



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
CAMPUS DE PRESIDENTE PRUDENTE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

LIRIANE GONÇALVES BARBOSA

ANÁLISE DA VARIAÇÃO DA VEGETAÇÃO NA PAISAGEM BASEADA NOS
PRINCÍPIOS DA GEOECOLOGIA E NA CARTOGRAFIA DE PAISAGENS: estudo de
caso em Altos, Nazária e Teresina (Estado do Piauí, Brasil)



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
CAMPUS DE PRESIDENTE PRUDENTE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

ANÁLISE DA VARIAÇÃO DA VEGETAÇÃO NA PAISAGEM BASEADA NOS PRINCÍPIOS DA GEOECOLOGIA E NA CARTOGRAFIA DE PAISAGENS: estudo de caso em Altos, Nazária e Teresina (Estado do Piauí, Brasil)

Tese de Doutorado apresentada junto ao Programa de Pós-graduação em Geografia - Área de Concentração: Produção do Espaço Geográfico, para obtenção do Título de Doutorado em Geografia.

Área de Concentração: Produção do espaço geográfico

Linha de Pesquisa: Análise e Gestão Ambiental

Aluna: Liriane Gonçalves Barbosa

Orientadora: Prof.^a. Dra. Encarnita Salas Martin

Departamento: Planejamento, Urbanismo e Ambiente

FICHA CATALOGRÁFICA

B199a Barbosa, Liriane Gonçalves.
Análise da variação da vegetação na paisagem baseada nos princípios da
geoecologia e na cartografia de paisagens: estudo de caso em Altos, Nazárea e
Teresina (Estado do Piauí, Brasil) / Liriane Gonçalves Barbosa. -- Presidente
Prudente, 2020
182 f: il., mapas, gráfs, tabs.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de
Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente

Orientadora: Encarnita Salas Martin

1. Geografia Ambiental. 2. Geoecologia. 3. Cartografia. Paisagem. 4. Vegetação.
I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de
Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: ANÁLISE DA VARIAÇÃO DA VEGETAÇÃO NA PAISAGEM BASEADA NOS PRINCÍPIOS DA GEOECOLOGIA E NA CARTOGRAFIA DA PAISAGEM: estudo de caso em Altos, Nazária e Teresina-PI

AUTORA: LIRIANE GONÇALVES BARBOSA

ORIENTADORA: ENCARNITA SALAS MARTIN

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Doutora em GEOGRAFIA, área: Produção do Espaço Geográfico pela Comissão Examinadora:

Profa. Dra. ENCARNITA SALAS MARTIN

Departamento de Planejamento, Urbanismo e Ambiente / FCT/UNESP - Presidente Prudente



Profa. Dra. IRACILDE MARIA DE MOURA FÉ LIMA

Departamento de Geografia e História / Univesidade Federal do Piauí

VIDEOCONFERÊNCIA

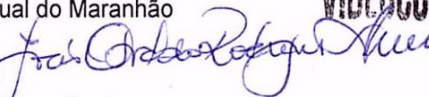
Prof. Dr. MELINA FUSHIMI

Departamento de Geografia / Universidade Estadual do Maranhão

VIDEOCONFERÊNCIA

Prof. Dr. JOÃO OSVALDO RODRIGUES NUNES

Departamento de Geografia / FCT/UNESP - Presidente Prudente



Profa. Dra MARGARETE CRISTIANE DE COSTA TRINDADE AMORIM

Departamento de Geografia / FCT/UNESP - Presidente Prudente



Presidente Prudente, 14 de fevereiro de 2020

Dedico esse trabalho a toda minha família, avó materna (in memoria), irmãos, irmãs, sobrinhos e sobrinhas, cunhadas e cunhados, especialmente à minha querida mãe Antônia Gonçalves Barbosa e in memoria àquele que tanto sonhou com esse momento, meu querido pai Raimundo Lino Barbosa.

AGRADECIMENTOS

A realização deste trabalho só foi possível graças à colaboração direta de muitas pessoas. Manifestamos nossa gratidão a todas elas e de forma particular:

Aos meus pais Antônia Gonçalves Barbosa e Raimundo Lino Barbosa (*in memoria*) pelo amor incondicional, e a meus irmãos (Raimundo Filho, José Mauro e Marinho Antonio) e as irmãs (Alciane G. Barbosa, Laiane G. Barbosa, Lidiane G. Barbosa e Aliciane G. Barbosa), às cunhadas (Marisa B. Silva e Raimunda Maria S. Barbosa e Vilmária S. Santos), aos cunhados (Claudio, Edivaldo e Gustavo), aos sobrinhos (Railson B. Silva, Vagni C. Santos, Ryan dos Santos e Tomaz dos Santos) e às sobrinhas (Rayla Micaela S. Barbosa, Rafaela S. Barbosa, Susani C. Santos, Melissa B. Silva, minhas gêmeas preferidas, Cecília e Catarina e minha caçulinha Clarice), à minha avó materna Augusta M^a. da Conceição (*in memoria*) e meus quase irmãos Erinete C. Santos, Carla Iamara e Cesar Augusto, por serem meu alicerce, minha estrutura psíquica e emocional e pelo apoio em todos momentos de minha vida, sem isso não conseguiria superar os momentos difíceis.

À Universidade Estadual Paulista-UNESP, Faculdade de Ciência e Tecnologia, FCT, campus Presidente Prudente e ao Grupo de Pesquisa em Gestão Ambiental e Análise Socioespacial - GADIS, pelo apoio institucional e pela acolhida durante esses anos de Pós-Graduação, Mestrado e Doutorado.

À Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Geografia, na pessoa dos professores Dr. Everaldo Santos Melazzo e Dr. João Oswaldo Rodrigues Nunes e as servidoras Cinthia Thiemi Onishi e Aline da Silva Ribeiro Muniz da Seção de Pós-Graduação da FCT/UNESP, pelas orientações institucionais e administrativas.

O presente trabalho foi realizado com apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - Brasil (CNPq) - processo nº 142233/2016-1.

À Professora Dra. Encarnita Salas Martin do curso de Geografia da FCT/UNESP pela orientação, compreensão e apoio nesses últimos meses da pesquisa, especialmente na etapa de conclusão desta tese.

À Professora Dra. Margarete Cristiane C. Trindade Amorim do curso de Geografia da FCT/UNESP pela avaliação e contribuições para melhoria da pesquisa, apoio, atenção e carinho.

Ao Professor Dr. Messias Modesto dos Passos da FCT/UNESP pela acolhida e orientação durante o mestrado e parte do doutorado.

Ao Prof. Dr. Antônio Cezar Leal do curso de Geografia da FCT/UNESP e a Profa. Dra Renata Ribeiro de Araújo, do curso de Engenharia Ambiental da FCT/UNESP pelo apoio e boas conversas no Grupo de Pesquisa Gestão Ambiental e Dinâmica Socioespacial (GADIS).

Ao Prof. Dr. José Tadeu Garcia Tommaselli pela orientação com o levantamento e organização dos dados climáticos da pesquisa, à Profa. Dra. Isabel Cristina Moroz-Caccia Gouveia do curso de Geografia da FCT/UNESP e a Profa. Dra. Melina Fushimi do curso de Geografia da UEMA pelas orientações na elaboração da vulnerabilidade da área de estudo.

Aos colegas e amigos do GADIS pelo companheirismo, os cafés da tarde, as discussões e colaborações. Fernanda Fuzzi, Paula Vilela e Pamela Palmeira, Matheus Okado, Lucas Momesso, Amanda Amorim, Aurélio Bandeira, Letícia Trombeta e Ricardo Santos pela ajuda na elaboração e organização dos dados da tese.

Ao Diogo Laercio Gonçalves pelo companheirismo acadêmico, as discussões teóricas e técnicas da pesquisa e as palavras de conforto nos momentos mais difíceis. Ao Rafael da Silva Nunes pela amizade e suporte técnico cartográfico.

Aos amigos (as) de curso Carla Hentz, Priscila Estevan Engel, Renata dos Santos Cardoso, Mayara Sodré, Carlos Eduardo, Maryna Antunes pelo apoio e amizade.

Às minhas amigas Ana Paula Novaes Pires, Fernanda Bomfim Soares e Juliana Aparecida Rocha Luz pelo companheirismo mesmo à distância.

Aos companheiros (a) de república e de vida Paulo Roberto Mendes Pereira, Francisco Wendell, Marco Aurélio e Larissa Piffer Dorigon pela amizade, ajuda, companheirismo, compreensão e as palavras de conforto nos momentos difíceis. E ao recém-chegado Nicolas Veregue.

E a todos demais colegas de FCT, que compartilharam sua alegria nas muitas confraternizações de república, transformando os dias difíceis em alegres e fraternais.

Aos colegas e amigos membros da Revista Formação, antigos e atuais, pelo bom convívio coletivo e a oportunidade de trocar experiências e aprendizado.

Ao instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade-ICMBIO, pelo apoio institucional e instrumental, e ao gestor da Floresta Nacional de Palmares Sr. Gaspar da Silva Alencar e demais funcionários da unidade pelo apoio administrativo e a colaboração na realização das atividades de campo da pesquisa.

Às professoras, Dra. Bartira Araújo da Silva Viana e Dra. Iracilde Maria de Moura Fé Lima, e os professores Dr. Almir Bezerra Lima e Dr. Gustavo Souza Valladares pela atenção, disponibilidade e as contribuições teóricas e realização dos campos da pesquisa.

Aos professores do curso de Geografia da UFPI, Dr. Carlos Sait de Andrade, Dr. Dr. Antônio Cardoso Façanha, Raimundo Lenilde de Araújo, e a professora Dra. Mugiany Oliveira Brito Portela pelo incentivo.

Ao guia/mateiro Silvestre Alves da Silva e Francisco Wellington e família pelas contribuições e ajuda na realização dos campos da pesquisa.

À empresa COMVAP pelo apoio técnico, humano e logístico na realização de parte dos levantamentos de campo da pesquisa e ao senhor Joãozinho e a Profa. Dra. Poliana do curso de Agronomia da UFPI por possibilitarem a realização dos levantamentos da pesquisa em suas propriedades.

Aos demais colegas e amigos de Teresina e Parnarama que participaram direto ou indiretamente da realização de mais essa etapa de realização de um sonho e me confortaram nos difíceis momentos de perdas. Em especial Wilma Avelino, Carla Iamara de Passos Vieira, Filipe Passos Silva, Daniel Ramos e os amigos e amigas da rua Balsa em Parnarama.

Por fim, a todas as pessoas que direta ou indiretamente colaboram para a concretização de mais esse ciclo de vida.

RESUMO

O estudo da dinâmica espacial e sazonal da vegetação e suas relações com os demais fatores geoecológicos são importantes não só para entender a estrutura, funcionamento e evolução das paisagens e a relação natureza-sociedade, em particular os impactos da ação antrópica sobre a paisagem e sua capacidade de retroalimentação, mas também para compreender para subsidiar o planejamento e a gestão do território. A pesquisa teve como objetivo geral de analisar a variação da vegetação, procurando entender os fatores geoecológicos que influenciam seu comportamento espacial e sazonal, e como esta contribui para formação e estabilidade da paisagem, nos municípios de Altos, Nazária e Teresina, Estado do Piauí (Brasil). O estudo está centrado suas características fisionômicas e suas relações com os demais fatores geoecológicos naturais e antrópicos. A pesquisa foi desenvolvida baseada nos princípios e fundamentos da Geoecologia da Paisagem e na aplicação da Cartografia de Paisagens, integrada a técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento para realização de inventário cartográfico, geração de índices de vegetação e mapeamento síntese de unidades de paisagem e da vulnerabilidade da paisagem. A pesquisa teve como objetivos específicos: a) Compreender a combinação dos elementos físico-naturais e antrópicos na formação da paisagem local e na determinação das fisionomias e comportamento espacial e sazonal da vegetação; b)Elaborar um inventário dos elementos físico-naturais e antrópicos da paisagem para a realização da síntese e diagnóstico ambiental da paisagem dos municípios estudados;c)Analisar as interações geoecológicas da vegetação na paisagem local; d)Avaliar a vulnerabilidade/estabilidade da paisagem dos municípios, destacando o papel da vegetação como indicador da paisagem. Com o inventário cartográfico foi possível identificar as principais fisionomias da vegetação nativa dos municípios estudados, como os demais fatores formadores da paisagem local e as unidades síntese da paisagem. Os resultados mostraram que há uma variação sazonal dos processos fenológicos da vegetação e essa variação está condicionada pelo regime de precipitação local. Mostrou ainda que os principais fatores geoecológicos condicionantes da distribuição espacial de suas fisionomias são o relevo, o solo e a litologia. Contudo, considerou a litologia o fator geoecológico que exerce maior influência na organização estrutural da paisagem local.

Palavras-chave: Vegetação. Fatores Geoecológicos. Paisagem. Relações Geoecológicas.

ABSTRACT

The study of the spatial and seasonal dynamics of vegetation and its relationship with other geoeological factors are important not only to understand the structure, functioning and evolution of landscapes and the nature-society relationship, in particular the impacts of anthropic action on the landscape and its feedback capacity, but also to understand to support the planning and management of the territory. The general aim of this research was to analyze the variation of vegetation, seeking to understand the geoeological factors that influence its spatial and seasonal behavior, and how it contributes to the landscape formation and stability, in Altos, Nazária and Teresina, State of Piauí (Brazil). The study focuses on its physiognomic characteristics and its relationship with other natural and man-made geoeological factors. The research was developed based on the principles and foundations of Landscape Geoeology and the application of Landscape Cartography, integrated with remote sensing and geoprocessing techniques to carry out cartographic inventory, vegetation indexes and synthesis mapping of landscape and landscape vulnerability units. The research had as specific objectives: a) Understand the combination of physical-natural and anthropic elements in the formation of the local landscape and in determining the physiognomies and spatial/seasonal behavior of vegetation; b) Prepare an inventory of the physical-natural and anthropic landscape elements to carry out the synthesis and environmental diagnosis; c) Analyze the geoeological interactions of vegetation in local landscape; d) Assess the vulnerability / stability of the municipalities' landscape, highlighting the role of vegetation as an landscape indicator. With the cartographic inventory it was possible to identify the main physiognomies of native vegetation, as well as the other factors that form the local landscape and the synthesis units of the landscape. The results showed that there is a seasonal variation in the phenological processes of the vegetation and this variation is conditioned by the local precipitation. It also showed that the main geoeological factors conditioning the spatial distribution of its physiognomies are relief, soil and lithology. However, lithology was considered to be the geoeological factor that has the greatest influence on the structural organization of local landscape.

