al., 2006). Entre os principais usos do sensoriamento remoto e geoprocessamento na análise geoambiental se encontram os estudos relacionados com a formação do relevo, ordenamento territorial e gerenciamento de áreas de proteção de recursos hídricos (SOUZA et al., 2005; ALVES et al., 2007; MENDES et al., 2017; PELOGGIA et al., 2017).

A exploração e análise indireta de extensos sistemas hidrográficos são elaboradas por meio da interpretação de imagens de satélites, pois devido as diferentes respostas espectrais dos componentes geoambientais (água, solo, relevo e vegetação) podem ser identificadas as diferenças físicas de cada componente, classificando em subclasses em função da resposta espectral (ALVES et al., 2007; PELOGGIA et al., 2017).

A classificação espectral dos minerais e rochas por sensores remotos, por exemplo, permite a identificação do afloramento rochoso; arranjo estrutural; ocorrência de fraturas ou descontinuidades; padrões de drenagem e topografia (DAI, LEE e ZHANG, 2001; OIKONOMIDIS et al., 2015).

A viabilidade econômica desse método é ressaltada em trabalhos relacionados com o mapeamento de estruturas cársticas, nos quais utilizam a associação de sensores remotos de livre acesso (Landsat, Sentinel e Terra) e modelos digitais de elevação (MDE), SRTM (*Shuttle Radar Topographic Mission*), para identificar unidades carbonáticas associadas a padrões hidrogeológicos e à cobertura da vegetação (SIART, BUBENZER e EITEL, 2009; JUNIOR et al., 2014; OIKONOMIDIS et al., 2015, MUZIRAFUTI et al., 2019).

A combinação dos instrumentos multiespectrais desses satélites na faixa do Infravermelho próximo (NIR) e infravermelho de onda curta (SWIR) permite a eficiente discriminação litológica de dolomitas, siltitos insaturados e basaltos a uma resolução espacial de até 30 metros (ATILAH, MORJANI e SOUHASSOU, 2019).

Trabalhos detalhados para o mapeamento de ambientes exigem um elevado custo operacional, porém a combinação de imagens de alta qualidade, como *Quickbird*, permite um aumento do detalhamento das feições a uma resolução espacial de até 0,61 m (SIART, BUBENZER e EITEL, 2009). Nos últimos anos feições cársticas de menor proporção vêm sendo mapeadas com o uso de modelos digitais de elevação de até 1 metro por meio do método LIDAR (*Light Detection And Ranging*), no qual, pulsos de raios de luz (lasers) são emitidos desde uma

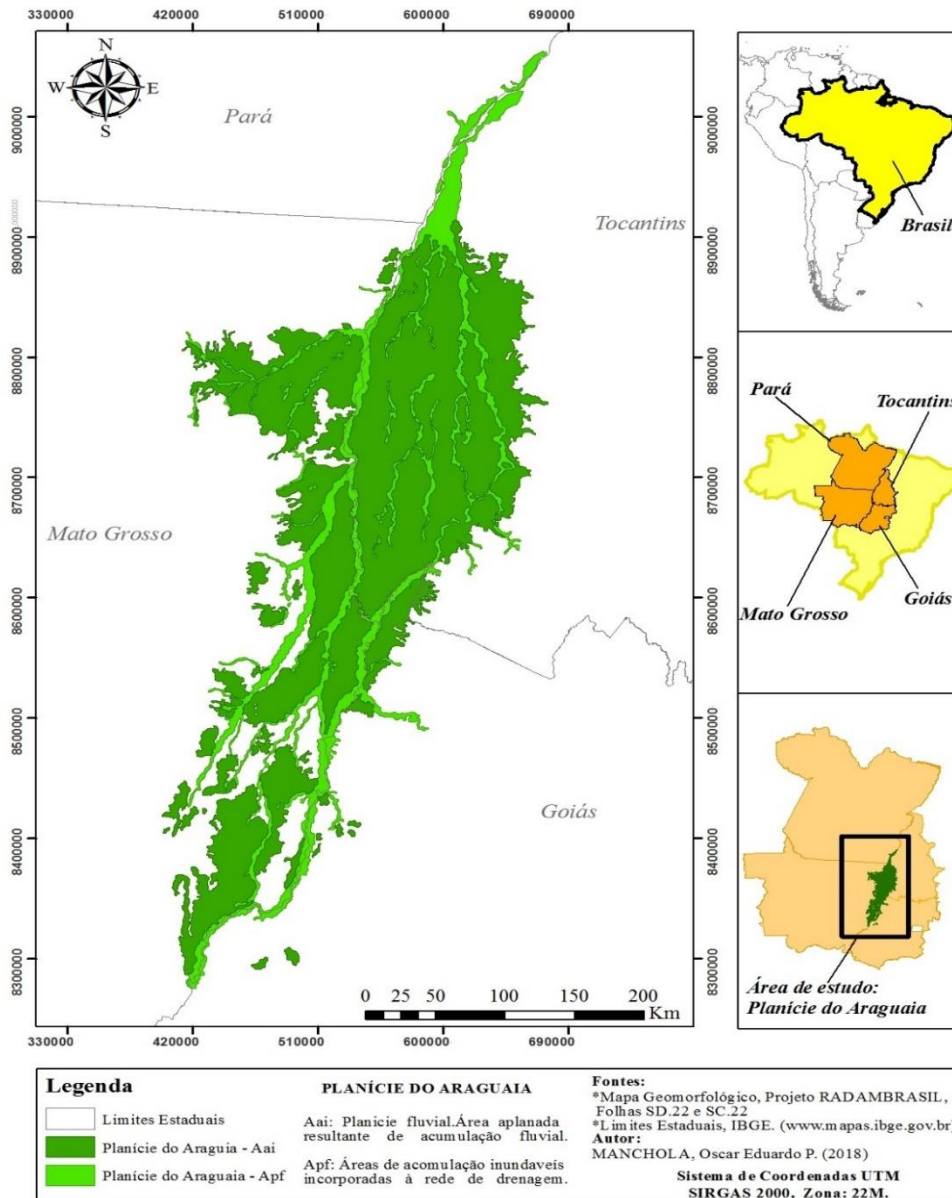
aeronave ou veículo aéreo não tripulado (VANT) para a superfície, refletindo ondas multiespectrais em três dimensões relacionadas as características físico-químicas do terreno (BAUER, 2015).

Entre as aplicações mais relevantes do LIDAR para sistemas cársticos estão as relacionadas ao mapeamento geomorfológico de dolinas com ênfase no planejamento territorial (GUTIÉRREZ et al., 2011) e o monitoramento de riscos de subsidência de dolinas (JOYSE et al., 2014; WU, DENG e CHEN, 2016).

3. CAPÍTULO III – Aspectos Fisiográficos da Planície do Araguaia

A Planície do Araguaia (Figura 17) constituída pelas unidades geomorfológicas de inundação e acumulação abrange uma área de aproximadamente 64.761,9 km², distribuídos nos estados de: Tocantins (47,8%); Mato Grosso (46,2%); Goiás (5,1%) e Pará (0,8%), como ilustra a figura 17 e devido à sua forma plana e baixa altitude (menor que 200 metros) são favoráveis os processos de acumulação fluvial e inundação sazonal (SEPLAN, 2012).

Figura 17 - Localização da área de estudo (Planície do Araguaia)



Fonte: autores

3.1. Geologia

A Planície do Araguaia está inserida no domínio tectônico da Província do Tocantins no segmento centro-setentrional entre o Cráton Amazônico e a Bacia Sedimentar do Parnaíba e sua formação está relacionada à colisão continental do Cráton Amazônico, São Francisco e Oeste africano no Neoproterozoico (CPRM, 2003).

No setor setentrional, a planície sofre influência direta de uma sucessão de rochas metassedimentares orientadas na direção norte-sul da Faixa do Araguaia e pertencentes ao Grupo Tocantins compostas por metacalcários, metarenitos, quartzitos e filitos (ARCANJO et al., 2013; PAIXÃO e GORAYEB, 2014).

Na porção meridional, a Planície do Araguaia localiza-se na Bacia Sedimentar do Bananal, formada majoritariamente (90% da área) por sedimentos quaternários da Formação do Araguaia provenientes dos depósitos fluviais, majoritariamente dos rios Araguaia e Mortes, constituídos predominantemente por argila, silte e conglomerados arenosos em avançado estado de laterização (VALENTE e LATRUBESSE, 2012).

Com relação ao substrato litológico subjacente da Formação Araguaia, estudos sísmicos geológicos-geofísicos identificaram uma estratificação constituída por rochas metassedimentares quaternárias localizadas a uma profundidade aproximada de 170 a 320 metros (ARAÚJO e CARNEIRO, 1977 *apud* VALENTE e LATRUBESSE, 2012).

3.2. Geomorfologia

A unidade morfoestrutural formada pela deposição sedimentar do rio Araguaia (Figura 17) acompanha o fluxo do rio no sentido sul-norte, sendo mais larga à montante (sul) e convergindo para jusante (norte). A unidade é constituída por duas formas de acumulação classificadas em: planície fluvial (Apf) e áreas de acumulação inundável (Aai) (BRASIL, 1981).

A planície fluvial é caracterizada pela formação de canais que margeiam os cursos dos rios nos quais é frequente o surgimento de ilhas ou bancos de areia (VALENTE e LATRUBESSE, 2012). Os canais dos rios principais apresentam-se bastante retilíneos com escarpas íngremes e terraços fluviais, já nas partes mais sinuosas ocorre a formação de ilhas e diques fluviais de até 20 metros de altura sobre o nível da água (BRASIL, 1981). A deposição abundante nas margens do canal principal está associada a processos de acresção lateral e à alta energia do canal principal que

transporta abundante carga de sedimentos do fundo do rio e do assoreamento dos canais meândricos secundários (MORAIS, AQUINO e LATRUBESSE, 2008).

As áreas de acumulação e inundação são caracterizadas por extensas áreas de solos argilosos ligeiramente compactados de topografia plana e deprimidas (mais baixas) com relação à unidade do canal principal, permitindo que a drenagem da unidade seja por meio de interflúvios sujeitos à inundação sazonal de águas pluviais (MORAIS, AQUINO e LATRUBESSE, 2008). Durante os períodos de estiagem, nas regiões menos impactadas pela inundação, sobressaem-se canais abandonados e depressões circulares ou semicirculares cobertas por vegetação que se desenvolvem, geralmente, em solos bem drenados sobre depósitos de areias quartzosas hidromórficas (BRASIL, 1981; VALENTE et al., 2013).

No aspecto geomorfológico Ross (1985) sintetiza a caracterização da Planície como uma região constituída por sedimentos inconsolidados do Quaternário e modelada por processos erosivos circundenudacionais (depressão periférica), caracterizada como:

[...] uma extensão mais linear da depressão marginal sul-americana. Essa unidade acompanha o vale do Araguaia, tendo sua parte central a presença isolada da Planície do Rio Araguaia, onde se insere a Ilha do Bananal. O modelamento é marcado por formas de relevo quase planos, com altimetrias que oscilam de 200 metros no norte e a 350 metros na extremidade sul. A superfície dessa depressão corta formações rochosas cristalinas da plataforma sul-americana e metassedimentares do cinturão orogênico Paraguaia-Araguaia (ROSS, 1985, p. 35).

3.3. Clima

A planície do Araguaia é caracterizada por um clima continental tropical úmido com duas estações bem definidas entre seco: iniciando no mês de abril e finalizando no mês de setembro; e úmido: iniciando no mês de outubro e finalizando no mês de maio (AQUINO et al., 2005).

A classificação climática pelo método de Köppen está associada ao de savanas tropicais do tipo Aw com um período seco que varia de 4 a 5 meses (CARDOSO e MARCUZZO, 2014) com uma temperatura média anual oscilando de 24,5 a 26 °C; e precipitação média anual de 1350 a 1850 mm, medidas registradas no período de 1986 a 2016 (ROLDÃO e FERREIRA, 2019).

3.4. Hidrografia

A hidrologia da Planície está condicionada ao regime fluvial da Bacia do Rio Araguaia, que varia seu nível d'água semestralmente, caracterizado pela cheia (de novembro a abril) e pela seca (de maio a outubro) (LATRUBESSE e STEVAUX, 2006).

O rio Araguaia nasce na Serra dos Caiapós, no extremo sul do estado de Goiás, e percorre uma distância 2.110 km até desembocar no Rio Tocantins, no Bico do Papagaio no extremo norte do estado do Tocantins (MORAIS, AQUINO e LATRUBESSE, 2008). Seus principais afluentes são o Rio das Mortes, localizado na porção ocidental, com uma área de drenagem estimada em 60.000 km²; e o Rio Javaés, porção oriental, formando a maior ilha fluvial do mundo, a Ilha do Bananal, com 300 km de extensão (AQUINO et al., 2005).

3.5. Vegetação

A Planície do Araguaia faz parte da região ecotonal do bioma Cerrado e o Amazônico. Seu clima de savana tropical e sua característica biogeográfica favorecem a alta diversidade de espécies adaptadas as variações sazonais do nível d'água. Esse processo também contribui para o de endemismo de algumas espécies, tornando a região uma importante zona destinada à conservação (KURZATKOWSKI, LEUSCHNER e HOMEIER, 2015; LOPES, FRANCO e COSTA, 2017).

Em função dos condicionantes hidrogeomorfológicos, Morais, Aquino e Latrubesse (2008) classificam a vegetação natural da Planície Araguaia com base na sua sucessão ecológica em três unidades: herbácea, arbustiva-arbórea e arbórea.

- Unidade de vegetação herbácea: relacionada à colonização pioneiras de gramíneas e ciperáceas sobre ilhas e barras fluviais. Nesta unidade se destacam as gramíneas de acelerado crescimento que se desenvolvem rapidamente após o período de inundação, frequentemente, sobre depressões com alto teor de matéria orgânica e substratos litológicos arenosos bem drenados;
- Unidade de vegetação arbustiva-arbórea: associada a topografias superficiais sobre meandros colmatados ou abandonados de solos argilosos que devido às suas características impermeabilizantes sofrem influência direta nos períodos de inundação, geralmente, sua composição florística se relaciona a indivíduos arbóreos de médio porte das famílias Malvaceae e Bignoneaceae; e gramíneas Cyperaceae, Asteraceae e Fabaceae;
- Unidade de vegetação arbórea: composta por grande diversidade de espécies arbóreas de médio a grande porte sobre substratos com alto teor de matéria orgânica e solos argilosos que permitem a sustentação e resistência às inundações pluviais. As famílias mais representativas desta unidade são Cecropiaceae e Euphorbiaceae.

Entre os múltiplos habitats desenvolvidos na Planície do Araguaia ressaltam-se também os fragmentos de floresta denominados popularmente de *ipucas* ou *impucas*, que se distribuem amplamente ao longo da região sobre depressões doliniformes parcial ou permanentemente inundadas e servem de abrigo para espécies endêmicas ou adaptadas às áreas alagadas (MARTINS et al., 2002; BRITO et al., 2008).

3.6. Uso do solo

As características planas do terreno e a abundância de recursos hídricos favorecem o desenvolvimento de intensas atividades agropecuárias que nos últimos 20 anos vêm acelerando o processo de desmatamento e fragmentando os corredores ecológicos das unidades de conservação (REZENDE-FILHO, 2017; MAPBIOMAS, 2020).

Entre os métodos de cultivo intensivo destaca-se o de cultura irrigada no Tocantins, nos municípios de Lagoa da Confusão e Formoso do Araguaia, chegando a 77.000 hectares irrigados em 2015, fortemente incentivada em projetos governamentais como o Projeto Javaés/Mesopotâmia que para o mesmo ano demandou uma vazão de 4.925.295,25 m³/dia da bacia do rio Formoso, no estado do Tocantins (MAGALHAES FILHO, 2015; MORAIS, JÚNIOR e MARTINS, 2017).

A alta vazão requerida, descumprindo os limites impostos pela legislação ambiental, vem afetando a capacidade de suporte dos corpos hídricos, chegando a interromper totalmente o curso do Rio Formoso durante o período seco, comprometendo os serviços ecossistêmicos da região, modificando o ambiente e intensificando os conflitos pelo uso do solo entre os produtores rurais e as comunidades tradicionais, em especial, aquelas que habitam os limites da expansão da fronteira agrícola e a Ilha do Bananal (BISPO, 2013; MOREIRA, COLLICCHIO e GAMBA, 2019).

3.7. Carste na Planície do Araguaia

Entre as áreas potencialmente cársticas do Brasil, encontra-se o estado do Tocantins com afloramentos cársticos de diversas composições rochosas, sendo as mais representativas as cavidades naturais como: cavernas, abrigos, fendas, grutas e furnas (CECAV 2009; BEZERRA e MORAIS, 2015). Considerando as características litológicas do relevo cárstico tocantinense, as feições carbonáticas pertencentes ao Grupo Bambuí no sudeste do estado se destacam devido à sua excepcional beleza cênica e atrativos turísticos (ALVES e MORAIS, 2017; CRISTO et al., 2013;

MORAIS, 2013). Também merecem destaque os afloramentos silicosos (não carbonáticos) identificados em cavernas areníticas (HARDT e PINTO, 2009; MORAIS e SOUZA, 2009; MORAIS e ROCHA, 2011).

Na porção oeste da Planície, no município de Cocalinho, Mato Grosso, destacam-se os estudos da Serra do Calcário localizada à margem direita do Rio das Mortes, onde são encontradas, numa área de 525 km², estruturas cársticas do tipo carbonáticas sob a forma de grutas, dolinas, uvalas, morrotes, torres e surgências (HARDT, 2005).

Outros autores relacionados com estudos florísticos e fitosocioecológicos na Planície do Araguaia mato-grossense atribuem o termo “*impuca*” (variação do étimo “*ipuca*”) a depressões cársticas. Neste contexto, Marimon et al. (2008 *apud* MARIMON et al., 2012) empregam a terminologia “*impuca*” em trabalhos relacionados com a florística do Pantanal do Araguaia mato-grossense relacionando a forma de dolinas: “*Em áreas permanentemente úmidas de afundamentos do relevo, como dolinas, antigos meandros de rios ou cursos de drenagem do terreno, ocorrem as florestas inundáveis localmente denominadas de impucas*”.

Por outro lado, na porção este da Planície do Araguaia também são encontradas estruturas cársticas semelhantes às “dolinas”, porém, descritas como fragmentos florestais em depressões inundadas, popularmente chamados de “*ipucas*” (habitat para espécies endêmicas do Araguaia) com formas circulares e alongadas sobre solos que estão sobre alta influência do lençol freático (MARTINS et al., 2002). “As ‘*ipucas*’, segundo a definição regional, são os fragmentos naturais de florestas inundáveis que no estado do Tocantins surgem dentro das subformações da fisionomia campestre (campo sujo e/ou campo limpo)” (BRITO et al., 2008, p. 3).

Em estudos geoambientais que caracterizaram os solos das “*ipucas*” constataram a predominância de solos lateríticos com alta contração de matéria orgânica de natureza ácida no horizonte A e elevados teores de sedimentos finos como silte e argila (MARTINS et al., 2006).

Inferências incipientes sobre a evolução dos solos das “*ipucas*” indicam que possivelmente a formação das depressões está associada à dissolução de substratos carbonáticos subjacentes do Grupo Tocantins (THOMAS, 1994 *apud* MARTINS et al., 2006).

A formação de “*ipucas*” por dissolução de carbonatos também é associada a feições cársticas devido a sua tipologia doliniforme identificada por imagens de satélite e analisada por métodos morfométricos, assim como, pela presença de águas carbonatadas em lagoas que servem como zona de recarga de águas subterrâneas (MORAIS, 2017). Desta forma, ressalta-se a

necessidade de estudos relacionados com a formação geomorfológica destas depressões para entender a vulnerabilidade e situação ambiental dos recursos hídricos da região

4. CAPÍTULO IV – Conceitos relacionados a estruturas doliniformes na Planície do Araguaia

4.1. Resumo

Na Planície do Araguaia, formações semelhantes a dolinas (depressões circulares ou ovaladas), cobertas com vegetação florestal, são comumente denominadas pela comunidade acadêmica como: *ipucas* e *impucas* (etimologia indígena Tupi). Não obstante o uso destes conceitos difere em função do agente denominador e no significado aplicado nas diversas áreas do conhecimento. Por este motivo, o objetivo deste trabalho foi analisar, sob o viés interdisciplinar, os designativos toponímicos de natureza acadêmica, associados ao referente: “depressão doliniforme”. Foram utilizados métodos toponomásticos de classificação de designativos e aplicação de Redes Sociais de Análises para verificar os vínculos interdisciplinares. Com base nisso, foram identificados 367 significados de 66 trabalhos acadêmicos elaborados na Planície do Araguaia no período entre 1985 e 2019, os resultados demonstraram que as designações mais usadas academicamente na região são: *ipuca* (64,3%), *impuca* (25,3%) e dolina (6,8%), classificadas majoritariamente como Fitotônimos (40,9%). Essas tipológicas foram frequentemente motivadas pela ideia de: Fragmento florestal inundado (38,7%), Fragmento Florestal (35,7%) e Depressão (15,5%). Por meio da Rede Social de Análises foi possível verificar que a designação *ipuca* representou 92% de vínculos conectados a diferentes áreas do conhecimento. Já o uso da tipologia *impuca* registrou 88% dos vínculos associados a trabalhos de fitossociologia. Desta forma, pode-se concluir que a designação toponímica *ipuca* é de natureza interdisciplinar e *impuca* disciplinar. Porém foi verificada a expansão semântica na aplicação interdisciplinar, pois alguns fragmentos florestais foram fortemente relacionados com estruturas fechadas de ambientes cársticos denominadas dolinas, sendo necessária, portanto, a distinção semântica quanto à morfogênese do substrato subjacente dos fragmentos florestais inundados, pois a desconsideração disto implicaria em impactos na preservação, manejo e gerenciamento do uso do solo destas estruturas.

Palavras-chave: Dolina, *ipuca*, *impuca*, toponímia, rede de análise social.

4.2. Abstract

In the Araguaia Plain, doline-like formations (circular or oval depressions), covered with vegetation, are often referred to by the academic community as: *ipuca* and *impuca* (Tupi indigenous etymology). However, the using of these concepts differ depending on the denominating agent and the contextualized meaning in different areas of knowledge. For this reason, the objective of this work was to analyze, by using an interdisciplinary perspective, the toponymic designations of an academic nature that is associated with the reference: “doline-like features”. Toponomastic methods of classifying projects and applications of Social Networks Analysis were used to verify interdisciplinary links. Based on those, it was identified 367 meanings of 66 academic studies developed in the Araguaia plain in the period from 1985 to 2019, the results showed that the most used academically designations in the region are: *ipuca* (64.3%), *impuca* (25.3%) and doline (6.8%), mostly classified as Phyto-toponyms (40.9%). These typologies were often motivated by the idea of: Flooded forest fragment (38.7%), Forest fragment (35.7%) and Depression (15.5%). By applying the Social

Analysis Network method, it was possible to verify that the designation *ipuca* represents 92% of the links connected to different areas of knowledge. The usage of the typology *impuca* registered 88% of the links associated with phytosociological studies. Thus, it can be concluded that the toponymic designation *ipuca* has an interdisciplinary nature whereas the term *impucas* brings a disciplinary aspect. However, there was a semantic expansion in the interdisciplinary application, because some forest fragments were strongly related to closed structures of karstic environments called dolines, therefore, it is necessary a semantic distinction regarding the substrate morphogenesis underlying the flooded forest fragments, because not taking it into consideration could impact on the conservation, management and management of the soil use of these structures.

Keywords: Doline, *ipuca*, *impuca*, toponymy, social network analysis.

4.3. Introdução

A linguagem, como elemento pluri, multi e interdisciplinar, é essencial para a comunicação. Ela estabelece uma relação intrínseca com a cultura, sociedade e o lugar. Essa interação social, realizada por meio de um sistema de signos linguísticos, permite, dentre outros aspectos, nomear lugares (topônimos). Sendo fundamental compreender esses nomes a partir dos diferentes significados, olhares e áreas de atuação, pois, por se organizarem de maneira dinâmica, constantemente se (re)inventam no tempo e no espaço, sobrepondo-se a valores socioculturais, identitários, econômicos, ambientais, políticos e, até mesmo, religiosos. No nosso entender, reconhecemos o nome de lugar como sendo um patrimônio linguístico e cultural, testemunho de uma comunidade, materializado e corporificado, representando um produto e o reflexo social e cultural da cosmovisão de um grupo.

A partir de uma visão interdisciplinar, a Toponímia estabelece o sentido de unidade diante dos diversos saberes, pois, para estudar os nomes de lugares, é preciso levar em conta as várias áreas do conhecimento. Não se pode compreender um topônimo a partir de um único olhar disciplinar, uma vez que ele agrega vários aspectos e de diversas áreas. O topônimo é o elemento funcional que o homem utiliza para humanizar a paisagem, representando entidades geográficas determinadas que retratam não somente um léxico linguístico, mas sim a cultura do seu povo, sua história e sua relação com a natureza (FONSECA, 1997).

Ao organizar culturalmente o espaço geográfico, por meio de topônimos, cria-se uma diversidade de denominações que podem evoluir ao longo do tempo (diacronia) ou sofrer variações regionais em função de diferentes estruturas linguísticas utilizadas (sincrônica). Dessa forma é

necessário reconhecer as nomenclaturas e significados utilizados para o mesmo espaço físico ou realidade geográfica (referente).

O estudo do meio ambiente não pertence a nenhuma ciência ou disciplina específica. A complexidade dos processos envolvidos transcende para realidades físicas, biológicas, sociais e culturais, sendo necessária a reunião de saberes (NUNES e ANDRADE, 2012). Desse modo, a integração de diferentes áreas do conhecimento deve ser utilizada como resposta aos crescentes impactos ambientais (TELES e MORAIS, 2019).

Na Planície do Araguaia, rebaixamentos do terreno (depressões) de forma circular ou ovalada (doliniformes) assumem várias denominações, usadas academicamente em diferentes áreas do conhecimento. Em algumas situações, elas apresentam dificuldades semânticas quanto à aplicação pelo agente denominador, origem da língua e significado intrínseco (algumas apresentam significados universalmente aceitos e outras apresentam ampliação semântica).

Com base nisto, o objetivo principal deste trabalho foi: analisar, sob o viés de várias áreas do conhecimento, os designativos toponímicos de natureza acadêmica e (inter)disciplinar utilizados em referência à “depressão doliniforme”, localizados na Planície do Araguaia, considerada como principal unidade geomorfológica dos processos relacionados à formação do relevo.

4.4. Metodologia

Para atingir o objetivo proposto, este trabalho foi executado em três etapas: caracterização da área de estudo; classificação de dados coletados com base na ficha lexicográfica-toponímica e, por fim, verificação de resultados em Redes Sociais de Análises.

4.4.1. Caracterização da área de estudo

A Planície do Araguaia está localizada nos estados de Pará, Mato grosso, Tocantins e Goiás, possui uma extensão de 64.761,9 km² (Figura 17), sendo 30% correspondente à Ilha Fluvial do Bananal formada por áreas potenciais para a conservação ambiental, como: o Parque Estadual do Cantão, Parque Nacional do Araguaia e Terras indígenas (etnias predominantes: Karajá, Javaé e Krahô-kanela) (BRASIL, 1981; SEPLAN, 2012). Atualmente, vivem no Parque do Araguaia, em terras indígenas, os povos Ava-Canoeiro, Karajá, Javaé e Tapirapé.

A unidade geomorfológica está inserida na bacia do Rio Araguaia, caracterizada como região ecotonal dos biomas Cerrado e Amazônico (PINHEIRO e DORNA, 2009). O clima de savana tropical e sua característica biogeográfica proporcionam *habitats* com alta diversidade de espécies, destacando-se espécies com elevado grau de endemismo (adaptadas a variações sazonais dos cursos d'água). Estas características classificam a região como uma importante zona destinada à conservação (KURZATKOWSKI; LEUSCHNER e HOMEIER., 2015; LOPES; FRANCO e COSTA, 2017).

Sua caracterização geológica compreende, majoritariamente, dois ambientes: ao oeste, sedimentos Cenozóicos da Cobertura Sedimentar do Bananal, compostos por pacotes arenos-argilosos, muitas vezes, em estado avançado de laterização. Ao leste, sedimentos Neoproterozóicos da Formação Couto Magalhães, pertencentes ao Grupo Tocantins, compostos por filitos, ardósias, quartzitos, calcários e serpentinitos (BRASIL, 1981).

As características planas do terreno, os solos férteis e a abundância de recursos hídricos da região têm favorecido o desenvolvimento de intensas atividades agropecuárias. Nos últimos 20 anos, incentivos governamentais vêm sendo aplicados para aumentar a produção agropastoril em grande escala, acelerando o processo de desmatamento e a captação exacerbada de importantes cursos d'água (Rio Formoso e Rio Javaés), causando fortes reduções nas vazões dos rios e acentuada fragmentação dos corredores ecológicos próximas às unidades de conservação (MAPBIOMAS, 2020; MAGALHÃES-FILHO; VERGARA e RODRIGUES, 2015; MORAIS, JÚNIOR e MARTINS, 2017; MOREIRA, COLLICCHIO e GAMBA, 2019).

4.4.2. Ficha lexicográfica-toponímica

Para entender o processo gerativo da denominação de nomes próprios de lugares, foram analisados trabalhos acadêmicos realizados na Planície do Araguaia com o uso de topônimos (*topos*: lugar; *onoma*: nome), relacionados ao referente: “depressão doliniforme”.

A análise dos dados foi realizada com base na ficha lexicográfica-toponímica, proposta por Dick (2004). Essa ficha, adaptada para este estudo (Quadro 2), permite organizar as informações essenciais do referente (entidade geográfica determinada) e distribuí-las em unidades lexicais (categorias), estatisticamente relacionadas às motivações toponímicas usadas no processo de nomeação (DICK, 2004; POCKLINGTON, s.d).

Quadro 2 - Elementos utilizados na ficha lexicográfica-toponímica, baseados em Dick (2004).

UNIDADE LEXICAL	DESCRIÇÃO
Referente	Objeto real ou entidade concreta.
Tipologia	Sintagma toponímico simples, nome, termo ou conceito usado para o referente.
Motivação Toponímica	Recorte de uma ideia, noção e/ou traço da realidade, de natureza física ou humano/cultural, produzido a partir da intencionalidade do denominador.
Taxonomia	Agrupamento macroestrutural que sintetiza os topônimos em categorias baseadas nos processos de nomeação e motivação.
Procedência do conhecimento do nomeador	<i>Empírico</i> : Inferência sem análise metodológica, apenas pela observação, hipóteses.
	<i>Científico</i> : Inferência adquirida pelo uso de métodos e comparação de resultados, afirmação concreta.
	<i>Popular</i> : Inferência adquirida pelas tradições e saberes culturais de uma determinada região ou grupo Cultural.

Adaptado de: (DICK, 2004).

As categorias taxonômicas utilizadas neste estudo (Quadro 3), foram descritas por Dick (1992) e se subdividem em: Natureza física (acidentes geográficos naturais) e Natureza Antropo-cultural (aspectos relacionados ao homem e sua cultura).

Quadro 3 - Categorias taxonômicas de Natureza física e Antropo-cultural

(Continua)

Categorias Taxonômicas de Natureza Física	
Astrotopônimos	topônimos que se referem aos corpos celestes.
Cardinotopônimos	topônimos referentes às posições geográficas.
Cromotopônimos	topônimos relativos à escala cromática.
Fitotopônimos	topônimos originados de nomes de vegetais.
Geomorfotopônimos	topônimos referentes às formas topográficas, elevações ou
Hidrotopônimos	topônimos originados de acidentes hidrográficos.
Litotopônimos	topônimos originados de nomes de minerais e de nomes

Meteorotopônimos	topônimos relativos a fenômenos atmosféricos.
Morfotopônimos	topônimos que refletem o sentido de forma geométrica.

Quadro 3 - Categorias taxeonômicas de Natureza física e Antropo-cultural

(Conclusão)	
Zootopônimos	topônimos de índole animal.
Categorias Taxeonômicas de Natureza Antropo-cultural	
Animotopônimos ou	topônimos relativos à vida psíquica e à cultura espiritual
Antropotopônimos	topônimos relativos aos nomes próprios individuais
Axiotopônimos	topônimos que se referem a títulos e a dignidades.
Corotopônimos	topônimos relativos aos nomes de cidades, países, estados.
Cronotopônimos	topônimos que encerram indicadores cronológicos. velho/velha
Ecotopônimos	topônimos que fazem referência às habitações.
Ergotopônimos	topônimos relacionados aos elementos da cultura material
Etnotopônimos	topônimos relativos aos elementos étnicos
Poliotopônimos	topônimos constituídos pelos vocábulos vila, aldeia ou cidade.
Sociotopônimos	topônimos relacionados às atividades profissionais.

Fonte: Adaptado de Dick (1992)

Além das informações semânticas descritas com base na ficha lexicográfica-toponímica (DICK, 2004, p. 130), foram classificadas também as características de cada trabalho acadêmico com relação: ao *Tipo* (artigo, tese, dissertação, monografia, livro, anais, relatório técnico); aos *Autores(as)*; à *Data da publicação*; ao *Título do trabalho*; ao *Tema principal*; à *Localização da área de estudo* e às *Referências*.

4.4.3. Rede interdisciplinar

Para identificar o grau de interdisciplinaridade do referente “depressão dolinifome” em trabalhos acadêmicos, foi utilizado o método de análise de rede sociais (*Social Network Analysis*) para a detecção de comunidades disciplinares ou interdisciplinares por meio dos vínculos entre citações e temas abordados (BORDIN et al., 2015). A visualização e a análise exploratória de dados foram realizadas no software livre *Gephi 0.9.2*.

A análise exploratória foi elaborada a partir do cruzamento das citações de cada autor e sua relação com os demais. Para tanto, foi elaborada uma matriz de adjacência, considerando os vínculos estabelecidos pelas citações entre os autores (arestas) e a quantidade de citações que recebeu determinado autor (nós). Todos os vínculos diretos foram classificados em Disciplinar ou Interdisciplinar: Citação entre autores com o mesmo tema - *Disciplinar*; e Citação entre autores de diferente tema - *Interdisciplinar* (Quadro 4).

Quadro 4 - Amostra da classificação realizada por meio da matriz de adjacência.

<i>Source</i>	<i>Target</i>	<i>Label_From</i>	<i>Label_To</i>	<i>From</i>	<i>To</i>	<i>Type</i>
a4	a3	Martins et al., 2001	Martins, 1999	C_Ambiental	C_Ambiental	Disciplinar
a5	a1	Marimon; Lima, 2001	Eiten, 1985	Fitossociologia	Fitossociologia	Disciplinar
a6	a3	Martins et al., 2002	Martins, 1999	C_Ambiental	C_Ambiental	Disciplinar
a7	a2	Hardt, 2004	Soubies; GUYOT, 1995	Geomorfologia	Geomorfologia	Disciplinar
a8	a3	MORAIS et al., 2004	MARTINS, 1999	Leveduras	C_Ambiental	Interdisciplinar
a9	a3	MARTINS, 2004	MARTINS, 1999	A_Geoambiental	C_Ambiental	Interdisciplinar
a9	a5	MARTINS, 2004	MARIMON; LIMA, 2001	A_Geoambiental	Fitossociologia	Interdisciplinar
a9	a6	MARTINS, 2004	MARTINS et al., 2002	A_Geoambiental	C_Ambiental	Interdisciplinar
a10	a2	HARDT, 2005	SOUBIES; GUYOT, 1995	Geomorfologia	Geomorfologia	Disciplinar

Legenda: “A_Geoambiental”= Análise Geombiental; “C_ambiental”= Caracterização Ambiental.

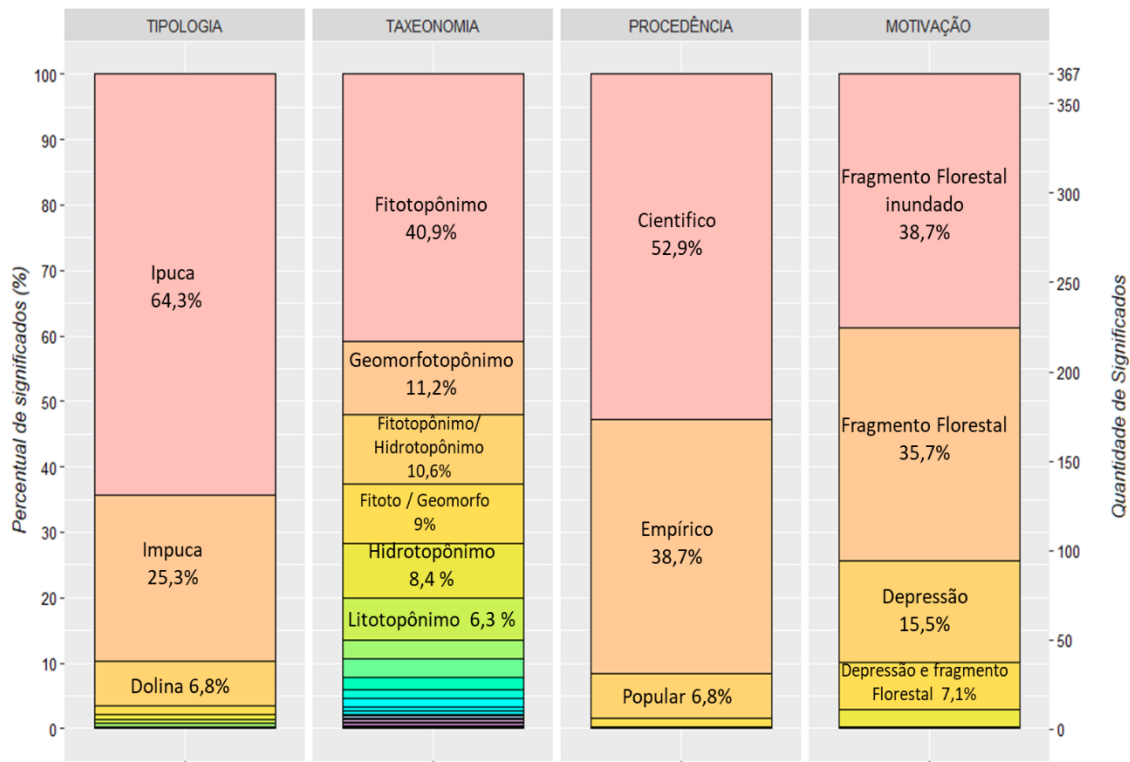
Fonte: autores

4.5. Resultados

4.5.1. Ficha lexicográfica-toponímica

Foram identificados 66 trabalhos acadêmicos (35 artigos, 11 dissertações, 11 anais, 7 teses, 1 livro e 1 relatório técnico), no período entre 1985 e 2019. Desses trabalhos, foram analisados 367 significados relacionados ao referente “Depressão doliniforme”, localizados na Planície do Araguaia (Figura 18). Todos os significados do referente foram analisados com base no proposto por Dick (2004) e calculados por meio do *software* livre *The R Project for Statistical Computing*.

Figura 18 - Percentual de Unidades lexicográficas identificadas para o referente “depressão doliniforme”, descrito a partir de trabalhos acadêmicos realizados na Planície do Araguaia no período de 1985 a 2019.



Fonte: autores

Designações toponímicas (Tipologias)

Observou-se que as designações toponímicas, mais utilizadas nos trabalhos acadêmicos na Planície do Araguaia, para o referente “depressão doliniforme”, são: *ipuca* (64,3%), *impuca* (25,3%) e *dolina* (6,8%). As duas mais frequentes, *ipuca* e *impuca*, são de etimologia indígena Tupi: y- ‘água’; puca ‘1. fenda, racha, erosão; 2. Parar, cessar, passar (a chuva)’ (TIBIRIÇA, 1984, p. 163) e y-puca ‘água aberta; água que arrebenta’ (SAMPAIO, 1987, p. 252). Essas acepções podem sofrer “alterações ao serem adaptadas a novas estruturas linguísticas (FONSECA, 1997)”. No caso de *impuca*, identificamos um processo de alteração fonética do termo *ipuca*, o qual faz parte do próprio uso da língua pelos falantes. Neste caso, em especial, ocorre um processo de nasalização ou nasalção, ou seja, a transformação de um fonema oral em um fonema nasal: /i/ >

/ĩ/, sendo a transcrição gráfica *impuca*. Para este estudo, as designações toponímicas, *ipuca*, *impuca* e *dolina*, são consideradas como variantes linguísticas do referente “depressão doliniforme”, uma vez que as distribuições das duas formas delimitam áreas específicas de ocorrência.

O primeiro registro acadêmico na Planície do Araguaia com o uso do topônimo *impuca* foi verificado no ano de 1985, pelo botânico e professor Dr. George Eiten, no artigo titulado: *Vegetation near Santa Teresinha, Ne Mato Grosso*, no qual foi caracterizada a vegetação que margeia o Rio Araguaia, definindo-a como Mata de Galeria. Ele faz uma distinção entre “outra parte da mata de galeria”, ao afirmar: “*this is impuca do rio or simply impuca*” descrevendo-a como: uma “*lower form of forest*” (forma de floresta mais baixa), sazonalmente inundável, com árvores de 4 a 5 metros de altura, lianas entrelaçadas e árvores frequentemente espinhosas com baixa riqueza florística em comparação à Mata de Galeria de áreas mais elevadas (EITEN, 1985, p. 6).

O topônimo *ipuca*, foi apresentado academicamente em 1999, na dissertação de mestrado da geógrafa e professora Dra. Iracy Coelho Martins, intitulada: “*Diagnóstico ambiental no contexto da paisagem de fragmentos florestais naturais -ipucas- no município de Lagoa da Confusão, Tocantins*”. Nesse trabalho, ela ressalta a importância do fragmento florestal natural para equilíbrio ambiental, ao funcionarem como elo entre vários rios, córregos e lagoas, caracterizando as *ipucas* como fragmentos florestais homogêneos (indivíduos da mesma espécie), distribuídas em forma de “ilhas” que apresentam formas longilíneas e arredondadas em campos sujos e limpos. A maior parte delas possuem áreas até 5 hectares e algumas chegam a mais de 100 hectares de extensão. Sua constituição litológica refere-se a solos pouco profundos com alta influência do lençol freático, o que favoreceria a deposição de uma espessa camada de matéria orgânica e materiais finos como argila e silte no seu interior. A autora ressalta ainda que: “*Apresentam-se em formas de dolinas, ou seja, pequenas depressões resultantes de processos de perda de água e ganho de matéria orgânica*” (MARTINS, 1999, p.82)

O topônimo *dolina* foi frequente em 5,2% dos trabalhos acadêmicos, localizados na Planície do Araguaia. Essa designação foi introduzida internacionalmente pelo geógrafo Sèrvio Jovan Cvijic, em 1893, como analogia a uma “pequena bacia hidrográfica” (BONDESAN, MENEGHEL e SAURO, 1992). Atualmente o termo *dolina* é mais usado por geomorfólogos europeus, já *Sinkhole*, considerada como variante lexical, é mais comum no norte de América e na literatura internacional (GUTIÉRREZ; GUERRERO e LUCHA, 2008).

Dolina ou “*sinkhole*” são topônimos que se referem a depressões naturais de ambientes cársticos que possuem formas elípticas ou circulares e funcionam como unidades hidrográficas (pontos de recarga), convergindo as águas superficiais para sistemas subterrâneos. Sua origem está relacionada à solubilidade de rochas (carbonáticas e não carbonáticas), por meio de processos de dissolução, colapso ou subsidência (FORD e WILLIAMS, 2007).

Motivação Toponímica

Os resultados relacionados à motivação toponímica apresentaram que 38,7% remetem à ideia de um Fragmento Florestal Inundado; 35,7%, Fragmento Florestal; 15,5%, Depressão; 7,1%, Depressão com Fragmento Florestal e 3% para Lagos e Lagoas.

Foi necessário distinguir o “*Fragmento Florestal Inundado*” e “*Depressão com Fragmento Florestal*”, devido à ênfase do significado. O primeiro (*Fragmento Florestal Inundado*) é retratado como uma área alagada e coberta por vegetação e o segundo (*Depressão com Fragmento Florestal*) está relacionado com a ideia de cavidade (sujeita à inundação), pouco profunda e coberta parcialmente com vegetação.

Nota-se que 85,5% das motivações toponímicas identificadas em trabalhos acadêmicos na Planície do Araguaia, para o referente “depressão doliniforme”, estão relacionadas com superfícies rebaixadas do terreno sujeitas à inundação (Hidrotopônimo), sendo cobertas com ou não por vegetação (Fitotopônimo).

Taxeonomia

Buscando sistematizar o objeto denominado em macroestruturas que o classifiquem com relação à sua aplicação, foram categorizados todos os significados relacionados ao referente “depressão doliniforme”, com base nos dois grupos de classificação: Taxeonomias de Natureza Física e Taxeonomias de Natureza Antropo-cultural.

As Taxeonomias de Natureza Física foram as mais frequentes (97%) como destaque para os: Fitotônimos (40,9%); Geomorfotônimos (11,2%), Fitotopônimo / Hidrotopônimo (10,6%), Fitotopônimo / Geomorfotopônimo (9,0%) e Hidrotopônimo (8,4%).

Os Fitotônimos foram os mais frequentes (40,9%) com significados atrelados a “*fragmentos florestais*”, demonstrando que a aplicabilidade dos conceitos relacionados às “depressões doliniformes” na Planície do Araguaia estão associados a trabalhos de cunho vegetal, como: Caracterização florística, fitossociológica e taxonomia vegetal.

No entanto, percebe-se que há uma forte relação da aplicação do significado das áreas relacionadas a: Geomorfologia, Hidrologia e Fitossociologia. Entre os Geomorfotônimos ressaltam-se os significados que definem o referente como: “*depressões naturais do terreno*” e “*rebaixamentos do solo*”.

A relação entre Fitotopônimos / Hidrotopônimos é enfatizada constantemente na acepção: “*Os fragmentos florestais naturais são alagados sazonalmente*”. Os Fitotopônimos / Geomorfotopônimos são evidenciados em afirmações como: “*Os fragmentos florestais ocorrem em depressões naturais*”. Já os Hidrotopônimos ressaltam o traço acidente hidrogeográfico, comparando-o a “*lagoa*” e “*lago*”, sendo sua origem associada à elevação do lençol freático ou sujeitas à inundação sazonal.

Em menor proporção (3%) do total das taxonomias, foram identificadas como de Natureza Antropo-Cultural, sendo identificadas duas classes: Ecotopônimos (2%) e Ergotopônimos (1%). Os Ecotopônimos representaram habitações, habitats de modo geral, associado aqui a um lugar de proteção da flora e fauna. Já os Ergotopônimos são caracterizados por elementos da cultura material, simbolizando o lugar como “*armadilha*”, lugar de caça ou fonte de alimento.

Procedência do conhecimento do nomeador

Com relação à procedência do conhecimento, observou-se que (52,9%) dos significados analisados foram nomeados com base no *Conhecimento Científico*, ou seja, inferência adquirida com base na aplicação de métodos científicos e comparação de resultados.

Já o *Conhecimento Empírico* apresentou 38,7% das inferências relacionadas a hipóteses, (sendo necessária a análise metodológica científica para sua corroboração). Entre as hipóteses mais recorrentes, encontram-se associadas ao topônimo *ipuca* com relação a sua gênese: “*Os fragmentos florestais inundados usualmente são associados a depressões do terreno*” também se destacam várias hipóteses quanto à sua composição florística: “*As ipucas são identificadas como —Florestas Estacionais Semidecíduais Aluviais*” (MARTINS et al., 2006, p. 2); ou “*ipucas are unique forest fragments situated in the open fields of Cerrado vegetation and occur only in the Araguaia plains of state of Tocantins*” (ROSA et al., 2006, p.83); ou “*As ipucas (capões de mata envoltos por vasta matriz de cerrado)*” (PINHEIRO e DORNAS, 2009, p.203).

Com relação ao *Conhecimento Popular*, 6,8% das inferências analisadas vinculam a étimos de natureza indígena de origem Tupi (*ipuca* e *impuca*), relacionados a fragmentos de vegetação

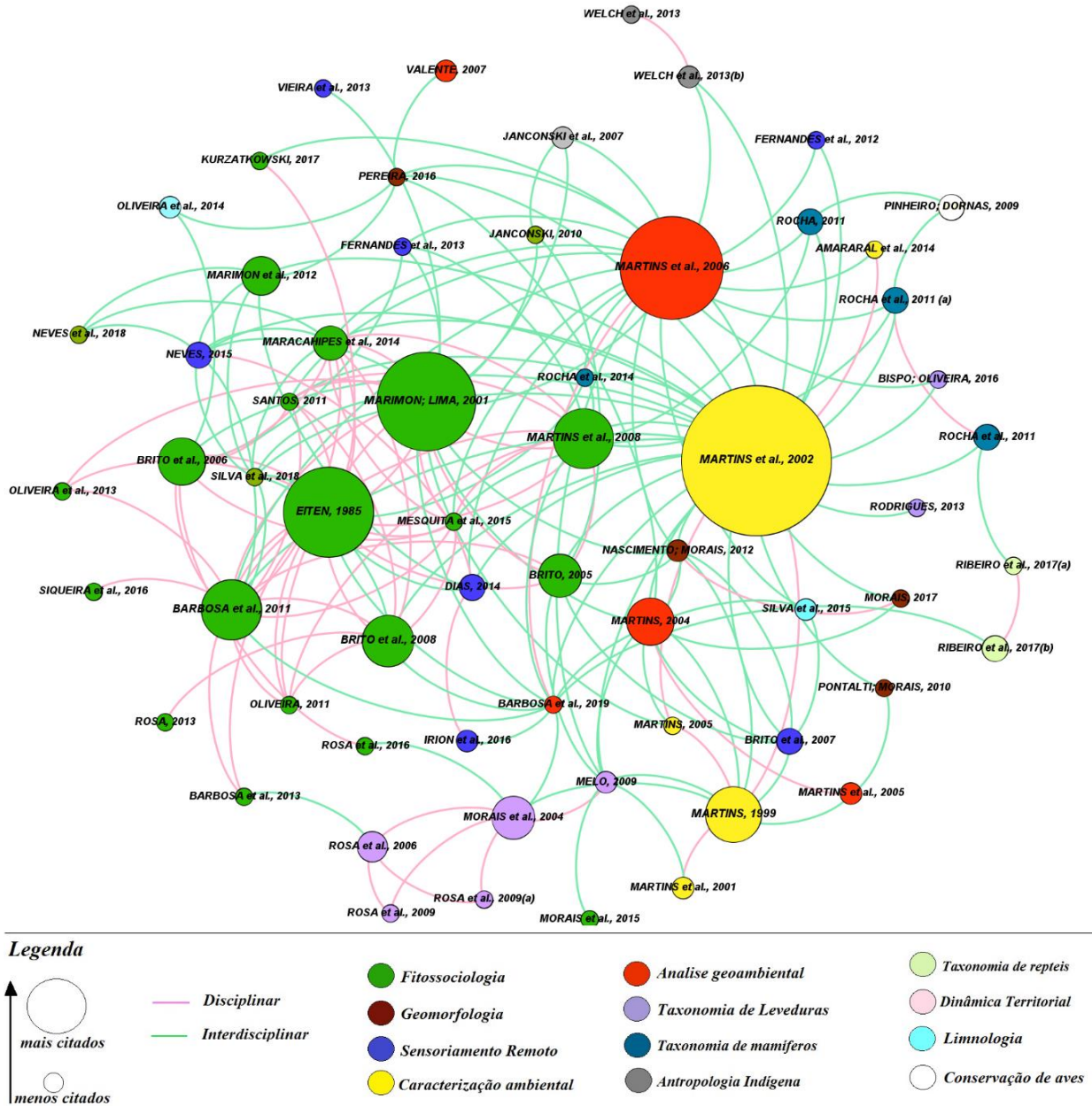
frequentemente denominados com base no conhecimento regional. O uso do étimo *impuca* apresentou-se recorrente em estudos realizados no estado de Mato Grosso, constatada na caracterização fitossociológica do município de Cocalinho em: “*Capões - esta fitofisionomia é denominada localmente como impuca*” (MARIMON e LIMA, 2001, p. 227). Já a tipologia *ipuca* é popularmente utilizada no Tocantins e tem seu uso frequente em inventários florestais, realizados no município de Lagoa da Confusão, como demonstrado em: “*Fragmentos florestais naturais são chamados regionalmente de ipucas*” (BRITO, et al., 2008, p.380).

4.5.2. Rede Interdisciplinar

A classificação dos temas abordados nos 66 trabalhos acadêmicos apresentou a seguinte distribuição: 33% Fitossociologia; 10,5% Geomorfologia; 10,5% Sensoriamento Remoto; 8% Caracterização ambiental; 7,5% Análise Geoambiental; 7,5% Taxonomia de Leveduras; 6% Taxonomia de mamíferos; 5% Antropologia Indígena; 3% Taxonomia de reptéis; 3% Dinâmica territorial; 3% Limnologia; 1,5% Conservação de aves; e 1,5% Estudos Sociais.

A rede de análise, elaborada a partir da matriz de adjacência (Figura 19), demonstrou que dos 66 trabalhos analisados, 62 estão vinculados entre si, por meio de citações, com o uso de significados próximos para o referente, denominado “depressão doliniforme”. Os 4 trabalhos restantes não apresentaram vínculos (citações), mas verificam-se fortes relações semânticas entre os significados usados pelos outros autores.

Figura 19 - Vinculações disciplinares e interdisciplinares de trabalhos acadêmicos relacionados ao referente “depressão dolíniforme” na Planície do Araguaia, no período de 1985 a 2019.



Fonte: autores

A vinculação ou conexão analisada, por meio das citações, comprovou que os trabalhos acadêmicos mais citados (nós maiores) referem-se a Martins et al. (2002), com 37 vinculações; Martins et al. (2006) com 20 vinculações; Marimon e Lima (2001) com 19 vinculações; e Eiten (1985) com 17 vinculações.

Analisando a frequência das vinculações e as contribuições semânticas de Martins et al. (2002), verifica-se que, nesse trabalho (diagnóstico ambiental), são ressaltados os resultados e as primeiras referências à *ipuca*, propostos por Martins (1999), definidos como fragmentos florestais naturais, localizados no município de Lagoa da Confusão, estado do Tocantins (porção leste da Planície do Rio Araguaia). Com base na definição proposta e verificando que 92 % dos vínculos (linha verde) se relacionam com diferentes temas (nós de outras cores), constata-se que há uma integralização do significado usado pela autora em diferentes áreas do conhecimento. Considera-se, desta forma, o uso da designação toponímica *ipuca* de natureza interdisciplinar.

A análise geoambiental, elaborada por Martins et al. (2006), estabelece uma forte ligação entre a designação e as definições usadas por Martins et al. (2002), devido à utilização da mesma área de estudo (município de Lagoa da Confusão, estado do Tocantins) e os mesmos coautores. Porém, o estudo da dinâmica ambiental é realizado sobre outra perspectiva, desde o ponto de vista geológico, pedológico e geomorfológico. Neste sentido, identificou-se que os solos das *ipucas* são formados por sedimentos fluviais holocênicos, sobrepostos em rochas calcárias do Grupo Tocantins, que sofrem alta influência do lençol freático e acúmulo de uma rica camada de matéria orgânica de natureza ácida. Os autores pressupõem que o modelo de evolução dos solos desses fragmentos florestais naturais está relacionado com a dissolução, subsidência ou colapso de carste subjacente. Considerando a rede de análise e a proximidade com trabalhos na mesma área de estudo, verifica-se que 80% das vinculações também estão relacionadas com outros temas, reforçando assim o uso de *ipuca* como interdisciplinar.

O estudo Fitofisionômico de Marimon e Lima (2001) apresenta a caracterização da vegetação do município de Cocalinho, estado de Mato Grosso (porção oeste da Planície do Rio Araguaia), o qual é complementado pelos inventários florísticos, realizados por Eiten (1985), sendo ele o responsável, pela primeira vez, pela nomeação *impuca*.

A contribuição semântica, observada em Marimon e Lima (2001), indica que a nomeação *impuca* teve como procedência o conhecimento regional (popular) e está relacionada à fitofisionomia de Capões (metonímia). De acordo com os referidos autores, essa fitofisionomia é caracterizada por solos de coloração escura e textura argilosa, com drenagem deficiente (sujeitas a

inundação sazonal), ocorrendo dentro de Campos limpos, sobre a forma de bacias. Sua composição florística é pouco diversa, prevalecendo a espécie *Licania cf. parvifolia* e algumas espécies típicas de matas inundáveis.

Analisando a rede social com os trabalhos relacionados com a nomeação *impuca* e seu significado, verifica-se que Marimon e Lima (2001) apresentam 70% dos vínculos a mesma área de conhecimento (linha rosa), destacando-se os temas de Fitossociologia e a caracterização da vegetação por meio de sensores remotos (Sensoriamento Remoto). Já o estudo de Eiten (1985) se destacou por apresentar 88% das vinculações a trabalhos com o mesmo tema (Fitossociologia). Portanto, verifica-se que o uso do termo *impuca* está constantemente relacionado a trabalhos de cunho disciplinar na Planície do Araguaia.

4.6. Discussões

Com base nos resultados obtidos é possível observar que o referente, “depressão doliniforme”, apresenta duas tipologias amplamente aceitas pela comunidade acadêmica e frequentes (40,9%) em trabalhos de índole vegetal (Fitotopônimos). *Ipuca* foi nomeado por meio de um significado amplo, proporcionado sua aplicação semântica em várias áreas do conhecimento (interdisciplinar). Já *impuca* se origina de um significado restrito à fitofisionomia vegetal, conseqüentemente mais utilizado de forma disciplinar.

Porém, pela análise documental foi constatada semelhança e ampliação do significado de *ipuca* e *impuca*, nas áreas de estudo mais recorrentes (Fitossociologia e Geomorfologia), assim como casos de comprometimento semântico na aplicação interdisciplinar. Visando ressaltar a contribuição semântica dos autores e a universalização da aplicação das nomeações, serão descritos as acepções mais recorrentes de *ipuca* e *impuca*, em função dos temas abordados nos trabalhos acadêmicos.

Fitossociologia

Ipuca e *impuca* são topônimos motivados por características majoritariamente fitológicas e nomeados popularmente nos estados de Mato Grosso e Tocantins, região da Planície do Araguaia. O significado fitofisionômico é atribuído a fragmentos naturais de floresta inundável, sazonalmente inundados, localizados em campos sujos e limpos (varjão sujo e limpo) (BRITO et al., 2008; MARTINS et al., 2008; WELCH et al., 2013), e sua distribuição na paisagem campestre ocorre em

forma de manchas ovaladas ou circulares (MARTINS et al., 2006; BARBOSA et al., 2011). Possuem baixa riqueza florística (MARIMON e LIMA, 2001; MARTINS et al., 2001), as espécies de menor porte correspondem às arbustivas e lianas (SANTOS, 2011; OLIVEIRA et al., 2014). Os indivíduos arbóreos de maior frequência são tolerantes aos pulsos de inundação, destacando-se a dominância de *Calophyllum Brasiliense* (Landi); *Sclerolobium paniculatum* (Carvoeiro) e *Licania apetala* (farinha-seca) (EITEN, 1985; BRITO et al., 2008; BARBOSA et al., 2019).

Geomorfologia

Os fragmentos florestais, nomeados *ipucas* e *impucas*, ocorrem em depressões naturais do terreno (NASCIMENTO e MORAIS, 2012; MARACAHIPES et al., 2014; SILVA, BARBOSA e MORAIS, 2015) com alta influência do lençol freático (MARTINS et al., 2002), formando bacias circundadas por vegetação (MARIMON e LIMA, 2001; DIAS, 2014), na sua composição litológica superficial prevalecem sedimentos finos como argila e silte, além de frequentes depósitos de matéria orgânica no seu interior (IRION et al., 2016; BARBOSA et al., 2019). As *ipucas* e *impucas* tendem a coalescer por processos associados à dissolução e subsidência de substrato calcário subjacente do Grupo Tocantins, formando dolinas e uvalas (MARTINS et al., 2006).

A associação de dolinas a *impucas* no estado de Mato Grosso é evidenciada em: "*Em áreas permanentemente úmidas de afundamentos do relevo, como dolinas, antigos meandros de rios ou cursos de drenagem do terreno, ocorrem as florestas inundáveis localmente denominadas de ipucas*" (MARIMON et al., 2008 *apud* MARIMON et al., 2012, p. 183).

No estado do Tocantins, as *ipucas* também foram visualizadas em depressões cársticas em: "*Dolina em área de cultivo de arroz, formada pela subsidência recente (colapso) de uma ipuca*" (MARTINS et al., 2006, p. 308). Na mesma região, foi constatado que: "*as áreas com ocorrência fragmentos florestais que, a partir da observação de imagens de satélite, da leitura de relatórios geológicos e de trabalhos de campo, mostraram-se tratar nitidamente de dolinas*" (MORAIS, 2017, p. 284)

Extensão semântica no contexto interdisciplinar

Considerando a relação dos fragmentos florestais com as dolinas, é necessário ressaltar que a ocorrência de depressões cársticas na Planície do Araguaia se apresenta também sobre a forma de lagos e lagoas (parcialmente cobertas ou sem vegetação).

Estudos geomorfológicos no município de Cocalinho/MT, onde há a ocorrência fragmentos de vegetação denominados *impucas* e *ipucas* (MARIMON e LIMA, 2001; WELCH et al., 2013), foram identificadas dolinas e uvalas, denominadas como lagoas, em ambientes cársticos e caracterizadas em estudos prévios por Soubies e Guyot (1995) posteriormente corroborados por Hardt (2004; 2005).

Parte da região de Cocalinho/MT é caracterizada por um relevo cárstico sobre forma de “*cavernas, torres, dolinas e vertentes abruptas*”, localizadas próximas a uma Serra de Calcário, ao oeste do Rio das Mortes (tributário principal do Rio Araguaia). Nesta área, encontram-se uma série de lagoas alinhadas no mesmo sentido dos planos de falhas (W-SW e E-NE). Entre as lagoas, destacam-se: a Lagoa Grande, dolina formada pela dissolução de morros carbonáticos, pouco profunda e perfeitamente circular; e a Lagoa do Vânico, uvala formada pela dissolução de três dolinas e posicionada na mesma direção dos morros da Serra do Calcário (HARDT, 2005).

A associação (metonímia) existente entre “lagoa” a *impuca* pode ser evidenciada também em trabalhos de fitossociologia, quando ocorre a retirada da vegetação no fragmento florestal “*ocorreram evidências de perturbação antrópica através da retirada seletiva de Calophyllum brasiliense do pastoreio extensivo que ocasiona trechos de erosão às margens dos “lagos”, nos pontos de acesso do gado à água (bebedouros aturais)*” (MARIMON e LIMA, 2001, p. 225).

Estudos etnoecológicos, realizados no Parque Estadual do Araguaia/MT, também associam as *impucas* a fragmentos de vegetação sempre verde (EITEN, 1985), como “lagoas” ou “ilhas”, evidenciando sua forma circular:

As “lagoas” são fragmentos naturais compostos basicamente por herbáceas e gramíneas. As “ilhas” são porções topograficamente mais baixas e próximas aos rios, que mantêm-se verdes mesmo no período da seca. Na realidade, não são ‘ilhas’ no sentido geográfico, mas ilhas de vegetação sempre-verde (JANCONSKI et al., 2007, p. 2).

No estado do Tocantins, município de Lagoa da Confusão, onde foi caracterizada a maior parte das formações florestais denominadas *ipucas* (MARTINS et al., 2002; BRITO et al., 2006), ocorrem também ambientes cársticos originários de fácies calcário-dolomítica do Neoproterozóico caracterizados por lagoas em dolinas (Lagoa da Confusão) e cavidades subterrâneas (VALENTE, 2007). As feições cársticas observadas na região correspondem a cavernas, mogotes, lapíás e dolinas (PONTALTI e MORAIS, 2010).

Análises morfométricas das *ipucas* demonstraram que 90% das feições da região de Lagoa da Confusão possuem formas circulares, deprimidas e estão orientadas no mesmo alinhamento das falhas geológicas (NASCIMENTO e MORAIS, 2012; PEREIRA, 2016).

Pressupõe-se, portanto, que pode existir uma forte relação entre a formação dos fragmentos de vegetação, denominados *impuca* e *ipuca*, com a origem dos lagos e lagoas, associadas a dolinas na Planície do Araguaia.

A presença de fragmentos florestais em depressões cársticas fechadas é evidenciada em outros países, destes, destacasse a semelhança paisagística dos campos de dolinas (*sinkhole plain*) nos Estados Unidos, estado de Illinois, na Planície hidrográfica do Rio Mississippi com as depressões doliniformes da Planície do Araguaia dos estados do Tocantins e de Mato Grosso (Figura 20).

Figura 20 - Comparação das áreas de estudo com *ipucas/impucas* no Brasil e (Dolinas) Sinkholes nos Estados Unidos. A: *Ipucas* localizadas na Planície do Araguaia, município de Lagoa da Confusão, Brasil, área de estudo de Martins et al., 2002 (Lat. -10.85°; long. -49.75°). B B: “Sinkholes” localizados na Planície do Rio Mississippi, estado de Illinois, Estados Unidos, área de estudo de Angel, Nelson e Panno, 2004 (Lat. 38.22°; long. -90.18°)



Fonte: Imagens do Google Earth (acesso: 7/04/2020)

Os estudos relacionados à análise espacial da densidade de dolinas (*Sinkhole density*) na Planície de inundação do Rio Mississippi/EUA, localizada no sudoeste do estado de Illinois, identificaram mais de 10.000 dolinas (*sinkholes*), caracterizadas como depressões, aglomerados de

árvores e lagoas “*Sinkholes are marked by depressions, tree clusters, and ponds*” (ANGEL, NELSON e PANNO 2004, p.10). Os autores ressaltam que os estudos de densidade e distribuição de dolinas são necessários para avaliar o grau de carstificação, identificação de áreas de risco de subsidência e contenção dos possíveis impactos relacionados à contaminação de águas subterrâneas em ambientes antropizados.

A relação de dolinas com fragmentos florestais sujeitos à inundação também é identificada em mapeamentos de vegetação ripária ao redor de dolinas, localizadas na Bacia Hidrografia do Rio Azul (*Blue River watershed*), estado de Luisiana, Estados Unidos. Neste, é classificada a vegetação presente nas depressões como: “*Deciduous forest*”, caracterizada por espécies arbóreas adaptadas a inundação sazonal (COPLER, 2017). Comunidades homogêneas de grupos arbóreos, tolerantes aos ciclos hidrológicos, também foram identificados no interior de dolinas (*sinkholes*) no centro-oeste do estado da Flórida, Estados Unidos (FETTERMAN et al., 2003).