Keywords: Vegetation. Geoeological factors. Landscape. Geoeological Relations.

ÍNDICE DE ILUSTRAÇÕES

Lista de Figuras

Figura 1- Gráficos de evolução da população total e população urbana e rural dos municípios de Altos, Nazária e Teresina.....	23
Figura 2- Esboço Estratigráfico da Bacia Sedimentar do Parnaíba.....	28
Figura 3- Sistema de conceitos da paisagem.....	37
Figura 4- Modelo sistêmico de funcionamento da paisagem, absorção, transformação e consumo de EMI.....	40
Figura 5- Fatores geoecológicos de formação da paisagem.....	54
Figura 6- Fluxograma de desenvolvimento da pesquisa	60
Figura 7- Fluxograma de mapeamento do relevo.....	64
Figura 8- Organograma do processo de elaboração do mapa de unidades de paisagem.....	69
Figura 9- Gráficos de variação climatológica do Município de Altos, Piauí-1998 a 2018.	89
Figura 10- Gráficos de variação climatológica do Município de Nazária, Piauí-1998 a 2018.	90
Figura 11- Gráficos de variação climatológica do Município de Teresina, Piauí-1998 a 2018.	91
Figura 12- Gráficos de variação climatológica do Município de Teresina, Piauí-1998 a 2018.	92
Figura 13- Fotografia e imagens de satélite com vista panorâmica de áreas de tanques de piscicultura no município de Nazária	128
Figura 14- Imagem aérea de plantação de cana no extremo norte de Teresina.....	132
Figura 15- Fotografias mostrando áreas de pastagem cultivada e natural nos municípios de Altos e Nazária e cultivo de cana no município de Teresina.....	133
Figura 16- Imagem de satélite com vista panorâmica de áreas de extração e fotografias de método de extração e transporte de massará/seixo nos municípios de Teresina e Nazária....	134
Figura 17- Fotografias de variação sazonal da vegetação em fisionomia de Floresta Estacional Semidecidual Submontana no limite dos municípios de Altos e Teresina.....	137
Figura 18- Prancha de Carta Imagem de NDVI, SAVI e CGI-2006.....	139
Figura 19- Prancha de Carta Imagem de NDVI, SAVI e CGI-2018.....	140
Figura 20- Fotografias e imagem de satélite mostrando fisionomia de vegetação em forma de capões no leste do município de Altos	144

Lista de Gráficos

Gráfico 1- Classes de rendimento nominal mensal domiciliar SM (Salário Mínimo) dos municípios de Altos, Nazária e Teresina-2010.....	24
Gráfico 2- Hietograma de médias pluviométricas mensais do Território da Região Metropolitana de Teresina (1977-2006)	26

Lista de Quadros

Quadro 1- Tipos climáticos e Cenários Pluviométricos de Altos, Nazária e Teresina	27
Quadro 2- Evolução epistemológica da paisagem	32
Quadro 3- Enfoques e métodos de análise da paisagem na Geoecologia	42
Quadro 4- Bases de dados e produtos cartográficos da pesquisa.....	62
Quadro 5- Características das bandas Sentinel-2	65

Quadro 6-Fórmulas e combinações de Planos de Informação de Estabilidade/Vulnerabilidade	71
Quadro 7-Intervalos de valores das classes de Estabilidade/Vulnerabilidade	71
Quadro 8-Equações dos índices de vegetação CGI, NDVI e SAVI	73
Quadro 9-Coluna litoestratigráfica dos municípios Altos, Nazária e Teresina	79
Quadro 10-Características gerais das classes de Solos	115
Quadro 11- Descrição geral das classes de Vegetação	124
Quadro 12-Descrição geral das classes de Uso e Cobertura da Terra	129
Quadro 13-Síntese das Unidades de Paisagem	146
Quadro 14-Síntese dos principais processos naturais e antrópicos das Unidades de Paisagem	147
Quadro 15-Classes de Estabilidade/Vulnerabilidade e processos de morfodinâmica da paisagem dos municípios de Altos, Nazária e Teresina	155

Lista de Mapas

Mapa 1- Localização da área de estudo	22
Mapa 2-Unidades litológicas dos municípios de Altos, Nazária e Teresina	81
Mapa 3-Mapa de Precipitação Média Anual (1998-2018)	87
Mapa 4-Hipsometria dos Municípios de Altos, Nazária e Teresina	96
Mapa 5-Declividade dos Municípios de Altos, Nazária e Teresina	97
Mapa 6-Índice de Concentração de Rugosidade do Relevo dos municípios de Altos, Nazária e Teresina	98
Mapa 7- Imagem SRTM e Subbacias Hidrográficas	102
Mapa 8-Mapa de Delimitação das Subbacias Hidrográficas dos municípios de Altos, Nazária e Teresina	103
Mapa 9-Unidades de Relevo dos municípios de Altos, Nazária e Teresina	106
Mapa 10-Curvatura do terreno dos municípios de Altos, Nazária e Teresina	111
Mapa 11-Unidades de Solo dos municípios de Altos, Nazária e Teresina	114
Mapa 12-Vegetação dos municípios de Altos, Nazária e Teresina	122
Mapa 13-Uso da e Cobertura da Terra dos municípios de Altos, Nazária e Teresina	131
Mapa 14-Unidades de Paisagem dos municípios de Altos, Nazária e Teresina	148
Mapa 15- Estabilidade/Vulnerabilidade natural da paisagem à erosão sem a variável vegetação	156
Mapa 16- Estabilidade/Vulnerabilidade natural da paisagem à erosão com a variável vegetação	157
Mapa 17- Estabilidade/Vulnerabilidade ambiental da paisagem à erosão com a variável uso e sem vegetação	158
Mapa 18-Estabilidade/Vulnerabilidade ambiental da paisagem à erosão com todas as variáveis	159

Lista de Tabelas

Tabela 1-Modelo de tabela cruzada do mapeamento da paisagem	67
Tabela 2-Quantificação percentual das unidades litológicas	83
Tabela 3-Precipitação Total Anual por ponto analisado (1998-2018)	86
Tabela 4-Quantificação das classes de hipsometria, declividade e ICR	95
Tabela 5-Quantificação percentual das Unidades de Relevo	104
Tabela 6-Quantificação percentual das unidades de Curvatura Vertical	110

Tabela 7- Quantificação percentual das classes de Solo	113
Tabela 8- Quantificação percentual das classes de Vegetação	121
Tabela 9- Quantificação percentual das classes de Uso e Cobertura da Terra	127
Tabela 10- Valores máximos e mínimos dos índices NDVI, SAVI e CGI nos anos de 2006 e 2018	138
Tabela 11- Quantificação percentual das classes de Estabilidade/Vulnerabilidade	152

LISTA DE SIGLAS

ANA-Agência Nacional de Águas

CPRM- Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais

EMBRAPA- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

GCI -Green Chlorophyll Index

IBGE-Instituto Brasileira de Geografia e Estatística

ICR-Índice de Concentração de Rugosidade

INMET-Instituto Nacional de Meteorologia

NDVI- Índice de Vegetação por Diferença Normalizada

RIDE -Região Integrada de Desenvolvimento da Grande Teresina

SAVI- Índice de Vegetação Ajustado ao Solo

SRTM- Missão Topográfica Radar Shuttle

SIRGAS-Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas

UTM-Universal Transversa Mercator

VCANs- Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis

ZCIT-Zona de Convergência Intertropical

SUMARIO

1	INTRODUÇÃO.....	16
2	LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	21
3	A EVOLUÇÃO DO CONCEITO DE PAISAGEM E A GEOECOLOGIA DA PAISAGEM.....	29
3.1	Aplicação do conceito de paisagem na análise integrada e sua representação cartográfica.....	39
3.2	A vegetação e suas interações na paisagem.....	50
4	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	58
4.1	Orientação teórico-metodológica.....	58
4.2	Base cartográfica e mapeamento da pesquisa.....	61
4.2.1	Mapeamento temático.....	63
4.2.2	Mapeamento de síntese.....	67
4.3	Índices de vegetação.....	72
4.4	Levantamento e análise dos dados climáticos.....	74
4.5	Análise discursiva dos dados.....	75
5	INVENTÁRIO DOS FATORES GEOECOLÓGICOS DA PAISAGEM ENVOLVIDOS NA ESPACIALIZAÇÃO E DINÂMICA DA VEGETAÇÃO.....	76
5.1	Litologia.....	76
5.2	Dinâmica climática.....	83
5.3	Dinâmica do relevo e da drenagem.....	94
5.4	Características pedológicas da área.....	112
5.5	Características fisionômicas da vegetação.....	120
5.6	Uso e Cobertura da Terra.....	126
6	ANÁLISE DAS INTERAÇÕES ESPACIAIS E SAZONAIS DA VEGETAÇÃO E DIAGNÓSTICO AMBIENTAL DA PAISAGEM DOS MUNICÍPIOS DE ALTOS, NAZÁRIA E TERESINA.....	136
7	CONCLUSÕES.....	161
	REFERÊNCIAS.....	165

1 INTRODUÇÃO

A presente tese é resultado de pesquisa realizada nos municípios de Altos, Nazária e Teresina, no Estado do Piauí, sobre a vegetação e sua variação na paisagem, suas características fisionômicas e suas relações com os demais fatores geoecológicos naturais e antrópicos na paisagem.

A vegetação possui função singular como fator de formação da paisagem e sua estabilidade morfodinâmica. Compete a ela o papel de mediar e regular fluxos de entrada e saída de energia e matéria da/na paisagem, por meio da transformação de energia em matéria orgânica e da sua capacidade de proteção dos solos, atenuando processos de degradação ambiental, como processos erosivos, compactação do solo, assoreamento etc.

Ao mesmo tempo, suas características estruturais e funcionais são determinadas em função de suas relações com os demais fatores geoecológicos da paisagem, podendo ser definidas como interações geoecológicas ou funcionais, que resultam na manifestação de atributos estruturais e características distintivas no interior das estruturas espaciais geográficas (unidades de paisagem), passíveis de análise e classificação, exercendo a função de indicadores da estrutura, evolução, dinâmica e estado ambiental da paisagem.

A vegetação é, segundo Ostaszewska (2010), um dos fatores menos estáveis da paisagem e está subordinada aos fatores mais estáveis como clima, relevo e substrato geológico, tendo significado importante nas análises da paisagem em escala detalhada, dado o fato de ser um elemento ativador dos processos paisagísticos.

Neste estudo, a vegetação é entendida como um subsistema da paisagem, dotado de estrutura, funcionamento e interações geoecológicas, que permite que haja troca de energia e matéria com o ambiente, na forma de luz, água e nutrientes, favorecendo a ocorrência de uma rede de interação permanente entre os vários elementos da paisagem, como solo, relevo e clima.

Independentemente de como é abordada, seja como cobertura da terra/solo, unidade de paisagem, recurso natural/econômico, biodiversidade e/ou variável biogeoquímica e biogeográfica, a vegetação é um dos elementos da paisagem mais estudados pelas diversas áreas do conhecimento e em estudos de diversas naturezas (ANTUNES, 2017; BARDUCO *et al.*, 2009; BREIL, *et al.*, 2015; GALINDO *et al.*, 2008; LLOPAR, 2014; SCHÄDLER, 2017).

Neste sentido, pesquisas direcionadas a respeito das particularidades da vegetação e suas correlações e inter-relações na paisagem, tornam-se fundamentais, não só para entender a

estrutura, funcionamento, dinâmica e evolução das paisagens, mas também a relação natureza-sociedade e, em particular os impactos da ação antrópica sobre a paisagem e sua capacidade de retroalimentação, uma vez que, é um importante indicador da relação estabilidade/vulnerabilidade da paisagem.

Por essa razão, seu estudo contemplou a análise correlacionada e integrada (geossistêmica) de fatores e processos geoecológicos, que determinam seu comportamento espacial e sazonal, com especial atenção para a relação da tríade solo-vegetação-precipitação, partindo do pressuposto de serem esses, os fatores que mais condicionam sua dinâmica espacial (horizontal e vertical) e temporal (sazonal).

Duas questões motivaram os encaminhamentos iniciais desta pesquisa: (I) a característica espacial de descontinuidade da vegetação na área estudada, que apresenta alternância intercalar de diferentes classes fisionômicas em curto espaço e; (II) e a variação sazonal com períodos de maior e menor ocorrência de atividades fisiológicas (produtividade e variações estruturais do dossel), levando a supor que esses comportamentos, espacial e sazonal, estão relacionados às características minerais do solo e à precipitação, respectivamente.

As questões levantadas, resultaram de observações feitas sobre as características fisionômicas da vegetação dos municípios de Altos e Teresina, durante o desenvolvimento de pesquisa de mestrado entre os anos de 2013 e 2015. O arranjo descontínuo de grupos estruturais, formados por manchas alternadas de floresta mista e cerrado, mesclados com interpenetrações de palmáceas, marcadamente caracterizadas por dupla estacionalidade climática durante o ano, despertou o interesse por tentar entender/esclarecer quais fatores ambientais determinam tal dinâmica.

Assim, no intuito de averiguar as questões apresentadas, se propôs, inicialmente, realizar um estudo aprofundado e analítico sobre as classes de vegetação dos dois municípios, levando em consideração as correlações geoecológicas, acreditando ser possível discriminar com precisão e detalhe as descontinuidades dos grupos de vegetação nativa, demonstrando suas características fisionômicas e biofísicas, bem como verificar até que ponto as variáveis edafoclimáticas, previamente definidas, influenciam seu comportamento espacial e sazonal.

No decorrer da pesquisa, a proposta foi ampliada e passou a abranger, além destas questões de ordem natural, questões de natureza antrópica, como as diferentes formas de uso da terra, que são responsáveis pela substituição total ou parcial da cobertura vegetal e promovem a transformação da paisagem local.

Acompanhada da ampliação da proposta, estendeu-se, também, a área de estudo, que inicialmente abrangia apenas os municípios de Altos e Teresina, e passou a incluir o município de Nazária. A escolha dos três municípios ocorreu, principalmente, em função das características físico-naturais descritas, pelo fato de abrangerem um conjunto de áreas localizadas na confluência e interflúvio de três grandes Bacias Hidrográficas (Parnaíba, Poti e Longá) e pela relevância político-administrativa e socioeconômica que possuem no âmbito regional, particularmente o município de Teresina.

Levantou-se a hipótese de que a variação espacial e sazonal da vegetação, dos municípios estudados, está condicionada às características dos solos e ao regime de precipitação, o que pode ser demonstrado através da Cartografia de Paisagens.

A proposta de tese consistiu em três questões centrais:

I- as classes de vegetação nativa da área de estudo, em sua configuração espacial, estão, de algum modo, condicionadas pelas características físicas e químicas do solo. Parte-se do princípio de que essas classes de vegetação sejam resultado da adaptação à estrutura geológica regional, que condicionou a configuração atual do relevo e as características do solo;

II- a variabilidade sazonal do regime pluviométrico regional condiciona a variação da fisionomia da vegetação, que apresenta dupla estacionalidade climática, cujas características biofísicas variam de maneira expressiva ao longo do ano;

III- é possível demonstrar este comportamento espacial e biofísico da vegetação, com a aplicação de metodologias integradas à Cartografia da Paisagens.

Para tanto, objetivou-se analisar a variação da vegetação, procurando entender os fatores geocológicos que influenciam seu comportamento espacial e sazonal, e como esta contribui para formação e estabilidade da paisagem, nos municípios de Altos, Nazária e Teresina, Estado do Piauí.

Foram definidos como objetivos específicos:

✓ Elaborar um inventário dos elementos físico-naturais e antrópicos que determinam os tipos de vegetação, bem como sua espacialização/distribuição na paisagem nos municípios estudados;

✓ Compreender a combinação dos elementos físico-naturais e antrópicos na formação da paisagem dos municípios estudados, na determinação das fisionomias e no comportamento espacial e sazonal da vegetação;

✓ Avaliar a vulnerabilidade/estabilidade da paisagem dos municípios, destacando o papel da vegetação como indicador da paisagem.

A pesquisa se desenvolveu apoiada nos princípios teórico-metodológicos da Geoecologia da Paisagem e seu conceito base, a paisagem, enquanto referência geográfica-

analítica, entendida no sentido material de unidade terrestre, dotada de estrutura e funcionamento sistêmico, formada pela integração/cominação de fatores geoecológicos que, são responsáveis por desempenhar diferentes papéis e funções na sua composição, funcionamento, evolução e dinâmica, seguindo pelo menos três linhas principais de fundamentação epistemológica.

A primeira delas é referente à teoria e categoria de análise da Geografia, que sistematizam a forma de pensar o objeto estudado; a segunda, é a racionalização da vegetação, enquanto sistema e fator geoecológico de formação da paisagem, dotado de dinâmica, função e relações sistêmicas e; a terceira, se refere aos atributos, variáveis e relações sistêmicas deste fator geoecológico, passíveis de levantar, quantificar e qualificar, fazendo-se uso de métodos e técnicas sensoriais e cartográficas.

Estas linhas de fundamentação teórica estão evidenciadas ao longo do texto e, principalmente no capítulo de discussão conceitual e temática, dedicado a familiarizar o leitor sobre a natureza do fenômeno estudado, a partir de uma linha de raciocínio e categorização geográfica –a Geoecologia e a Paisagem- e de conhecimentos já consolidados na ciência, acerca da condição, dinâmica e função da vegetação na paisagem e suas relações geoecológicas.

De outra parte, a pesquisa une três dimensões fundamentais no âmbito da Geografia: em primeiro lugar, o desafio de realizar estudo da vegetação com caráter correlacional, considerando sua globalidade sistêmica na interpretação e análise das variáveis ambientais, em que são privilegiadas as correlações e interações espaciais.

Em segundo, a produção/representação técnico-cartográfica da pesquisa, que privilegiou o uso da Cartografia de Paisagens, com o auxílio do Sensoriamento Remoto, como ferramentas de quantificação e espacialização das homogeneidades e descontinuidades dos fatores geoecológicos da área em estudo, enfaticamente da vegetação.

E por fim, a forma de interpretação das variáveis e atributos da vegetação e demais parâmetros ambientais de interesse da pesquisa, na qual buscou-se conciliar a representação quantitativa e qualitativa dos dados levantados e observados na área, com a análise correlacional da ocorrência dos fatos e processos geoecológicos, priorizando sua avaliação espacial (horizontal e vertical) e sazonal.

Conforme orientam os princípios metodológicos da Geoecologia da Paisagem, a pesquisa se desenvolveu com base em inventário cartográfico e cartografia de síntese, utilizando a Cartografia de Paisagens como ferramenta metodológica, análise quantitativa e

qualitativa dos fatores geoecológicos inventariados e análise das interações da vegetação na paisagem.

A definição de conceitos e temas que fundamentam a tese, se pautou na temática, no objeto de estudo, nos objetivos e na proposta teórica-metodológica da pesquisa. Neste sentido, desenvolveu-se um capítulo teórico, subdividido em três seções, onde são discutidos conceitos e temas de caráter geoecológico/geográfico, considerando uma lógica dialógica com a natureza geossistêmica da vegetação, suas interações na paisagem e especificidades ambientais.

Priorizou-se, a princípio, a abordagem histórica da paisagem e sua construção científica no âmbito da Geografia e Geoecologia, e em seguida a abordagem teórica-metodológica acerca do estudo e representação espacial na análise integrada, abrangendo a discussão de outros conceitos ambientais/paisagísticos, como a estabilidade e a vulnerabilidade. O capítulo finaliza com a discussão teórica sobre as interações ambientais da vegetação na paisagem sob a concepção geossistêmica.

Na pesquisa, o conceito de paisagem assumiu a função de unidade operacional de estudo, por meio do qual foi possível a interpretação, espacialização e síntese das unidades de paisagem e das fitofisionomias dos municípios estudados, assim como a compreensão das relações geoecológicas da vegetação com demais elementos da paisagem e a influência que cada um exerce sobre sua dinâmica.

De maneira geral, o texto da tese está estruturado em sete seções que, contemplam um capítulo de fundamentação teórica, os procedimentos metodológicos, a caracterização da área de estudo e outros dois capítulos de análise dos resultados, além desse texto introdutório, das considerações finais e das referências. Os resultados estão estruturados em um capítulo de inventário e outro de análise síntese e diagnóstico.

O primeiro capítulo de resultados está voltado para a análise descritiva individual dos fatores geoecológicos da paisagem, responsáveis pela organização estrutural da vegetação e sua dinâmica funcional e, o outro capítulo, centra sua análise nas interações da vegetação, por meio da avaliação de índices diagnósticos e da síntese das unidades de paisagem da área de estudo.

2 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Os municípios de Altos, Nazária e Teresina estão localizados no centro-norte do Estado do Piauí, na margem direita do rio Parnaíba, em uma faixa do meridiano 42° e da latitude 5° (Mapa 1). Fazem parte da Região Integrada de Desenvolvimento da Grande Teresina-RIDE¹. Têm como limites os municípios de José de Freitas e União a norte, Campo Maior e Coivaras a leste, Pau D'Arco, Demerval Lobão, Monsenhor Gil e Palmeirais, a sul, e pelos municípios maranhenses Caxias, Timon e Matões, a oeste.

Juntos, os municípios abrangem uma área de 2.715,35 km², com densidade populacional de 627, 48 hab/km². De acordo com dados do Censo de 2010 a população total dos três municípios, neste período era de 851,120 mil habitantes, correspondendo em termos percentuais a 28% da população do Estado do Piauí. A maior parte da população está concentrada no município de Teresina, perfazendo 94,7%. A estimativa para o ano de 2019 é de 913.939 mil habitantes (IBGE, 2010; 2018).

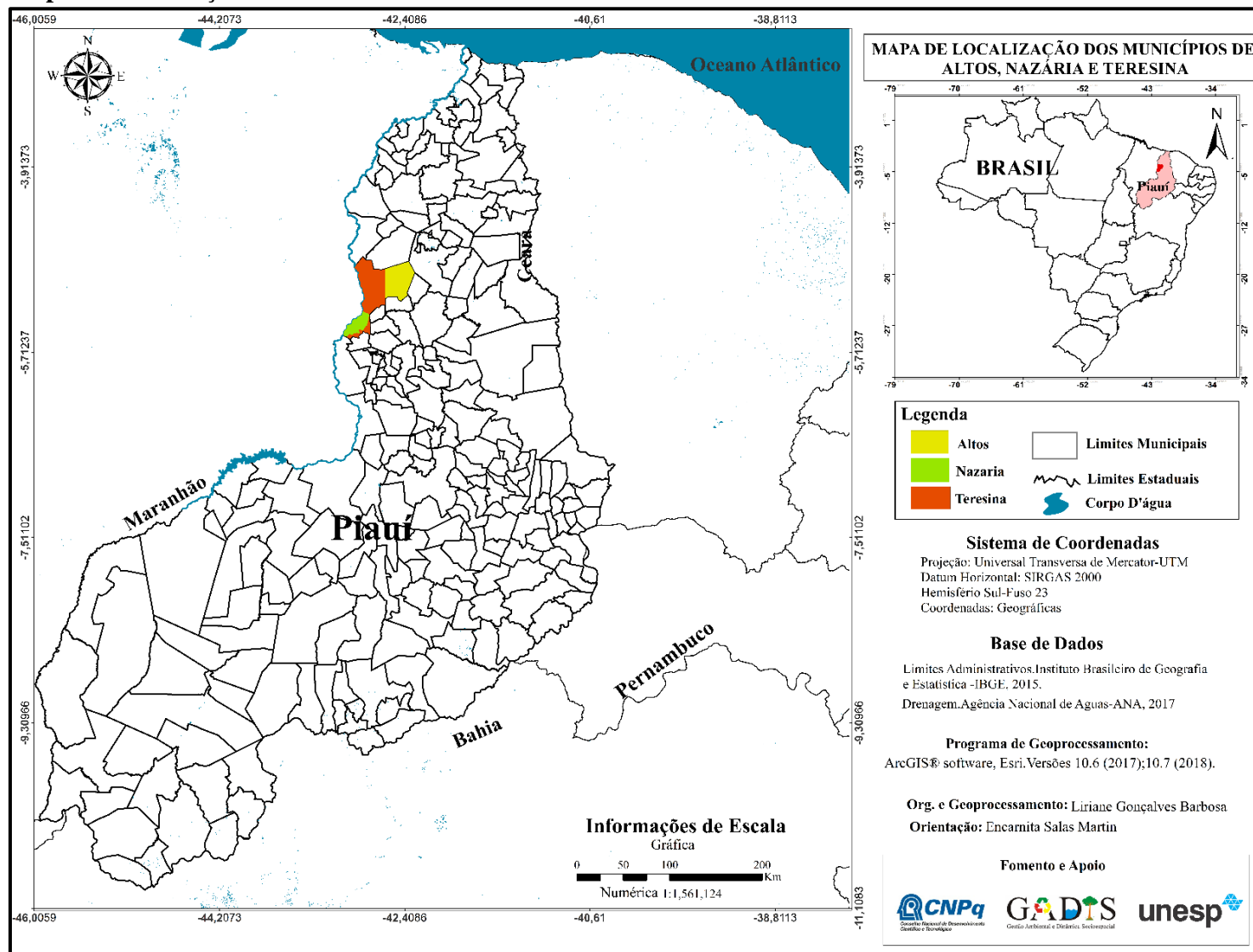
O município de Teresina é o mais populoso e o mais povoado dos três. Possui uma população recenseada em 814.230 mil habitantes, com estimativa de 864.845 em 2019 e densidade de 584,94 hab./km². Nazária é o município menos populoso e povoado dos três, com apenas 8.068 mil recenseados em 2010 e estimativa de aumento para 8.570 mil em 2019. Possui uma densidade de 22 hab/km² (IBGE, 2010; 2019).

A maior parte da população dos três municípios está concentrada na zona urbana. Em Teresina o percentual de população urbana é maior que 90% e apenas 5,7% da população vive na zona rural. Em Nazária quase 80% da população também vive na zona urbana e em Altos 70,3%. Este último, é o município com o maior percentual de população vivendo na zona rural, 29,5% (Figura 1).

O município de Teresina concentra o maior PIB per capita, R\$20 879,75 e o maior IDH-M 0,751, segundo dados do IBGE (2010; 2015) e do PNUD (2010). Já Nazária e Altos possuem IDM-M equivalentes, 0,602 e 0,618, respectivamente, ainda que numericamente o índice de Altos apresente valor um pouco acima que o índice de Nazária.