A tendência de algumas espécies arbóreas colonizarem áreas úmidas sobre a forma de “manchas”, como em dolinas, está relacionada à capacidade morfoanatômica de suportar baixas concentrações de oxigênio em ambientes submersos (MARQUES e JOLY, 2000). Na Planície do Araguaia, os regimes de inundação sazonal favorecem o surgimento de alguns ambientes alagados cobertos por vegetação, sob a forma de manchas, denominados *impuca* e *ipuca*, nos quais é destacada a dominância da espécie *Calophyllum brasiliense* (popularmente denominado “landi”) que devido às suas características morfológicas, adaptam-se facilmente a ambientes inundados e é frequentemente identificada em regiões tropicais (BARBOSA et al., 2011).

Quanto à subjetividade da forma “mancha” no contexto da paisagem, é importante ressaltar que a formação florestal denominada *ipuca* apresenta formas alongadas, de 5 hectares até 100 hectares de extensão (MARTINS et al., 2002). Essas vastas formações florestais podem ser classificadas como Unidade de Vegetação Arbustivo-Arbórea associada a inativos paleocanais aluviais ou paleomeandros amplamente distribuídos na Planície do Araguaia (LATRUBESSE e STEVAUX, 2006). A topografia do terreno e a influência da dinâmica fluvial em “*meandros abandonados e/ou colmatados*” (Oxbows) favorecem a deposição de matéria orgânica sobre substratos areno-argilosos, criando ambientes propícios para a fixação vegetal (MORAIS; AQUINO; LATRUBESSE, 2008).

Entre as outras formas de “manchas” de vegetação, identificadas na paisagem da Planície do Araguaia, encontram-se os Campos de Murundus. Denominados como fragmentos florestais circulares em forma de “montes de terra” cobertos com vegetação do cerrado e relacionados com

o soerguimento do solo originado por fatores abióticos como a erosão diferencial e bióticos pela colonização de termiteiros (MARIMON et al., 2012).

4.7. Considerações finais

O referente “depressão doliniforme” apresenta três variações toponímicas geralmente aceitas em trabalhos acadêmicos, realizados na Planície do Araguaia. As nomeações toponímicas, *ipuca* e *impuca*, foram as mais recorrentes (64,3% e 25,3%), assim como: dolina (6,8%) que é amplamente usada pela comunidade acadêmica internacional.

Quanto à motivação toponímica, por meio da ficha lexicográfica-toponímica, foi constatado que *ipuca* e *impuca* estão relacionadas a Fitotônimos (40,9%), ou seja, estão associados ao contexto de vegetação sendo que 38,7% dos significados identificados remetem à ideia de *Fragmento Florestal inundado*. Na língua Tupi, tal conotação pode ser interpretada como “*água aberta*”, “*água que arrebenta*”.

Pela Rede de Análise Social foi possível identificar que os trabalhos mais citados por diferentes áreas de conhecimento estão vinculados ao topônimo *ipuca* (92% de vínculos de outros temas), classificada, desse modo, como interdisciplinar. Já o topônimo *impuca* é frequentemente usado em estudos florísticos e fitossociológicos, apresentando 88% das vinculações a estudos com contexto de vegetação, classificado, portanto, como disciplinar.

Os topônimos *ipuca* e *impuca* apresentaram diferenças nos aspectos semânticos de natureza interdisciplinar. Foi constatado, pela análise documental de trabalhos acadêmicos, que alguns fragmentos florestais, denominados *ipuca* ou *impuca*, estão fortemente relacionados com estruturas fechadas de ambientes cársticos, denominadas dolinas (*sinkholes*).

Desta forma, é importante que as ações de preservação ou uso do solo realizadas nos fragmentos de florestais inundados, denominados *ipuca* ou *impuca*, levem em consideração as seguintes recomendações:

- a) Espécies arbóreas tropicais como *Calophyllum brasiliense*, apresentam adaptação morfoanatômica para ambientes alagados. Assim, fragmentos florestais inundáveis na Planície do Araguaia, como *ipucas* ou *impucas*, podem ocorrer em meandros abandonados ou colmatados do tipo *oxbows*, como também, em dolinas ou uvalas presentes em ambientes cársticos.

- b) Fragmentos florestais denominados *ipucas* não ocorrem somente no estado do Tocantins. Portanto, espécies denominadas como endêmicas, das *ipucas* do Tocantins, como *Rhipidomys ipukensisn. sp.*, podem ocorrer habitats semelhantes, como no estado de Mato Grosso. Refutando as hipóteses propostas por Ribeiro et al. (2017) e Rocha et al. (2011).
- c) Na caracterização ambiental, por meio de sensores remotos, recomenda-se o uso de métodos geoeletricos que ratifiquem as hipóteses relacionadas à morfogênese das depressões, assim como o uso de Modelos Digitais do Terreno de alta precisão que diferenciem os fragmentos florestais em depressões doliniformes de soerguimentos litológicos circulares com vegetação (Murundus).
- d) Nas ações de recuperação de áreas degradadas dentro de fragmentos de vegetação, denominados *ipucas*, propostos por Amaral et al. (2004), devem, necessariamente, levar em consideração a presença de dolinas sujeitas à subsidência ou colapso de rochas carbonáticas subjacentes do Grupo Tocantins. A sobrecarga de espécies arbóreas no interior destas depressões pode acelerar os processos cársticos, causando perdas progressivas de solo.

Considerando a forte relação dos fragmentos florestais com as dolinas é necessário reavaliar as ações de preservação e planejamento regional próximas a áreas de agricultura intensiva. A conexão entre as depressões fechadas cársticas e os sistemas de água subterrâneos aumenta o risco de contaminação pela solubilização de defensivos agrícolas.

5. CAPÍTULO V – Caracterização morfométrica de feições doliniformes na Planície do Araguaia.

5.1. Resumo

A Planície do Araguaia apresenta extensas áreas de savanas com dispersos fragmentos florestais localizados sobre depressões circulares. Estas feições além de servirem como importantes corredores ecológicos, estão associadas a formações cársticas do tipo dolinas, estruturas fechadas de conexão das águas superficiais e subterrâneas. Para identificar esta relação e contribuir o entendimento da sua gênese, este estudo tem como objetivo principal o mapeamento e análise morfométrica de feições doliniformes na Planície do Araguaia. Por meio da caracterização geoambiental da área de estudo; modelos de elevação digital – SRTM; interpretação de imagens do satélite Sentinel 2-A do período de 2019 a 2020; e cálculo das variáveis morfométricas: área, perímetro, declividade, altitude, coeficiente de alongamento, índice de circularidade e densidade de Kernel. Foram identificadas 24.023 feições doliniformes associadas à vegetação verde/sadia em área de abrangência de 114.900 km², concentradas majoritariamente nos municípios de Lagoa da Confusão – TO, Pium – TO e Cocalinho – MT. As feições apresentaram áreas de até 10 km², índices de circularidade superiores a 0,5 e coeficientes de alongamento entre 1 e 1,5, indicando uma predominância de formas circulares em declividades de até 3% na orientação NE. Com base nos resultados, pode-se inferir que estas feições apresentam formas de dolinas, as quais podem estar sob influência de controles estruturais e associadas a processos cársticos, denotando em alguns lugares a existência de um carste encoberto.

Palavras-chave: mapeamento, dolinas, carste, fragmentos florestais.

5.2. Abstract

The Araguaia Plain has extensive areas of savannah scattered forest fragments similar to circular depressions. These features, in addition to serving as corridors, are associated with important features such as karsts, closed water connection structures and ecological type formations. To identify this relationship and contribute to the understanding of its genesis, this study has as main objective the morphometric analysis of doliniform functions in the Araguaia Plain. Through the geoenvironmental characterization of the study area; digital facility models – SRTM; interpretation

of Sentinel 2-A satellite images from 2019 to 2020; and calculation of morphometric variables: area, perimeters, activity, altitude, length and density, Kernel circularity index. A total of 24,023 doliniform features associated with green/healthy vegetation were identified in a Coverage Area of 114,900 km², Concentrated Majoritariate in the municipalities of Lagoa da Confusion - Prime - Pium - to E CocalHo. The features showed circular superiority areas up to 10 km², circular activity indexes at 0.5 and up to 1 and 1.5, indicating a predominance of circular shapes on slopes 3% in the NE orientation. Based on the results, it can be verified that these features present sinkholes, as they may be under the influence of patterns that are associated with some processes, denoting in some processes the existence of a covered karst.

Keywords: mapping, sinkholes, karst, forest fragments.

5.3. Introdução

Feições doliniformes são depressões do terreno com declives pouco íngremes de forma circular ou ovalada provocadas pelo afundamento do solo. Estas feições podem ocorrer sob a forma de lagoas, dolinas ou cavidades com o sem vegetação.

Fragmentos florestais doliniformes denominados popularmente como “*ipucas*” ou “*impucas*” ocorrem em extensas áreas savânicas na Planície do Araguaia e representam a principal característica da paisagem regional (BRASIL, 1981a; MARTINS et al., 2006). Estas feições funcionam, na planície de inundação, como importantes corredores ecológicos para as espécies endêmicas da área transição do bioma Cerrado e Amazônico (ROCHA et al., 2014), faixa considerada como o maior ecótono tropical do mundo (TORELLO-RAVENTOS et al., 2013).

Além da importância ecológica, estas feições doliniformes também ocorrem na região sob a forma de dolinas, formas superficiais do sistema cárstico geradas pela dissolução de rochas carbonáticas (HARDT, 2005; MORAIS, 2017). As dolinas são consideradas unidades essenciais do relevo exocárstico, pois funcionam como conexão entre os fluxos de água superficiais e subterrâneos (FORD; WILLIAMS, 2007). A ocorrência destas depressões cársticas em áreas de intensa alteração antropogênica acelera os processos de dissolução e potencializa os riscos de contaminação de aquíferos, colapso de estruturas ou edificações e aumento dos processos erosivos (GUTIÉRREZ et al., 2014).

Desta forma, a identificação e conseqüente planejamento de uso sustentável das áreas propensas à ocorrência de dolinas pode prevenir potenciais danos econômicos, ambientais e sociais. Sendo necessário, para tanto, o mapeamento das suas características morfométricas, estrutura geológica e dispersão espacial (WU et al., 2016).

Devido à importância ambiental da Planície do Araguaia e a possível ocorrência de dolinas e fragmentos florestais doliniformes, este trabalho visa descrever as características morfométricas e os padrões de distribuição, além de possíveis fatores que podem influenciar na ocorrência dessas feições geomorfológicas.

O estudo pretende contribuir para o entendimento da origem destas estruturas, características da região, por meio do mapeamento das feições doliniformes e da análise dos parâmetros morfométricos mais usados em depressões cársticas.

Caracterização da área de estudo

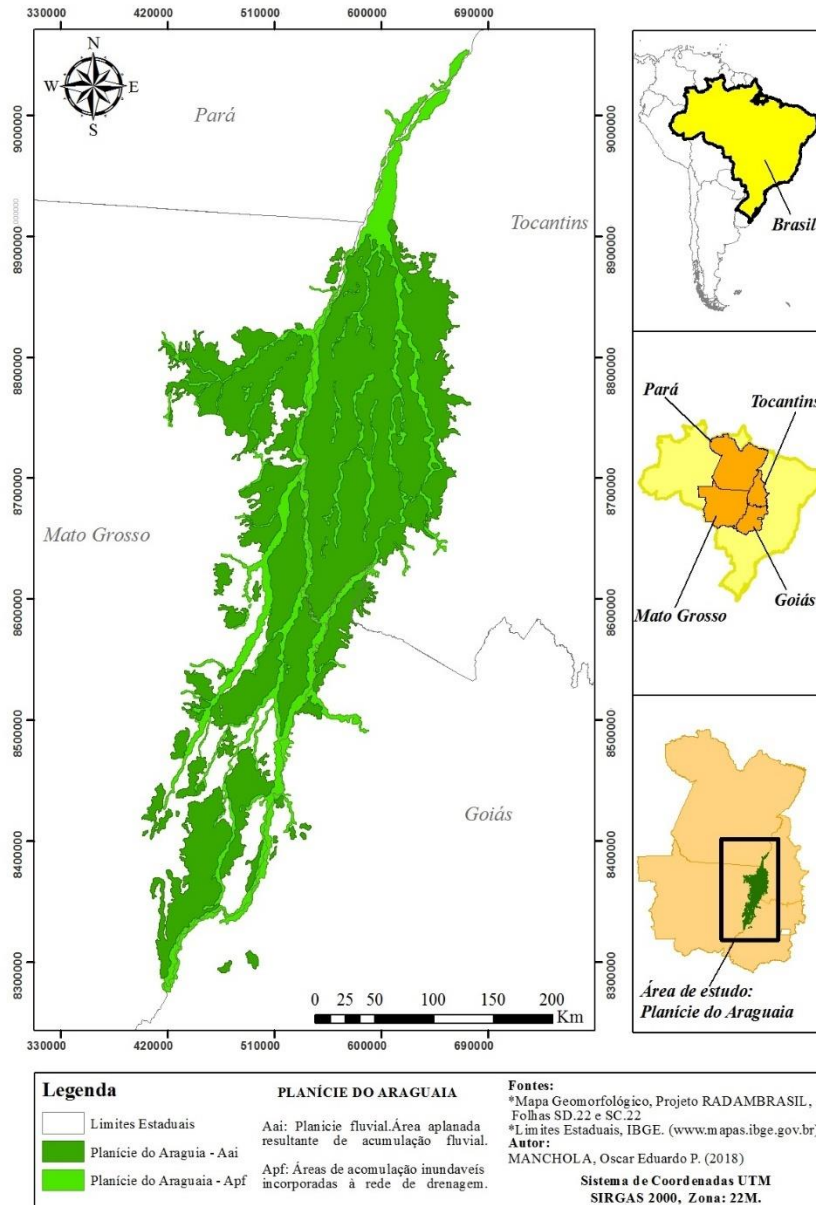
A Planície do Araguaia está localizada na porção central do Brasil, abrangendo partes dos estados do Pará, Tocantins, Mato Grosso e Goiás e ocupa uma área de aproximadamente 64.761 km² (Figura 21).

Sua hidrografia está constituída pela bacia do rio Araguaia, considerada a principal rede de drenagem da savana brasileira, com vazão média anual de 6.420 m³/s, na qual se destacam os rios Formoso e Javaés como principais tributários, com vazões médias entre 110 e 680 m³/s, respectivamente, no estado do Tocantins; e o rio das Mortes na porção oeste com uma vazão média de 899 m³/s no estado de Mato Grosso (AQUINO et al., 2009; LATRUBESSE; STEVAUX, 2002).

A bacia do Araguaia caracteriza-se pela presença de lagos, lagoas e meandros abandonados formados, em parte, pela inundação sazonal que ocorre no período chuvoso dos meses de novembro a maio com a precipitação anual entre 1400 e 2200 mm/ano (CARVALHO; LATRUBESSE, 2004; VALENTE; LATRUBESSE, 2012).

Estas características morfoclimáticas junto com a baixa declividade e reduzido escoamento superficial proporcionam a ocorrência de extensas zonas de acumulação fluvial e processos de sedimentação por acreção vertical, favorecendo a formação de planícies fluviais que variam de 200 a 220m de altitude e declividade igual ou inferior a 5% (BAYER; ZANCOPÉ, 2014).

Figura 21 - Localização da Planície do Araguaia e suas unidades geomorfológicas.



Fonte: autores

As formas do relevo da Planície do Araguaia estão associadas a um sistema agradacional de deposição de sedimentos quaternários classificados em duas unidades geomorfológicas dominantes, Planícies de inundação – Ai e Planícies fluviais – Af (Figura 21).

As Planícies de inundação são caracterizadas por planos convergentes de sedimentos arenosos ou argilosos com reduzido escoamento superficial que no período chuvoso são sujeitos a inundação, o que favorece, em parte, o surgimento de um disperso sistema lacustre com lagoas

associadas a vegetação savânica ou depressões fechadas desassociadas da influência direta do canal principal (BRASIL, 1981a; BRASIL, 1981b).

Por outro lado, as Planícies Fluviais são formadas pela dinâmica fluvial do canal principal e, segundo Latrubesse e Stevaux (2002), podem ser subdivididas em três unidades geomorfológicas:

- I – Planície de escoamento impedido: regiões pantanosas ocasionalmente inundadas e represadas (backswamp) de topografia levemente ondulada e distantes do canal principal. Apresentam expressivas lagoas associadas a vegetação de médio a grande porte;
- II – Planície de Paleomeandros: posicionada topograficamente entre a planície de escoamento impedido e a planície de ilhas, caracteriza-se pelos intensos processos deposicionais de cheia, favorecendo o desenvolvimento de talvegues sinuosos nas margens do canal principal em formas espiraladas, alongadas ou como lagoas em meia lua.
- III – Planície de ilhas/barras acrescidas: superfície irregular e estreita, sustentada por uma plataforma arenosa, posicionada paralelamente ao canal principal e caracterizada pela sua alta capacidade de recepção de sedimentos oriundos do rio Araguaia.

Com relação ao substrato rochoso da Planície do Araguaia, este está caracterizado majoritariamente por um mosaico de estruturas quaternárias morfo-sedimentares do Holoceno e do Pleistoceno superior, localizadas ao norte, entre o Cráton Amazônico e a Faixa Araguaia; e ao sul, por extensas coberturas cenozóicas da Bacia Sedimentar do Bananal (BIZZI et al., 2003).

No setor setentrional da planície, entre as cidades de Conceição do Araguaia – PA e Caseara – TO, encontram-se rochas cristalinas e neoproterozóicas, associadas à Formação Couto Magalhães do Grupo Tocantins. Estas são constituídas por filitos, ardósias, quartzos e calcários (IBGE, 2008a).

Na região central, no segmento que contempla toda a Ilha do Bananal, as formações quaternárias abrangem a maior parte da área, estendendo-se por aproximadamente 800 km entre as cidades de Caseara – TO e Registro do Araguaia – GO. Apresentam um alinhamento tectônico paralelo ao fluxo do rio Araguaia no sentido sul-norte, evidenciando um certo controle estrutural na sua orientação (BRASIL, 1981a). Sua litologia está constituída, predominantemente, por coberturas cenozóicas de sedimentos arenosos pertencentes a aluviões holocênicas e; por pacotes areno-argilosos de coloração variada com e avançado estágio de lateralização da Formação Bananal (AQUINO et al., 2009; IBGE, 2008b).

Além das coberturas cenozóicas, identificam-se também afloramentos da Formação Couto Magalhães do Grupo Tocantins, constituídas por coberturas detrito-lateríticas, intercalações de

calcários e quartzitos sericíticos (BRASIL, 1981a). Paixão e Gorayeb, (2014), prospectando depósitos minerais no setor central da Planície do Araguaia, complementam que o Grupo Tocantins se caracteriza por apresentar ardósias, metasilitos, metacórseos e metagrauvas, filitos, metarenitos e metacalcários.

No Setor meridional, no segmento localizado na divisa entre os estados Tocantins e Goiás, predominam os depósitos aluviais cenozóicos da Bacia do Bananal, constituídos principalmente de sedimentos argilo-síltico-arenosos e flúvio-lacustrino (LACERDA FILHO et al., 2004). No extremo sudoeste, nas áreas mais elevadas relacionadas a uma porção da Depressão do Araguaia, também são encontradas rochas metavulcânicas e metassedimentares do Neoproterozóico, sobre rochas silicáticas, ferríferas e carbonáticas (SOUSA et al., 2019). Neste sentido, Lima et al. (2008) ressaltam que o afloramento de rochas carbonáticas no sul da planície do Araguaia é evidenciado pela intensa exploração de calcário no município de Nova Xavantina, no estado de Mato Grosso, indicando a alta ocorrência de dolomitos, mármore calcícticos, calcarenitos, calcissilitos e metamargas argilosas pertencentes ao Grupo Cuiabá.

Devido à sua localização geográfica a Planície do Araguaia apresenta alta diversidade de espécies, pois situa-se numa zona de transição entre os biomas amazônico e cerrado, proporcionando o contato de diferentes comunidades ecológicas e a ocorrência de espécies endêmicas e adaptadas aos regimes de inundação provenientes das fitofisionomias floresta estacional semidecidual aluvial, cerradão e savana parque. Esta particularidade da região caracteriza a região como uma importante zona de preservação ambiental, na qual se destacam o Parque Estadual do Cantão, o Parque Nacional do Araguaia, o Parque Indígena do Araguaia (povos Avá-Canoeiro, Iny Karajá, Javaé e Tapirapé); e as Terras Indígenas Pimentel Barbosa e Wedezé do povo Xavante (ASSIS et al., 2021).

5.4. Metodologia

Métodos

Para o mapeamento das feições doliniformes foi utilizado um mosaico imagens do satélite Sentinel 2-A do período de 2019 a 2020 nos meses de julho a outubro com baixo índice de nebulosidade e contemplando todo o perímetro interno da Planície do Araguaia. Com estas imagens foi possível determinar a vegetação associada às depressões por meio da classificação

supervisionada da composição colorida com as bandas B8 (infravermelho próximo de resolução 10m), B11 (infravermelho de ondas curtas de resolução 20m) e B4 (vermelho de resolução 10 m). Também foi gerado um Modelo Digital do Terreno para observar as características altimétricas e confluências dos cursos d'água da região por meio de uma imagem SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) com resolução de 30 metros. Foram também elaborados os mapas hipsométrico, de declividade e orientação das vertentes.

Para o processamento de imagens matriciais, assim como a edição vectorial, elaboração dos cálculos morfométricos como largura, comprimento, área, perímetro e orientação, foram utilizados os softwares livres QGIS 3.4, Georose 0.5 e R Language and Environment for Statistical Computing 4.1.3.

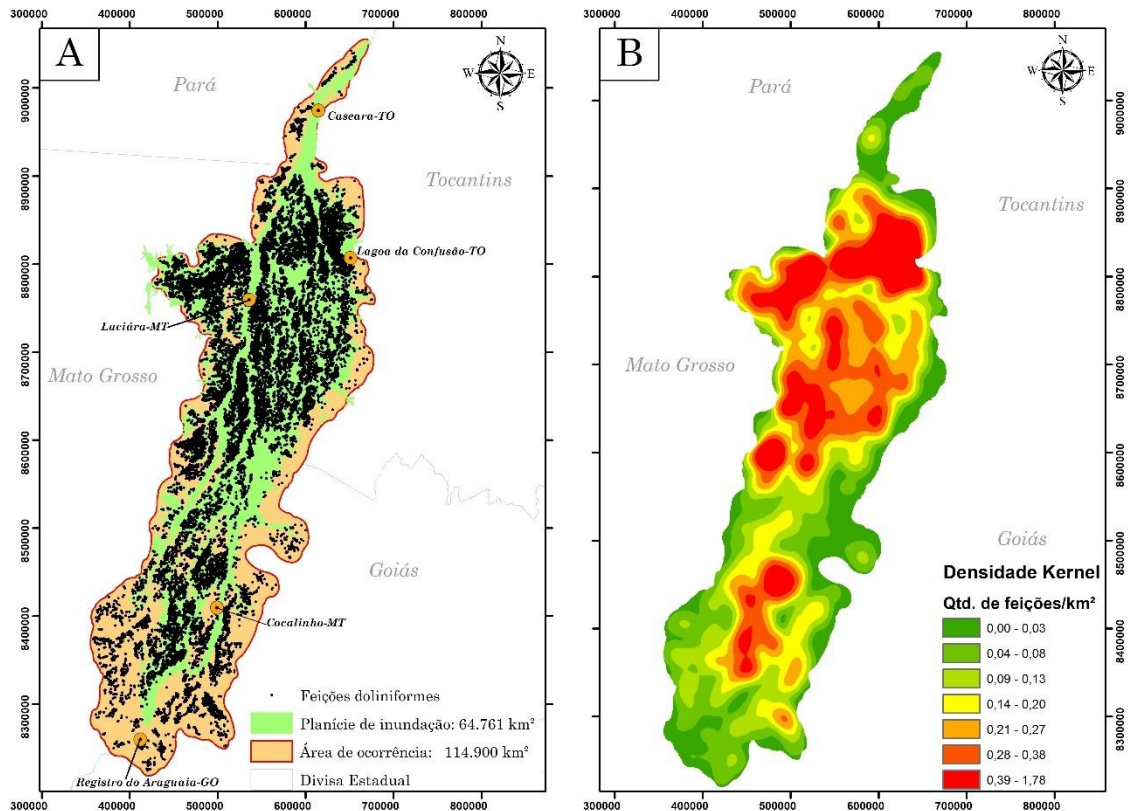
A extração das dimensões topográficas das depressões doliniformes, no perfil horizontal, foi realizada com o método do limite mínimo do retângulo (minimum bounding rectangle). A partir destes dados foram calculados os coeficientes mais comuns de análise morfométrico de dolinas como área, perímetro, largura (W - width), comprimento (L - length), coeficiente de alongamento (ELG - Elongatedness), índice de circularidade (C - Circularity Index), Distância do vizinho mais próximo (DNI), orientação das feições e Densidade de Kernel (BONDESAN et al., 1992; DENIZMAN, 2003; GAO et al., 2005; BASSO et al., 2013).

5.5. Resultados

Foram identificadas 24.023 feições doliniformes em uma área de ocorrência equivalente a 114.900 km², associadas à vegetação verde/sadia, presença de água em áreas de confluência superiores a 800 m² e de baixa declividade. (Figura 22 A).

Ao verificar o adensamento das feições doliniformes por meio do mapa de densidade de Kernel, foi possível identificar que as regiões de maior concentração (*hotspots*) correspondem aos municípios de Cocalinho, Luciara, Ribeirão Cascalheira, no estado de Mato Grosso; e Lagoa da Confusão e Pium, no estado do Tocantins (Figura 22 B).

Figura 22 - Distribuição espacial das feições doliniformes na Planície do Araguaia. (A) Localização das feições doliniformes com relação à Planície do Araguaia e área de ocorrência; (B) Mapa de Densidade de Kernel da ocorrência das feições.



Fonte: autores

Das 24.023 feições doliniformes identificadas na área de ocorrência foram extraídos os principais parâmetros morfométricos e calculados os maiores percentuais de frequência (Tabela 1 e Figura 23).

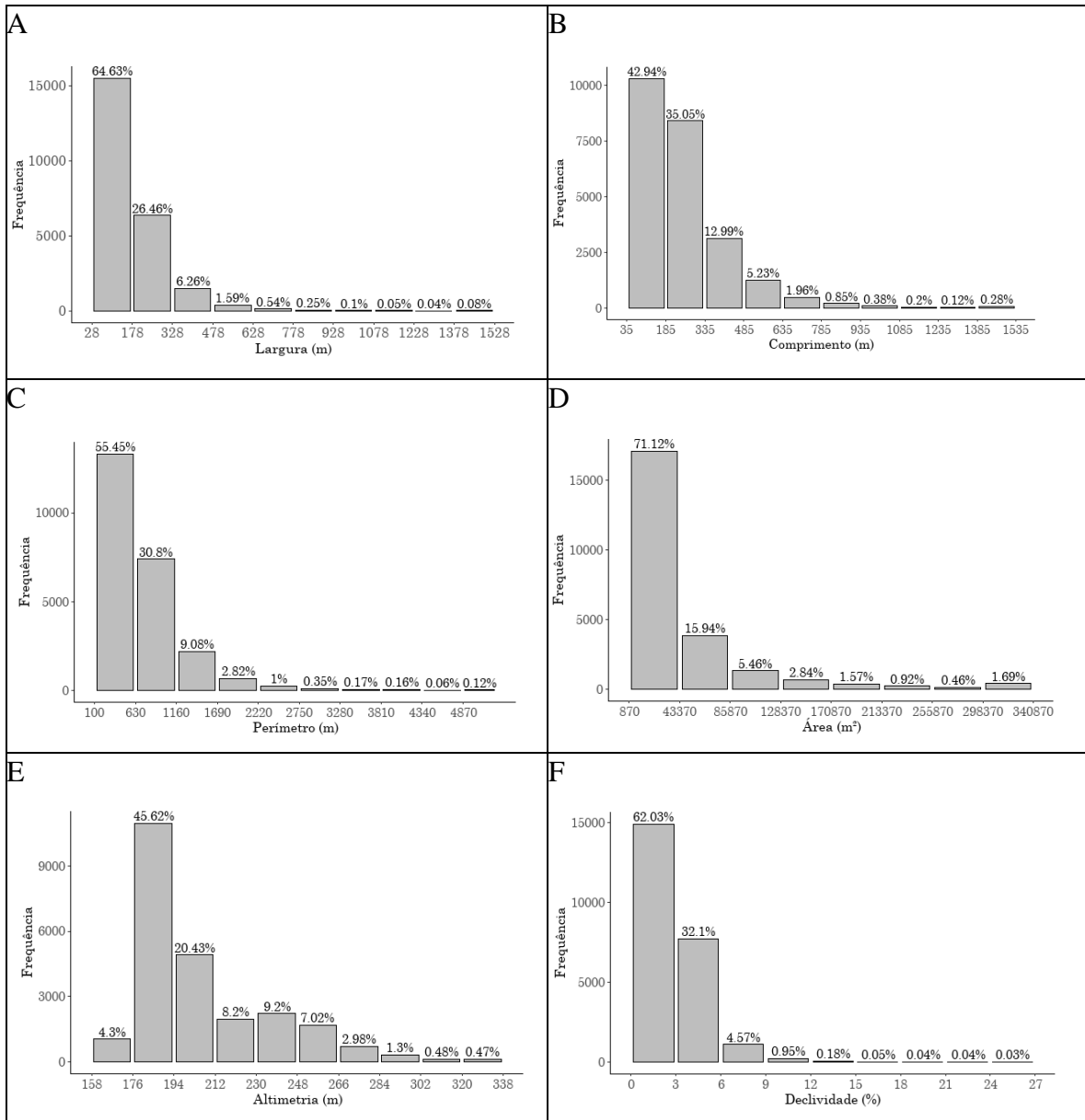
Tabela 1 - Parâmetros morfométricos das feições doliniformes na Planície do Araguaia.

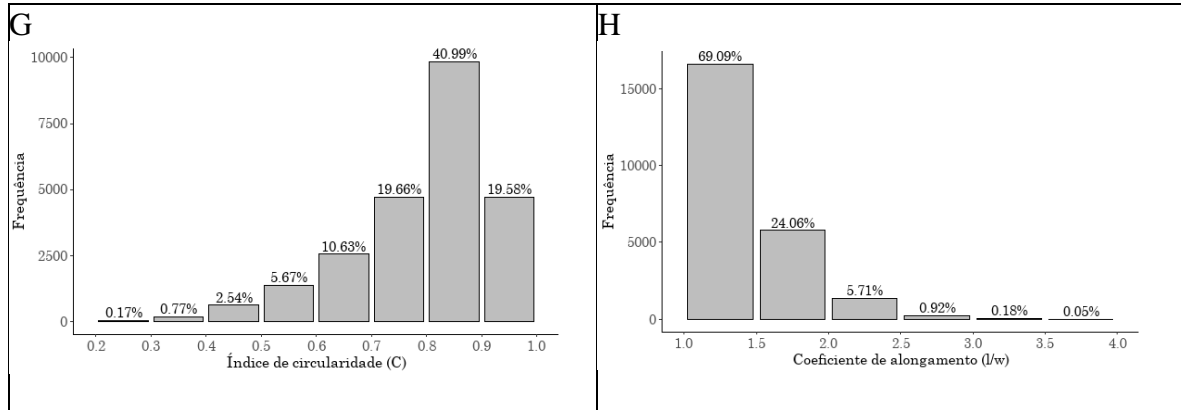
Estatísticas	Área (m ²)	Perímetro (m)	W (m)	L (m)	DNI	ELG (l/w)	C
Min	864	108,2	29,66	35,01	76,44	1,00	0,20
Q1	11369	402,9	102,72	139,50	321,45	1,20	0,80
Mediana	22427	581,2	143,92	206,05	521,52	1,40	0,90
Média	50157	725,0	177,80	255,44	686,27	1,44	0,84
Q3	49537	888,3	214,09	315,45	845,09	1,60	0,90
Max	10038442	11709,9	3389,70	3916,89	12476,36	5,60	1,00

W: Largura; L: Comprimento; DNI: Distância do vizinho mais próximo; ELG: Coeficiente de alongamento; C: Índice de Circularidade.

Fonte: autores

Figura 23 - Frequência relativa das principais características morfométricas das feições doliniformes identificadas na Planície do Araguaia.





Fonte: autores

Os valores médios, mínimos e máximos dos parâmetros morfométricos (Tabela 1) mostraram que existe uma ampla variabilidade de dimensões de feições doliniformes, com áreas de 864 m² até 10,03 km². As de maiores proporções (acima de 1 km²) correspondem a feições lacustres, como a Lagoa dos Magalhães, com 3 km de comprimento, localizada no município de São Felix do Araguaia, estado de Mato Grosso; e a Lagoa da Confusão, com 2,5 km de extensão, no município de Lagoa da Confusão, Tocantins.