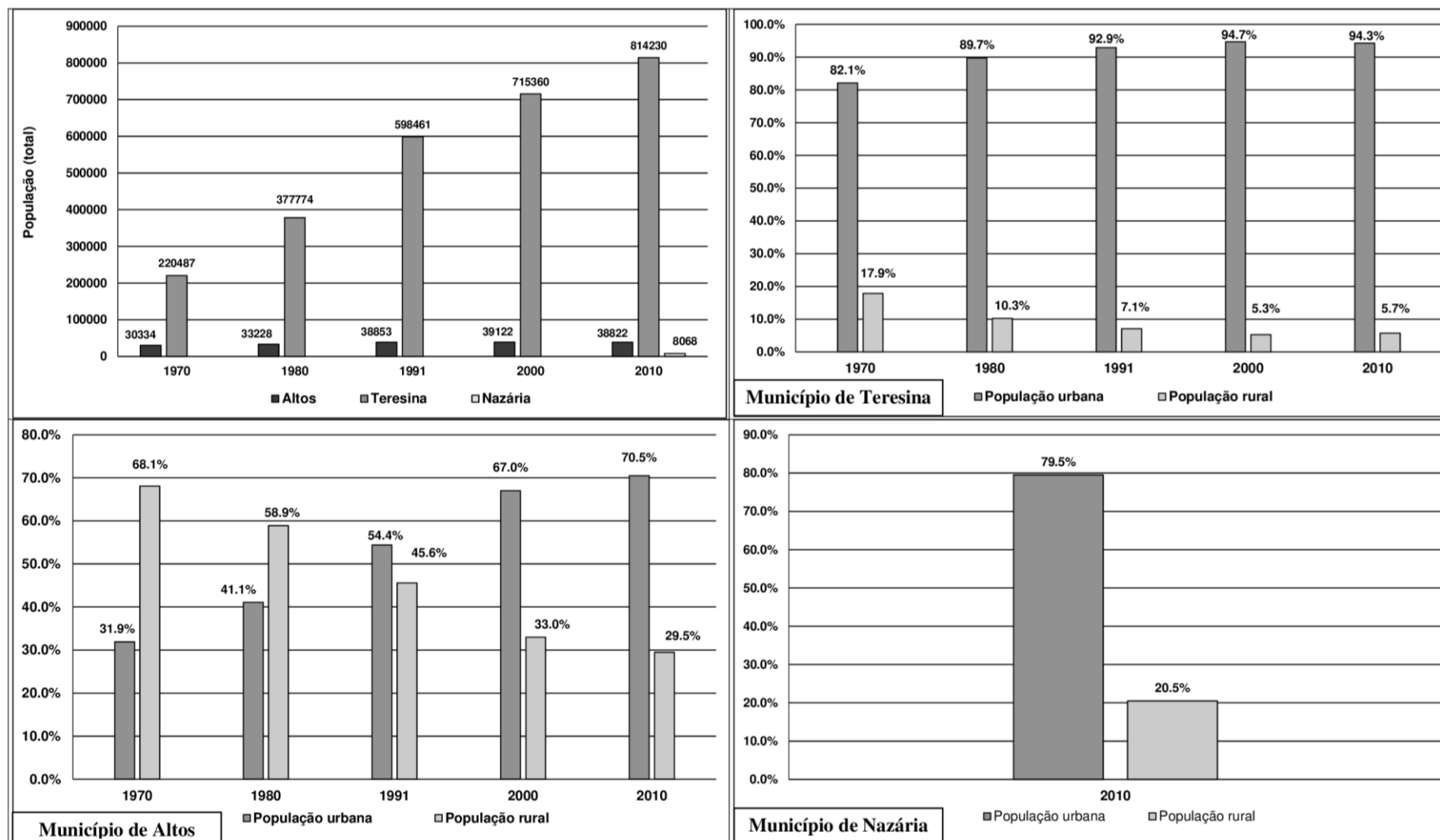
¹A RIDE é uma Região Administrativa composta por 14 municípios piauienses e um maranhense, voltada para a articulação e harmonização das ações administrativas da União, estados e municípios em torno de projetos que tenham como finalidade dinamizar a economia e promover infraestruturas necessárias ao desenvolvimento regional (CODEVASF, 2014).

Mapa 1- Localização da área de estudo



Org. e Geoprocessamento: BARBOSA, L.G, 2019. **Orientação:** MARTIN, E.S.

Figura 1- Gráficos de evolução da população total e população urbana e rural dos municípios de Altos, Nazária² e Teresina

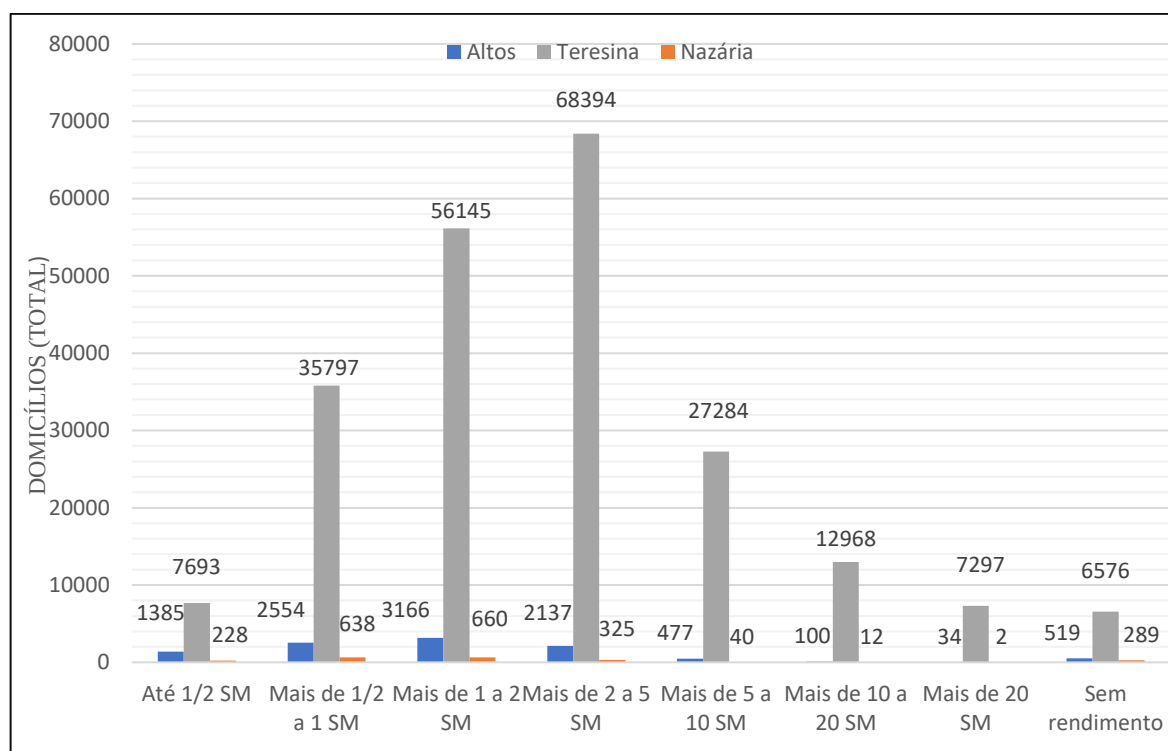


Fonte: Censo IBGE, 2010. Org. BARBOSA, L. G; SANTOS, R. Orientação: MARTIN, E.S.

² Foi emancipado em 1993 e instalado político e administrativamente em janeiro de 2009 e, por essa razão participou apenas do Censo de 2010.

Como pode ser observado no gráfico 1 a seguir os municípios apresentam uma disparidade acentuada em relação ao rendimento nominal, medido em Salário Mínimo mensal por domicílio. Em todas as faixas de renda o município de Teresina apresenta maior valor absoluto de domicílios, concentrando maior parcela na faixa de 2 a 5 SM³, perfazendo um total de 68.394 unidades. Nazária apresenta o menor número de domicílios em todas as faixas de rendimento.

Gráfico 1-Classes de rendimento nominal mensal domiciliar SM (Salário Mínimo) dos municípios de Altos, Nazária e Teresina-2010



Fonte: Censo IBGE, 2010. **Org.** SANTOS, R. **Orientação:** MARTIN, E.S.

No ano de 2017 o salário médio mensal da população de Altos, Nazária e Teresina foi de 1,8, 1,5 e 2,8 SM, respectivamente. Em Altos 50,2% da população tinha rendimento mensal de até meio salário mínimo e apenas 8,2% exercia alguma atividade econômica remunerada e/ou trabalho não informal. Nazária apresentou números maiores que Altos, tendo 52,1% da população com rendimento de até meio SM e 11,8% exercendo em termos de ocupação. Em Teresina o número de pessoas trabalhando formalmente foi de 35% e 38,6% o rendimento mensal, de acordo com a faixa de rendimento mencionada acima (IBGE, 2017).

³ Até 2010 o valor do salário mínimo vigente era de R\$ 540,00 (Lei 12.255/2010). Atualmente o salário mínimo é R\$ 1.045.

Entre os três municípios, Teresina se destaca em função da importância política, administrativa, econômica e populacional. O município além de concentrar a maior parcela da população do estado, concentra as atividades e órgãos administrativos estaduais e federais. Somada a essas características, a posição geográfica onde se encontra localizado o município, em um entroncamento de rodovias que se liga estados das regiões Norte e Nordeste, favorece o estabelecimento de atividades econômicas diversificadas e de bens e serviços, tornando o município um pólo de atração regional, em um raio que atinge estados das regiões Nordeste e Norte (CODEVASF, 2014; TERESINA, 2013).

Saúde e educação são os serviços que mais se destacam no município. Formam dois grupos de serviços importantes na cidade de Teresina, formados por hospitais, clínicas, ambulatórios, laboratórios, farmácias e drogarias, insumos e assistência técnica etc., no setor de saúde, e escolas, centros técnicos e universitários, no setor da educação, tornando o município referência regional destes setores (CODEVASF, 2014; TERESINA, 2013).

Em relação às características físico-naturais os municípios estão situados em uma região de condições morfoclimáticas transicionais, influenciada, de um lado, pelo clima semiárido do Nordeste e de outro pelo clima úmido da Amazônia. A influência de condições climáticas tão adversas torna essa, uma região de diversidade climática e fitogeográfica, caracterizada por cenários climáticos diversos ao longo do ano e complexos fitogeográficos mistos, com a ocorrência de vários tipos fisionômicos de vegetação, formados por uma mistura de espécies florísticas de diferentes Biomas, conforme já apontaram alguns estudos (ARAÚJO; MENDES; RIBEIRO, 1996; BARBOSA, 2015; BARROS; CASTRO, 2006; CASTRO; SOUSA, 2009; EMBRAPA, 1984; LIMA, *et al.*, 2013).

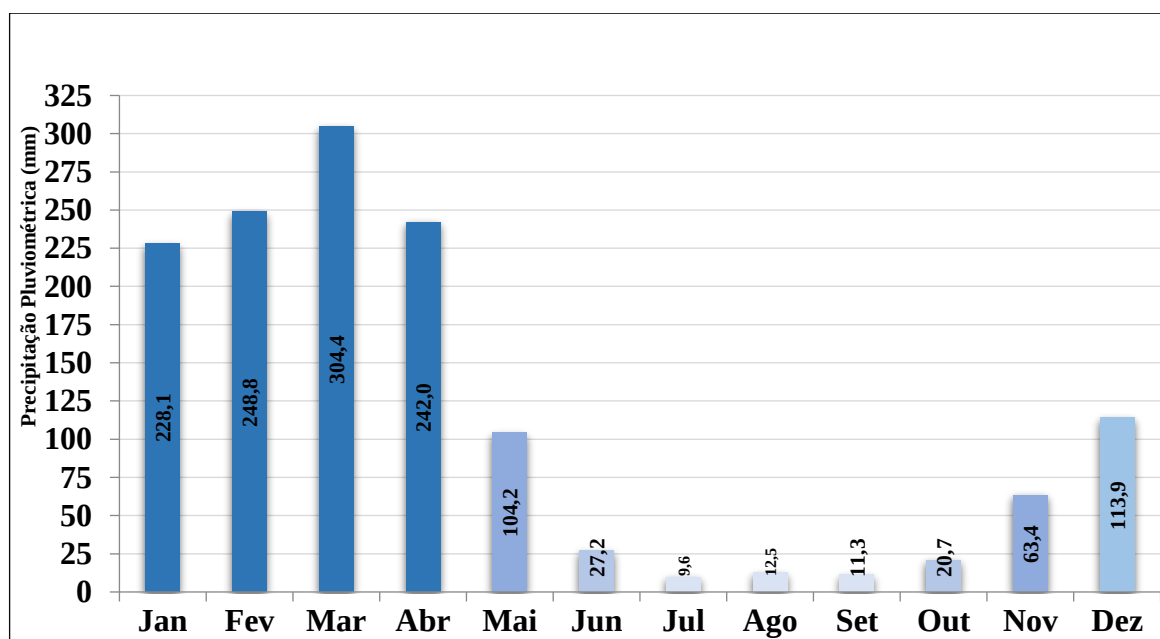
De acordo com a classificação de Ab' Saber (1967; 2003), a região é parte de uma grande faixa de transição fitogeográfica, grosso modo, triangular, formada pelos domínios da Amazônia, da Caatinga e do Cerrado, que abrange parte dos Estados do Piauí e Maranhão, onde se destacam diferentes classes de vegetação, compostas por espécies destes domínios e de forma menos expressiva, enclaves da Mata Atlântica.

O clima predominante na região é o tropical subúmido quente, megatérmico, com duas estações bem definidas em relação ao regime de precipitação, marcada por uma estação chuvas concentradas no primeiro semestre do ano (verão e outono) e outra de estiagem no segundo semestre (inverno e primavera), caracterizada por baixos índices de precipitação e temperaturas muito elevadas (BASTOS; ANDRADE JUNIOR, 2007).

O período é marcado por chuvas intensas, com valores acumulados que podem superar 100 mm diários, a exemplo dos acumulados registrados em 27 de janeiro de 2004, 29 de abril de 2009 e 30 de março de 2018, que atingiram 125, 108, 128 mm, respectivamente (INMET, 2020). Nesse período também é característica a ocorrência de vendavais, com alta incidência de raios e trovões, principalmente no mês de janeiro.

Em contrapartida, no período de estiagem os valores acumulados dificilmente chegam a 50mm mensais e as temperaturas podem atingir máximas de 40°C, principalmente entre os meses de setembro e dezembro, caracterizando-se como um período seco, denominado localmente de B.R.O (Bê-erre-o) BRÓ⁴, com índices de umidade relativamente baixos, 50 a 60%, se comparado aos meses do primeiro semestre do ano. No hietograma a seguir (Gráfico 2), é possível observar as diferenças de precipitação entre as duas estações do ano, calculados para o período de 1977 e 2006 nos municípios da região administrativa RIDE Teresina⁵.

Gráfico 2- Hietograma de médias pluviométricas mensais do Território da Região Metropolitana de Teresina (1977-2006)



Fonte: Pinto et al.. (2011)

Em estudos realizados com a finalidade de determinar as características climáticas espaciais do Estado do Piauí, Andrade Junior *et. al* (2008; 2004a; 2004b) identificaram a

⁴Expressão popular que usa a última sílaba das terminologias destes meses para se referir a este período.

⁵Análise mais detalhada dessa diferença é apresentada no capítulo seguinte, por meio de dados de balanço hídrico.

ocorrência de quatro tipos climáticos e cenários pluviométricos diferentes, de acordo com as classificações de Thornthwaite (1948;1955), conforme podem ser lidos no quadro abaixo.

Quadro 1-Tipos climáticos e Cenários Pluviométricos de Altos, Nazária e Teresina

Classificações	Tipos	Cenários
	Climáticos	Pluviométricos
Thornthwaite (1948)	Úmido-B ₁	Período Chuvoso
	Sub-Umido Seco-C ₁	Período Médio
	Árido	Período Seco
	Semiárido	Período Regular
Thornthwaite (1955)	Úmido-B ₁	Período Chuvoso
	Sub-Umido Seco-C ₁	Período Médio
		Período Seco
		Período Regular

Fonte: Andrade Junior. et. al (2004a;2004b; 2008) **Org.** BARBOSA, L.G. **Orientação:** MARTIN, E.S.

Conforme evidenciam Andrade Junior *et al.*, (2004a; 2004b; 2008), Medeiros (2007); Menezes, Medeiros e Santos (2016), Silva *et al.*, (2013), tal característica climática é controlada pela variação espacial e sazonal da Zona de Convergência Intertropical- ZCIT, em seu deslocamento norte/sul do equador, pela atuação dos Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis-VCANs, das formações e intensidades das linhas de instabilidade e dos aglomerados convectivos “[...] auxiliado pelos ventos alísios de nordeste, a convergência de umidade e a troca de calor sensível por latente e vice-versa” (MENEZES; MEDEIROS; SANTOS, 2016, p. 137).

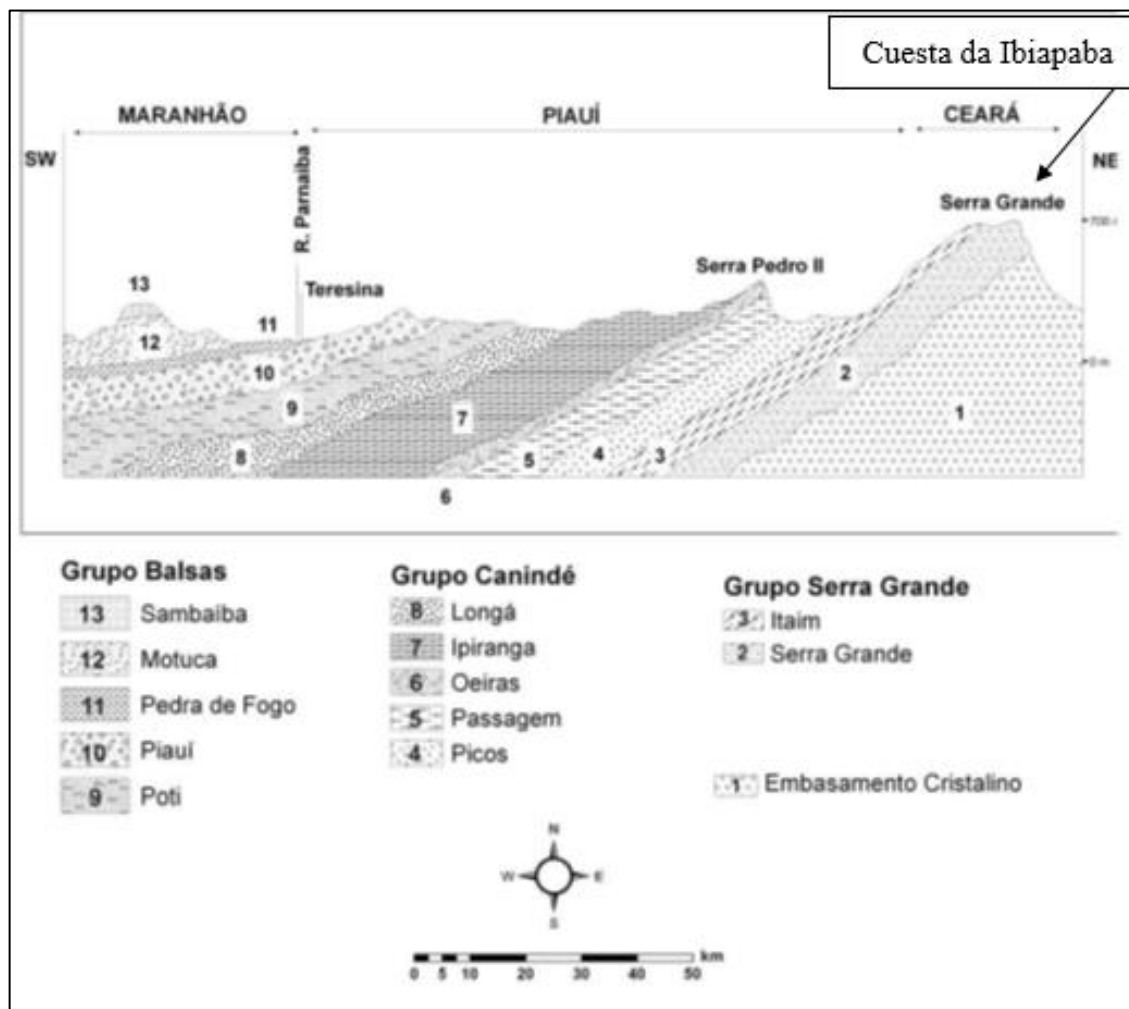
Os municípios estão situados na confluência e interflúvio de três grandes unidades hidrográficas regionais, a bacia hidrográfica principal do Estado, a bacia do rio Parnaíba e as bacias dos seus afluentes Poti e longá, com rede de drenagem, em *padrão de fratura dendrítico* (CHRISTOPHERSON, 2012; CHRISTOFOLLETI, 1981), orientada conforme as unidades hidrográficas mencionadas e a direção de declive do relevo.

O relevo regional apresenta um conjunto de formas *aplainadas, degradadas e conservadas* (CPRM, 2010; PFALTZGRAFF *et al.*, 2010), em que as altitudes mais elevadas apresentam os maiores índices de dissecação, com ocorrência de morros arredondados e

alongados, retrabalhados pela drenagem⁶, sustentado por rochas sedimentares da “Bacia Sedimentar Piauí-Maranhão” (BRASIL, 1973; LIMA, 2013), tendo sua base geológica constituída por camadas de deposição sedimentar, ocorridas durante os períodos Carbonífero e Permiano, na Era Paleozoica (CPRM, 2006; LIMA, 2013; PFALTZGRAFF *et al.*, 2010).

O conjunto morfoescultural dos municípios integra o reverso inferior da cuesta da Ibiapaba, que orienta o sentido de declive geral do relevo regional de acordo com a direção de mergulho das camadas lito-estruturais, que mergulham no sentido leste-oeste, na direção do nível de base da Bacia Sedimentar do Parnaíba (BRASIL, 1973; CPRM, 2010; LIMA, 2013), conforme pode ser observado na figura a seguir.

Figura 2-Esboço Estratigráfico da Bacia Sedimentar do Parnaíba



Fonte: Mendes (1971 citado por LIMA, 2015).

⁶Análise mais detalhada no capítulo 5.

3 A EVOLUÇÃO DO CONCEITO DE PAISAGEM E A GEOECOLOGIA DA PAISAGEM

A inserção da paisagem na Geografia é contemporânea à própria sistematização desta ciência na escola alemã, durante o século XIX. Como indicam Barreiros (2017), Claval (2010; 2011), Mateo Rodriguez e Silva (2013) e Moraes (2003), durante esse século, a maior parte da superfície terrestre já havia sido conhecida. As viagens exploratórias dos naturalistas e o avanço das técnicas cartográficas, a determinação das coordenadas e dos sistemas de projeção, possibilitaram estudos mais precisos das formas da superfície terrestre, além do desenvolvimento da ideia de conjunto.

Isto permitiu o desenvolvimento de estudos mais sistematizados, e na Geografia, a estruturação de suas bases filosóficas e metodológicas iniciais, fundamentadas nas vertentes filosóficas, naturalista e antropogeográfica, cujos principais precursores foram Alexander Von Humboldt e Carl Ritter, respectivamente, conforme indicam Barreiros (2017), Claval (2010; 2011) e Moraes (2003).

Influenciados pelos fundamentos do método empírico e da Filosofia da Natureza (*Naturphilosophie*) de Emmanuel Kant, Humboldt e Ritter, desenvolveram estudos que nortearam todo o pensamento geográfico posterior e compuseram as bases dos trabalhos realizados nesta área a partir de então (BARREIROS, 2017; MORAES, 2003).

Humboldt foi particularmente importante para desenvolvimento do conceito de paisagem na Geografia. Seus estudos, centrados na ideia da natureza como um todo orgânico, formado por unidades com fisionomias mantidas por leis e forças internas próprias, constituídas de elementos que interagem uns com os outros em movimentos contínuos, causando mudanças contínuas e movimentos internos, condutores de uma constante inovação das formas e funcionamento dos elementos naturais (BOLÓS I CAPDEVILA *et. al.*, 1992; MORAES, 2003), fundaram as bases da Geografia Física e da paisagem como conceito.

Segundo Bólos i Capdevila *et al.*, (1992) e Moraes (2003), Humboldt utilizava-se da observação/contemplação e da análise racional da natureza, como princípios empíricos para entender e explicar a causalidade das conexões que ocorriam em seu interior, utilizando-se da observação sistemática das formas da superfície terrestre e dos elementos, como relevo, estrutura litológica, vegetação, rios etc.

Suas abordagens trouxeram elementos importantes para a compreensão e sistematização da paisagem como forma de analisar a relação natureza e a sociedade na Geografia: a ideia de conexão entre os elementos e de unidades integradas, formando um todo holístico; a ideia de

estrutura, evolução e dinâmica; a proposta de síntese, a partir do estudo das partes e; a paisagem como imagem, unidade da superfície terrestre (território ou sítio) e impressão, ao mesmo tempo (BOLÓS I CAPDEVILA *et.al.*, 1992).

As ideias de Humboldt agregaram à paisagem valor científico, específico sobre os estudos da superfície terrestre, impondo-lhe significativa evolução conceitual, fazendo com que esta fosse reconhecida, a partir disto, como a expressão visível de unidades concretas e realidades dotadas de formas e produzidas pela interação de diferentes elementos naturais e humanos (BARREIROS, 2017; BESSE, 2006; SALGUEIRO, 2001; TROLL, 1997).

À iniciativa de Humboldt, seguiram-se outras em anos posteriores, aperfeiçoando e ampliando seus postulados, e/ou criando métodos e conceitos de análise geográfica com base na paisagem. Estas iniciativas contribuíram para a evolução do conceito dentro da Geografia e sua consolidação como disciplina e linha de investigação da Geografia (“Ciência da Paisagem- *Landschaftskunde*”), no início do século xx, na Alemanha (ROUGERIE; BEROUTCHACHVILI, 1991, p.27).

De acordo com Mateo Rodriguez e Silva (2013), na primeira metade do século XX, particularmente a partir da década de 1920, a linha de investigação da paisagem se difundiu em várias escolas de Geografia, na Europa (União Soviética, França, Polônia, Áustria e Holanda), na África (África do Sul) e América (EUA e Canadá).

Entre este período e a década de 1940, o conceito atingiu seu ápice no âmbito da Geografia, com a diversificação de várias correntes e subcorrentes de pensamento, sendo definido como conceito-chave desta ciência, “pois traduzia as interações entre os elementos do mundo físico e entre estes e os grupos humanos numa dada área”(SALGUEIRO, 2001, p. 42).

Fazendo uso da distinção que Ortega (1997) e Mateo (2003) fizeram sobre diferentes concepções de paisagem, Mateo Rodriguez e Silva (2007), relacionam sete delas, destacando suas principais características filosóficas, período e escola onde se desenvolveram. A síntese destas concepções está relacionada no quadro 2, a seguir, que inclui ainda informações complementares de outros autores (BARREIROS, 2017; ROUGERIE; BEROUTCHACHVILI, 1991) e as concepções iniciais de formação do conceito e sua abordagem na Geografia.

Na primeira metade do século XX, as várias correntes e subcorrentes do pensamento geográfico referentes à paisagem, se definem conforme três conjuntos de abordagens: as abordagens naturalistas, as abordagens regionalistas e as abordagens culturalistas.

Desenvolvidas inicialmente na Alemanha, se tornaram característica peculiar das escolas soviética, norte-americana dos EUA e francesa, respectivamente.

Quadro 2-Evolução epistemológica da paisagem

Evolução epistemológica de paisagem								
Correntes do Pensamento Geográfico		Período						
		Antes de 1850	1850-1920	1920-1950	1950-1960	1960-1970	1970-1990	1990-Atual
I	Sistematização da ciência geográfica							
II	Gênese: paisagem natural e paisagem cultural							
III	Geografia Tradicional							
IV	Geografia Neopositivista Clássica:							
IV-A	Regionalista							
IV-B	Espaço-Paisagem							
IV-C	Paisagem Cultural							
V	Possibilismo							
VI	Nova Geografia							
VII	Geografia Crítica							
VIII	Geografia Humanística							
IX	Geografia Ambiental							
Características e interpretações da paisagem em cada corrente de pensamento								
I	Sistematização da Geografia na Alemanha; interpretações científicas iniciais da paisagem; a paisagem identificada como fisionomia física de uma porção da superfície terrestre; materialismo naturalista como fundamento filosófico; método da observação e descrição; precursor Alexandre Von Humboldt.							
II	Sistematização da paisagem como categoria de análise e subárea de investigação da Geografia, na escola alemã sob a denominação inicial de Geografia da Paisagem; estabelecimento dos princípios de estudo da paisagem, propostos por Karl Otto Siegfried Passarge, 1866-1958, na obra “ <i>Die Grundlagen der Landschaftskunde</i> ” (Os Fundamentos da Paisagem); análises morfológicas e corológica (estudo regional); diferenciação dos conteúdos da paisagem em natural (paisagem natural- <i>naturlandschaft</i>), também denominados de original (<i>Urlandschaft</i>)e cultural (paisagem cultural- <i>kulturlandschaft</i>), proposta por Otto Schlüter, (1872-1959).							
III	Materialismo naturalista; paisagem definida como unidades naturais e uma totalidade dialética (todo holístico), formada por elementos e componentes naturais, que ao interagirem uns com os outros formam um sistema natural; se consolidou na escola soviética.							