A maior parte das feições possuem dimensões médias de 50.000 m² para a área; 725 m de perímetro; e largura e comprimento de 177 e 255 metros, respectivamente. Estes valores também foram identificados em trabalhos de análise morfométrica de sistemas lacustres do médio Araguaia, no período da seca, podendo aumentar em até 100% de tamanho no período da cheia em função do grau de conectividade com o canal principal e densidade de drenagem dos canais da planície (MORAIS et al., 2005).

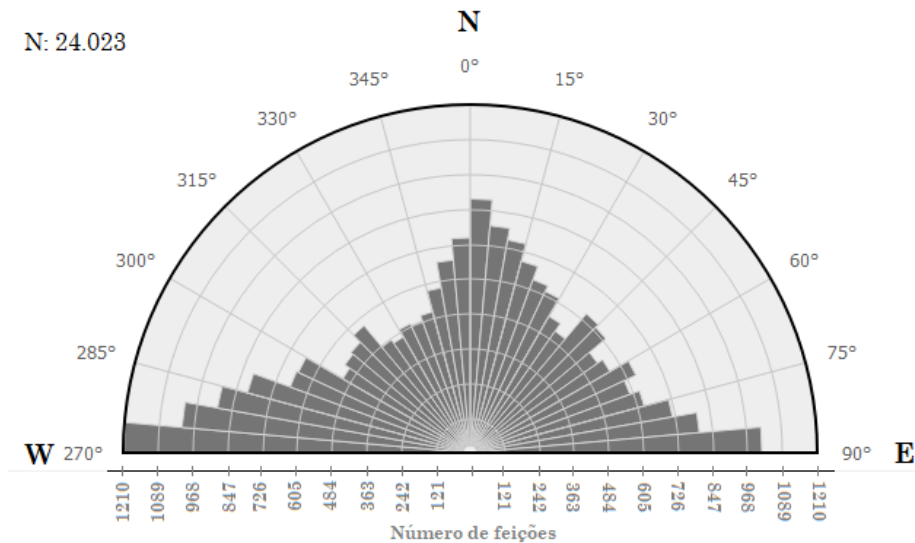
Com relação à forma, observou-se que mais de 60% das feições doliniformes identificadas apresentam dimensões inferiores a 43.370 m² com perímetros de 100 a 1000 metros (Figura 23 C), eixos (largura e comprimento) entre 178 m (Figura 23 A) e 335 m (Figura 23 B). Estas feições localizam-se na sua maioria em regiões de declividade entre 0 e 3% (Figura 23 F) e em altitudes de 176 e 212 m (Figura 23 E) com índices de circularidade entre 0,8 e 1 (Figura 23 G); e alongamentos entre 1 e 1,5 (Figura 23 H). As formas com índices de circularidade e alongamento próximos de 1 indicam segundo Basso et al., (2013) e Denizman (2003) feições predominantemente com formas circulares ou ovaladas.

O Comprimento médio de 206,42 m, índices de circularidade superiores a 0,5; predominância de formas circulares (95,15% de feições), também foram identificados em estudos de análise morfométrica de feições doliniformes na região de Lagoa da Confusão – TO,

corroborando a predominância de formas circulares ou ovaladas identificadas na Planície do Araguaia (NASCIMENTO; MORAIS, 2012).

A orientação de todas as feições doliniformes identificadas apresentou alta variação de sentidos, dos quais a orientação Leste-Oeste (Figura 24) apresentou maiores proporções, apontando uma tendência de algumas feições estarem alinhadas à mesma direção fluxo superficial dos tributários do Araguaia.

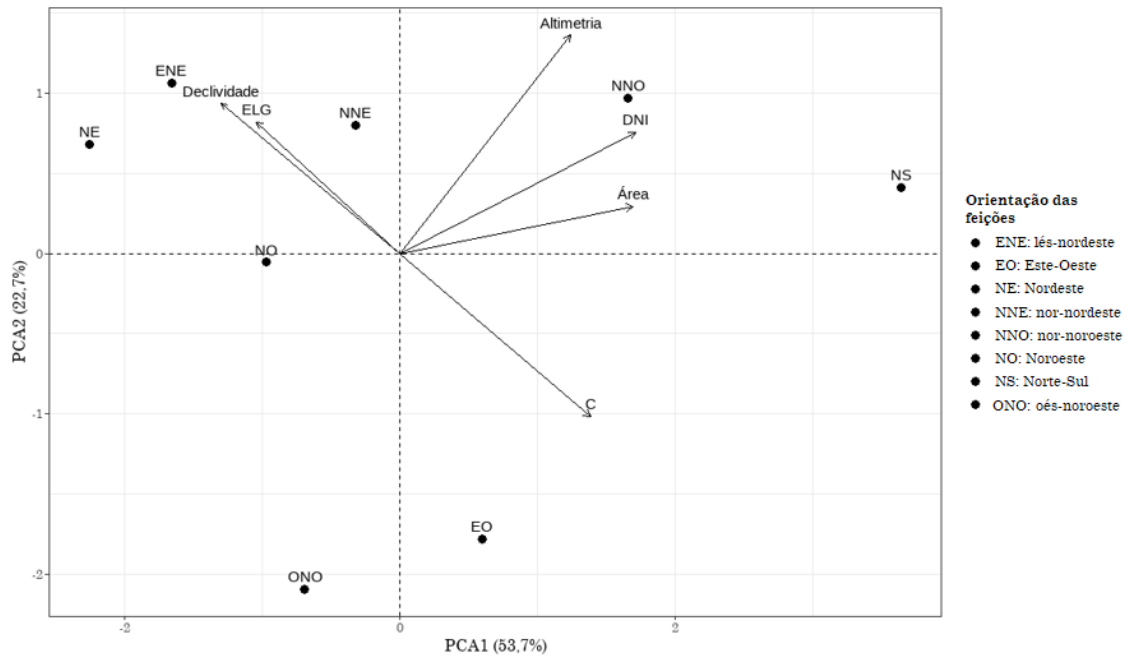
Figura 24 - Orientação das feições doliniformes (N: total de feições analisadas).



Fonte: autores

Com relação ao arranjo espacial das feições, observou-se que sua dispersão apresenta uma distribuição aleatória ao longo da área de estudo (Figura 21), com distâncias que variam entre 76,44 m e 1.2476,36 m (Tabela 1). Ao identificar a distribuição aleatória e a distância do vizinho mais próximo (DNI) foi estimado o índice de distribuição espacial (R) por meio da distância média observada (686,27 m); a distância média esperada (820,94 m) e área da Planície do Araguaia (64.761 km²), correspondendo a 0,83, o que representa, segundo GAO et al. (2005), uma tendência ao agrupamento (*Clustering*) das feições identificadas na Planície do Araguaia.

Figura 25 - Análise de componentes principais (PCA) das principais variáveis morfométricas identificadas das feições doliniformes da Planície do Araguaia (área, declividade, altimetria, distância do vizinho mais próximo (DNI), coeficiente de alongamento (ELG); índice de circularidade (C), Orientação das feições).



Fonte: autores

A análise de componentes principais apresentado na figura 25 representou 76,4% dos dados morfométricos das feições doliniformes, apresentando uma alta correlação entre as variáveis declividade e coeficiente de alongamento (ELG) associada às orientações: nordeste (NNE); leste-nordeste (ENE) e norte-nordeste (NNE), demonstrando uma possível tendência das feições alongadas ou ovaladas estarem sob grande influência das condições topográficas ou estruturais do terreno, predominantemente orientadas no sentido nordeste (NE).

Por outro lado, observou-se uma correlação inversa da variável declividade e o índice de circularidade (C), corroborando a influência do terreno na ocorrência de formas doliniformes circulares associadas a declividades baixas, majoritariamente orientadas no sentido Leste-Oeste (EO), orientação predominante também identificada na figura 24, indicando uma possível tendência da maior parte das formas circulares estarem alinhadas à mesma direção dos fluxos superficiais do canal principal do rio Araguaia.

5.6. Discussão

Os primeiros estudos geomorfológicos de caracterização de feições doliniformes ao longo da Planície do Araguaia datam do ano 1981 e foram realizados pelo projeto RADAMBRASIL, descritos nas Folhas SB-22, SC-22 e SD-22, nestas, são descritas depressões fechadas circulares ou ovaladas, sazonalmente inundadas (lagoas temporais provenientes de águas pluviais), sobre solos do tipo Glei Pouco Húmico com alto teor de material orgânica que favorecem o surgimento fragmentos de Floresta de Galeria. Estas feições também são caracterizadas como manchas de vegetação na paisagem savânica do cerrado (Campo sujo), formações consideradas as mais representativas das Áreas de Acumulação Inundáveis - Aai (BRASIL, 1981a, 1981b).

O referido projeto também ressalta a diferença dos sistemas lacustres de forma circular, oval ou retilíneos da Planície Fluvial (Apf) que estão associados à dinâmica hídrica do rio Araguaia. Estes lagos são formados pela deposição aluvial decorrente processos acreção vertical de sedimentos arenosos em diques marginais, paleocanais ou em meandros abandonados do canal principal e tributários (BRASIL, 1981a).

Estas depressões circulares na planície de inundação do Araguaia foram identificadas também em missões exploratórias de pesquisadores franceses e brasileiros na região de Cocalinho – MT, (sudoeste da Planície) nas proximidades do rio das Mortes (tributário do rio Araguaia), nesta região, foram identificadas possíveis feições cársticas originadas da dissolução de calcário como dolinas sobre a forma lagoas de 1 até km de extensão e 5 m de profundidade, além de cavidades com alto potencial espeleológico (SOUBIES e GUYOT, 1995).

As hipóteses sobre a origem cárstica das feições identificadas em Cocalinho – MT foram corroboradas anos mais tarde por Hardt, (2005) por meio da caracterização geomorfológica do relevo cárstico da Serra de Calcário, em áreas alagáveis da planície, neste estudo foram identificados afloramentos carbonáticos na forma de morrotes calcários, torres cársticas, grutas, surgências, dolinas e uvalas de dissolução e colapso com dimensões quilométricas e profundidades de até 5 m. Estas feições na sua maioria foram identificadas na posição paralela à Serra de Calcário e condicionadas tectonicamente por falhas no sentido OSO-ENE.

Tal orientação também foi verificada neste estudo, por meio da análise de componentes principais (PCA), assim como em trabalhos de análise morfométrica de feições doliniformes no município de Lagoa da Confusão – TO (NASCIMENTO; MORAIS, 2012); e caracterizações descritas no Plano de Manejo do Parque Nacional do Araguaia também evidenciam grande quantidade depressões circulares na forma de lagoas alinhadas paralelamente no sentido das falhas,

nas proximidades do Planície do Bananal e o rio Formoso, sugerindo um provável controle estrutural para esta área (IBAMA, 2001).

Controles tectônicos e o paralelismo das feições doliniformes com a falhas e fraturas, orientadas no sentido ENE, poderiam dar indícios da possível origem cárstica das feições doliniformes. Porém, alguns estudos na Planície do Araguaia associam a sua gênese ora à formação de sistemas lacustres por dissolução ora a processos naturais de recomposição da vegetação nativa.

A associação das formas cársticas do tipo dolinas com formações florestais é evidenciado no diagnóstico ambiental proposto por Martins et al. (2002), onde se caracterizam os fragmentos florestais denominados “*ipucas*”, localizados na Planície de inundação, da porção tocantinense, no município de Lagoa da Confusão. Na porção mato-grossense, também são identificados estes fragmentos florestais na forma de dolinas, porém, denominados como “*impucas*” (MARIMON et al., 2012).

As “*ipucas*” são fragmentos vegetacionais com predomínio de espécies arbustivas, subarbustivas e alguns indivíduos arbóreos de médio porte adaptados aos fluxos de inundação (*Calophyllum brasiliense*, *Vochysia* sp, e *Sclerolobium* sp.), classificadas como Florestas Estacionais Deciduais Aluviais e localizadas sobre depressões em solos pouco profundos com alto teor de matéria orgânica, materiais finos como silte e argila sob elevada influência do lençol freático. Estas formações florestais apresentam áreas entre 50.000 e 2.460.000 m² e índices de circularidade entre 0,1 e 0,85 (MARTINS et al., 2002).

Cabe destacar que estes fragmentos florestais denominados “*ipucas*” ou “*impucas*” são de vital importância no contexto da ecologia da paisagem do Araguaia, pois funcionam tanto como habitats temporários de espécies endêmicas, como corredores ecológicos de anfíbios e aves dos ecossistemas do Cerrado e da Amazônia (KURZATKOWSKI et al., 2015; LOPES et al., 2017; PINHEIRO; DORNA 2009; ROCHA et al., 2014).

Do ponto de vista geomorfológico, não são todas as “*ipucas*” ou “*impucas*” que devem ser associadas às feições cársticas do tipo dolinas, pois estes fragmentos florestais ocorrem também em meandros abandonados e paleocanais da Planície Fluvial do Araguaia, fato comprovado pelas formas altamente alongadas, sinuosas e retilíneas; assim como pelos índices de circularidade inferiores a 0,5.

A proposta de gênese destas formações florestais (*ipucas*), de forma circular, foi relacionada a processos de subsidência em solos hidromórficos, sazonalmente saturados como Plintossolos e Gleissolos com pH entre 4,1 e 6,8 e alta quantidade de matéria orgânica no seu interior. A

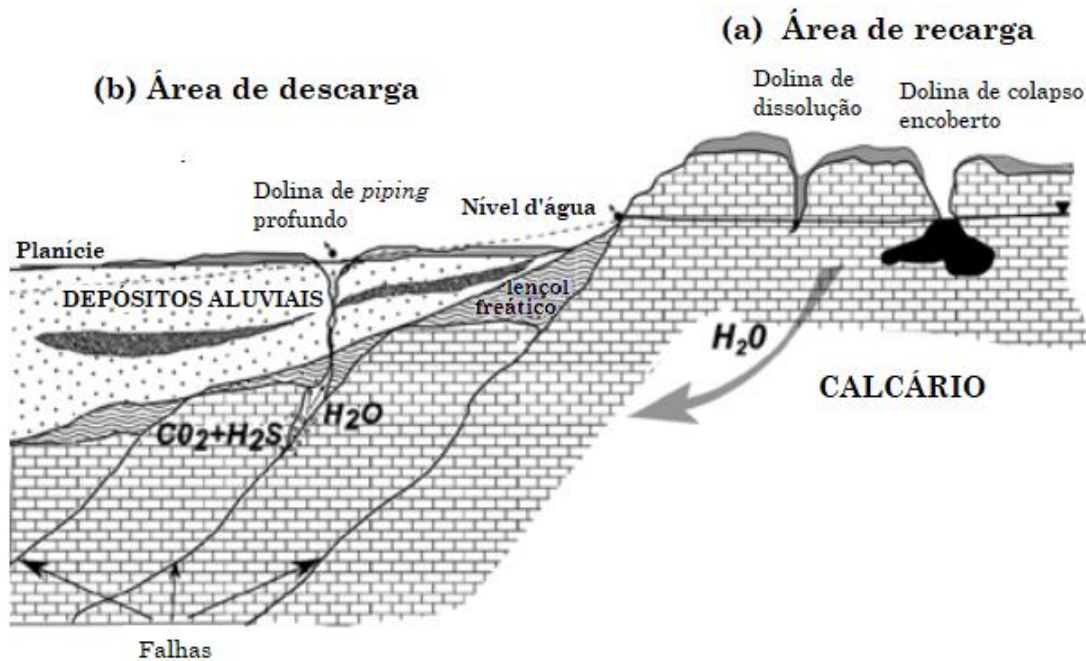
subsidência destas feições foi associada, teoricamente, a dois processos: o rebaixamento do nível freático e transformação de sedimentos argilo-arenosos por ferrólise; e a formação de dolinas por processos cársticos de dissolução dos calcários do Grupo Tocantins (MARTINS et al., 2006).

A proposta da gênese das formações florestais associadas a dolinas com base em processos cársticos pode ser complementada com base nas evidências de estruturas cársticas identificadas no município de Lagoa da Confusão – TO provenientes de afloramentos calcário-dolomíticos do Grupo Tocantins na forma de mogotes de 30 m de altura, karrens, dolinas e um complexo sistema de condutos e galerias identificados na gruta Casa de Pedra (PONTALTI; MORAIS, 2010).

Desde outra perspectiva, a formação destas depressões doliniformes sob a forma de lagoas, localizadas no município de Aruanã (noroeste de Goiás) é descrita por meio de processos de dissolução de laterita de matriz arenosa que, pela variação fluxo hídrico subsuperficial, ocasiona o desprendimento da crosta laterítica sobre o saprólito da rocha cristalina (CARVALHO; LATRUBESSE, 2008). Este processo geraria feições lacustres pequenas e arredondadas condicionadas por um conjunto de fraturas que permitem o alinhamento nos sentidos NE-SO e NO-SE, revelando um controle tectônico evidente sobre as estruturas em um estágio de coalescência (VIEIRA, 2002).

Não obstante, este processo pode ter relação também com a formação a depressões cársticas ao se considerar: a elevada oscilação sazonal do lençol freático ao longo do ano sobre o substrato carbonático subjacente à camada sedimentar holocênica da Planície do Araguaia. Neste sentido, Caramanna et al. (2008) identificaram os processos de dissolução em depressões cársticas circulares do tipo *piping* profundo em planícies italianas caracterizadas por espessa cobertura laterítica aluvial quaternária (impermeável ou semipermeável) de até 100 m, sobreposta a um substrato carbonático subjacente na presença generalizada de falhas (Figura 26).

Figura 26 - Modelo de geração de feições doliniformes em áreas planas com substrato carbonático subjacente a depósitos sedimentares aluviais. (a) área de recarga com afloramento de rochas carbonáticas. (b) área de descarga, onde a dolinas de *piping* profundo podem ocorrer sobre planícies com depósitos aluviais.



Fonte: Adaptado de Cardarelli et al. (2014).

Este fenômeno de *piping* profundo ocorre quando a oscilação drástica do lençol freático, devido a períodos de fortes chuvas e secas prolongadas, aumenta a ascensão de água subterrânea sobre a rocha carbonática (falhada), criando pequenas cavidades e condutos por dissolução.

Estes condutos aumentam o fluxo endorreico ascendente, permitindo a erosão hídrica de detritos coesivos das camadas superiores por processos físico-químicos, ocorrendo a remoção dos grânulos menos resistentes, e a dissolução, em meio ácido, atua sobre o cimento localizado nos contatos intergranulares da rocha siliclástica, alterando sua consistência (arenitização), favorecendo o deslocamento descendente de sedimentos não coesivos (efeito ampulheta), formando no plano de falhas, depressões cônicas e circulares na superfície (CARAMANNA et al., 2008; CARDARELLI et al., 2014; VERESS, 2020).

A ocorrência do possível substrato carbonático subjacente aos depósitos aluviais da Planície do Araguaia foi descrito por meio de estudos geofísicos com sondagens elétricas verticais-SEV, em profundidades de até 42,6 m, na região de Lagoa da Confusão – TO. Neste local, foram

identificadas camadas sedimentares superiores saturadas (argilas) e semisaturadas (areno-argilosa) sobrepostas a uma possível camada carbonática com valores de resistividade associados a dolomitos-calcários (PEREIRA; MORAIS, 2012).

5.7. Considerações finais

Por meio do mapeamento das feições doliniformes foi possível observar que a área de ocorrência dessas feições ultrapassa a unidade geológica da planície de inundação, abrangendo uma zona de 114.900 km², equivalente 46,6% a mais da área designada inicialmente.

As maiores concentrações de feições, identificadas por meio do mapa de densidade de Kernel, situam-se nos municípios de Cocalinho – MT, Luciara – MT, Ribeirão Cascalheira – MT, Lagoa da Confusão – TO e Pium – TO.

Observou-se que houve uma predominância de feições circulares ou ovaladas com áreas de 864 a 10.038.442 m² orientadas nos sentidos NE para as feições ovaladas e sentido EO para as feições circulares. Estas direções, com base nos resultados obtidos no PCA, podem estar associadas à convergência dos fluxos superficiais para o canal principal (EO) ou por controles estruturais na direção NE, relacionados com a posição do Grupo Tocantins.

Com relação ao agente gerador das feições doliniformes, existem vários indícios apontando a formação das depressões com formações florestais como resultantes da dissolução de carste encoberto. Contudo, para corroborar estas hipóteses são necessários estudos geofísicos capazes de identificar as litologias subjacentes em profundidades maiores que 50 m ou sondagens geológicas que contribuam para o entendimento da gênese destas feições.

6. CAPÍTULO VI – Função geoambiental das feições doliniformes na Planície do Araguaia.

6.1. Resumo

Os intensos impactos ambientais na Planície do Araguaia fragilizam a capacidade de suporte dos componentes ambientais, alterando as características hidrogeológicas dos recursos hídricos e comprometendo os serviços ecossistêmicos desta zona ecotonal entre os biomas Amazônico e Cerrado. Este trabalho, com base no atual cenário de fragilidade ambiental, busca, por meio da análise geossistêmica, identificar as áreas de maior suscetibilidade ambiental por meio da integração dos compartimentos naturais e antrópicos e a função ambiental de feições doliniformes características da paisagem da região. Por meio da aplicação de um modelo de análise geoambiental e da compilação de dados vetoriais, imagens de satélite (Sentinel, Landsat, SRTM) e levantamento bibliográfico, foi possível identificar as funções geomorfológicas, hidrológicas, ecológicas e sociais das feições doliniformes e sua possível origem cárstica; assim como a sua relação com os componentes ambientais e antropogênicos observados através do mapa de suscetibilidade ambiental que representou as regiões com intensos processos morfogenéticos correspondentes aos municípios de Lagoa da Confusão – TO, Pium – TO, Luciara – MT e Santa Terezinha – MT. Estes processos modificadores da paisagem podem ser acelerados pelos constantes desmatamentos, contaminação de cursos d'água, captação exacerbada de água e aumento dos processos de dissolução possível carste subjacente. Desta forma, espera-se que este trabalho venha oferecer subsídios para a reformulação de políticas ambientais e de desenvolvimento econômico regional que considerem o atual cenário de suscetibilidade e a capacidade de suporte do provável sistema cárstico da região.

Palavras-chave: SIG, geoambiente, carste, formações florestais inundáveis, função ambiental.

6.2. Abstract

The intense environmental impacts on the Araguaia Plain weaken the carrying capacity of the environmental components, altering the hydrogeological characteristics of water resources and compromising the ecosystem services of this ecotonal zone between the Amazon and Cerrado biomes. This work, based on the current scenario of analysis, environmental, through areas of

geosystemic analysis, identify how greater environmental susceptibility of the integration of natural and anthropic resources and an environmental function of features of the region's resources. Through the application of a possible model of geoenvironmental analysis and the compilation of data, satellite images (Sentinel, Landsat, SRTM) and bibliographic survey, it was identified as geomorphological, hydrological, ecological and vector functions of the doliniform features and their karst origin; as well as its relationship with the environmental and anthropogenic components observed through the environmental susceptibility map that represents the regions with intense morphogenetic processes corresponding to the municipalities of Lagoa da Confusão – TO, Pium – TO, Luciara – MT and Santa Terezinha – MT. These landscape modifying processes can be accelerated by the continuous, natural, natural processes of water abstraction and possible processes of water and the processes of occurrence of the underlying courses. In this way, it is expected that this work will offer modern alternatives and a reformulation of regional development environments that consider the current scenario of economic development and the support capacity of the karst system of the probable region.

Keywords: GIS, geoenvironment, karst, floodable forest formations, environmental function.

6.3. Introdução

Os efeitos da complexa relação entre o homem e a natureza provocam modificações nas funções ecológicas e alterações na paisagem que ameaçam a sustentabilidade dos sistemas ambientais, sendo necessário entendê-los sob uma visão sistemática, integrada e multidisciplinar que contemplem as dinâmicas naturais e sociais (TAVARES et al., 2022).

Neste contexto, a análise geossistêmica, entendida como o estudo da estrutura, conexão e dinâmica entre os componentes naturais e antrópicos formadores da paisagem, procura o oferecer alternativas sustentáveis aos impactos causados pela exploração dos recursos naturais, ressaltando as potencialidades e vulnerabilidades do uso da terra (SARAIVA, 2005).

A necessidade de compreender a dinâmica da paisagem e a relação das atividades antropogênicas na Planície do Araguaia se justifica pela importância cultural e ecológica que representa a região ao estar localizada na zona ecotonal do bioma Cerrado e Amazônico, na qual estão constituídas importantes áreas de proteção ambiental como o Parque Nacional do Araguaia; as Terras Indígenas Pimentel Barbosa/ Inãwébohona/Utaria Wyhyna/Iròdu Iràna das etnias

Xerente, Karajá, Javaé, Tapirapé e Avá-Canoeiro; o Parque estadual do Cantão e o Parque Estadual do Araguaia.

Os intensos impactos ambientais das atividades agropecuárias nas proximidades destas áreas vêm causando alterações morfológicas na paisagem e nos principais cursos d'água. A região vem sofrendo altas taxas de desmatamento (DEMAMBRO, PIETRAFESA e ROJAS, 2021); assoreamento dos principais cursos d'água (SUIZU et al., 2022); queimadas em área de preservação (SILVA et al., 2018); captação exacerbada de água (VOLKEN et al., 2022) e contaminação de recursos hídricos por metais pesados (GUARDA et al., 2021).

Este cenário pode ser agravado ao considerar a provável ocorrência de um sistema cárstico na região (PEREIRA e MORAIS, 2012), com alta concentração de feições doliniformes (depressões do terreno de forma circular com ou sem vegetação) ao longo da Planície sob o Aquífero Araguaia-Bananal.

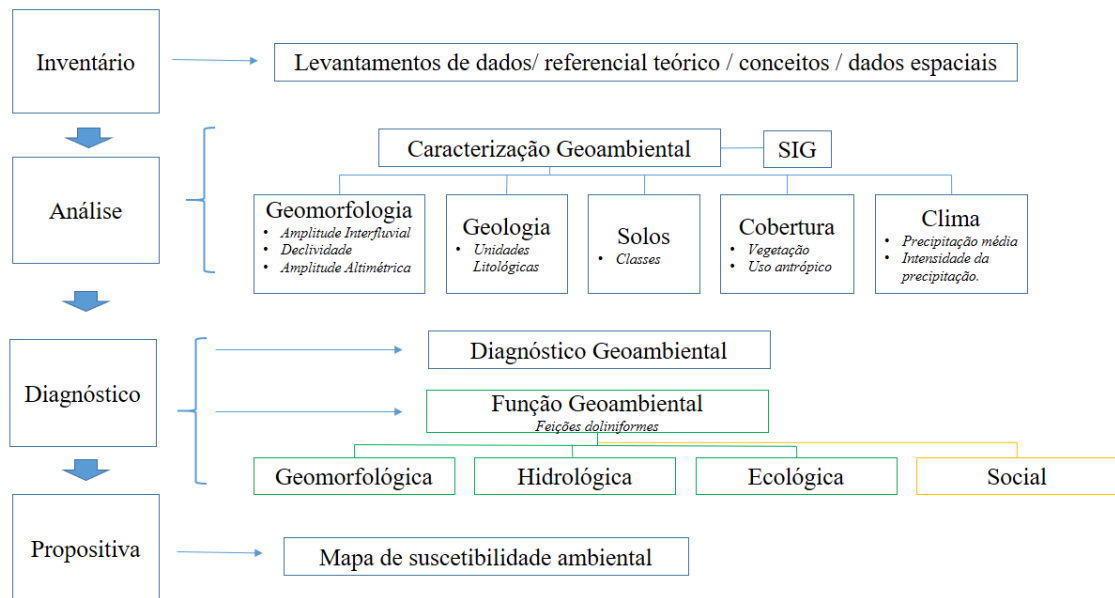
Devido aos atuais distúrbios ambientais nas próximas às unidades de proteção ambiental e terras indígenas, consideramos que a área deve se classificar como suscetível ambientalmente, visto que já existem impactos ambientais significativos na região e estes podem ser agravados, caso as atuais Políticas de Desenvolvimento Econômico e Legislação Ambiental não sejam modificadas no sentido de considerar os atuais e futuros impactos econômicos, sociais e ambientais no atual cenário.

Desta forma, este trabalho visa identificar as áreas de maior suscetibilidade ambiental por meio análise geossistêmica da função ambiental das feições doliniformes com as características da paisagem natural e antrópica da Planície do Araguaia.

6.4. Metodologia

A realização deste trabalho se deu em 5 fases metodológicas (Figura 27) com base na estrutura de análise geossistêmica da paisagem natural e antrópica apresentada por Silva, Rodriguez e Meireles (2011).

Figura 27 - Fases da organização metodológica do trabalho.



Fonte: Adaptado de Silva, Rodriguez e Meireles (2011).

- **Inventário:** levantamento bibliográfico, avaliação dos trabalhos realizados na área de estudo; revisão dos conceitos aplicados às feições doliniformes;
- **Análise:** levantamento cartográfico (Secretarias de Meio Ambiente e Planejamento – SEPLAN, Instituto Brasileiros de Geografia e Estatística – IBGE, Agência Nacional das Águas – ANA, Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – CPRM), imagens de satélite (Sentinel 2-A), modelos digitais do terreno (*Shuttle Radar Topography Mission - SRTM 30 m*) mapeamento de feições doliniformes, análise das condições geambientais;
- **Diagnóstico:** Identificação das limitações e potencialidades do uso e ocupação da área de estudo, com descrição da função geoambiental das feições doliniformes;
- **Propositiva:** Apontamento das áreas de maior suscetibilidade ambiental na Planície do Araguaia.

A análise geossistêmica inicia-se com a caracterização geoambiental, descrita na fase de análise. Foi realizada por meio da compilação de dados vetoriais e matriciais referentes a área de estudo, gerenciados através de um Sistema de Informação Geográfica – SIG, composto pelo software gratuito de mapeamento de análise espacial QGIS 3.20.2; e pela linguagem de programação R (*Project for Statistical Computing*) para análise, cálculo, mineração e estrutura dos dados.

Os dados vetoriais associados a solos, geologia e hidrografia, na escala de 1:250.000, foram obtidos gratuitamente nas plataformas da CPRM/SGB (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – Serviço Geológico do Brasil), IBGE e Secretarias de Planejamento dos estados de Goiás, Mato Grosso e Tocantins.

As informações climatológicas referentes à média e intensidade das precipitações pluviais foram obtidos considerando as normais climatológicas do período de 1977 a 2006, disponibilizadas no Atlas Pluviométrico do Brasil da CPRM/SGB (CPRM, 2022).

Os dados matriciais relacionados às formas do relevo foram obtidos por meio da elaboração de modelos digitais de elevação – MDE do projeto *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) de 30 m de resolução. Estas imagens foram obtidas pela plataforma *Earthdata* da Agência Espacial Americana – NASA.

Mosaicos de Imagens fotointerpretadas (GeoTiff) das principais fitofisionomias da vegetação e usos antrópicos da Bacia do Araguaia foram obtidos pelo projeto MapBiomas, coleção 7, ano 2020. Todas as informações espaciais foram extraídas para a área de estudo e reprojetaadas ao sistema de coordenadas locais (UTM – SIRGAS 2000 – fuso 22L).

Estes dados foram utilizados na elaboração da análise geoambiental dos compartimentos geologia, geomorfologia, solos, cobertura e clima com base nos critérios metodológicos propostos por Crepani (2001), cujos fundamentos teóricos estão alicerçados no conceito da Ecodinâmica, de Tricart (1977).

Nesta metodologia, os compartimentos são divididos em unidades territoriais e classificadas em função da vulnerabilidade (estáveis, intermediários e instáveis) por meio de pesos que variam de 1 a 3. Esta ponderação está relacionada diretamente com o grau de intensidade dos processos erosivos que modificam as formas do relevo (morfogênese) e àqueles formadores de solo (pedogênese).

No aspecto geológico a vulnerabilidade está associada à resistência da rocha aos processos de intemperismo e erosão, por tanto, a classificação empírica da resistência está associada as unidades litológicas com predominância de minerais mais coesos. Considerando esta premissa, neste estudo as unidades litológicas serão subdivididas em rochas ígneas (estáveis), metamórficas (intermediárias) e sedimentares (instáveis).

A geomorfologia é analisada por meio de três unidades espaciais: amplitude interfluvial, amplitude altimétrica e declividade que são classificadas em função da energia potencial disponível capaz de aumentar os processos de escoamento superficial (*runoff*). Neste sentido, atribui-se maior

valor de vulnerabilidade aos eventos que propiciem maior transporte de materiais e consequentemente maior grau de dissecação (morfogênese).

As categorias morfodinâmicas instáveis são classificadas com valores próximos de 3, quando:

- A distância entre os interflúvios é menor, maiores serão os processos dissecação;
- Amplitudes altimétricas maiores associam-se a capacidade de águas pluviais adquirem maior energia cinética em altitudes elevadas;
- Declividades acima de 40° maior velocidade de transformação da energia potencial em cinética, consequentemente, atribui-se maior capacidade de transporte de material.

No tocante aos solos, associa-se o conceito de vulnerabilidade ao grau de desenvolvimento de uma determinada classe, considerando-se solos instáveis aqueles pouco profundos com menor grau de desenvolvimento e pouco porosos.

O uso e cobertura do solo classifica-se em função do grau de exposição do solo às intempéries e capacidade de transporte de material, neste sentido, formações florestais densas cumprem um papel controlador de processos erosivos (estáveis). Por outro lado, formações com baixa densidade ou ambientes antropizados são classificados como instáveis.

O clima, como principal agente morfogênico, relaciona-se à quantidade de água necessária para aumentar os processos de erosão e transporte de material (*runoff*). Assim, atribuem-se maiores valores de vulnerabilidade (instáveis) às áreas com maior quantidade de precipitação e de baixa duração.

Quadro 5 - Classificação morfodinâmica das unidades territoriais da Planície do Araguaia.

(continua)

Compartimento	Unidade Territorial	Relação	Categoria morfodinâmica	Valores
Geologia	Unidades litológicas	Rochas bastante coesas (ígneas)	Estável	1
		Rochas medianamente coesas (metamórficas)	Intermediária	2
		Rochas pouco coesas (sedimentares)	Instável	3
Geomorfologia	Amplitude interfluvial	Maior interflúvio	Estável	1
		Menor interflúvio	Instável	3
	Amplitude altimétrica	Menor amplitude	Estável	1
		Maior amplitude	Instável	3
	Declividade	Inferiores a 3°	Estável	1

Quadro 5 - Classificação morfodinâmica das unidades territoriais da Planície do Araguaia.

(conclusão)

Compartimento	Unidade Territorial	Relação	Categoria morfodinâmica	Valores
Geomorfologia	Declividade	Próximos a 10°	Intermediária	2
		Superiores a 40°	Instável	3
Pedologia	Classes de solo	Solos bem desenvolvidos, profundos e porosos.	Estável	1
		Solos medianamente desenvolvidos, com horizontes A e B com elevada concentração de argila que dificulta infiltração.	Intermediária	2
		Solos pouco desenvolvidos, facilmente saturados e pouco profundos.	Instável	3
Fitogeografia (cobertura)	Fitofisionomias da vegetação e uso antrópico	Ambientes com alta densidade de espécies arbóreas de médio a grande porte. Ex. Formações florestais	Estável	1
		Ambientes com média densidade de espécies arbóreas de pequeno a grande porte. Ex. Savanas	Intermediária	2
		Ambientes com baixa densidade de espécies arbóreas, predominância de indivíduos arbustivos; Ex. Formações campestres. Uso do solo antrópico;	Instável	3
Clima	Pluviosidade média	Menor pluviosidade média	Estável	1
		Maior pluviosidade média	Instável	3
	Intensidade da precipitação	Menor intensidade	Estável	1
		Maior intensidade	Instável	3
Feições doliniformes	Densidade de feições	Maior proximidade	Instável	3
		Menor proximidade	Estável	1

Fonte: Adaptado de Crepani (2001).

A equação empírica para a geração do mapa de suscetibilidade é constituída pela média aritmética do valor atribuído à cada unidade territorial, considerando a intensidade dos processos morfogenéticos e pedogenéticos, conforme a equação (1):

$$SA = \frac{Ge + Gr\left(\frac{d+a+c}{3}\right) + So + Cb + Cl\left(\frac{p+i}{2}\right) + Df}{6} \quad (1)$$

Onde:

SA = Suscetibilidade Ambiental;

Ge = Suscetibilidade Geologia;

Gr= Suscetibilidade Geomorfologia (a: hipsometria; d: declividade, c: amplitude interfluvial);

So = Suscetibilidade Solos;

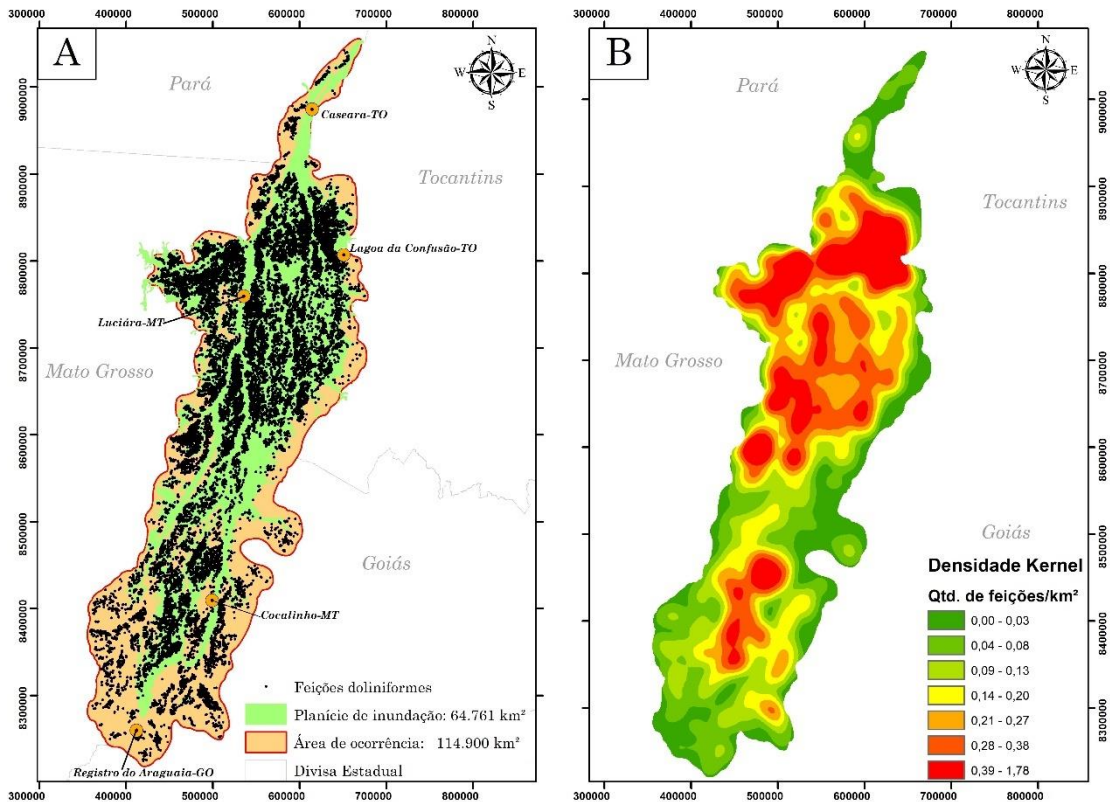
Cb = Suscetibilidade Clima (p = precipitação média/anual; i = intensidade da precipitação);

Df = Suscetibilidade à densidade de feições doliniformes.

- Localização da área de estudo

A área de estudo situa-se nos limites dos estados de Tocantins, Pará e Mato Grosso, ocupando uma área de aproximadamente 114.900 km² e contempla 24.023 feições doliniformes identificadas na planície de inundação do rio Araguaia (Figura 28-A); tais feições estão distribuídas majoritariamente nos municípios de Lagoa da Confusão – TO, Pium – TO e Cocalinho – MT (Figura 28-B).

Figura 28 - Distribuição e densidade das feições doliniformes da área de ocorrência de feições doliniformes. A: distribuição das feições; B: densidade das feições por km² (kernel).



Fonte: autores.

6.5. Resultados e Discussões

6.5.1. Caracterização Geoambiental da área de estudo

- Hidrologia

A área de estudo situa-se na porção central da bacia hidrográfica do Tocantins-Araguaia, considerada uma das redes hidrográficas mais extensas do Brasil (918.822 km²) com aproximadamente 11% do território nacional incluso na sua área de drenagem (IBRAMAR, 2021). No interior da área de estudo (Figura 29) localizam-se os principais cursos d'água desta bacia, destes, o rio Araguaia, como principal representante, tem seu fluxo direcionado no sentido Norte-Sul e percorre uma distância de 1.064 km.

No período da cheia, entre os meses de janeiro e maio, o fluxo do rio Araguaia encontra as águas do rio Javaés, formando a Ilha do Bananal, uma das maiores ilhas fluviais da América, com 58,55 km² de área inundável (HAMILTON et al., 2002).

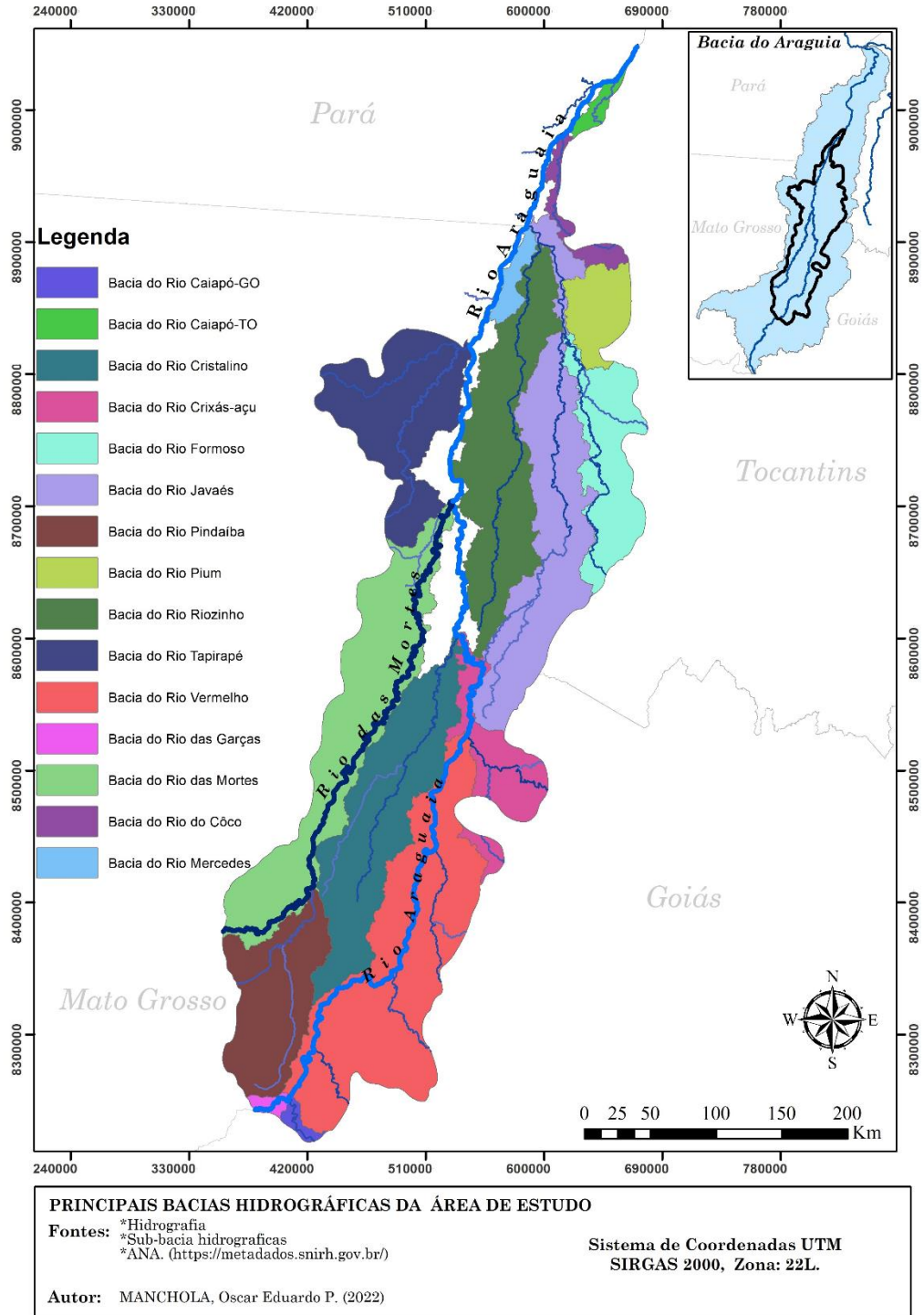
Entre as principais bacias que formam o rio Araguaia, da área de estudo, o sistema hidrográfico do rio das Mortes caracteriza-se como principal tributário da região e se distribui ao longo da Planície do Bananal (porção mato-grossense) com uma área de drenagem de 60.289 km² contribui com aproximadamente 14,29 % da vazão do rio Araguaia (AQUINO et al., 2009).

Os recursos hídricos subterrâneos da área de estudo estão relacionados com sedimentos quaternários distribuídos ao longo da Faixa do Araguaia. Destes o mais representativo da área de estudo corresponde ao aquífero poroso do Araguaia-Bananal, com 85% da sua área de influência sobre a área de estudo (Figura 30).

O aquífero Araguaia-Bananal compreende uma área total de 108.510,43 km², classificado como um aquífero granular-livre e descontínuo (ANA, 2013). A sua espessura apresenta-se variável “na ordem de algumas dezenas de metros e podendo atingir em algumas áreas valores de até 100 m”, com vazões que variam entre 1 e 10 m³/h em função do regime das chuvas (CPRM, 2016). A composição litológica deste aquífero está associada a materiais semiconsolidados e parcialmente laterizados, constituídos principalmente por sedimentos argilo-siliticos e silitico arenosos que proporcionam uma produtividade localmente baixa nas regiões argilosas e moderadamente produtivos nas porções arenosas (CPRM, 2010).

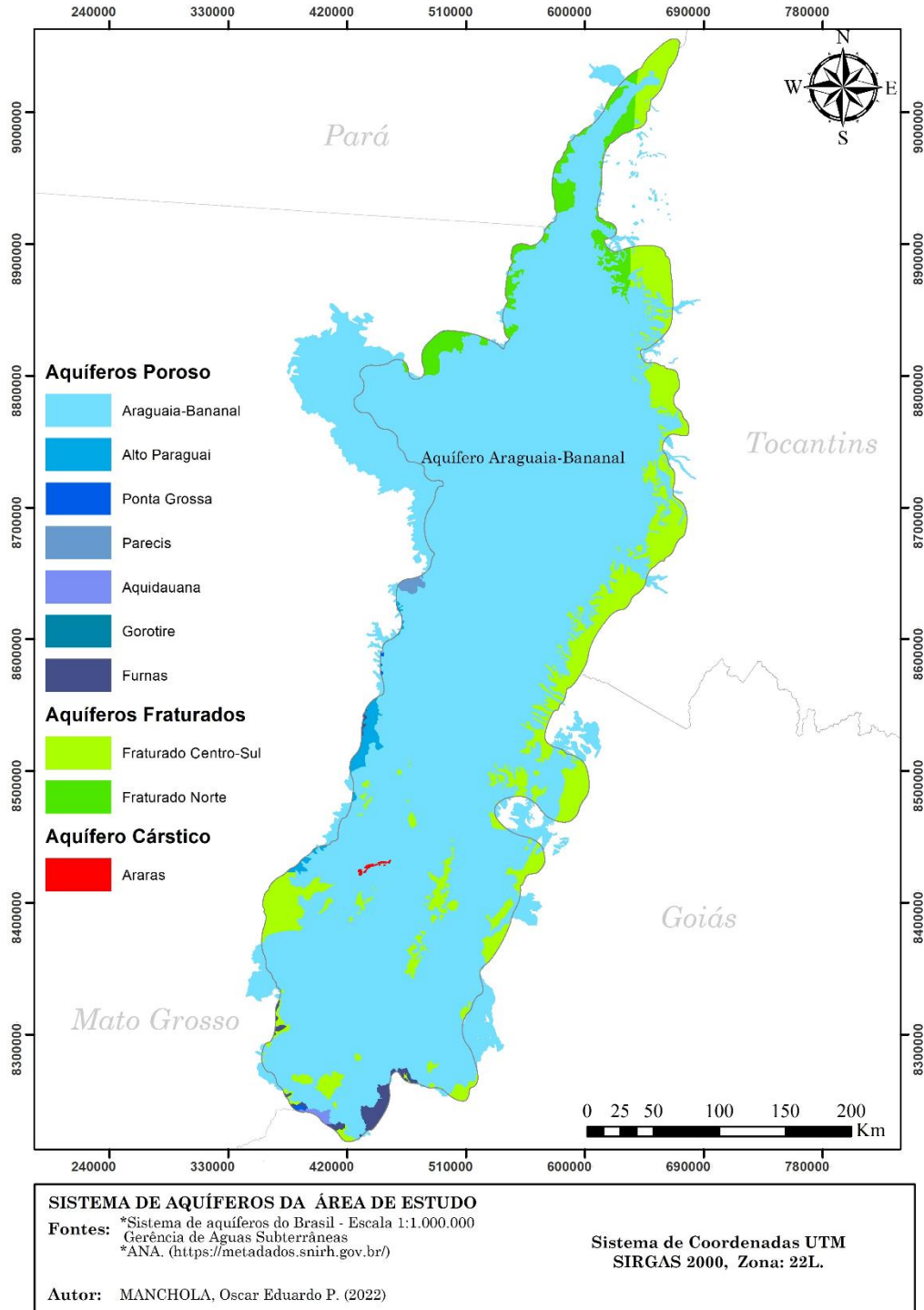
O sistema de recarga está relacionado com a infiltração direta da água precipitada e pela elevação do nível dos cursos d'água superficiais, enquanto a descarga relaciona-se com a perenização dos afluentes da Bacia do Araguaia no período da estiagem. Esta característica hidrológica associada à baixa condutividade hidráulica (10^{-7} m/s) classifica o aquífero Araguaia-Bananal como altamente vulnerável à contaminação (GOIÁS, 2015).

Figura 29 - Recursos hídricos superficiais da área de ocorrência de feições doliniformes



Fonte: autores.

Figura 30 - Recursos hídricos subterrâneos da área de ocorrência de feições doliniformes.



Fonte: autores.

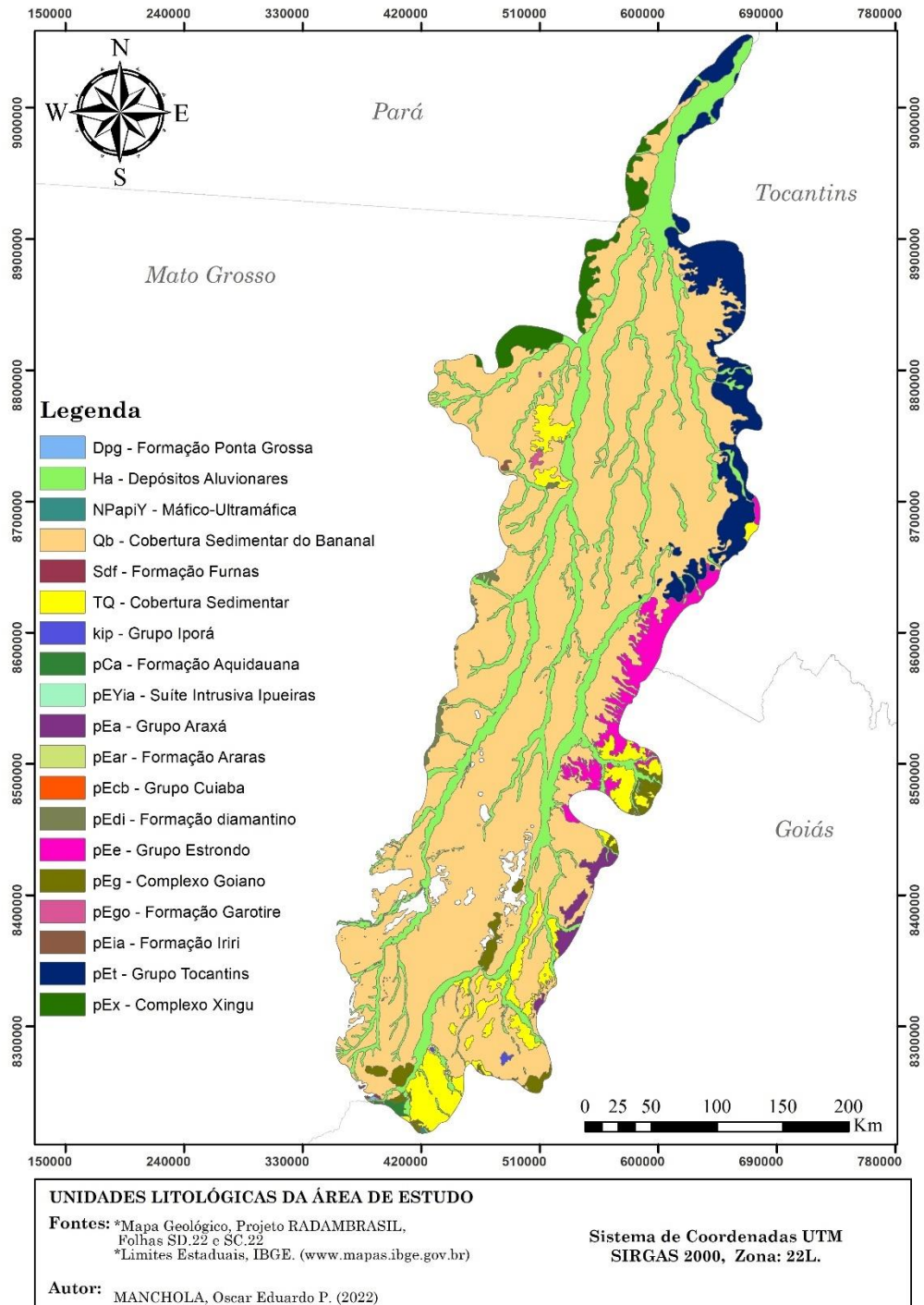
- Geologia

A área de estudo está constituída majoritariamente (84%) por Formações superficiais quaternárias (Figura 31). As unidades mais representativas correspondem às Coberturas Sedimentares da Formação Bananal (63%), constituídas principalmente por sedimentos consolidados e inconsolidados, crostas lateríticas, areias, siltes, conglomerados e materiais argilo-arenosos ricos em matéria orgânica (BRASIL, 1981; CPRM, 2019).

Os depósitos aluvionares holocênicos correspondem a 16% da área de estudo, e acompanham a rede de drenagem, sendo compostos principalmente por sedimentos inconsolidados de areias finas e grossas, siltes, cascalho e argilas. Destes sedimentos, algumas frações mais grossas apresentam alto interesse econômico por conterem concentrações de diamante, ouro, rutilo e zircão (CPRM, 2008).

Os afloramentos pré-cambrianos da área de estudo, correspondem à Formação Couto Magalhães do Grupo Tocantins (6%), constituídos por filitos, ardósias, metargilitos e calcários com metargilitos e quartzitos subordinados (CPRM, 2003). Neste contexto, Blaskowski e Brod (2021) ressaltam o potencial agromineral das rochas metacalcárias da Formação Couto Magalhães com concentrações de cálcio entre 26,7 e 38,8%; além de magnésio entre 5,2 e 20,2%, proporções adequadas para o uso comercial como calcário agrícola usado na correção da acidez do solo ou como cal de alvenaria da construção civil.

Figura 31- Unidades litológicas da área de ocorrência de feições doliniformes.



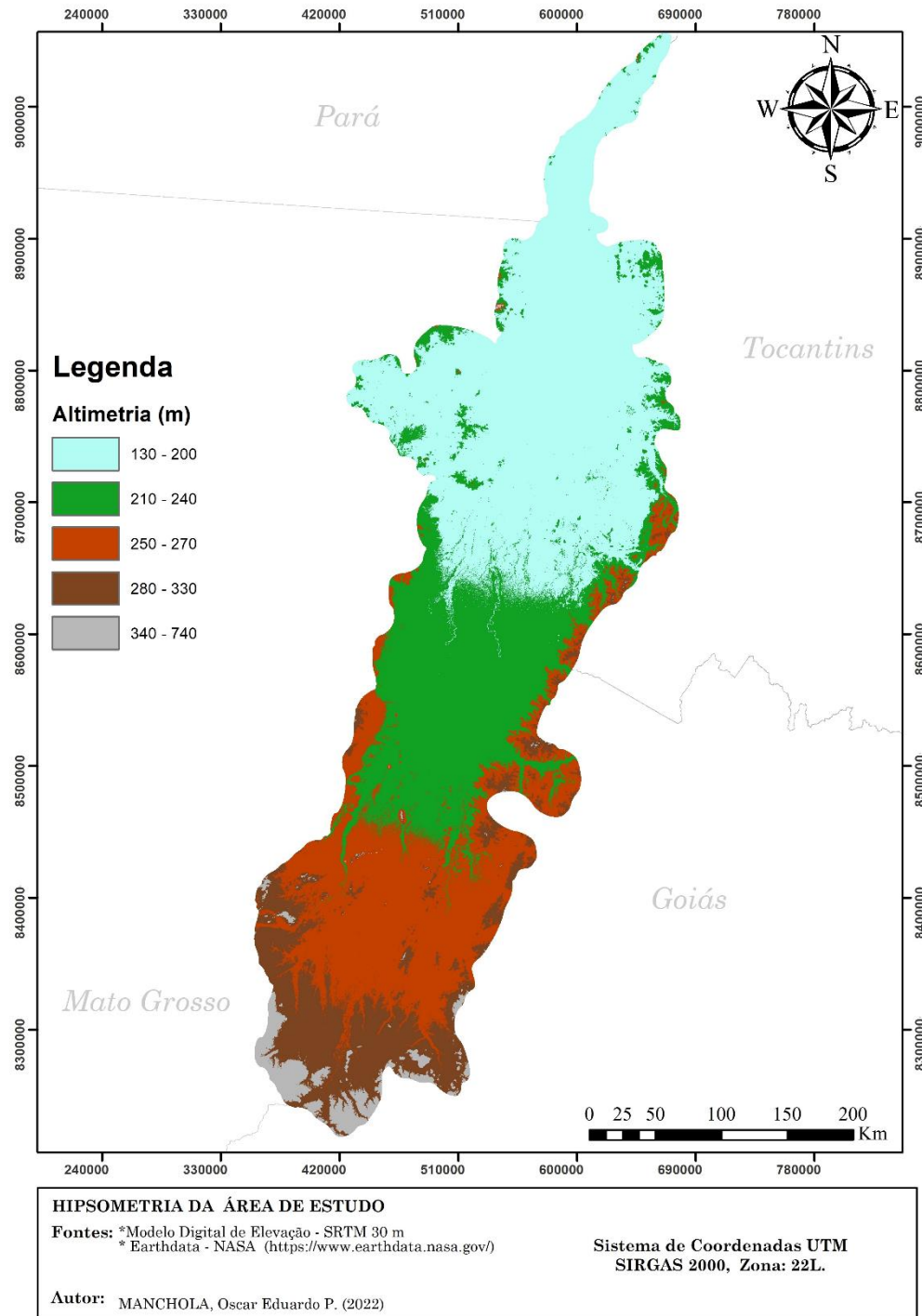
Fonte: autores.

- Geomorfologia

A área de estudo caracteriza-se por formas de relevo, predominantemente, aplanadas com lento ou médio escoamento superficial, e altitudes entre 130 a 330 m (Figura 32); e declividades inferiores a 7% (Figura 33). Neste tipo de relevo as formas de acumulação prevalecem às de dissecação, onde 60% da área corresponde as áreas acumulação e à Planície Fluvial, sujeitas inundações sazonais.

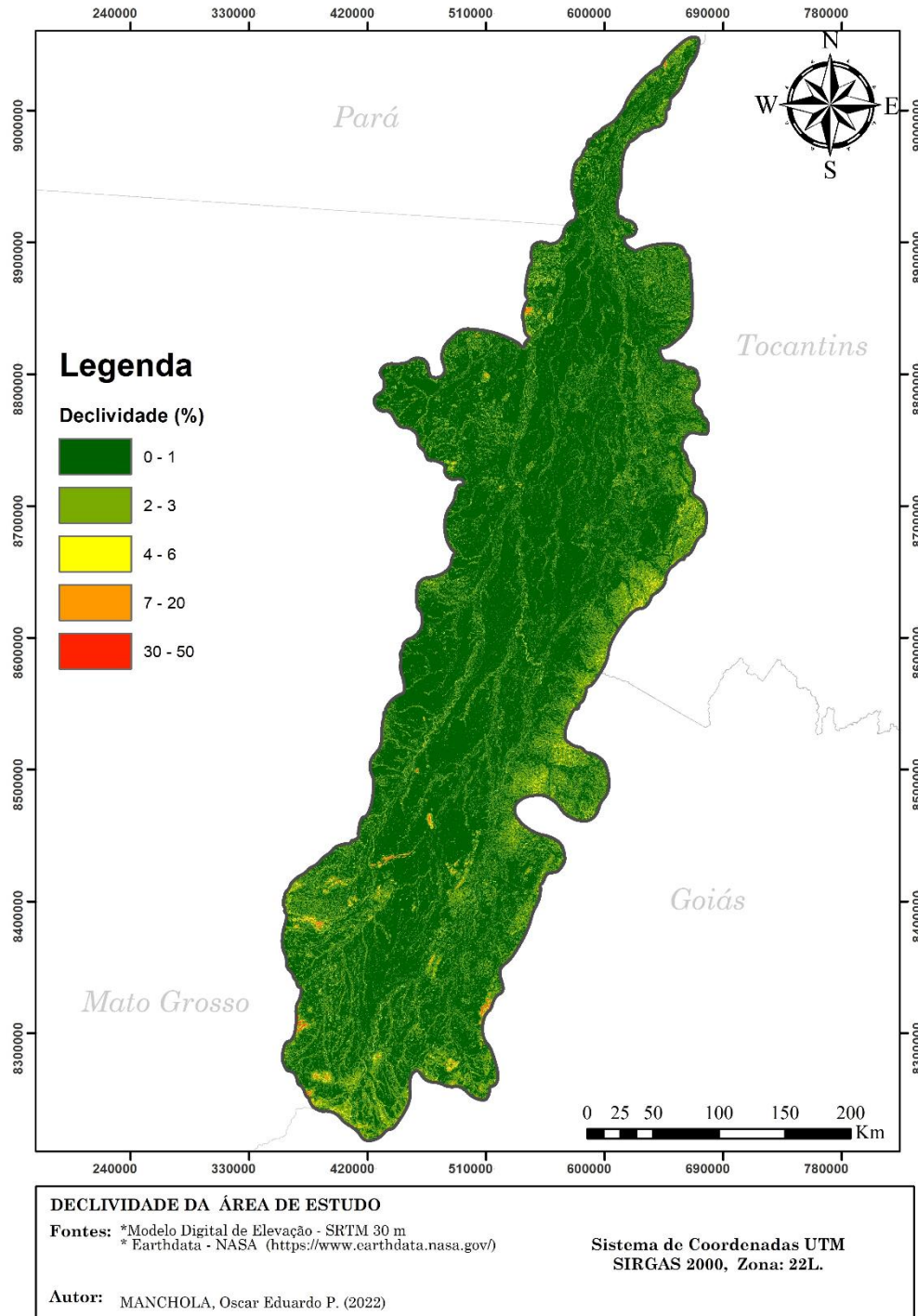
A morfodinâmica de acumulação de sedimentos na Planície Fluvial tem se intensificado nos últimos anos, causando uma rápida modificação destas unidades. O acelerado assoreamento dos canais secundários do rio Araguaia, pelo avanço do desmatamento e consequente incremento dos processos erosivos, vem causando um elevado aporte de carga sedimentar no canal principal, causando a retilinização do rio e aumento do número de ilhas no seu interior. Estes impactos podem comprometer as vazões futuras e prejudicar a estrutura dos habitats aquáticos (BAYER e CARVALHO, 2008; BAYER et al., 2022).

Figura 32 - Hipsometria da área de ocorrência de feições doliniformes.



Fonte: autores.

Figura 33 - Declividade da área de ocorrência de feições doliniformes.



Fonte: autores.

- Pedologia

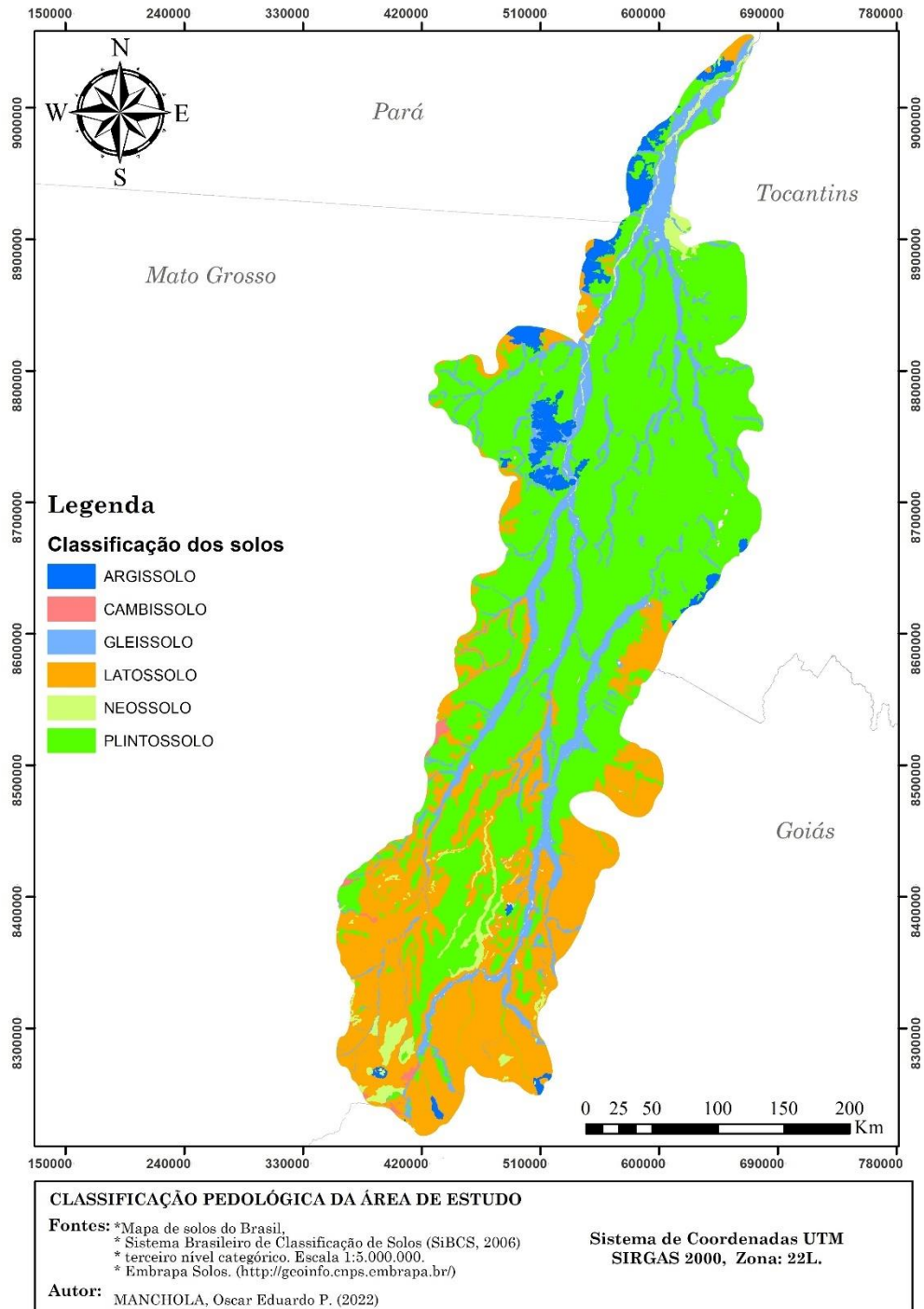
Com base no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2018), a distribuição das classes de solos encontradas na área de estudo (Figura 34) corresponde a: Plintossolos (57,4%), Latossolos (24,3%), Gleissolos (11,4%), Argissolos (2,8%) e Cambissolos (0,35%).