IV	Introduzida por S. Passarge e por O. Schluter; distinguia paisagem natural de paisagem cultural; definia paisagem cultural como resultado da dialética entre os povos e seus territórios e a paisagem de modo geral como a expressão sintética e visual da região; era subdivida em três subcorrentes de pensamento da paisagem:
IV-A	A paisagem é definida como complexo fisionômico e expressão visual da região, produto do processo de adaptação dos grupos humanos a seu meio; aplicação do método regional, baseado na Geografia Humana ou Cultural e na visão racionalista; foi desenvolvida, primeiramente na Alemanha por Alfred Hettner na década de 1920 e posteriormente por Harsthorne nos Estados Unidos.
IV-B	Vinculada diretamente ao termo original landschaft; concebia a paisagem como a dimensão visível de um espaço natural individualizado, desenvolvendo a ideia de espaço vital utilizado pelo Nazismo; se desenvolveu na Alemanha, na primeira metade do século XX.
IV-C	Adota a paisagem como síntese da manifestação cultural de um grupo humano e como um organismo complexo construído a partir da associação de formas específicas, que conferem personalidade ao espaço; utiliza a análise morfológica; se desenvolveu inicialmente na escola alemã, mas se consolidou com Carl Sauer na escola de Geografia Cultural em Berkeley, nos Estados Unidos, na primeira metade do século XX, sob a influência da Antropologia e do materialismo histórico; Sauer adicionou dimensão histórica (genética e evolutiva) à paisagem, definindo-a como resultado da acumulação e combinação de sucessivas formas de adaptação e elaboração cultural do homem.
V	Desenvolvida na escola francesa, a paisagem é definida como a área de ocorrência de um gênero e uma forma de vida, a expressão tangível de um espaço geográfico; não se configurou como categoria de análise, apenas noção acessória do estudo da região; fazia uso da análise regional - comparada e do Possibilismo como fundamento filosófico.
VI	Visão predominante no período de renovação da Geografia; apoiada no racionalismo geográfico renovado, no paradigma quantitativo e matemático; usava métodos diversos para delimitação de espaços geográficos (classificação tipológica); a paisagem exercia papel secundário na análise geográfica, servindo apenas como meio de classificação tipológica de padrões espaciais.
VII	Fundamentada no Materialismo Histórico e Dialética Marxista; a paisagem exerce papel secundário, é definida pelo visual, a aparência do nível sensorial da sociedade, sendo simultaneamente uma realidade objetiva e subjetiva.
VIII	Baseada na Fenomenologia e no Existencialismo, prioriza os aspectos psicológicos e sensoriais; se apoia em análises da percepção do sujeito; a paisagem exerce papel secundário, sendo definida como uma noção (imagem) percebida e valorizada. Concepção essencialmente subjetiva.

IX	A paisagem é interpretada de três maneiras articuladas: paisagem natural, paisagem social e paisagem cultural; a Geografia é considerada como o estudo dos sistemas ambientais que resultam da relação natureza-sociedade; se apoia na articulação da abordagem espaço-temporal e teoria dos geossistemas; considera outros conceitos geográficos: o espaço como sistema de objetos e as ações que condicionam a paisagem, o território como fronteiras políticas e jurídicas da paisagem e a região como uma individualização espacial; Essa corrente se desenvolveu a partir das concepções de Eco geografia de Jean Tricart, da escola francesa, e da Geoecologia (antiga Ecologia da Paisagem).
----	---

Fonte: Mateo Rodriguez e Silva (2007) e Barreiros, 2017. **Organização:** Liriane G. Barbosa, 2020. **Orientação:** Encarnita Salas Martin. **Nota:** as cores representam a duração de cada corrente geográfica de abordagem da paisagem.

A natureza diversa destas abordagens demonstra certa linearidade na construção do conceito de paisagem, quanto à valorização do papel exercido pelo homem e sua cultura na transformação das paisagens, que evoluem das abordagens naturalistas para as abordagens culturalistas, em função do fator humano.

O conceito de paisagem, que inicialmente manifestava caráter puramente naturalista, se diversificou, incorporando de forma gradual, o homem como agente de alteração dos ambientes e transformador de paisagens, “com a individualização das paisagens culturais face às paisagens naturais, sem nunca perder de vista as interligações mútuas” (SALGUEIRO, 2001, p.41).

Contudo, a mesma linearidade não se verifica em relação à continuidade das diferentes abordagens de paisagem. Segundo Salgueiro (2001), no período pós-guerra, marcadamente entre 1950 e 1970, em função do esgotamento do paradigma regional, frente aos novos desafios postos à Geografia pelas transformações da Segunda Guerra Mundial, a paisagem sofreu um “esvaziamento teórico-metodológico”, ficando restrita, praticamente às abordagens naturalistas, especialmente na União Soviética e países da Europa Oriental.

Além dos fatos relacionados por esta autora, Mateo Rodriguez e Silva (2007) atribuem esse declínio do uso da paisagem na Geografia à ascensão da análise espacial através do conceito de espaço que, segundo eles, relegou a paisagem ao papel de coadjuvante, reduzida à unidade de descrição e classificação tipológica de estruturas e padrões espaciais. Crítica semelhante também se observa em Bertrand e Bertrand (2009).

Por outro lado, o cenário produzido nesse período, caracterizado, de acordo com Claval (2010), Christofletti (1982) e Moraes (2003), pela adoção de técnicas estatísticas, matemáticas e de modelos nos estudos geográficos, e a incorporação da abordagem sistêmica como instrumento teórico do pensamento geográfico, particularmente da dita Geografia Física, induziu a renovação teórico-metodológica dos estudos de paisagem, a partir dos anos de 1970.

Tendo como base novos paradigmas conceituais e técnicos, das Geografias Crítica, Humanística e agora também da Ambiental, a abordagem de paisagem na Geografia, se renova colocando em pauta preocupações que transpunham aquelas exploradas até então e, que estavam restritas ao estudo da morfologia, estrutura, aspectos fisiográficos, diferenciação e distribuição regional das paisagens.

As preocupações agora incluem, além da relação natureza-homem, a relação homem-homem, os fluxos e os movimentos, incluindo análises mais integrativas, interdisciplinares e

críticas, com abordagens de paisagem que, nas palavras de Salgueiro (2001), vão do enfoque objetivo (físico/ecológico), da Geografia Ambiental, ao enfoque fenomenal (subjetivo/percepção do vivido), da Geografia Humanística.

Segundo Mateo Rodriguez (2008), os estudos de paisagem, a partir da década de 1970, evoluíram em duas grandes direções: uma predominantemente biofísica, que, baseada nos estudos de Humboldt, Dokuchaev e Carl Troll, tem a paisagem como complexo natural integral e se desenvolveu nas escolas alemã, soviética, e um pouco mais tarde, com um caráter mais antrópico na França, principalmente, por meio de Jean Tricart e Georges Bertrand.

A outra direção é, por essência, sociocultural. Para esta, a paisagem é um espaço social, uma entidade perceptiva, que depende do sujeito, dos sentidos e da experiência do vivido para existir. Está fundamentada nos estudos de Carl Sauer e se desenvolveu nas escolas Anglo-saxônica e francesa.

De maneira geral, a leitura da bibliografia aqui referenciada e a síntese evolutiva das concepções de paisagem, elaborada por Mateo Rodriguez e Silva (2007), revelam que, as concepções iniciais e os métodos de estudo da paisagem, muito centrados na descrição (análise morfológica) e comparação (análise comparativa/corológica) das formas da superfície terrestre, foram gradualmente se diversificando e agregando novos conceitos, métodos e elementos de análise, de acordo com a identificação filosófica de cada escola geográfica.

Estes e outros aspectos diversificados da paisagem resultaram por criar em torno de si, um quadro variado de níveis diferentes de interpretação, de múltiplas leituras, classificações tipológicas e uma variedade de finalidades de aplicação do conceito, formando, na atualidade, o que Mateo Rodriguez, Cavalcanti e Silva (2013) e Mateo Rodriguez (2008) denominam de sistema de conceitos da paisagem.

Na ilustração da figura 3, Mateo Rodriguez, Cavalcanti e Silva (2013), apresentam um modelo com cinco níveis de sistema da paisagem, formado por um conjunto de concepções, considerado por eles como as bases que orientam as conceituações atuais do termo: a paisagem como conjunto natural, antro-po-natural e cultural, como aparência e representação do espaço-território e, como sistema econômico-social.

Figura 3-Sistema de conceitos da paisagem

NÍVEIS DE INTERPRETAÇÃO			LEITURA DA PAISAGEM	CATEGORIAS DA PAISAGEM	APLICAÇÕES DA PAISAGEM
PAISAGEM GEOSSISTEMA	PAISAGEM CULTURAL PAISAGEM SOCIAL PAISAGEM ANTROPO-NATURAL PAISAGEM NATURAL		GEOGRÁFICA ECOLÓGICA BIOLÓGICA FÍSICO-QUÍMICO	SISTEMA DE CATEGORIAS HABITADA DA VIDA FONTES DE RECEPÇÕES CONSERVAÇÃO DO FUNDO GENÉTICO	DESENHO AMBIENTAL ORDENAMENTO ECOLÓGICO PAISAGISMO PLANEJAMENTO TERRITORIAL ASSIMILAÇÃO TECNOLÓGICA MANEJO E GESTÃO
BASE DE PRODUÇÃO	HOMEM		ESTÉTICA ARTÍSTICA SENTIMENTAL		
BASE DE PRODUÇÃO	MEIO AMBIENTE PAISAGÍSTICO		SOCIAL CULTURAL ARQUITETÔNICA	LABORATÓRIO NATURAL	MONITORAMENTO E CONTROLE

Fonte: Mateo Rodriguez, Cavalcanti e Silva (2013).

O modelo apresenta uma hierarquia dos sistemas de conceito da paisagem, de acordo com os níveis de interpretação, variando de uma abordagem menos complexa, tendo como base as paisagens naturais, para aquelas mais complexas e globais, incluindo todos os níveis de paisagem, inclusive a paisagem cultural.

Cada nível de sistema envolve o nível imediatamente inferior, aumentando o grau de complexidade à medida que aumenta de nível, sendo neste caso a paisagem cultural o nível de sistema de maior complexidade, porque estudá-la pressupõe seu exame em relação a todos os demais níveis de paisagem e, principalmente, em relação ao sujeito.

O modelo ainda apresenta as possibilidades de leitura da paisagem tendo como base a compreensão científica (geográfica, biológica, ecológica etc.), a percepção afetiva (estética, artística e sentimental) e a representação sociocultural e técnica. Além disso, relaciona um conjunto de categorias e de aplicações do conceito.

Independentemente da leitura, categorização e aplicação que se faz da paisagem atualmente, sua interpretação está orientada conforme duas construções teóricas, elaboradas no limiar de sua formação conceitual: como unidade material palpável (unidade da superfície terrestre), que adota uma linha de interpretação com viés materialista, ou como representação visual e sentimental (imagem), de cunho sociocultural e fenomenológico.

Nesta pesquisa, a leitura da paisagem é feita sob a ótica biofísica, assumindo o sentido de unidade da superfície terrestre, seus níveis taxonômicos e interações sistêmicas, como unidade material tangível, embora abstrata em função da subjetividade sujeito/observador. A interpretação da paisagem envolve os dois primeiros níveis de sistemas, as formações naturais

e antroponaturais, analisadas de acordo com a aplicação dos princípios e fundamentos da Geoecologia da Paisagem.

Em Geoecologia, a paisagem possui características territoriais e se comporta como “um poli sistema na interface natureza-sociedade (MATEO RODRIGUEZ; CAVALCANTI; SILVA, 2007, p. 85, tradução nossa), mas é também para Metzger (2001) uma unidade visual, dado que sua interpretação e compreensão dependem dos filtros, científico e cultural, de quem a observa.

A Geoecologia da Paisagem (*Landschaftsgeoökologie*) nasceu com a finalidade principal, segundo Mateo Rodriguez, Cavalcanti e Silva (2013), Mateo Rodriguez, Cavalcanti e Silva (2013) e Mateo Rodriguez (2008), de fazer análises do funcionamento da paisagem, esclarecendo as relações de dependência entre seus componentes, combinando abordagem espacial e biológica, por intermédio da diferenciação de áreas/unidades da superfície terrestre, em função da interação espacial e funcional dos fenômenos naturais e organismos. Em suma, é o estudo das relações geoecológicas em suas características espaciais.

A base epistemológica de caráter eminentemente sistêmico, nutre a abordagem geoecológica da paisagem de uma lógica de raciocínio, que consiste em explicar um território, a partir das relações das unidades constituintes de sua totalidade (paisagem), em uma sequência hierárquica de grandeza escalar em três ordens, em que "os componentes individuais da natureza se encontram em uma relação sistêmica uns com os outros e com uma integridade determinada de interação com a esfera cósmica e a sociedade humana" (SOTCHAVA, 2015, p.235, Tradução nossa).

Segundo Mateo Rodriguez, Cavalcanti e Silva (2013), Mateo Rodriguez (2008) e Mateo Rodriguez, Cavalcanti e Silva (2007) a partir da década de 1990, a paisagem geoecológica se consolidou na Geografia Física (Ambiental) como vertente de estudo dos sistemas ambientais, baseada na análise integrada da relação natureza-sociedade, em que se articulam interpretações da paisagem em três dimensões (natural, social e cultural), destacando-se pelo menos cinco concepções diferentes, conforme podem ser observadas no modelo da figura 3, da página 37.

Na avaliação de Mateo Rodriguez e Silva (2019), a inserção do pensamento sistêmico na interpretação do conceito de paisagem, na Geografia Física/Ambiental, representou um ganho cognitivo, respondendo à uma demanda social mais complexa, uma vez que, ao suscitar a noção de estrutura, funcionamento, dinâmica e evolução das paisagens, tornou possível avaliar também a resistência destas unidades aos impactos da ação humana.

Conforme é possível constatar nas leituras das referências citadas acima, o debate posto em discussão pelo paradigma ambiental, sobre a necessidade cada vez maior de se repensar científica, política, social, econômica e tecnicamente a relação natureza-sociedade, em particular os impactos da ação antrópica sobre a natureza e sua capacidade de retroalimentação, reveste a abordagem geoecológica da paisagem de nova perspectiva, posto que a ideia de multidisciplinaridade valorizada pela questão ambiental, favorece sua abordagem global, convertendo-a em um sistema de conceitos, métodos, procedimentos e técnicas, estratégico para auxiliar políticas de planejamento ambiental do território.

3.1 Aplicação do conceito de paisagem na análise integrada e sua representação cartográfica

A paisagem foi utilizada nesta pesquisa como uma referência geográfica-analítica, à luz dos princípios da Geoecologia, sendo entendida no seu sentido material, de unidade terrestre, constituída de características espaço-ambientais complexas, assumindo, portanto, a função de unidade operacional de estudo, responsável por guiar a pesquisa no plano teórico, cartográfico e discursivo, de modo a possibilitar a interpretação, espacialização e síntese dos padrões fisionômicos das unidades ambientais, cumprindo uma das etapas de classificação ambiental da área.

Isto implica em apreendê-la como uma unidade estrutural e funcional, dotada de certo grau de complexidade, que comporta distintos sistemas e subsistemas formados pelos elementos físicos e biológicos, adicionando-se as transformações causadas pelas intervenções do homem, em uma escala no tempo e no espaço.

Segundo o pensamento sistêmico a natureza é formada por uma estrutura multinivelada de sistemas dentro de sistemas. Cada um deles formando uma totalidade com relação às suas partes, ao mesmo tempo em que é parte de um todo maior, exibindo em cada nível/estrutura, propriedades diferentes dos outros níveis (CAPRA, 1995) inferiores ou superiores.

Neste sentido, a complexidade de uma paisagem é medida pelo nível de organização da matéria, destacando-se em seu arranjo, variados níveis de sistemas (sistemas dentro de sistemas), em que os sistemas mais inferiores são reconhecidos como subsistemas (MERLEAN; TELLES; DUARTE, 2006).

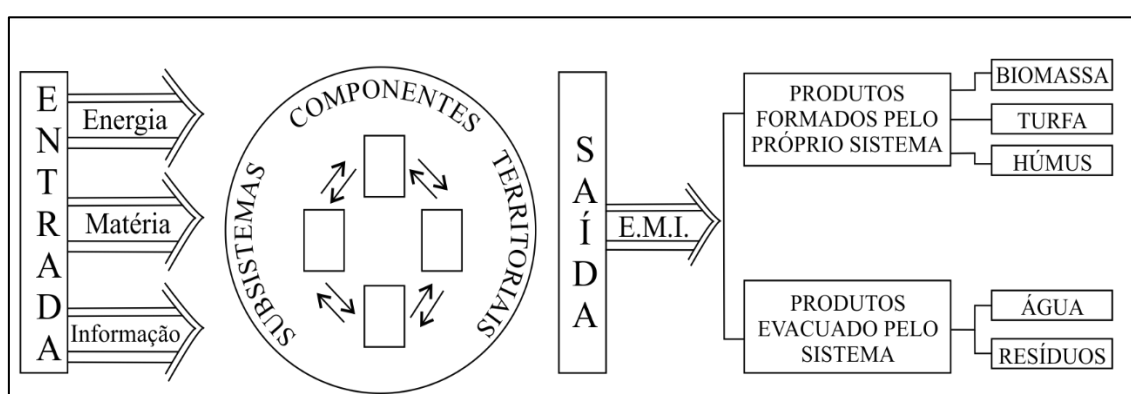
O conjunto vegetacional, por exemplo, que é dotado de variados subsistemas (comunidades e unidades taxonômicas) é, também, um nível inferior de sistema em relação à biosfera, que por sua vez, é parte integrante de uma totalidade sistêmica (paisagem),

constituída por um tipo climático, uma associação de solos, um conjunto de feições de relevo, uma rede de drenagem, uma estrutura litológica e submetida a um tipo ou variados tipos de uso antrópico.

À luz da abordagem geossistêmica de Beroutchachvili e Bertrand (1978; 2009), a paisagem pode ser compreendida como um grande sistema, que se define conforme uma estrutura interna, um funcionamento específico, um estado e um comportamento. Estes dois últimos aspectos estão relacionados à uma escala temporal, em que o estado responde pela estrutura e o funcionamento em determinada situação no espaço, e o comportamento pela sucessão de estados. Por outro lado, a estrutura tem a ver com a fisionomia e a distribuição de massas, verticalmente e horizontalmente.

Pela lógica desta abordagem, tais aspectos evoluem condicionados ao funcionamento (balanço energético), em escala espacial e temporal, que corresponde às entradas e saídas de energia no/do interior do sistema e/ou subsistema (figura 4). Tanto a energia solar, quanto a energia gravitacional são transformadas em produção de matéria e movimentos de massas no interior do sistema, condicionando, entre outros fatores, a exploração biológica da biodiversidade, o ciclo da água e sua circulação interna, os “ciclos biogeodinâmicos” (BEROUTCHACHVILI; BERTRAND, 1978; 2009, p.95) e os processos pedológicos e morfogenéticos.

Figura 4- Modelo sistêmico de funcionamento da paisagem, absorção, transformação e consumo de EMI.



Fonte: Mateo Rodriguez, Silva e Cavalcanti (2013).

Servem de exemplos ilustrativos deste modelo, o fototropismo, o gravitropismo e o hidrotropismo, que são movimentos realizados pelas plantas, envolvendo a transformação de energia (solar e gravitacional) em produção de biomassa, e são determinantes para exploração biológica da vegetação.

O enfoque sistêmico na abordagem geoecológica da paisagem está submetido à convergência de duas variáveis metodológicas-conceituais importantes: a cibernética e a TGS. A primeira é a base para o estudo dos sistemas técnicos⁷, usados na transformação e elaboração de informações através de máquinas calculadoras. E a segunda, usada no estudo dos organismos vivos e da transformação, conservação e degradação de energia é adaptada⁸ para analisar o conjunto paisagístico sistêmico-hierárquico (MATEO RODRIGUEZ; CAVALCANTI; SILVA, 2013).

Mateo Rodriguez, Cavalcanti e Silva (2013), avaliam que de acordo com os princípios sistêmicos-paisagísticos, elencados no quadro 2, é possível estabelecer os enfoques e métodos de investigação e avaliação da paisagem. Cada princípio reflete uma propriedade integradora do sistema paisagístico e para cada propriedade integradora há um conjunto de conceitos básicos, de métodos a serem utilizados e de índices a serem considerados.

Em cada propriedade integrante (princípio), o conjunto dos conceitos básicos e dos métodos, permite examinar uma variedade de índices qualitativos e quantitativos da paisagem, os quais são indicadores dos diversos processos “que acompanham e/ou modificam suas partes componentes” (MATEO RODRIGUEZ; CAVALCANTI; SILVA, 2013, p. 111), e neste sentido, a análise de cada uma destas propriedades só é possível, por meio da verificação quantitativa e/ou qualitativa destes diversos índices.

Em vista disso, para averiguar, por exemplo, a propriedade funcional de uma paisagem, que reflete suas “múltiplas relações internas e externas” (MATEO RODRIGUEZ; CAVALCANTI; SILVA, 2013, p.18), como intercambio de EMI, gênese (pedogênese, biogênese e morfogênese), processos e estrutura funcional, é necessária a adoção de métodos capazes de medir os ciclos biogeoquímicos dos elementos da paisagem, e outros tantos, aptos para qualificar o estado funcional e ambiental desses elementos.

Conforme demonstra o quadro 3, para cada propriedade da paisagem, a abordagem geoecológica considera uma série de índices e parâmetros qualificáveis e quantificáveis técnica e analiticamente. A maior parte deles são utilizados em técnicas variadas de modelagem gráfica, estatística, matemática e cartográfica das propriedades estruturais e funcionais da paisagem.

⁷Na abordagem geográfico-cartográfica os Sistemas de Informação Geográfica, usados na produção e no processamento de informações e produtos georreferenciados.

⁸A abordagem geossistêmica é uma adaptação da TGS com a finalidade de estudar o conjunto paisagístico como um todo global.

Quadro 3-Enfoques e métodos de análise da paisagem na Geoecologia

PRINCÍPIOS	CONCEITOS BASICOS	MÉTODOS	INDICES
ESTRUTURAL	Estruturas das paisagens: monossistêmica e parassistêmica. Estrutura horizontal e vertical, geodiversidade	Cartografia das paisagens, classificação quantitativa-estruturais, tipologia e regionalização	Imagem, complexidade, forma dos contornos, vizinhança, conexão, composição, integridade, coerência e configuração geoecológica.
FUNCIONAL	Balanço de EMI, interação de componentes, gênese, processos, dinâmica funcional, resiliência e homeostase	Análise funcional, geoquímica, geofísica e investigações estacionais	Função, estabilidade, solidez, fragilidade, estado geoecológico, capacidade de automanutenção, auto regulação e organização, equilíbrio
DINAMICO-EVOLUTIVO	Dinâmica temporal, estados temporais, evolução e desenvolvimento	Retrospectivo, estacional, evolutivo e paleogeográfico	Ciclos anuais, regimes dinâmicos, geomassa, geohorizontes, idade e tendências evolutivas
HISTORICO-ANTROPO-GENICO	Antropogênese, transformação e modificação das paisagens	Histórico e análise antrópica	Índices de antropogênese, cortes histórico-paisagísticos, perturbações, tipos de modificação e transformação humana (paisagens contemporâneas, trocas, hemorobia)
INTEGRATIVO	Sustentabilidade geoecológica das paisagens; paisagem sustentável	Análise paisagística integral	Suporte estrutural, funcionamento, relacional, evolutivo, produtivo das paisagens, categorias de manejo da sustentabilidade da paisagem

Fonte: Mateo Rodriguez, Silva e Cavalcanti (2013).

Nos casos em que a distinção de unidades de paisagem é feita baseada nas propriedades estruturais das paisagens (estrutura horizontal, disposição e características fisionômicas da composição da paisagem), utiliza-se, de métodos de classificação quantitativa-estrutural, tipológica e regionalista, para modelar as feições paisagísticas de determinada unidade territorial. Estes métodos são bastante difundidos e utilizados no Brasil, mais comumente em estudos de Ecologia e Geografia Ambiental.

Os estudos realizados por Alves Filho, Campos e Furlan (2015), Cavalcanti (2016), Chavez e Ribeiro (2017), Coelho *et al.*, (2018), Mateo Rodriguez e Silva (2002), Meirelles (1997), Soares Filho (1998), Trombeta, Chávez e Leal (2017), Trombeta e Leal (2016) e Zanatta, Lupinacci e Boin (2016), apresentam contribuições neste sentido. Estes autores aplicaram essa forma teórico-metodológica de investigação, para realizar mapeamento e modelagem de unidades de paisagem em diferentes escalas, limites geográficos e finalidades.

Ainda pouco explorada em estudos de paisagem no Brasil, a “classificação geoquímica da paisagem”, desenvolvida e utilizada expressivamente pelos geógrafos russos⁹ é um exemplo de análise usada na classificação funcional das paisagens, com enfoque nas formas de migração da matéria na superfície da terra, reunidas por Perelman (1975 citado por MIRLEAN; TELLES; DUARTE, 2006) em três categorias de matérias: vivas, não vivas e antrópicas.

Este tipo de classificação, considera os padrões de fluxos de elementos químicos, atribuindo a estes, a responsabilidade pelo estabelecimento das feições geoquímicas na paisagem, através de três padrões funcionais principais, como descrito por Licht e Bittencourt (2015, p. 6):

“[...]Ciclo Migratório Principal, que descreve o movimento dos elementos químicos pela incorporação de elementos do solo pelas plantas e a respectiva devolução ao solo pela planta ao término de seu ciclo vegetativo. Por ação da fauna microbiana, este tipo de fluxo vertical é o principal responsável direto e indireto, pela formação dos solos. [...] os Fluxos Geoquímicos da Paisagem que compreendem o progressivo movimento de substâncias paralelamente à superfície do terreno pela água ou pelo ar; os Fluxos Extra Paisagem através dos quais os elementos são fixados pela paisagem ou eliminados desta por meio das águas subterrâneas ou da atmosfera” (grifo nosso).

⁹LASTOCHKINT, A. N. Teoria Geral do Geossistema. São Petersburgo, RU, 2011 (em russo); PAPERELMAN, A.I., KASIMOV N.S. Geochemistry of landscape. Moscow: Astrea, 1999 (em russo).

De acordo com Ostaszewska (2010), neste tipo de análise, a migração de matéria é o principal agente de transformação das paisagens e baseia-se na delimitação de unidades de paisagem, por meio da aplicação do método do elemento líder, em que são considerados líderes, aqueles elementos que exercem impacto significativo sobre os demais.

No âmbito da Geoquímica, preenchem a condição de elementos líderes, aqueles componentes da paisagem, como o clima, relevo e substrato geológico, que sofrem modificações lentas e são, por essa razão, tidos como elementos estáveis e passivos (OSTASZEWSKA, 2010) no ambiente.

Estes elementos são responsáveis por estabelecer os limites estruturais das unidades de paisagem, servindo como diferenciadores paisagísticos em escala inferior (grande). Água, solo e biota são tidos como componentes menos estáveis, e por isso, subordinados a aqueles outros mencionados acima, mas com significado importante no que diz respeito à análise das paisagens em escala detalhada, dado o fato de serem tidos como os elementos ativadores dos processos paisagísticos (OSTASZEWSKA, 2010).

A Geoecologia da Paisagem representa, um,

“[...] conjunto de métodos e procedimentos técnico-analíticos que permitem conhecer e explicar a estrutura da paisagem, estudar suas propriedades, índices e parâmetros sobre a dinâmica, a história do desenvolvimento, os estados, os processos de formação e transformação da paisagem e a pesquisa das paisagens naturais, como sistemas manejáveis e administráveis” (MATEO RODRIGUEZ; SILVA; CAVALCANTI, 2013, p. 40).

Dentre os principais métodos da Geoecologia da Paisagem podem ser destacadas a distinção (individualização), classificação e cartografia das paisagens, baseadas na análise integrada do conjunto de aspectos (estrutural, funcional, dinâmico-evolutivo e histórico-antropogênico) geoecológicos, ou em parte deles, relacionados no quadro 2, como objetos fundamentais de investigação nesta abordagem.

Este método possibilita a realização de inventários e classificações, quantitativas e estruturais, das tipologias paisagísticas, em níveis hierárquicos de análise regional e local, e sua representação por meio de mapas e cartas de paisagens.

A Cartografia Geoecológica (Cartografia de Paisagens), constitui-se como uma das ferramentas operacionais mais importantes do estudo da paisagem em Geoecologia e é aplicada através dos sistemas geoinformativos (Sistemas de Informação Geográfica-SIGs), “que com a criação de bases de dados adequadas, vem permitir o gerenciamento, cruzamento

e análise das informações, bem como uma visualização cartográfica eficaz” (MENESES; COELHO NETO, 2001, p. 4), possibilitando individualizar, classificar e representar em mapas e cartas as paisagens, por tipologias e unidades espaciais regionais e locais.

A distinção e classificação de paisagens regionais está voltada para a análise em nível regional e se fundamenta na sistematização individual e tipológica das paisagens, fazendo uso de métodos regionalistas e tipológicos para “determinar um sistema de divisão territorial de unidades espaciais de qualquer tipo (naturais, econômicas, administrativas etc.)” (MATEO RODRIGUEZ; SILVA; CAVALCANTI, 2013, p.66), conforme um conjunto regional de características físico-geográficas, cuja grandeza escalar varia do continente às regiões geográficas, como biomas, domínios etc.