A classe de maior incidência (Plintossolos) caracteriza-se por alta acidez, excesso de umidade, baixa percolação da água e expressivo horizonte plíntico. Estes solos estão relacionados a ambientes quentes e úmidos, com áreas planas e terrenos alagados devido à sua baixa percolação (EMBRAPA, 2018).

Os Latossolos, localizados no sul da área de estudo, em relevos que variam de 280 a 740 m, ocorrem geralmente em regiões equatoriais e subtropicais, com terrenos planos e ondulados, e profundidades superiores a 1 m e bem desenvolvidos. Seu elevado desenvolvimento está associado ao avançado estado de intemperismo dos materiais constitutivos (argila, caulinita, quartzo) e moderada drenagem nos horizontes A, B e C; características que tornam este tipo de solo adequado para a lavoura e criação de gado em pasto plantado (BRASIL, 1988).

Em menor proporção (11,4%), os Gleissolos ocorrem nas planícies fluviais da área de estudo e se caracterizam por horizontes glei de até 50 cm, com sedimentos, geralmente, estratificados e com alto grau de hidromorfismo e elevada saturação. Sua ocorrência está associada a cursos d'água ou surgências de água subterrânea, assim como às áreas com vegetação hidrófila herbácea ou arbustiva (EMBRAPA, 2018).

Figura 34 - Classificação pedológica da área de ocorrência de feições doliniformes.



Fonte: autores.

- Uso e Ocupação do Solo

De acordo com a classificação supervisionada (pixel por pixel) de imagens da coleção Landsat (30 m de resolução) elaborada pelo Mapbiomas para o ano de 2020, foram identificadas 14 classes de uso e ocupação do solo da área de estudo (áreas alagadas, formação florestal, formação savânica, formação campestre, corpos d'água, pastagem, soja, arroz, silvicultura, culturas temporárias, mineração, área urbana, mosaico de usos e áreas não vegetadas) (Figura 35).

As classes de maior predominância na área de estudo estão associadas às coberturas naturais (71,4%). Destas, as fitofisionomias associadas a áreas alagadas representam 32% da região e são caracterizadas por Campos de Murundus (varjão), Florestas inundáveis (*ipucas* ou *impucas*) e Mata de Galeria (BARBOSA et al., 2011).

Os Campos de Murundus, popularmente chamados de varjões, são pequenos montículos de terra com vegetação dispersos ao longo de campos gramíneos na Planície de inundação do Araguaia. Estes funcionam como pequenas ilhas de vegetação nos períodos de inundação sazonal e estão constituídos por espécies do Cerrado como *Erythroxylum suberosum*, *Curatella americana* e *Byrsonima cydoniifolia* tolerantes aos fluxos de alagamento (MARIMON et al., 2012).

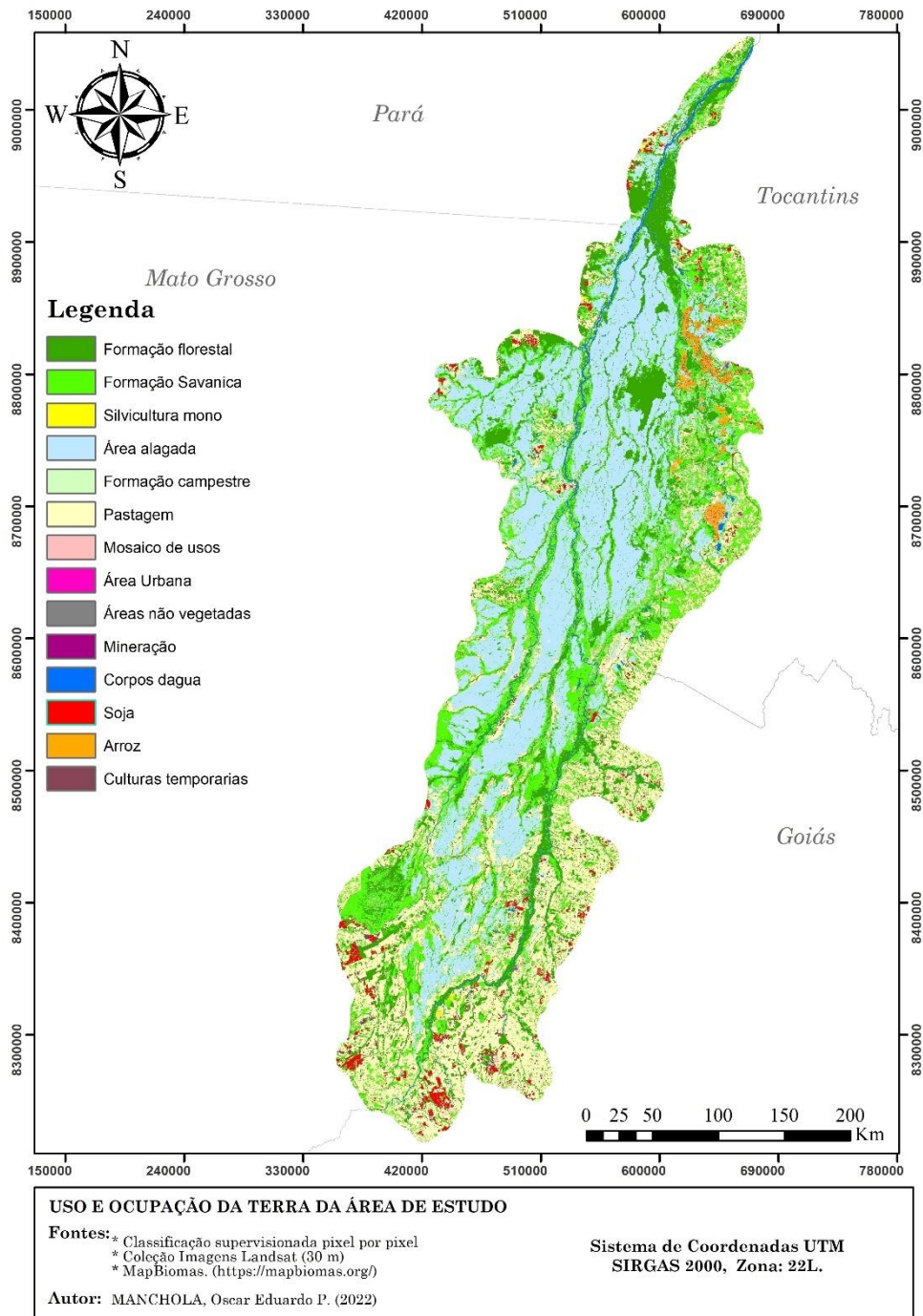
As florestas inundáveis denominadas *ipucas* ou *impucas* são fragmentos de vegetação florestal localizados sobre depressões do terreno periodicamente ou permanentemente inundadas, as quais possuem características florísticas dos biomas Cerrado e Floresta Amazônica (ecótono), onde se destacam as espécies *Calophyllum brasiliense*, *Ochthocosmus multiflorus*, *Licania apetala*, *Mabea paniculata*, *Tachigali froesii* e *Xylopia sp* (BARBOSA et al., 2011).

As Matas de Galeria, diferentemente das *ipucas* ou *impucas*, são caracterizadas por margear os cursos d'água. Segundo Ribeiro e Walter (2008), elas podem ser classificadas em Mata de Galeria inundável e Mata de Galeria não-inundável.

A Mata de Galeria inundável caracteriza-se pela influência direta do lençol freático ao longo do ano sobre a vegetação que a acompanha o curso d'água. Localizam-se em terrenos planos e mal drenados, onde se destacam as espécies das famílias Annonaceae, Burceraceae, Clusiaceae, Euphorbiaceae e Mognoliaceae. Já a Mata de Galeria não-inundável possui baixa influência do lençol freático e se situam em terrenos topograficamente mais acidentados e sobre solos bem drenados, sendo as famílias mais predominantes a Apocynaceae, Leguminosae e Rubiaceae (RIBEIRO E WALTER, 2008).

Por outro lado, as classes de uso e ocupação relacionadas ao uso antrópico correspondem a 28,6% da área de estudo e se concentram com mais intensidade na parte sul e sudeste da região, desta porção, os usos do solo para a pastagem e cultivo de soja representam 24,4 % da área.

Figura 35 - Uso e ocupação do solo da área de ocorrência de feições doliniformes.



Fonte: autores.

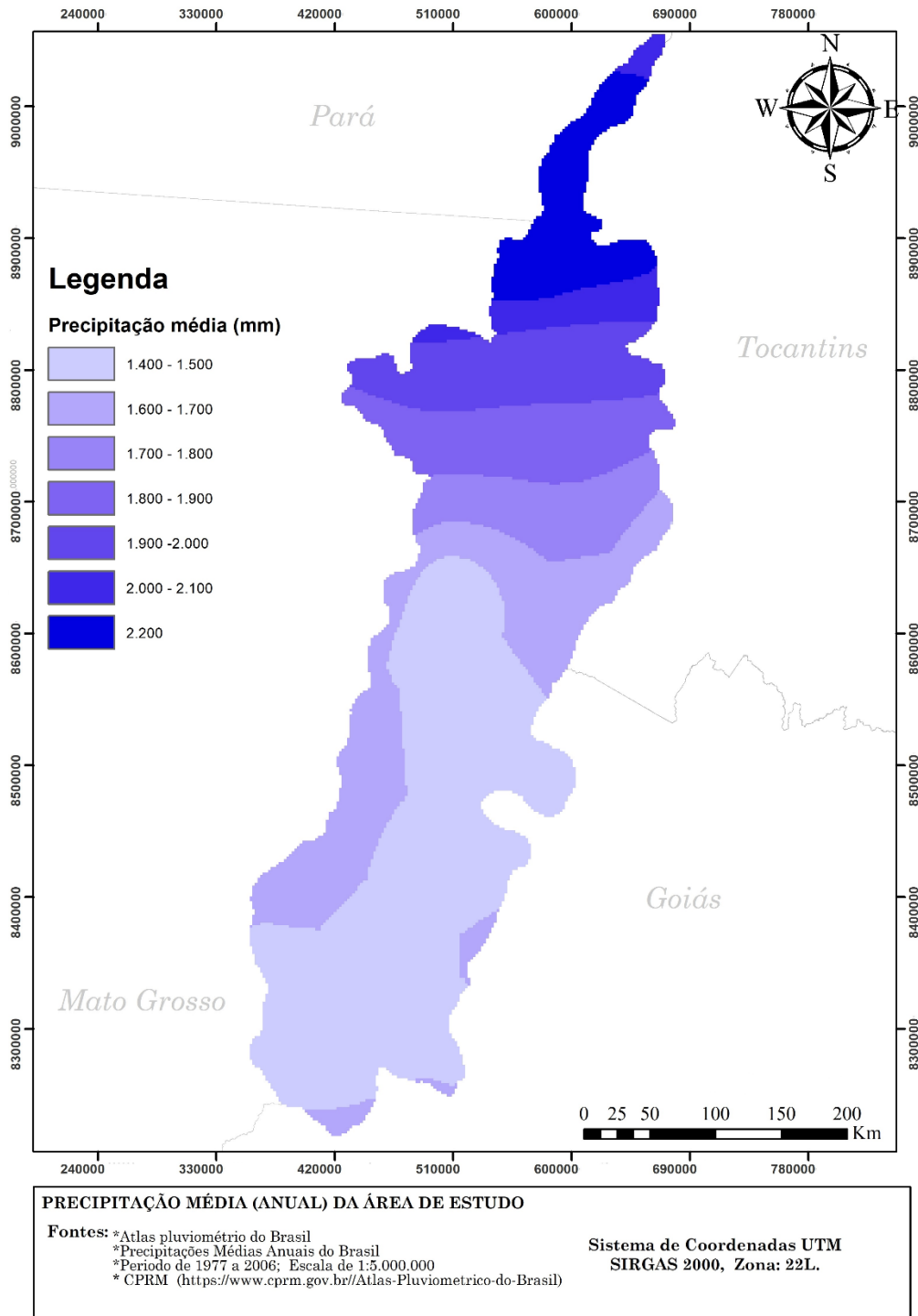
- Clima

A área de estudo, por se localizar na porção central do Brasil, apresenta clima tropical com padrões de umidade do tipo semi-úmido e regiões térmicas com temperaturas médias superiores a 18° C para todos os meses do ano (ROLDÃO e FERREIRA, 2019).

Estas características morfoclimáticas também categorizam a região, com base na classificação Köppen, como tipo Aw relacionado a climas tropicais savânicos, com chuvas no verão e invernos secos. As temperaturas médias anuais estão entre 19 e 20°C (ALVARES et al., 2013).

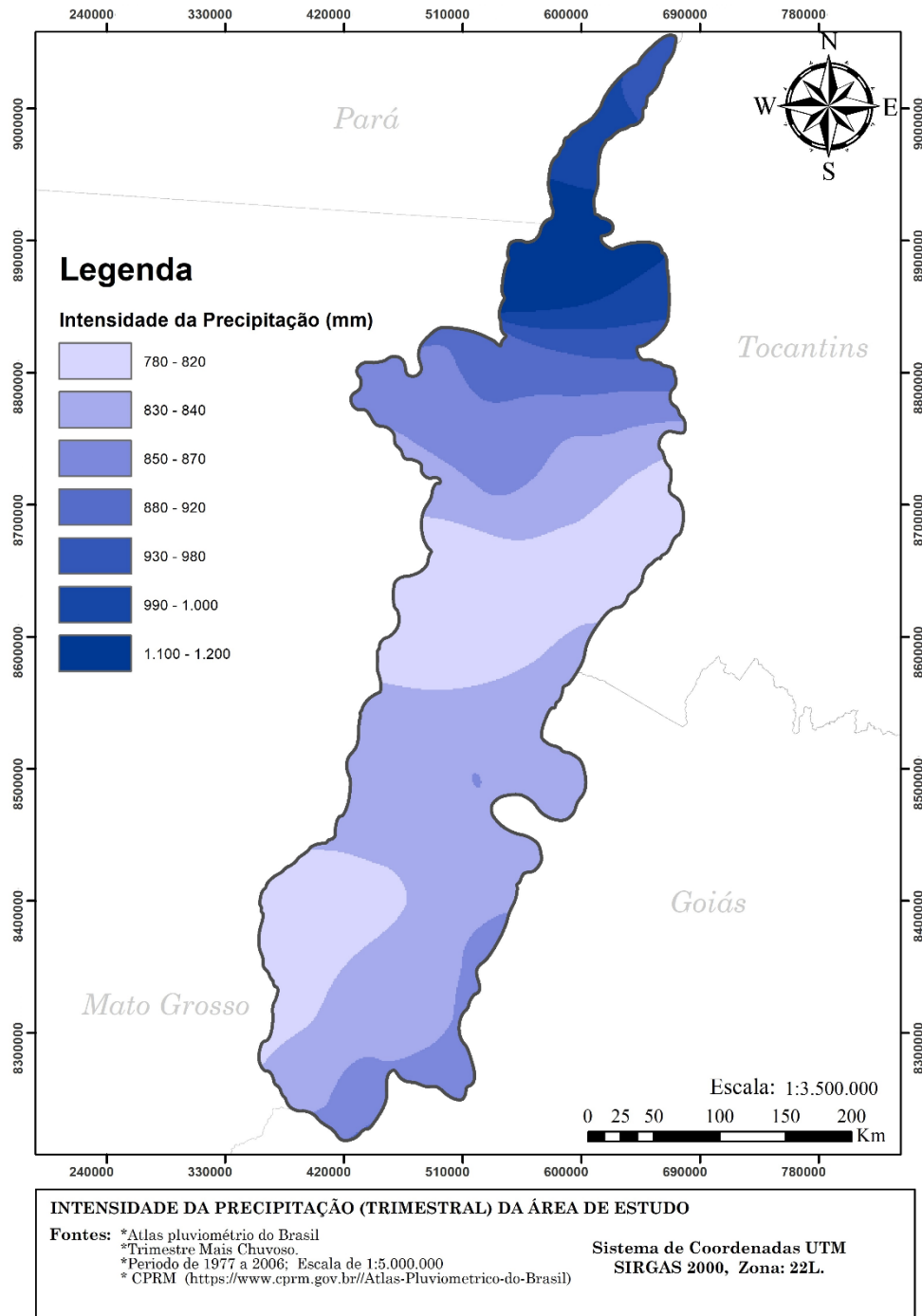
A precipitação média anual para a área de estudo, elaborada com base nas normais climatológicas do Mapa pluviométrico do Brasil do período de 1977 a 2006 (CPRM, 2022), apresentou valores anuais entre 1.800 e 2.200 mm nos municípios de Pium – TO, Santa Terezinha – MT e Santana do Araguaia – PA (Figura 36). Esta região também concentra a maior intensidade de chuva, considerando o trimestre mais chuvoso da região (dezembro, janeiro e fevereiro), com valores entre 850 a 1.100 mm (Figura 37).

Figura 36 - Distribuição de precipitação média/anual na área de ocorrência de feições doliniformes no período de 1977 – 2006.



Fonte: autores.

Figura 37 - Distribuição da Intensidade da precipitação do trimestre mais chuvoso na área de ocorrência de feições doliniformes no período de 1977 – 2006.



Fonte: autores.

6.5.2. Função Ambiental

As feições doliniformes localizadas na Planície do Araguaia na forma de depressões cobertas ou não por vegetação têm sua distribuição associada aos limites superficiais da planície de inundação, localizada na região de transição entre o bioma Cerrado e Floresta Amazônica (Figura 28).

Está característica geográfica e ecológica ressalta a necessidade de identificar as funções ambientais com o objetivo de integrar o seu diagnóstico na análise geoambiental da área de estudo, compreendendo assim desde o ponto de vista interdisciplinar e sistêmico, as potencialidades e suscetibilidades ambientais da região. Desta forma, serão abordadas, em seguida, as principais funcionalidades geomorfológicas, hidrológicas, ecológicas e sociais destas feições.

- Função Geomorfológica

Devido à sua forma predominantemente circular e à ocorrência, em algumas localidades, de camada carbonática subjacente à cobertura sedimentar do Araguaia, estas depressões podem estar fortemente relacionadas com estruturas cársticas do tipo dolinas.

As dolinas, principais representantes do relevo exocárstico, são depressões naturais do terreno formadas pela dissolução de rochas (carbonáticas ou não carbonáticas) que, em função da velocidade e intensidade dos processos de dissolução, podem apresentar diversos tamanhos, desde poucos metros de diâmetro até alguns quilômetros, com profundidades que variam desde algumas unidades até centenas de metros (GUNN, 2004).

A forma e estrutura dessas feições estão relacionadas com a sua dinâmica morfogenética (erosão interna e deformação), podendo, de maneira geral, estar associada a dois principais processos: aumento da dimensão de canais subterrâneos (fissuras ou falhas) por dissolução e consequente transporte de material para interior de condutos (subsidência); e colapso ou abatimento de cavidades sobre uma rocha sobreposta na superfície (WALTHAM e FOOKES, 2003).

As feições doliniformes identificadas na área de estudo podem estar relacionadas com processos morfogenéticos de subsidência de carste encoberto. Pois, com base na análise morfométrica realizada na área de estudo, foi observado que a maior parte das feições doliniformes apresenta formas circulares, com diâmetros que variam desde 35 a 3.900 m.

Esta característica circular ou cônica pode estar relacionada à dissolução de rochas subjacentes a camadas sedimentares pela infiltração das águas pluviais através de fissuras ou descontinuidades que progressivamente diluem a rocha e promovem o aumento de drenagem centrípeta, causando o movimento descendente dos sedimentos da superfície para o interior (WALTHAM, BELL e CULSHAW, 2005).

Processos de subsidência também podem ocorrer pela dissolução vertical causada pela oscilação do nível freático sobre uma rocha solúvel subjacente quando significativas variações do nível da água dissolvem as descontinuidades da rocha de baixo para cima, resultando na reorientação dos fluxos descendentes pelo alargamento dos condutos e concentração dos depósitos sedimentares sobrepostos, formando um cone acentuado na superfície na direção do gradiente hidráulico (GUTIERREZ, GUERRERO e LUCHA, 2008).

Com base no descrito anteriormente, considera-se que as feições doliniformes da área de estudo podem apresentar uma função estrutural no desenvolvimento de sistemas cársticos na região, podendo revelar a possível existência de um suscetível sistema de drenagem subterrâneo.

- Função Hidrológica

Algumas das feições doliniformes identificadas na área de estudo apresentam-se como sistemas lacustres com até 3 km de extensão, como a Lagoa da Confusão no estado do Tocantins e a Lagoa dos Magalhães no estado de Mato grosso.

Outras feições, de menor proporção, apresentam vegetação em torno de reservatórios de água sazonais e permanentes, caracterizadas como formações florestais inundáveis, denominadas localmente como *ipucas* ou *impucas* (MARTINS et al., 2006).

A presença de água no interior das depressões, sazonal e permanentemente, revela uma alta influência do lençol freático sobre as mesmas. Além disto, estudos hidrogeoquímicos de águas subterrâneas nas proximidades da Lagoa da Confusão (município de maior incidência de feições), realizados por Oliveira e Morais (2013), indicaram alta concentração de cálcio (210,82 mg/l), bicarbonato (180,86 m/l) e magnésio (59,29 mg/l), evidenciando possível influência de fenômenos cársticos na região.

Ao considerar as feições doliniformes da área de estudo como formações cársticas do tipo dolinas, estas funcionariam como parte integrante de um dinâmico sistema hidrogeológico entre águas superficiais e subterrâneas, conectando hidraulicamente um sistema de condutos subterrâneos (cavernas, grutas e canais) com o subsolo e superfície, facilitando a recarga de

aquíferos adjacentes e contribuindo com drenagem de córregos, lagos e reservatórios artificiais (STEVANOVIC, 2015).

- Função Ecológica

As depressões doliniformes da área de estudo contendo vegetação, situam-se no ecótono entre a Floresta Amazônica e Cerrado, e representam importantes sistemas ecológicos nos quais os microrganismos, plantas e animais se adaptam às transições sazonais do habitat (aquático e terrestre).

Entre as espécies identificadas nas feições doliniformes se destacam: os peixes associados a sistemas lacustres cársticos na região de Lagoa da Confusão – TO (DE PAULA et al., 2014); as aves endêmicas da região, sendo algumas classificadas como sob ameaça de extinção como o *Celeus torquatus*, denominado popularmente como pica-pau amazônico (PINHEIRO e DORNAS, 2009); espécies arbóreas do Cerrado e da Floresta amazônica adaptadas aos fluxos de inundação (BARBOSA et al., 2011); pequenos mamíferos endêmicos como *Rhipidomys emiliae* e *Rhipidomys ipukensis* (ROCHA et al., 2011); e novas espécies de microrganismos endofíticos (MORAIS et al., 2004).

A tolerância dos indivíduos às condições de inundação e seca permitem a manutenção destes habitats que servem não somente como refúgio e fonte de alimentação, mas também como importantes espaços de transição geograficamente limitados entre os ecossistemas amazônico e do cerrado. Estes espaços, atuando como pontos de deslocamento, caracterizam formações essenciais para a adequada distribuição e estrutura das populações (RICKLEFS, 2018).

O papel ecológico destas feições também se destaca por meio da Teoria da Biogeografia de ilhas proposta por MacArthur e Wilson (1967), na qual as feições doliniformes com formações florestares aluviais poderiam funcionar como ilhas de vegetação entre os extensos campos gramíneos (varjões); nestas, o tamanho e grau de isolamento da feição influenciariam na riqueza de espécies, sendo que quanto maior e mais adequado o habitat, melhores serão as condições de produtividade das populações, assim como, quanto mais próximos forem os fragmentos, menores serão as limitações de dispersão. Este processo garante a manutenção das espécies endêmicas da região, proporcionando a continuidade dos serviços ecossistêmicos.

- Função Social

A influência cultural comunidades tradicionais da Planície do Araguaia, em especial da comunidade Avá-canoeiro, na nomeação de feições doliniformes com fragmentos de floresta inundável é reconhecida por meio dos topônimos *ipuca* e *impuca* em estudos de inventários florísticos e de caracterização ambiental nos estados de Mato Grosso (MARIMON et al., 2012) e Tocantins (MARTINS et al., 2002).

Os topônimos *ipuca* e *impuca* provém da etimologia indígena Tupi, cujo significado está associado à ação erosiva d'água (TIBIRIÇA, 1984), assim como a: “água aberta” ou “água que arrebenta” (SAMPAIO, 1987).

Estas definições ressaltam a importância dos saberes tradicionais indígenas se comparados aos conhecimentos científicos. Ao partir do pressuposto que as formações doliniformes identificadas da área de estudo são feições cársticas do tipo dolinas, as definições do Tupi de “água que arrebenta” associadas a ação erosiva da água, ganhariam maior proporção, pois coincidiriam perfeitamente com os princípios de formação de dolinas por meio processos de dissolução de rochas e transporte de sedimentos pela ação da água.

Evidencia-se a relevância da função do saber tradicional, demonstrando que quando este saber é registrado no ato de nomear, observando as especificidades e singularidades na identificação do lugar, materializando as impressões do espaço percebido e ressaltando a sua relação do cotidiano no contexto social (ANDRADE, 2017).

A nomeação do lugar por meio das experiências dos indivíduos, além de descrever um espaço geográfico também ressaltam o sentimento de identidade, o lugar se torna símbolo de pertencimento e valorização que estreita os laços afetivos entre os seres humanos e o meio ambiente (MELLO, 2011).

Os laços afetivos e de pertencimento dos povos indígenas de língua tupi são evidenciados em relatos de indígenas descrevendo a importância das feições doliniformes com formações florestais inundáveis denominadas *ipucas* ou *impucas*.

Neste sentido, Egger et al. (2020) afirma que indígenas destas etnias, das proximidades do Rio Araguaia, ressaltam a importância das *ipucas* como meio de subsistência, de onde extraem peixes para sua alimentação. Entretanto, nos últimos anos estas etnias vêm sendo prejudicadas pelas secas prolongadas ou pelos barramentos que desviam as vazões para os projetos de irrigação das proximidades da ilha do Bananal.

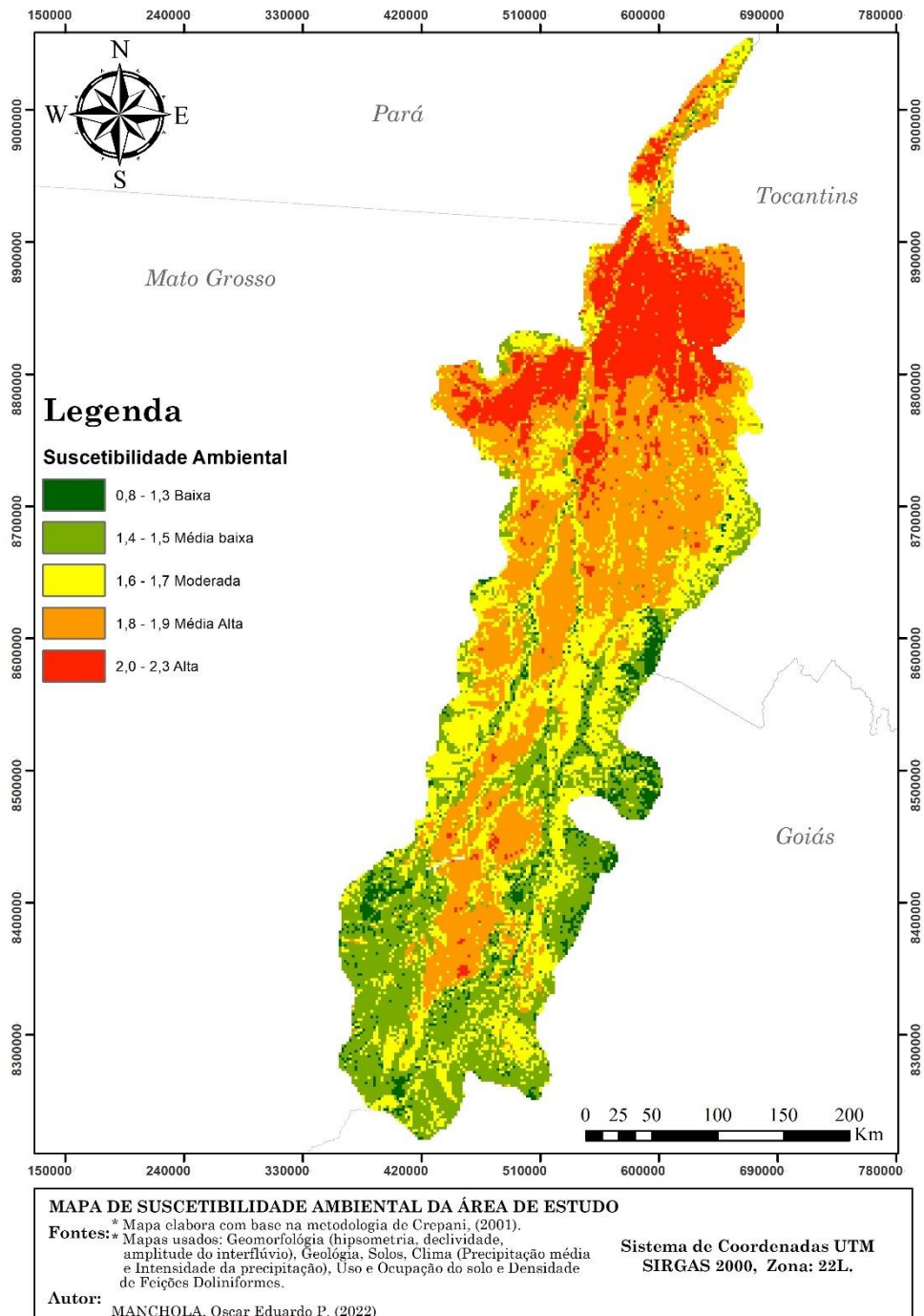
Em relatos sobre os usos das madeiras do povo Iny transcritos do indígena Karajá, Jose Hani (2015) também ressaltam a importância das feições doliniformes como meio de obtenção de madeira adequada para a sustentação de casas da aldeia. Na descrição o autor afirma que essa madeira é coletada de algumas espécies de árvores que, pelo tempo de desenvolvimento, caem naturalmente e são reaproveitadas, tanto para fins construtivos quanto para fins fitoterápicos “como remédio para aliviar dor”.

No sudoeste da área de estudo, especificamente no território do Povo Xavante, Welch et al. (2013) descrevem a importância destas feições na subsistência dos Xerente, sendo usada como lugar de caça, pesca e coleta de frutos, especialmente no período de estiagem, pois devido à presença de água e suas características florísticas, estas formações atraem vários tipos de aves e mamíferos de médio a grande porte como antas, porcos do mato e veados.

6.5.3. Suscetibilidade ambiental

Com base nos pressupostos do modelo de Crepani (2001) foi elaborado o mapa de suscetibilidade ambiental por meio da ponderação dos mapas elaborados da análise geoambiental e distribuição das feições doliniformes na área de estudo (Quadro 5). Os valores associados a cada unidade territorial, considerando a intensidade empírica dos processos morfogênicos, foram atribuídos aos pixels das unidades territoriais correspondentes e posteriormente calculadas no modelo, por meio da ferramenta *Raster Calculator* (Figura 38).

Figura 38 - Classificação da suscetibilidade ambiental da área de ocorrência de feições doliniformes.



Fonte: autores.

Observou-se que os maiores valores de suscetibilidade, categorizada como alta, contemplam aos municípios de Lagoa da Confusão – TO, Pium – TO, Luciara – MT e Santa Terezinha – MT.

A alta suscetibilidade ambiental desta região está relacionada, principalmente, pela elevada carga hídrica no sistema e o baixo poder de retenção da cobertura da vegetação composta por extensos campos gramíneos. As precipitações médias entre 1.800 e 2.000 mm/ano e a alta intensidade de chuvas trimestrais entre 805 mm e 1.100 mm sobre solos com altamente saturados (Plintossolos) e coberturas sedimentares constituídas por sedimentos inconsolidados (areias finas e crostas lateríticas), constituem um ambiente propício para o aumento do escoamento superficial e consequente remoção mecânica dos materiais inconsolidados.

Este cenário, associado a alta concentração de feições doliniformes nas proximidades de afloramentos calcários sob forma de mogotes, grutas e cavernas da Formação Couto Magalhaes (Grupo Tocantins) podem revelar um suscetível sistema cárstico na região (PONTALTI e MORAIS, 2010; PEREIRA e MORAIS, 2012).

A possível influência cárstica da região poderia indicar que as feições doliniformes da área de estudo seriam estruturas exocársticas do tipo dolinas, interligando as águas superficiais com o aquífero subterrâneo do Araguaia-Bananal, sendo necessário por tanto, a reformulação de políticas públicas de uso e ocupação do solo e captação de água, orientadas no sentido de proteger os mananciais subterrâneos e amenizar o aumento dos dissolução que podem ocorrer pela retirada da cobertura da vegetação, extração irregular de recursos hídricos e emissão de poluentes.

Isto se justifica devido os crescentes impactos ambientais associados ao desmatamento, na área identificada como alta suscetibilidade, evidenciados desde o ano 1970, oriundos principalmente pelo Programa de Desenvolvimento do Cerrado e pelos Planos Nacionais de Desenvolvimento (FARIA e CASTRO, 2007; BISPO e OLIVEIRA, 2016). Estes programas, nos últimos 20 anos, vêm estimulando o avanço das monoculturas e pecuária intensiva e gerando uma média de desmatamento equivalente 1.400 hectares/ano na região (DEMAMBRO, PIETRAFESA e ROJAS, 2021).

Os impactos do desmatamento têm se constatado com o aumento dos processos erosivos e transporte de sedimentos na Planície. A alta carga sedimentar identificada nos leitos dos rios da bacia do Araguaia no período de 1960 a 2018 tem demonstrado rápidas modificações morfológicas no sistema fluvial, devido principalmente, ao aumento dos processos de acreção vertical, com o incremento 75% do número de ilhas e canais abandonados. Este processo vem ocasionando

assoreamento dos tributários e perda parcial das características de entrelaçamento do canal principal, comprometendo além das funcionalidades hidro-geomorfológicas, as relações ecológicas das espécies aquáticas, qualidade da água e o regime das vazões futuras (LATRUBESSE et al., 2009; BAYER et al., 2022; SUIZU et al., 2022).

O avanço da agropecuária nesta região também tem provocado um aumento no número de queimadas nas proximidades de Unidades de Conservação e terras indígenas (WELCH et al., 2013; ASSIS et al., 2018). O uso do fogo como forma de limpeza pastos, intensificado no período de estiagem entre os meses de maio e outubro, ocasiona vastos incêndios florestais que afetam diretamente a composição de espécies das depressões doliniformes com fragmentos florestais denominadas *ipucas* ou *impucas* (NEVES et al., 2018).

Estes incêndios recorrentes no interior das *ipucas* ou *impucas* têm aumentado a extinção local de espécies, provocando a homogeneização taxonômica do fragmento florestal e comprometendo os processos ecossistêmicos do seu entorno (SILVA et al., 2018).

Alterações na estrutura das depressões com fragmentos florestais afetam o seu funcionamento como corredores ecológicos; onde além de aumentar a mortalidade de espécies, reduzem a qualidade do habitat e favorecem a fragmentação da paisagem pelo incremento do efeito de borda entre os biomas da Floresta Amazônica e do Cerrado (MARTINS et al., 2002; NASCIMENTO e LAURANCE, 2006).

A vulnerabilidade ambiental desta região também é evidenciada analisando a capacidade hídrica das bacias Formoso e Javés, inclusas na área classificada como altamente suscetível devido a seu elevado déficit hídrico e insustentáveis atividades econômicas da região (MORAIS et al., 2017; SANTOS e CHEREM, 2021). Neste sentido, Magalhães Filho et al. (2015) ressaltaram a baixa capacidade de suporte da bacia do rio Formoso, devido à alta captação de água ocorrida no período de 2008 a 2012, onde foram captados aproximadamente 4,9 milhões de m³/dia para os projetos de irrigação, em especial no de plantio de arroz por inundação.

O alto volume captado na bacia do rio Formoso sobrecarregando a capacidade de suporte da bacia, até o ponto de interromper as suas vazões, também é evidenciado pelos estudos recentes de Volken et al. (2022), nos quais é constatada a instalação de 98 bombas hidráulicas com capacidade de captação de 1.620l/s operando ao mesmo tempo nos rios Urubu, Dueré, Xavante e Formoso, sendo necessário, segundo os autores, reduções na captação de água de até 45% para manter a vazão mínima dos rios ao longo do ano.

As intensas alterações antrópicas no sistema hidrogeológico e alta vulnerabilidade de contaminação de água subterrâneas identificada a jusante da bacia do rio Formoso, com profundidades do nível freático entre 1,6 a 9,3 m (SILVA e MORAIS, 2021); e a presença de altas concentrações de metais pesados (Cr e Ba) nos sedimentos da bacia, acima do permitido pelo CONAMA 454/05 (GUARDA et al., 2021) estão comprometendo a qualidade das águas subterrâneas e colocando em risco a saúde da população da região.

Os impactos ambientais, sociais e econômicos destas atividades podem ser ainda mais graves considerando os possíveis indícios do sistema cárstico associados aos afloramentos carbonáticos da Formação Couto Magalhães (grutas, cavernas e condutos) e pela alta quantidade de feições doliniformes relacionadas com dolinas que facilitariam a entrada de contaminantes nos aquíferos subterrâneos.

As drásticas mudanças no regime hidrogeológico das bacias e intensos impactos antropogênicos (desmatamento, queimadas, contaminação por metais pesados e expansão de loteamentos) na região podem acelerar os processos de subsidência e dissolução de rochas, induzindo a formação de novas dolinas e comprometendo a estabilidade hidrodinâmica dos sistemas cársticos.

Com base na classificação dos impactos que interferem na estabilidade do sistema cárstico elaborada por Gutierrez et al. (2014), as seguintes alterações ambientais identificadas na área classificada como de alta suscetibilidade podem acelerar o desenvolvimento de dolinas e potencializar os riscos de contaminação das águas subterrâneas:

- Aumento da entrada de água: causado pelas alterações no regime das chuvas, incremento das áreas irrigadas e remoção da cobertura da vegetação;
- Oscilação do lençol freático: ocasionada pelas alterações no clima e captação desacerbada de água subterrânea;
- Inundações sazonais: causa um alto gradiente hidráulico que gera alterações na drenagem interna, favorecendo os processos de erosão e dissolução;
- Alterações na cobertura e uso do solo: reduz a capacidade mecânica das rochas subjacentes quando submetidas a elevadas cargas na superfície, provocando aumento de fissuras e discontinuidades; aumento dos fluxos de escoamento superficial e carregamento de sedimentos (remoção mecânica); incremento da infiltração e consequente entrada de soluções ácidas inorgânicas que aceleram os processos de dissolução.

6.6. Considerações finais

Por meio da análise geossistêmica foi possível compreender a interação dos componentes ambientais e sua relação com as atividades antrópicas. Os resultados desta análise, sob a ótica interdisciplinar, permitiram identificar as áreas de maior suscetibilidade ambiental na Planície do Araguaia, ressaltando as áreas de maior fragilidade assim como, a funcionalidade ambiental das feições doliniformes que caracterizam a paisagem da região.

A descrição da função ambiental das feições doliniformes ressaltou a importância do papel estrutural nos processos morfogenéticos de formação do relevo na planície e sua possível gênese associada a depressões exocársticas do tipo dolinas, formadas pela dissolução da camada carbonática subjacente da Formação Couto Magalhães e consequente subsidência dos sedimentos finos e inconsolidados da Cobertura Sedimentar do Bananal.

Este pressuposto ressaltaria o papel destas feições cársticas na dinâmica hidrogeológica, conectando as águas superficiais e subterrâneas e contribuindo com manutenção de rios, córregos e lagos assim como, com a recarga Aquífero granular Araguaia-Bananal que se localiza ao longo toda a área de ocorrência das feições doliniformes.

Desde o ponto de vista ecológico, foi observado que as feições doliniformes com formações florestais denominadas como *ipucas* ou *impucas* funcionariam como um sensível habitat capaz de fornecer alimento, água e refúgio para uma alta variedade de espécies endêmicas e ameaçadas de extinção dos biomas Cerrado e Amazônico. Cabe ressaltar que este habitat, além de fornecer abrigo para os indivíduos, também cumpriria um papel importantíssimo na dinâmica ecológica regional, servindo como lugar de dispersão de espécies, no qual a proximidade e tamanho das feições pode influenciar a riqueza de espécies.

Destacou-se também a importância socioambiental das feições doliniformes com fragmentos florestais denominados *ipucas* ou *impucas* na cultura e ancestralidade dos povos tradicionais indígenas do Araguaia. Os laços afetivos e de pertencimento dos Karajás, Javaés e Xavantes com *ipucas* ou *impucas* são evidenciadas no ato da nomeação, cujo significado etimológico de língua tupi representa “água que arrebenta” ressaltando o a ação da água como agente erosivo. Este saber tradicional possui uma estreita relação quando comparado ao conhecimento científico associados à formação de dolinas por meio processos de dissolução de rochas e transporte de sedimentos pela ação da água.

A relevância das feições doliniformes inclusa no contexto geoambiental, por meio da análise geossistêmica, permitiu identificar as áreas de maior suscetibilidade ambiental da Planície

do Araguaia. A área classificada como de alta suscetibilidade ambiental representa um local onde os processos morfogenéticos atuam com maior intensidade, englobando porções dos estados de Mato Grosso e Tocantins.

Os intensos impactos ambientais identificados aumentam a suscetibilidade da área, que pode ser gravemente afetada se considerada a ocorrência de um sistema cárstico na região. As feições doliniformes identificadas, associadas a feições cársticas do tipo dolinas, estariam facilitando a disseminação de poluentes no aquífero Araguaia-Bananal.

Este cenário, associado à intensa taxa de desmatamento e elevada captação de água para irrigação, poderiam acelerar os processos escoamento superficial, dissolução e transporte de sedimentos, causando rápidas modificações no relevo, além de alterações no sistema hidrogeológico e perda da biodiversidade.

7. CONCLUSÕES

Com os resultados deste estudo foi possível identificar a relação existente, no contexto geoambiental, entre terminologias acadêmicas internacionalmente aceitas como dolinas ou *sinkhole* com as etimologias indígenas Tupi *ipuca* e *impuca* associadas a depressões inundadas cobertas por vegetação da Planície do Araguaia.

Os significados destas etimologias, originados pela percepção ambiental das culturas ancestrais, representam os possíveis traços da gênese das depressões inundadas da Planície do Araguaia conhecidas regionalmente como *ipuca*, *impuca*, pois enfatizam a ideia da água como um forte elemento modelador do terreno.

Pode-se verificar as aplicações das terminologias *ipuca* e *impuca* em trabalhos acadêmicos realizados na Planície do Araguaia. Constatou-se que a etimologia *ipuca* passou por um processo de alteração fonética regionalizado para *impuca*. Nesse processo, verificou-se uma alta frequência no uso da tipologia *ipuca* em trabalhos interdisciplinares realizados na margem direita do Rio Araguaia, estado do Tocantins para representar depressões doliniformes cobertas com vegetação, porém com expansão semântica relacionada também ao conjunto de elementos arbóreos-arbustivos não circulares dentro de paleocanais inativos (alongados). Já a tipologia *impuca* é frequentemente usada em trabalhos disciplinares para designar fitotopônimos relacionados a fragmentos florestais circulares, sob a forma de machas, localizados na margem esquerda do Rio Araguaia, no estado de Mato Grosso.

Com base nestes resultados foi realizado o mapeamento e caracterização morfométrica das depressões doliniformes com e sem vegetação da Planície do Araguaia, onde por meio da interpretação supervisionada de imagens do satélite Sentinel-2A foi possível identificar 24.023 feições doliniformes em uma área de ocorrência de 114.900 km².

A composição colorida das bandas com resolução 10 metros - B4 (visível), B8 (Infravermelho próximo) e B11 (Infravermelho de onda curta) - permitiu a identificação de depressões do terreno maiores a 500m² com os espectros de onda curta, assim como, a condição da vegetação associada a altos percentuais de umidade interpretada pelo índice NDVI com os espectros das bandas do infravermelho próximo e do visível.

Observou-se que a maior parte das formas doliniformes concentram-se no interior da unidade geomorfológica com destaque no adensamento de feições num raio de 10 km (estimativa

de densidade Kernel) nos municípios de Cocalinho – MT, Luciara – MT, Ribeirão Cascalheira – MT, Lagoa da Confusão – TO e Pium – TO.

Com relação aos dados morfométricos, verificou-se que 90% das depressões ocorrem em declividades inferiores a 3%, sendo a média das suas áreas correspondente a 50.000 m² (5,01 hectares) de formas predominante circulares ou ovaladas e no sentido noroeste (NE).

A tendência das direções das feições no sentido NE pode estar associada à convergência dos fluxos superficiais para o canal principal (EO) ou por controles estruturais na direção NE, relacionados com a posição do Grupo Tocantins.

Desta forma, pode-se inferir que existe um controle estrutural predominante na unidade geomorfológica que condiciona o surgimento das depressões doliniformes, as quais podem estar relacionadas à dissolução da camada de calcário subjacente do Grupo Tocantins.

Sendo assim, as depressões cobertas por vegetação da Planície do Araguaia denominadas *ipucas* ou *impucas* podem ser indícios de possíveis estruturas cársticas do tipo dolinas de subsidência, pois sua formação pode estar associada à lenta dissolução de carbonatos sobre sedimentos inconsolidados, na qual a vegetação superficial favorecerá os processos de carstificação por meio retenção de CO₂ e acidificação da água percolada na zona epigenética.

Em virtude da possível ocorrência de um sistema cárstico na região e dos intensos impactos ambientais presentes na região, foi elaborado o mapa de suscetibilidade ambiental, sob a ótica interdisciplinar, englobando a função ambiental das feições doliniformes e sua relação com os atuais componentes antrópicos e naturais da paisagem.

A função ambiental das feições doliniformes apresentou a relação com os aspectos geomorfológicos, hidrológicos, ecológicos e sociais. Como formas do relevo as feições doliniformes representam as principais estruturas da paisagem da Planície do Araguaia e sua possível gênese pode estar associada a depressões exocársticas do tipo dolinas de subsidência formadas pela dissolução de carbonatos provenientes da Formação Couto Magalhães subjacentes aos sedimentos inconsolidados da Cobertura Sedimentar do Bananal.

Do ponto de vista hidrológico ressaltou-se o papel das feições no ciclo da água como elementos de conexão entre as águas superficiais e subterrâneas, com destaque à possível influência da oscilação do lençol freático do Aquífero granular do Araguaia-Bananal na formação destas depressões ao se localizar, exatamente, dentro dos limites da área de ocorrência das feições doliniformes.

Nos aspectos ecológicos identificou-se que as depressões doliniformes com vegetação funcionam como habitats de espécies endêmicas e ameaçadas de extinção da zona de transição (ecótono) entre os biomas amazônico e cerrado. Estas formações, além de servirem como refúgio e lugar de alimento, cumprem um papel muito importante na dinâmica populacional ao auxiliar na dispersão de espécies entre os biomas.

A importância socioambiental destas feições também foi constatada por relatos dos povos tradicionais indígenas do Araguaia, nos quais a partir da nomeação de *ipuca* e *impuca* são constatados os laços afetivos e de pertencimento formados através do uso da vegetação destas feições para fins medicinais e extração de elementos naturais para subsistência.

Entretanto, os constantes impactos ambientais provenientes do atual modelo de produção agropecuária e alta suscetibilidade ambiental identificada pela análise geoambiental apresentam que existe alto risco de comprometimento das funções ambientais destas feições, em especial, nas depressões doliniformes localizadas nos municípios de Lagoa da Confusão – TO, Pium – TO, Luciara – MT e Santa Terezinha – MT, onde os processos morfogenéticos de denudação atuam em maior proporção e estão sendo acelerados pelo desmatamento e fragmentação da paisagem.

Para amenizar os efeitos nocivos do atual cenário são necessárias medidas urgentes que amenizem os impactos já causados no sistema hidrológico e na dinâmica ecológica, pois estes podem comprometer as atividades econômicas em médio e curto prazo.

Assim, sugere-se a adoção das seguintes medidas

- Reformulação das políticas de desenvolvimento econômico da região considerando a real capacidade de extração dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos; e a alta vulnerabilidade de contaminação dos aquíferos, assim como a possível influencia cárstica da região.
- Reavaliação dos critérios de delimitação das áreas de preservação ao redor das feições doliniformes com formações florestais, considerando a possível conexão das águas superficiais e subterrâneas e o papel ecológico dos fragmentos com vegetação como locais de dispersão de espécies e redução do efeito de borda no ecótono dos biomas Amazônico e Cerrado.
- Modelagem do nicho ecológico das feições doliniformes com formações florestais e previsão da distribuição de espécies endêmicas e ameaçadas de extinção que nestas ocorrem.

- Execução de estudos de estratificação detalhados, superiores a 50 m, que caracterizem o substrato litológico subjacente à cobertura sedimentar do bananal.
- Reconhecimento das feições doliniformes denominadas *ipucas* ou *impucas* pelos povos tradicionais indígenas do Araguaia como símbolos de identidade cultural e patrimônio natural.

8. REFERÊNCIAS

- ACERO, P. et al. Hydrogeochemical characterization of an evaporite karst area affected by sinkholes (Ebro Valley, NE Spain). **Geologica Acta: an international earth science journal**, v. 11, n. 4, p. 389-407, 2013.
- ALVES, L. R. F.; MORAIS, F. D. Caracterização da Paisagem Cárstica no Entorno do Rio Azuis - Tocantins. **ENANPAGE - Geografia, Ciencia e Política: do pensamento à ação, de ação ao pensamento**, Porto Alegre, p. 9927-9938, 12-15 de Outubro 2017.
- ALVES, N. M. D. S. et al. Dinâmica Geoambiental, Processos Morfodinâmicos e uso das Terras em Brejo Grande, Baixo São Francisco–Sergipe. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 8, n. 2, p. 11-21, 2007.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. D. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.
- AMARAL, R. V. et al. Recuperação de áreas degradadas de fragmentos florestais (ipucas) no cerrado, na bacia hidrográfica do rio formoso. **In: XII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste**, Natal-RN, p. 1-10, 2014.
- ANA Sistemas Aquíferos - Catálogo de Metadados da Agencia Nacional de Água e Saneamento Básico - Sistemas Aquíferos do Brasil, em escala 1:1.000.000. Gerência de Aguas Subterrânea 2013. Disponível em: <https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/3ec60e4f-85ea-4ba7-a90c-734b57594f90>. Acesso 13-Ago. 2022
- ANDRADE, Karylleila dos Santos. Aspectos identitários e culturais na formação dos nomes de lugares: um estudo sob a ótica da geografia cultural e humanista. **Revista Desafios**, v. 4, n. 1, p. 141-151, 2017.
- ANDREU, J. M. et al. Karst: un concepto muy diverso. **Enseñanza de las Ciencias de la Tierra**, v. 24, n. 1, p. 6-20, 2016.

ANGEL, J. C.; NELSON, D. O.; PANNO, S. V. Comparison of a new gis-based technique and a manual method for determining sinkhole density: an example from illinois' sinkhole plain. **Journal of Cave and Karst Studies**, v. 66, n. 1, p. 9-17, 2004.

ANTIGÜEDAD, I.; MORALES, T.; URIARTE, J. Á. Los acuíferos kársticos. Casos del país Vasco. **Enseñanza de las Ciencias de la Tierra**, v. 15, n. 3, p. 325-332, 2007.

AQUINO, S.; STEVAUX, J. C.; LATRUBESSE, E. M. Regime hidrológico e aspectos do comportamento morfohidráulico do rio Araguaia. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 6, n. 2, p. 29-41, 2005.

AQUINO, S.; LATRUBESSE, E. M.; DE SOUZA FILHO, E. E. Caracterização hidrológica e geomorfológica dos afluentes da Bacia do Rio Araguaia. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, vol. 10, no 1, 2009.

ARCANJO, S. H. D. S.; ABREU, F. D. A. M. D.; MOURA, C. A. V. Evolução geológica das sequências do embasamento do Cinturão Araguaia na região de Paraíso do Tocantins (TO), Brasil. **Brazilian Journal of Geology**, v. 43, n. 3, p. 501-514, 2013.

ASSIS, P. C., et al. Unidades de Conservação e sua efetividade na proteção dos recursos hídricos na Bacia do Rio Araguaia. **Sociedade & Natureza**, vol. 34. 2022.

ATILLAH, A. E.; MORJANI, Z. E. A. E.; SOUHASSOU, M. se of the Sentinel-2A Multispectral Image for Litho-Structural and Alteration Mapping in Al Glo'a Map Sheet (1/50,000) (Bou Azzer–El Graara Inlier, Central Anti-Atlas, Morocco). **Artificial Satellites**, v. 54, n. 3, p. 73-96, 2019.

AULER, A.; FARRANT, A. R. **A brief introduction to karst and caves in Brazil**. Proceedings of the University of Bristol Speleological Society, v. 20, n. 3, p. 187-200, 1996.

BAYER, M; CARVALHO, T. M. Processos morfológicos e sedimentos no canal do rio Araguaia. **Revista de estudos ambientais**, v. 10, n. 2, p. 24-31, 2008.

BAYER, M.; ZANCOPÉ, M. H. Ambientes sedimentares da planície aluvial do rio Araguaia. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 15, n. 2. 2014.

BAKALOWICZ, M. Karst groundwater: a challenge for new resources. **Hydrogeology journal**, v. 13, n. 1, p. 148-160, 2005.

- BARBOSA, D. C. et al. Estrutura da vegetação lenhosa em dois fragmentos naturais de florestas inundáveis (impucas) no Parque Estadual do Araguaia, Mato Grosso. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 35, n. 3, p. 457-471, 2011.
- BARBOSA, M. V. et al. Spatial Variability of the Physicochemical Properties of Soils from Seasonally Flooded Forest Fragments on a Tropical Plain. **Applied and Environmental Soil Science**, v. 2019, n. 1, p. 1-8, 2019.
- BASSO, A., et al. Morphometric analysis of sinkholes in a karst coastal area of southern Apulia (Italy). **Environmental Earth Sciences**, v. 70, n. 6, p. 2545-2559. 2013.
- BAUER, C. Analysis of dolines using multiple methods applied to airborne laser scanning data. **Geomorphology**, v. 250, p. 78-88, 2015.
- BENITO, G. et al. Natural and human-induced sinkholes in gypsum terrain and associated environmental problems in NE Spain. **Environmental Geology**, v. 25, n. 3, p. 156-164, 1995.
- BERTALANFFY, L. V. **Teoría General de los Sistemas** - Fundamentos, desarrollo, aplicaciones. 2. ed. Ciudad de Mexico : Fondo de Cultura Económica , v. 1, 1968.
- BEZERRA, E. D. F.; MORAIS, F. D. Cavernas no Tocantins: Análise dos bancos de dados disponíveis no Brasil. **ANAIS do 33º Congresso Brasileiro de Espeleologia**, Eldorado-SP, p. 305-313, 15-19 de Julho 2015.
- BISPO, Mariléia Oliveira; DE FÁTIMA OLIVEIRA, Sandra. Difusão do agronegócio e as dinâmicas territoriais no cerrado, Vale do Javaés-Tocantins. **Revista Entre-Lugar**, v. 6, n. 12, p. 28-40, 2015.
- BISPO, M. O. Cultura Ecológica, Comunidades Tradicionais na Ilha do Bananal e o Parque Nacional do Araguaia–Tocantins. **OLAM-Ciência & Tecnologia**, v. 13, n. 2, p. 124-147, 2013.
- BIZZI, L. A., et al. **Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil**. Texto, Mapas e SIG. Brasília, CPRM, Serviço Geológico do Brasil. 2003.
- BÖGLI, A. **Karst hydrology and physical speleology**. 1. ed. New York: Springer-Verlag, v. 1, 1980.

BONDESAN, A.; MENEGHEL, M.; SAURO, U. Morphometric Analysis of Dolines. **International Journal of Speleology**, v. 21, n. 1, p. 1-54, 1992.

BORDIN, A. S. et al. Identificação e análise de comunidades de colaboração científica: estudo de caso em um programa de pós-graduação interdisciplinar. **Perspectivas em Gestão & Conhecimento**, João Pessoa, v. 5, n. 1, p. 109-126, 2015.

BOSCH, A. P. **Principios de Hidrogeología kárstica**. [S.l.]: Universidad de Almería, v. 1, 2014.

BLASKOWSKI, A. E.; BROD, E. R. Avaliação Preliminar do Potencial Agromineral no estado do Tocantins – Brasil. IV Congresso Brasileiro de Rochagem, p. 116-123. Rio de Janeiro. 2021.

BRASIL. **Projeto RADAMBRASIL. Folha SC. 22**. Tocantins: Geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Ministério das Minas e Energia. Secretaria Geral. Rio de Janeiro, p. 524. 1981a.

BRASIL. **Projeto RADAMBRASIL. Folha SD. 22**. Goiás: Geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Ministério das Minas e Energia. Secretaria Geral. Rio de Janeiro, p. 639. 1981b.

BRINKMANN, R.; PARISE, M. Karst environments: problems, management, human impacts, and sustainability. An introduction to the special issue. **J Cave Karst Stud**, v. 74, n. 2, p. 135-136, 2012.

BRITO, E. R. et al. Estrutura fitossociológica de um fragmento natural de floresta inundável em área de Campo Sujo, Lagoa da Confusão, Tocantins. **Acta Amazonica**, v. 38, n. 3, p. 379-386, 2008.

BUSCHE, D.; SPONHOLZ, B. Morphological and microcomphological aspects of the sandstone karst of eastern Niger. **Zeitschrift für Geomorphologie**, Berlin, n. 85, p. 1-18, 1992.

CARAMANNA et al. A review of natural sinkhole phenomena in Italian plain areas. **Natural Hazards**, v. 45, n 2, p. 145-172. 2008.

CARDARELLI, E. et al. Detection and imaging of piping sinkholes by integrated geophysical methods. **Near Surface Geophysics**, v. 12, n 3, p. 439-450. 2013.

- CARDOSO, M. R. D.; MARCUZZO, F. F. N.; BARROS, J. R. Classificação climática de Köppen-Geiger para o estado de Goiás e o Distrito Federal. **Acta geográfica**, v. 8, n. 16, p. 40-55, 2015.
- CARVALHO, T. M.; LATRUBESSE, E. M. Geomorfologia do Estado de Goiás e Distrito Federal. Goiânia: Secretaria de Indústria e Comércio. 127 p. **Boletim Goiano de Geografia**, vol. 27, n.3, p 169-172. 2008.
- CAVALCANTI, L. C. D. S.; CORRÊA, A. C. D. B. GEOSSISTEMAS E GEOGRAFIA NO BRASIL. **Revista Brasileira de Geografia**, v. 61, n. 2, p. 3-33, 2017.
- CECAV - Centro Nacional de Pesquisa e Conservação de Cavernas. Regiões Cársticas do Brasil. 2009. Disponível em: http://www.icmbio.gov.br/ce_cav/projetos-eatividades/provincias-espeleologicas.html. Acesso em 28 de novembro de 2018.
- COPLER, C. **Riparian Buffered Sinkholes in the Blue River Watershed**. Undergraduate Thesis - Bellarmine University. Louisville, p. 51. 2017.
- CPRM. **Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil**. Brasília: Serviço Geológico do Brasil, v. 1, 2003.
- CPRM. Programa Geologia do Brasil - Carta geológica - Escala 1:1.000.000, Folha Sd.22 Tocantins. 2003.
- CPRM. Geologia do Estado de Goiás e do Distrito Federal. Programa geologia e mineração - Geração e Disponibilização de Informações Geológicas e do Potencial Mineral de Goiás. Goiânia, 2008.
- CPRM. Projeto de Disponibilidade Hídrica do Brasil - Carta Hidrogeológica - Escala 1:1.000.000, Folha Sd.22 Goiás. 2016
- CPRM. Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral. Mapa Hidrogeológico do Brasil. Folha Goiânia (Se.22). 2010
- CPRM. Geodiversidade do estado do Tocantins. Programa Geologia do Brasil Levantamento da Geodiversidade. 2019

CPRM. Atlas Pluviométrico do Brasil. Mapa de Isoietas de precipitações Médias Anuais do Brasil - Isoietas Anuais na escala 1:5.000.000. Disponível em <http://www.cprm.gov.br/publique//Mapas-e-Publicacoes/Atlas-Pluviometrico-do-Brasil-1351.html> Acesso. 20-Jul 2022

CREPANI, E.; MEDEIROS, J. D.; HERNANDEZ FILHO, P.; FLORENZANO, T. G., DUARTE, V.; BARBOSA, C. C. F. Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial. São José dos Campos: Inpe, 2001.

CRISTO, S. S. V. D.; ROBAINA, L. E. D. S.; MORAIS, F. D. Patrimônio Geomorfológico na porção leste do estado do Tocantins – Região do Jalapão. **Geonomos**, v. 21, n. 2, p. 92-96, 2013.

DAI, F. C.; LEE, C. F.; ZHANG, X. H. GIS-based geo-environmental evaluation for urban land-use planning: a case study. **Engineering geology**, v. 61, n. 4, p. 257-271, 2001.

DENIZMAN, C. A. N. Morphometric and spatial distribution parameters of karstic depressions, Lower Suwannee River Basin, Florida. **Journal of Cave and Karst Studies**, vol. 65, n 1, p. 29-35. 2003.

DEMAMBRO, E.; PIETRAFESA, P. A.; ROJAS, G. V. G. A expansão do cultivo de soja e os impactos ambientais no vale do Araguaia, entre 2000 E 2019. **South American Development Society Journal**, v. 7, n. 20, p. 83, 2021.

DE PAULA, M. J; AKAMA, A.; OLIVEIRA, E. F. D.; MORAIS, F. Ictiofauna epígea e subterrânea da área cárstica de Lagoa da Confusão, estado do Tocantins. **Revista da Biologia**, 2014. DOI: 10.7594/revbio.12.02.05

DE WAELE, J. Karst processes and Landforms. In: RICHARDSON, D., et al. **International Encyclopedia of Geography: People, the Earth, Environment and Technology**. Oxford, UK: John Wiley & Sons, Ltd., v. 1, 2017. p. 1-13.

DE WAELE, J. et al. Geomorphology and natural hazards in karst areas: A review. **Geomorphology**, v. 134, n. 1-2, p. 1-8, 2011.

DIAS, A. P. **Análise espacial aplicada à delimitação de áreas úmidas da planície de inundação do médio araguaia**. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais - Universidade Federal de Mato Grosso. Cuiabá-MT, p. 91. 2014.

DICK, M. V. Rede de conhecimento e campo lexical: hidrônimos e hidrotopônimos na onomástica brasileira. In: ISQUERDO, A. N.; KRIEGER, M. D. G. **As ciências do léxico: lexicologia, lexicografia, terminologia**. Campo Grande: UFMS, v. 2, 2004. p. 121-130.

DICK, M. V. D. P. D. A. **Toponímia e Antroponímia no Brasil: Coletânea de Estudos**. 3. ed. São Paulo: Serviço de Artes Gráficas da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas/USP, v. 1, 1992.

DREYBRODT, W. **Processes in karst systems: physics, chemistry, and geology**. 1. ed. Berlin : Springer-Verlag, v. 1, 1988.

DUARTE, Y. A. et al. Vulnerabilidad y riesgo de contaminación de acuíferos kársticos. **Tropical and subtropical agroecosystems**, v. 16, n. 2, p. 243-263, 2013.

EGGER, D. S.; RIGOTTO, R. M.; DE SOUZA, F. A. N.; COSTA, A. M.; AGUIAR, A. C. P. Ecocídio nos Cerrados: agronegócio, espoliação das águas e contaminação por agrotóxicos. **Desenvolvimento e Meio ambiente**, v. 57, 2021.

EMBRAPA. Sistema brasileiro de classificação de solos. Embrapa Solos: 5 Ed, rev. e ampl. Brasília-DF, 2018.

FARIA, K. M. S.; DE CASTRO, S. S. Uso da terra e sua relação com os remanescentes de cerrado na alta bacia do rio Araguaia (GO, MT e MS). *Geografia*, v. 32, n. 3, p. 657-668, 2007.

EITEN, G. Vegetation near Santa Teresinha, NE Mato Grosso. **Acta Amazonica**, Brasilia, v. 15, n. 3-4, p. 275-302, 1985.

EYLES, N. Environmental geology of urban areas. **Geoscience Canada**, v. 21, n. 4, p. 158-162, 1994.

FABRI, F. P.; AULER, A.; AUGUSTIN, C. H. R. R. Relevo cárstico em rochas siliciclásticas: uma revisão com base na literatura. **Brasileira de Geomorfologia**, v. 15, n. 3, p. 341-351, 2014.

FERNANDEZ, E. et al. **Introducción a la geología karstica**. 1995. ed. [S.l.]: Federación Española de Espeleología, 1995.

- FETTERMAN, P. et al. Vegetative communities and morphological characteristics of selected sinkholes in west-central florida. **Karst Studies in West Central Florida**, Tampa-FL, p. 65-77, 2003.
- FIELD, M. S. Karst hydrology and chemical contamination. **Journal of Environmental Systems**, Washington, DC, v. 22, n. 1, p. 1-26, 1993.
- FONSECA, G. S. **La gente pasa, los nombres quedan. Introducción a la toponímia**. Lima: Lengua e Sociedad, v. 1, 1997.
- FORD, D. Jovan Cvijić and the founding of karst geomorphology. **Environmental Geology**, v. 51, n. 5, p. 675-684, 2007.
- FORD, D.; WILLIAMS, P. **Karst Hydrogeology and Geomorphology**. 2. ed. [S.l.]: John Wiley & Sons Ltd, 2007.
- FREIRES, R. N. R.; COSTA, C. A. D. Diagnóstico geoambiental como subsídio ao plano de manejo da área de proteção ambiental do sítio olho d'água dos currais, tabuleiro do norte, Ceará. **Geosaberes: Revista de Estudos Geoeducacionais**, v. 6, n. 3, p. 160-172, 2015.
- GALAN, C. Disolución y génesis del karst en rocas carbonáticas y rocas silíceas: un estudio comparado. **MANUBE (Ciencias Naturales - Natur Zientzlak)**, San Sebastian, España, v. 1, n. 43, p. 43-72, 1991.
- GAMS, I. The origin of the term karst in the time of transition of Karst (Kras) from deforestation to forestation. **Proceedings of the International Conference on Environmental Changes In Karst Areas**, Università di Padova, n. 13, p. 1-8, 1991.
- GAO et al. Karst database implementation in Minnesota: analysis of sinkhole distribution. **Environmental Geology**, v. 47, n 8, p. 1083-1098. 2005.
- GOLDSCHIEDER, N. et al. Global distribution of carbonate rocks and karst water resources. **Hydrogeology Journal**, v. 28, n. 5, p. 1661-1677, 2020.
- GOIÁS. Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado de Goiás. Produto 5: Plano Estadual de Recursos Hídricos. Revisão Final – Setembro 2015.

GUARDA, P. M.; RAMBO, M. K. D.; JACONI, A.; GUARDA, E. A.; DA SILVA, J. E. C. Concentrações de metais tóxicos em água, solo e sedimento do rio Formoso, TO. **Research, Society and Development**, v.10 n.14. 2021.

GUNN, John. Encyclopedia of caves and karst science. Taylor & Francis, 2004

GUTIÉRREZ, F. et al. Integrating geomorphological mapping, trenching, InSAR and GPR for the identification and characterization of sinkholes: A review and application in the mantled evaporite karst of the Ebro Valley (NE Spain). **Geomorphology**, v. 134, n. 1-2, p. 144-156, 2011.

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

GUTIÉRREZ, F.; PARISE, M.; DE WAELE, J.; JOURDE, H. A review on natural and human-induced geohazards and impacts in karst. **Earth-Science Reviews**, v. 138, p. 61-88, 2014.

GUTIERREZ, F.; COOPER, A. H.; JOHNSON, K. S. Identification, prediction, and mitigation of sinkhole hazards in evaporite karst areas. **Environmental Geology**, v. 53, n. 5, p. 1007-1022, 2008.

GUTIÉRREZ, F.; GUERRERO, J.; LUCHA, P. A genetic classification of sinkholes illustrated from evaporite paleokarst exposures in Spain. **Environmental Geology**, v. 53, n. 5, p. 993-1006, 2008.

HAMILTON, S. K.; SIPPEL, S. J.; MELACK, J. M. Comparison of inundation patterns among major South American floodplains. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v.107, n. 20. 2002.

HARDT, R. **Aspectos da morfologia cárstica da Serra do Calcário – Cocalinho – MT**. Dissertação de Mestrado - Universidade Estadual Paulista. Rio Claro, p. 98. 2004.

HARDT, R. Considerações geomorfológicas sobre o carste de Cocalinho – MT. **Anais do XXVIII Congresso Brasileiro de Espeleologia**, Campinas-SP, p. 66-76, 07-10 de Julho 2005.

HARDT, R. Sistema cárstico e impactos antrópicos: considerações sobre o manejo. **Simpósio de Pós-Graduação em Geografia do Estado de São Paulo SIMPGEO-SP**, Rio Claro, p. 1295-1309, 2008.

- HARDT, R. **Da carstificação em arenitos: aproximação com o suporte de geotecnologias**. Tese (Doutorado em Geografia). Universidade Estadual Paulista. Rio Claro, p. 224. 2011.
- HARDT, R. et al. Carste em Litologias Não-Carbonáticas: Exemplos Brasileiros de Carste em Arenito: Chapada dos Guimarães (MT) e Serra de Itaqueri (SP). **Espeleo-Tema-Sociedade Brasileira de Espeleologia**, Campinas, SP, v. 20, n. 1/2, p. 7-23, 2009.
- HARDT, R.; PINTO, S. D. A. F. Carste em litologias não carbonáticas. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 10, n. 2, p. 99-105, 2009.
- HIRUMA, S. T. et al. Mapeamento e caracterização de feições cársticas de superfície na Faixa Itaiacoca nas regiões de Nova Campina e Bom Sucesso de Itararé, SP/PR. **Revista do Instituto Geológico**, v. 27, n. 1-2, p. 1-12, 2007.
- IBAMA. Parque Nacional do Araguaia – **Plano de Manejo**. Ministério do Meio Ambiente, Brasília. 429 p. 2001.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estadística. **Carta de Geologia do Estado do Pará**. Escala 1:1.800.000. Diretoria de Geociência. 2008a.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estadística. **Carta de Geologia do Estado do Tocantins**. Escala 1:1.800.000. Diretoria de Geociências. 2008b.
- IBRAMAR. Instituto Brasileiro do Mar - Projeto de Revitalização e Conservação da Bacia Hidrográfica do Rio Tocantins – Araguaia. Vila Velha. 2021
- IRION, G. et al. Araguaia river floodplain: size, age, and mineral composition of a large tropical savanna wetland. **Wetlands**, v. 36, n. 5, p. 945-956, 2016.
- JANCOSKI, H. S. et al. Aspectos etnoecológicos do parque estadual do araguaia-mt como subsídios para delinear estratégias de uso e conservação. **In: Anais do VIII Congresso de Ecologia do Brasil - Sociedade de Ecologia do Brasil.**, Caxambu - MG, 2007.
- JANSEN, D. C.; CAVALCANTI, L. F.; LAMBLÉM, H. S. Mapa de potencialidade de ocorrência de cavernas no Brasil, na escala 1: 2.500. 000. **Revista Brasileira de Espeleologia**, v. 1, n. 2, p. 42-57, 2012.

JENNINGS, J. N. **KARST - An Introduction to Systematic Geomorphology**. Canberra: Australian National University Press, v. 7, 1971.

JHA, M. K. et al. Groundwater management and development by integrated remote sensing and geographic information systems: prospects and constraints. **Water Resources Management**, v. 21, n. 2, p. 427-467, 2007.

JOYCE, K. E. et al. Mapping and monitoring geological hazards using optical, LiDAR, and synthetic aperture RADAR image data. **Natural hazards**, v. 73, n. 2, p. 137-163, 2014.

JÚNIOR, O. A. D. C. et al. Karst depression detection using ASTER, ALOS/PRISM and SRTM-derived digital elevation models in the Bambuí Group, Brazil. **Remote Sensing**, v. 6, n. 1, p. 330-351, 2014.

KARAJÁ, José Hani. As madeiras e seus usos no universo sócio-cultural do povo Iny. Dissertação de Mestrado (Ciências Ambientais) - Universidade Federal do Tocantins. Palmas, p. 81. 2015.

KOHLER, H. C. Geomorfologia Cárstica. In: GUERRA, A. T. G.; E CUNHA, S. B. **Geomorfologia, uma atualização de bases e conceitos**. 7. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasi, 2007. Cap. 7, p. 309-329.

KURZATKOWSKI, D.; LEUSCHNER, C.; HOMEIER, J. Effects of flooding on trees in the semi-deciduous transition forests of the Araguaia floodplain. **Acta Oecologica**, v. 69, p. 21-30, 2015.

LATRUBESSE, E. M.; STEVAUX, J. C. Geomorphology and environmental aspects of the Araguaia fluvial basin, Brazil. **Zeitschrift für Geomorphologie. Supplementband**, n. 129, p. 109-127. 2002.

LATRUBESSE, E. M.; STEVAUX, J. C. Características Físico-Bióticas e Problemas Ambientais Associados à Planície Aluvial do Rio Araguaia, Brasil Central. **Revista UnG Geociências**, v. 10, n. 7, p. 67-75, 2006.

LATRUBESSE, E. M.; VALENTE, C. R. Fluvial archive of peculiar avulsive fluvial patterns in the largest Quaternary intracratonic basin of tropical South America: the Bananal Basin, Central-Brazil. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 356, p. 62-74, 2012.

LACERDA FILHO, et al. **Geologia e Recursos Minerais do Estado de Mato Grosso**. Brasília: Programa Integração, Atualização e Difusão de Dados de Geologia do Brasil. Convênio CPRM/SICME-MS, MME, p. 235. 2004.

LEI, M.; JIANG, X.; GUAN, Z. Emergency Investigation of Extremely Large Sinkholes, Maohe, Guangxi, China. **13TH SINKHOLE CONFERENCE**, p. 293-298, 2013.

LIMBERT, H. et al. The discovery and exploration of Hang Son Doong. **Boletín Geológico y Minero**, v. 127, n. 1, p. 165-176, 2016.

LIMA et al. **Avaliação de Rochas Calcárias e Fosfatadas para Insumos Agrícolas do Estado de Mato Grosso**. Cuiabá: CPRM; METAMAT, p.178, 2008.

LLADÓ, N. L. **Fundamentos de hidrogeología cárstica**: introducción a la geoespeleología. 1. ed. Madrid: Blume, 1970.

LOPES, M. H.; FRANCO, J. L. D. A.; COSTA, K. S. Expressões da Natureza no Parque Nacional do Araguaia: Processos geocológicos e diversidade da vida. **Historia Ambiental Latinoamericana y Caribeña (HALAC) revista de la Solcha**, v. 7, n. 2, p. 65-100, 2017.

MACARTHUR, Robert H; WILSON, Edward O. The theory of island biogeography. Princeton, NJ: Princeton University Press, 1967.

MAGALHÃES-FILHO, L. N. L.; VERGARA, F. E.; RODRIGUES, W. Cobrança pelo uso da água na bacia hidrográfica do rio Formoso–TO: Estudo de Viabilidade Financeira. **Revista de Gestão de Águas da América Latina**, v. 12, n. 1, p. 53-61, 2015.

MALDONADO, C.; GUTIÉRREZ, S. F.; GUTIÉRREZ, E. M. Distribución espacial, morfometría y actividad de la subsidencia por disolución de evaporitas en un campo de dolinas de colapso (Valle del Ebro, Zaragoza). **Cuaternario y Geomorfología**, v. 14, n. 3, p. 9-24, 2000.

MAPBIOMAS. Projeto MapBiomas: Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil. <https://mapbiomas.org> , 2020. Acesso em: 9-set. 2020.

- MARACAHIPES, L. et al. Post-fire dynamics of woody vegetation in seasonally flooded forests (ipucas) in the Cerrado-Amazonian Forest transition zone. **Flora-Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants**, v. 209, p. 260-270, 2014.
- MARIMON, B. S. et al. Florística dos campos de murundus do Pantanal do Araguaia, Mato Grosso, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 26, n. 1, p. 181-196, 2012.
- MARIMON, B. S.; LIMA, E. D. S. Caracterização fitofisionômica e levantamento florístico preliminar no pantanal dos rios Mortes-Araguaia, Cocalinho, Mato Grosso, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 15, n. 2, p. 213-229, 2001.
- MARQUES, M. C. M.; JOLY, C. A. Germinação e crescimento de *Calophyllum brasiliense* (Clusiaceae), uma espécie típica de florestas inundadas. **Acta Botanica Brasilica**, v. 14, n. 1, p. 113-120, 2000.
- MARTINS, A. K. E. et al. Relações solo-geoambiente em áreas de ocorrência de Ipucas na Planície do Médio Araguaia Estado de Tocantins. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 30, n. 2, p. 297-310, 2006.
- MARTINS, I. C. et al. Caracterização ambiental de fragmentos florestais naturais - "ipucas" - no Município de Lagoa da Confusão, Tocantins. **In: Anais X Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Foz de iguaçu, p. 1657-1654, 2001.
- MARTINS, I. C. M. **Diagnostico Ambiental no contexto da paisagem de fragmentos florestais naturais "ipucas" no município de Lagoa da Confusão, Tocantins**. Dissertação (Mestrado em Ciencias Florestais). Universidade Federal de Viçosa. Viçosa-MG, p. 97. 1999.
- MARTINS, I. C. M. et al. Diagnóstico ambiental no contexto da paisagem de fragmentos florestais naturais " ipucas" no município de Lagoa da Confusão, Tocantins. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 25, n. 3, p. 299-309, 2002.
- MELLO, João Baptista Ferreira. A Humanística perspectiva do Espaço e do Lugar. **Acta Geográfica**, v. 5, n. 9, p. 07-14, 2011

- MELO, M. S. D. et al. Carste em rochas não-carbonáticas: o exemplo dos arenitos da Formação Furnas, Campos Gerais do Paraná/Brasil e as implicações para a região. **Rev. Espeleo-Tema**, v. 22, p. 81-97, 2011.
- MENDES, D. D. S. O. et al. Os solos e geoambientes das campinaranas amazônicas: relação genética entre os geoambientes e a evolução da paisagem em um transecto na bacia do alto rio negro, amazônia. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 18, n. 3, p. 547-559, 2017.
- MORAIS, P. B.; TEIXEIRA, L. C.; BOWLES, J. M.; LACHANCE, M. A.; ROSA, C. A. *Ogataea falcaomoraisii* sp. nov., a sporogenous methylotrophic yeast from tree exudates. **FEMS yeast research**, v. 5, n. 1, p. 81-85, 2004.
- MORAIS, R. P., et al. Morfometria de sistemas lacustres da planície aluvial do médio rio Araguaia. **Acta Scientiarum. Biological Sciences**, v.27, n.3, p. 203-213. 2005.
- MORAIS, F. Classificação morfológica das dolinas da região de Lagoa da Confusão – TO. **ANAIS do 34º Congresso Brasileiro de Espeleologia**, Ouro Preto-SP, n. 34, p. 283-287, junho 2017.
- MORAIS, F. D. Caracterização geomorfológica da região de Aurora do Tocantins, Brasil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 14, n. 2, p. 163-170, 2013.
- MORAIS, F. D.; ROCHA, S. D. Cavernas em arenito no planalto residual do Tocantins. **Espeleo-Tema**, v. 22, n. 1, p. 127-137, 2011.
- MORAIS, F. D.; SOUZA, L. B. E. Cavernas em arenito na porção Setentrional da Serra do Lajeado Estado do Tocantins, Brasil. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 9, n. 2, p. 1-13, 2009.
- MORAIS, P. B. D.; JÚNIOR, S. N.; MARTINS, I. C. D. M. Análise de Sustentabilidade do Projeto Hidroagrícola JAVAÉS/LAGOA, no Estado do Tocantins. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, v. 34, n. 1, p. 83-111, 2017.
- MORAIS, R. P. D.; AQUINO, S.; LATRUBESSE, E. M. Controles hidrogeomorfológicos nas unidades vegetacionais da planície aluvial do rio Araguaia, Brasil. **Acta Scientiarum-Biological Sciences**, v. 30, n. 4, p. 411-421, 2008.

MOREIRA, D. C.; COLLICCHIO, E.; GAMBA, F. B. Panorama do cultivo e produtividade da soja na APA Ilha do Bananal/Cantão, Tocantins: safras 2008/2009 a 2015/2016. **Journal of bioenergy and food science**, v. 6, n. 4, p. 119-131, 2019.

MUZIRAFUTI, A. et al. The use of remote sensing for water protection in the karst environment of the Tabular Middle Atlas/the cause of El Hajeb/Morocco. **The IX Conference of the Italian Society of Remote Sensing**, Firenze, v. 1, p. 131-134, 2019.

NASCIMENTO, H. E.; LAURANCE, W. F. Efeitos de área e de borda sobre a estrutura florestal em fragmentos de floresta de terra-firme após 13-17 anos de isolamento. **Acta Amazonica**, v. 36, p. 183-192, 2006.

NASCIMENTO, P.; MORAIS, F. Análise morfométrica em ipucas em carste encoberto na Depressão do Médio Araguaia, Estado do Tocantins. **In: 9º SINAGEO - Simpósio Nacional de Geomorfologia.**, Rio de Janeiro, p. 1-6, 2012.

NEVES L. F.; MARIMON, B. S.; ANDERSON, L. O.; DA SILVA NEVES, S. M. A. Dinâmica de fogo no Parque Estadual do Araguaia, Zona De Transição Amazônia-Cerrado. **Raega-O Espaço Geográfico em Análise**, v. 44, p. 85-103, 2018.

NUNES, V. R.; ANDRADE, K. D. S. O onoma e sua relação com a interdisciplinaridade nos parâmetros curriculares do ensino fundamental de geografia: um estudo preliminar com foco na toponímia. **Revista Língua & Literatura**, v. 14, n. 23, p. 195-210, 2015.

OIKONOMIDIS, D. et al. A GIS/remote sensing-based methodology for groundwater potentiality assessment in Tirnavos area, Greece. **Journal of Hydrology**, v. 525, p. 197-208, 2015.

OLIVEIRA, K. B. M.; MORAIS, F. Hidroquímica das Águas Subterrâneas do Entorno da Lagoa da Confusão, Tocantins, Brasil. **Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, Bento Gonçalves-RS, 2013

OLIVEIRA, D. P. D. A. et al. Geoprocessamento aplicado a análise geoambiental no Município De Vitória da Conquista-Bahia. **Revista Geográfica de América Central**, v. 1, n. 60, p. 329-348, 2018.

OLIVEIRA, E. A. D. et al. Diversity, abundance and distribution of lianas of the Cerrado-Amazonian forest transition, Brazil. **Plant Ecology & Diversity**, v. 7, n. 1-2, p. 231-240, 2014.

PAIXÃO, M.; GORAYEB, P. S. D. S. Metalogênese da Faixa Araguaia. **Serviço Geológico do Brasil - CPRM**, Belo Horizonte, p. 467-488, 2014.

PELOGGIA, A. U. G. et al. Processos de formação de terrenos e relevos tecnogênicos correlativos à urbanização: análise morfoestratigráfica e geoambiental aplicada na bacia do córrego Água Branca, Itaquaquecetuba (RMSP). **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 12, n. 2, p. 245-265, 2018.

PEREIRA, G. C. **Contribuições à Geomorfologia da Lagoa da Confusão – TO**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Tocantins. Porto Nacional, p. 125. 2016.

PILÓ, L. B. Geomorfologia cárstica (Revisão de Literatura). **Revista brasileira de geomorfologia**, v. 1, n. 1, p. 88-102, 2000.

PEREIRA, G. C.; MORAIS, F. Geofísica aplicada ao estudo dos fluxos subsuperficiais no entorno da Lagoa da Confusão–TO. **Revista Geonorte**, v. 3, n. 5, p. 1475–1483. 2012.

PINHEIRO, R. T.; DORNA, T. Distribuição e conservação das aves na região do Cantão, Tocantins: ecótono Amazônia/Cerrado. **Biota Neotropica**, v. 9, n. 1, p. 187-206, 2009.

PONTALTI, A. L.; MORAIS, F. Evolução geomorfológica da gruta Casa de Pedra, Lagoa da Confusão – TO. **In: VIII Simpósio Nacional de Geomorfologia**, Recife-PE, p. 1-13, 2011.

POCKLINGTON, R. Introducción a la toponomástica - 1. Aspectos universales de la toponimia. Disponível em: < https://www.academia.edu/21713377/INTRODUCCI%C3%93N_A_LA_TOPONOM%C3%81STICA_-_1._ASPECTOS_UNIVERSALES_DE_LA_TOPONIMIA >. Acesso em: 19-set. 2019.

REZENDE-FILHO, J. R. G. D. **Análise multitemporal de vegetação em ecossistemas de áreas úmidas utilizando séries temporais derivadas do sensor modis na Ilha do Bananal–Tocantins**. Dissertação de Mestrado Geografia. Universidade de Brasília. Brasília. 2017.

RIBEIRO, J. et al. Evidence of neotropical anuran community disruption on rice crops: a multidimensional evaluation. **Biodiversity and conservation**, v. 26, n. 1, p. 3363-3383, 2017.

RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. Fitofisionomias do bioma Cerrado. 2008. In Cerrado: ecologia e flora (S.M. Sano, S.P. Almeida & J.F. Ribeiro, eds.). EMBRAPA-CPAC, Planaltina, p.151-212.

RICKLEFS, Robert E. A economia da natureza. 6ª Edição. Rio de Janeiro. Guanabara, 2018.

ROCHA, R. G. et al. Small mammals of the mid-Araguaia River in central Brazil, with the description of a new species of climbing rat. **Zootaxa**, v. 2789, n. 1, p. 1-34, 2011.

ROCHA, R. G. et al. Seasonally flooded stepping stones: emerging diversity of small mammal assemblage in the Amazonia-Cerrado ecotone, central Brazil. **Zoological Studies**, v. 53, n. 1, p. 1-10, 2014.

RODRÍGUEZ, A. G. P. et al. Impact of pesticides in karst groundwater. Review of recent trends in Yucatan, Mexico. **Groundwater for Sustainable Development**, v. 7, p. 20-29, 2018.

ROLDÃO, A. D. F.; FERREIRA, V. D. O. Climatologia do Estado do Tocantins-Brasil. **Caderno de Geografia**, v. 29, n. 59, p. 1161-1181, 2019.

ROSA, C. A. et al. Candida azymoidessp. n., a yeast species from tropical fruits and larva (Ascomycota) of Anastrepha mucronota(Diptera:Tephritidae). **Lundiana**, v. 7, n. 2, p. 83-86, 2006.

ROSS, J. L. S. Relevo brasileiro: uma nova proposta de classificação. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 4, p. 25-39, 1985.

SALLES, L. D. Q. et al. Influência dos Aspectos Hidrogeológicos de Aquíferos Cársticos na Evolução do Relevo: Porção Central da Chapada Diamantina, Bahia, Brasil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 19, n. 1, p. 93-106, 2018.

SALLUN FILHO, W.; KARMANN, I. Dolinas em arenitos da Bacia do Paraná: evidências de carste subjacente em Jardim (MS) e Ponta Grossa (PR). **Revista Brasileira de Geociências**, v. 37, n. 3, p. 551-564, 2007.

SAMPAIO, T. **O tupi na geografia nacional**. 5. ed. São Paulo: Brasiliense, v. 1, 1987.

SANTOLALLA, F. G.; JIMÉNEZ, A. M.; LÓPEZ, P. C. Dolinas de subsidencia y de colapso en el karst carbonatado-aluvial de Grávalos (La Rioja): origen y evolución. **Zubía**, n. 23, p. 59-78, 2005.

SANTOS, L. **Estrutura e dinâmica de florestas inundáveis (impucas) na transição Cerrado-Floresta Amazônica, leste de Mato Grosso, Brasil**. Dissertação (Mestrado) – Universidade do Estado de Mato Grosso. Nova Xamantina, p. 73. 2011.

SANTOS, L. J. C. et al. Mapeamento da vulnerabilidade geoambiental do estado do Paraná. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 37, n. 4, p. 812-8820, 2016.

SANTOS, D. A. R.; CHEREM, L. F. S. Análise de dados de Sensoriamento Remoto nas estimativas de variabilidade espacial e temporal de superfícies de inundação na planície fluvial do rio Javaés, TO. **Caderno de Geografia**, v. 31, n. 67, p. 1169-1169, 2021.

SARAIVA, Fabiano. Considerações acerca da pesquisa em geografia física aplicada ao planejamento ambiental a partir de uma expectativa sistêmica. **Raega-O Espaço Geográfico em Análise**. n. 9, p. 83 – 93. 2005.

SAURO, U. Dolines and sinkholes: aspects of evolution and problems of classification. **Acta carsologica**, v. 32, n. 2, p. 41-52, 2003.

SEPLAN. **Atlas do Tocantins: subsídios ao planejamento da gestão territorial**. Secretaria de planejamento do estado do tocantins. Palmas, p. 79. 2012.

SIART, C.; BUBENZER, O.; EITEL, B. Combining digital elevation data (SRTM/ASTER), high resolution satellite imagery (Quickbird) and GIS for geomorphological mapping: A multi-component case study on Mediterranean karst in Central Crete. **Geomorphology**, v. 112, n. 1-2, p. 106-121, 2009.

SILVA, A. P. G.; MEWS, H. A.; MARIMON-JUNIOR, B. H.; DE OLIVEIRA, E. A.; MORANDI, P. S.; OLIVERAS, I.; MARIMON, B. S. Recurrent wildfires drive rapid taxonomic homogenization of seasonally flooded Neotropical forests. **Environmental Conservation**, v.45, n. 4, p. 378-386. 2018.

SILVA, E. V.; RODRIGUEZ. J. M. M.; MEIRELES, A. J. Planejamento ambiental e bacias hidrográficas. Planejamento e Gestão de Bacias Hidrográficas. Edições UFC. Fortaleza, 2011.

SILVA, Fábio; MORAIS, Fernando. Análise de vulnerabilidade das águas subterrâneas à contaminação na bacia do rio Urubu, Tocantins. **Terra Plural**, v. 15, p. 1-16, 2021.

SILVA, H. D. J.; BARBOSA, M. V. M.; MORAIS, P. B. D. Estudos sazonais de aspectos limnológicos de um fragmento florestal inundado na Planície do Araguaia, Tocantins, Brasil. **Journal of bioenergy and food science**, v. 2, n. 4, p. 239-248, 2015.

SIMÓN, J. L. et al. Dolinas aluviales en las terrazas del Ebro al oeste de Zaragoza: un análisis empírico de los factores de riesgo. **Cuaternario y Geomorfología**, v. 5, n. 1, p. 139-148, 1991.

SOUZA, C. R. D. G. et al. **Quaternário do Brasil**. 1. ed. Ribeirão Preto: Holos Editora, v. 1, 2005.

SOUBIES, F.; GUYOT, J. L. Compte Rendu de Mission dans la Région du Rio das Mortes (Mato Grosso) du 5 au 8 Septembre 1995. ORSTOM Brasília. 1995.

SUIZU, T. M.; LATRUBESSE, E. M.; STEVAUX, J. C.; BAYER, M. Resposta da morfologia do médio-curso superior do Rio Araguaia às mudanças no regime hidrossedimentar no período 2001-2018. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v.23, n. 2), p. 1420-1434. 2022.

SOUSA et al., Evolução geológica do domínio interno da Faixa Paraguai na região de Nova Xavantina, leste de Mato Grosso. **Geociências**, vol. 38, n.4, p. 837-851, 2019.

STEVANOVIC, Z. Karst Environment and Phenomena. In: STEVANOVIC, Z., et al. Karst Aquifers – Characterization and Engineering. 1. ed. Switzerland: Springer International Publishing, 2015.

STOKES, T.; GRIFFITHS, P.; RAMSEY, C. Karst Geomorphology, Hydrology, and Management. In: PIKE, R. G., et al. Compendium of Forest Hydrology and Geomorphology in British Columbia. 1. ed. [S.l.]: Ministry of Forests and Range, v. 1-2, 2010. Cap. 11, p. 456.

TAVARES K. S. R.; OLIVEIRA M. S.; NETO, J. B. F. Geografia Física e a abordagem geossistêmica aplicada à estudos de suscetibilidade ambiental de bacias hidrográficas. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 15, n. 02, p. 634-649, 2022.

- TELES, E. D. F. B.; MORAIS, F. D. Gestão de áreas cársticas: uma proposta para a conservação ambiental. **In: 35º Congresso Brasileiro de Espeleologia**, Bonito, p. 19-22, Junio 2019.
- TIBIRIÇA, L. C. Dicionário Tupi-Português. 2. ed. São Paulo: Traço Editora, v. 1, 1984.
- TORELLO-RAVENTOS, M. et al. On the delineation of tropical vegetation types with an emphasis on forest/savanna transitions. *Plant Ecology & Diversity*, vol. 6, n. 1, p. 101-137. 2013.
- TRAVASSOS, L. E. P. Considerações sobre o carste da região de Cordisburgo, Minas Gerais, Brasil. 1. ed. Belo Horizonte: Tradição Planalto, v. 1, 2010.
- TRAVASSOS, L. E. P. Princípios de Carstologia e Geomorfologia Cárstica. 1. ed. Brasília: Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade – ICMBio, v. I, 2019.
- TRAVASSOS, L. E. P.; KOHLER, H. C. Historical and geomorphological characterization of a Brazilian karst region. *Acta carsologica*, v. 38, n. 2-3, p. 277-291, 2009.
- TRICART, J. Ecodinâmica. Rio de Janeiro IBGE/SUPREN. 91 p. 1977.
- TWIDALE, C. R. Sinkholes (dolines) in lateritised sediments, western Sturt plateau, Northern Territory, Australia. **Geomorphology**, v. 1, n. 1, p. 33-52, 1987.
- UPCHURCH, S. et al. **The Karst Systems of Florida - Understanding Karst in a Geologically Young Terrain**. Switzerland: Springer International Publishing, v. 1, 2019.
- URBANI, F. Notas sobre el origen de las cavidades en rocas cuarcíferas precámbricas del Grupo Roraima, Venezuela. **Interciencia**, v. 11, n. 6, p. 298-300, 1986.
- VALENTE, C. R. **Controles físicos na evolução das unidades geoambientais da Bacia do Rio Araguaia, Brasil Central**. Tese de Doutorado (Ciências Ambientais) - Universidade Federal de Goiás. Goiana, p. 163. 2007.
- VALENTE, C. R.; LATRUBESSE, E. M. Fluvial archive of peculiar avulsive fluvial patterns in the largest Quaternary intracratonic basin of tropical South America: the Bananal Basin, Central-Brazil. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, vol. 356, p. 62-74, 2012.

VALENTE, C. R.; LATRUBESSE, E. M.; FERREIRA, L. G. Relationships among vegetation, geomorphology and hydrology in the Bananal Island tropical wetlands, Araguaia River basin, Central Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 46, p. 150-160, 2013.

VALENZUELA, P. et al. Dolinas de colapso en el Valle de Alcedo (León):¿ un impacto geomorfológico/ambiental inducido por los Túneles de Pajares? Estudio preliminar. **GEOGACETA**, v. 54, p. 139-142, 2013.

VERESS, M. **Karst environments: karren formation in high mountains**. 1. ed. Hungary: Springer Science+Business Media, v. I, 2010.

VIEIRA, Pedro Alves. **Caracterização das unidades geomorfológicas Geoambientais da Planície do Bananal**. Dissertação de Mestrado. Goiânia: Universidade Federal de Goiás/IESA. 124p. 2002.

VOLKEN, N. J.; MINOTI, R. T.; ALVES, C. M. D. A.; Vergara, F. E. Analyzing the impact of agricultural water-demand management on water availability in the Urubu River basin-Tocantins, Brazil. **Revista Ambiente & Água**, n.17. 2022.

WALTHAM, T. et al. **Sinkholes and subsidence: karst and cavernous rocks in engineering and construction**. 1. ed. New York: Springer Science & Business Media, v. 1, 2005.

WALTHAM, A. C.; FOOKES, P. G. Engineering classification of karst ground conditions. **Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology**, v. 36, n. 2, p. 101-118, 2003.

WALTHAM, T. BELL. F.; CULSHAW. M. Sinkholes and subsidence: karst and cavernous rocks in engineering and construction. 1. ed. New York: Springer Science & Business Media, v. 1, 2005.

WELCH, J. R. et al. **Na primeira margem do rio: território e ecologia do povo Xavante de Wedezé**. 1. ed. Rio de Janeiro: Museu do Índio-FUNAI, v. 1, 2013.

WERNER, J. **Introducción a la Hidrogeología**. 1. ed. Nuevo Leon: Universidad Autonoma de Nuevo Leon, Mexico, 1996.

WHITE, W. B. et al. Karst lands. **American scientist**, v. 83, n. 5, p. 450-459, 1995.

WHITE, W. B.; JEFFERSON, G. L.; HAMAN, J. F. Quartzite karst in southeastern Venezuela. **International Journal of Speleology**, v. 2, n. 4, p. 309-314, 1967.

WRAY, R. A. L.; SAURO, F. An updated global review of solutional weathering processes and forms in quartz sandstones and quartzites. **Earth-Science Reviews**, v. 171, p. 520-557, 2017.

WU, Q.; DENG, C.; CHEN, Z. Automated delineation of karst sinkholes from LiDAR-derived digital elevation models. **Geomorphology**, v. 266, p. 1-10, 2016.