A título de exemplificação, a classificação de domínios morfoclimáticos de Ab’Saber (2003;1984;1970/1967) é ilustrativa. Suas classificações são uma generalização teórica das tipologias paisagísticas dos domínios de natureza do Brasil, baseada em uma visão geosistêmica da paisagem, que tem como base os princípios de homogeneidade e diferenciação de variáveis fisionômicas, morfológicas e funcionais, para identificação e classificação regional das tipologias.

Já a distinção e classificação das unidades de paisagem locais, se baseia na diferenciação topológica e morfológica da paisagem, ocasionada pela interação mútua de fatores geográficos como relevo, natureza das rochas, fatores climáticos locais, regime hídrico, drenagem, vegetação e ação antrópica (MATEO RODRIGUEZ; SILVA; CAVALCANTI, 2013).

Na análise topológica¹⁰ a diferenciação geográfica das unidades de paisagem é feita conforme o estabelecimento de um sistema hierárquico e subordinado (taxinomia) de unidades espaciais, em que a distinção das unidades é feita com base nas características da subordinação morfológica da paisagem, da estrutura funcional (homogeneidade genética e dinâmica), da estrutura horizontal e da disposição e características da composição (MATEO RODRIGUEZ; SILVA; CAVALCANTI, 2013).

Neste sentido, considerando a avaliação de Zonneveld (1979, citado por SOARES FILHO, 1998), a unidade de paisagem, tanto em uma como na outra análise, é um conjunto material de relações internas e externas, que fornece as bases para o estudo das interações

¹⁰Nesta discussão, interessa a ênfase na análise topológica da paisagem, em vista de ser, essa análise, referência operacional e cartográfica do mapeamento realizado na pesquisa e apresentado ao longo dos capítulos 5 e 6 desta tese.

locais e causais dos elementos da paisagem, se constituindo de unidades geográficas mapeáveis e representáveis cartograficamente.

“A representação cartográfica das paisagens exige um inventário geográfico completo e relativamente detalhado” (BERTRAND; BERTRAND, 2009, p. 55) das informações temáticas sobre relevo, vegetação, solos, clima, uso da terra etc., sendo, na avaliação de Mateo Rodriguez, Silva e Cavalcanti (2013), resultado e ponto de partida para análises posteriores.

Na concepção destes autores, a estruturação e representação cartográfica de unidades de paisagens seguem três procedimentos fundamentais: o analítico, que se utiliza da sobreposição de mapas para obtenção das unidades de paisagem; o semi-sintético, que faz uso dos contornos unitários para cada unidade e sua obtenção ocorre por representação de quadrados, atribuindo letra ou número para cada componente e; o sintético, em que se estabelece, por meio de linhas, a representação espacial da hierarquia das unidades e estas são explicitadas de forma escrita, respeitando a subordinação hierárquica e taxinômica.

Este último procedimento responde pelo mapeamento integrado da paisagem, em que esta é concebida como um todo, e cada unidade componente é distinguida e caracterizada obedecendo a subordinação hierárquica, que varia de acordo com quatro níveis de escala: muito detalhada (fácies), de 1:2.000 a 1:10.000, detalhada (comarcas e localidades), de 1:10.000 a 1:100.000, gerais (localidades e regiões), de 1:100.000 a 1: 250.000 e muito gerais (tipos de paisagem), acima de 1:250.000 (MATEO RODRIGUEZ; SILVA; CAVALCANTI, 2013).

Em função desse entendimento teórico-metodológico, Mateo Rodriguez, Silva e Cavalcanti (2013), definem também um esquema procedimental para realização da análise integrada da paisagem, composto de cinco etapas operacionais:

- ✓ Exame e classificação taxonômica das unidades paisagísticas e dos fatores formadores e transformadores das paisagens, com a finalidade de averiguar estrutura, funcionamento, dinâmica e evolução (história genética);
- ✓ Avaliação do potencial das paisagens e das tipologias funcionais, incluindo cálculo do papel dos fatores antrópicos, considerando os tipos de uso da paisagem, os impactos da ação antrópica e as funções econômicas;
- ✓ Análise do planejamento e proteção das paisagens, incluindo a prognose da tecnologia de uso das paisagens e de alternativas adequadas;
- ✓ Ordenamento estrutural e funcional dirigido ao uso otimizado das paisagens e;

✓ Análise técnica ecológico-geográfica e o monitoramento geossistêmico regional.

A primeira etapa, inclui o estudo integrado dos princípios naturalistas da paisagem, estrutural, funcional e dinâmico-evolutivo, respondendo pela etapa de inventário da pesquisa geoecológica, enquanto as três últimas são de síntese integrativa, prognósticas e propositivas, e a segunda, é uma etapa diagnóstica, que inclui cálculos de uma série de índices, dentre os quais os índices de antropogênese, solidez, estabilidade, fragilidade, estado geoecológico, etc.

Estes índices são indicadores geoecológicos sintéticos, que podem oferecer informações sobre os diferentes processos de modificação de uma dada unidade territorial, expressando sua diferenciação espacial e refletindo o estado ambiental e a sustentabilidade de suas paisagens.

Segundo Mateo Rodriguez, Silva e Cavalcanti (2013, p. 182), índices como a estabilidade e a solidez são “atributos das paisagens que representam o grau de funcionamento do geossistema, de tal forma que garanta a possibilidade de reprodução de recursos e de outras funções vitais”.

A estabilidade é uma propriedade natural da paisagem, definida por Diakonov e Ivanov (1991, citado por MATEO RODRIGUEZ; SILVA; CAVALCANTI, 2013), dentre outras formas, como a capacidade de resistência aos impactos externos e de restabelecimento (resiliência) do funcionamento normal das propriedades alteradas.

De acordo com Tricart e Killian (1979 citado MATEO RODRIGUEZ; SILVA; CAVALCANTI, 2013), a estabilidade das paisagens é resultado da relação entre a biostasia e resistasia. Esta relação se expressa em pelo menos quatro tipos de dinâmicas geossistêmicas:

- ✓ Em biostasia (estáveis)-predomínio da pedogênese e o crescimento da vegetação (nível climático homeostático);
- ✓ Em resistasia (instáveis)-dinâmica regressiva, com predomínio de processos morfogenéticos sobre a pedogênese;
- ✓ Em dinâmica progressiva-equilíbrio entre biostasia e resistasia, com predomínio de processos de estabilização homeostática devido à ação antrópica;
- ✓ Em dinâmica regressiva-predomínio da biostasia, porém instável devido aos impactos da ação humana.

Estas dinâmicas, ao mesmo tempo que expressam a relação entre biostasia e resistasia, definem o estado ambiental de uma dada unidade territorial, manifestando seu grau de solidez (estabilidade) ou sensibilidade (vulnerabilidade) em relação às intervenções antrópicas e as funcionalidades socioeconômicas que lhes são atribuídas.

Neste sentido, a estabilidade e a sensibilidade são índices que expressam a qualidade da paisagem, em graus, que correspondem à condição de vulnerabilidade natural do sistema ambiental (paisagem) sob determinadas condições de intervenção antrópica.

“Baseado na análise da estabilidade pode-se determinar os conceitos de qualidade do meio (da paisagem) e das cargas geoecológicas permissíveis” (MATEO RODRIGUEZ; SILVA; CAVALCANTI, 2013, p.197), como por exemplo, os conceitos de susceptibilidade, riscos, perigo, fragilidade e vulnerabilidade, empregados em estudos de avaliação ambiental, de lugares e pessoas, acompanhados de metodologias variadas.

Embora o conceito de vulnerabilidade apresente controvérsias quanto à sua definição e emprego, em razão da diversidade de interpretações (FIGUEIRÊDO, *et al.*, 2010)¹¹ que o cercam, este é um conceito bastante empregado em estudos que medem o índice de qualidade e a capacidade de resiliência das paisagens.

Em estudos de diagnóstico e prognóstico ambiental como os de Aquino *et al.* (2016); Becker e Egler (1996), Carvalho, Souza e Santos (2003), Crepani *et al.* (1996; 2001; 2008) e Trevisan *et al.* (2017), este conceito tem sido aplicado e interpretado de acordo com os princípios da classificação geoecológica, definidos por Tricart (1977) e Tricart e Killian, (1979, citados por CREPANI *et al.*, 2008; MATEO RODRIGUEZ; SILVA; CAVALCANTI, 2013), integrados à cartografia de síntese (Cartografia de Paisagem).

Nestes casos, a “vulnerabilidade é definida como o inverso da capacidade da paisagem de absorver possíveis alterações sem perda da qualidade” (TREVISAN *et al.*, 2017, p. 273), se convertendo em indicador geoecológico, que expressa (em graus) a relação entre os índices de estabilidade e solidez da paisagem e sua sensibilidade em relação ao grau de antropogênese, relacionado no quadro 3, da página 43, e descrito por Mateo Rodriguez, Silva, e Cavalcanti (2013).

Esta variável diagnóstica apresenta valores quantitativos e qualitativos inversamente proporcionais aos valores de estabilidade. Quanto maior o percentual de estabilidade apresentado por uma unidade de paisagem, menor será sua vulnerabilidade e vice-versa, prevendo um risco maior ou menor de ocorrência de processos degradadores e/ou desastres ambientais, provocados pelo uso incompatível com a capacidade de autorregulação das unidades de paisagem.

¹¹ Esse texto não tem a intenção de realizar discussão sobre a multiplicidade de interpretações e conceituações do termo vulnerabilidade, nem tão pouco sobre as múltiplas possibilidades de aplicações, já comprovadas em estudos de diversos aspectos (sociais, ambientais e socioambientais), alguns deles citados no texto. Tem-se a intenção de apresentá-lo como um conceito-variável geoecológica utilizada em estudos sobre paisagem.

Neste contexto, o emprego da vulnerabilidade está relacionado à resiliência ecológica da paisagem, definindo-se como o grau de susceptibilidade ou sensibilidade do sistema natural a um dano potencial ou transformação, quando exposto à perturbação ou pressão ambiental (EAKIN; LUERS, 2006; GALLOPIN, 2006; LEI, *et al.*, 2013; VILLA; MCLEOD, 2002), provocados pela intervenção antrópica, sendo antes, uma medida (índice) do potencial de dano ou transformação, do que de dano real.

Segundo Eakin e Luers (2006), a resiliência ecológica é uma das três abordagens abrangidas pela vulnerabilidade. O conceito abrange ainda as abordagens de risco-perigo, relacionada ao potencial de perda de grupos populacionais expostos à ocorrência de fatos e eventos biofísicos de risco, como eventos climáticos extremos, terremotos, deslizamentos etc., e uma via de abordagem econômica e ecológica política, centrada nos fatores sociopolíticos, culturais e econômicos que explicam a exposição de populações aos perigos e na vulnerabilidade como questão institucional de política ambiental.

Uma variedade de definições e de metodologias a respeito de vulnerabilidade, podem ser encontradas nas leituras de Aquino, Paletta e Almeida (2017), Colla-Concha e Ewert (2014), Cutter (1996), Eakin e Luers (2006), Figueiredo *et al.* (2010), Gallopin (2006), Grigio (2003), Lindoso (2014), Lei *et al.* (2013), Jordão (2011), Turner II *et al.* (2003) e Zielinski (2002).

Estas referências analisam diferentes abordagens sobre o conceito, mostrando uma diversidade de definições em uso, e que, independente da definição que este recebe, sua aplicação se direciona a questões e processos ambientais determinados, como mudanças climáticas, processos erosivos, inundações, enchentes etc.

No Brasil, Crepani *et al.* (1996; 2001; 2008) apresentam contribuição metodológica para análise e cálculo da vulnerabilidade ambiental, baseada nos princípios e indicadores (índices) da Geoecologia¹², integrada ao uso da Cartografia de Paisagem. Sua metodologia estabelece critérios metodológicos para a atribuição de índices de vulnerabilidade ambiental potencial a processos erosivos.

Estes autores, definiram uma escala de vulnerabilidade para as unidades territoriais (paisagens), com base na adição de novos critérios geoecológicos, em relação à classificação ecodinâmica de Tricart e Killian, (1979) e Tricart (1977)¹³, atribuindo-lhes categorias

¹²Também denominada, segundo Ostaszewska, 2010, de Geografia Física Complexa e Geografia da Paisagem.

¹³ Tricart (1977) e Tricart e Killian, (1979), desenvolveram uma metodologia de classificação da paisagem em unidades ecodinâmicas, prevendo sua representação cartográfica em diferentes graus de fragilidade, em face das intervenções antrópicas (ZACHARIAS, 2010).

hierárquicas em graus de vulnerabilidade, que variam de paisagens vulneráveis a estáveis, em uma escala de valores numéricos de 1 a 3, em que os menores valores expressam maior estabilidade das unidades de paisagens e aqueles mais próximos de 3 indicam paisagens mais vulneráveis.

Por essa metodologia, a paisagem é avaliada com base em um conjunto de variáveis (Planos de Informação-PIs), que permitem a criação de um modelo de avaliação, de forma qualitativa e quantitativa, do “estágio de evolução morfodinâmica das unidades territoriais, atribuindo valores de estabilidade às categorias morfodinâmicas básicas (CREPANI *et al.*, 2001).

Neste sentido, considerando a avaliação de Meneses e Coelho Neto (2001), a Cartografia Geoecológica ou Cartografia de Paisagens, além de possibilitar a detecção de situações de conflito e impactos ambientais, também serve de instrumento promovedor de soluções para prováveis danos causados por novas ações antrópicas sobre o ambiente e de ferramenta de análise da capacidade do ambiente em exercer determinadas funções e da compatibilidade das atividades antrópicas em relação à resiliência do ambiente.

O mapeamento de unidade de paisagem, como mostrado por Mateo Rodriguez e Silva (2013), evidencia a relação entre espaços produzidos e as paisagens naturais, a descrição e definição de unidades ambientais e potencial dos recursos naturais, o estabelecimento das funções sociais e ecológicas das unidades territoriais, a determinação entre estado e problemas ambientais, o entendimento das oscilações e dinâmicas sistêmicas e a proposição de usos da terra, ambientalmente adequados, se convertendo em importante instrumento de gestão do território.

3.2 A vegetação e suas interações na paisagem

A evolução espacial e temporal da vegetação na paisagem está condicionada à interação de fatores endógenos e exógenos do ambiente, como os fatores atmosféricos, hidrológicos, geomorfológicos e geológicos. Assim por exemplo, a floração e a germinação das plantas, estão adaptadas aos movimentos anuais de insolação da terra (CHASCO; HIJANO, 1999; CHRISTOPHERSON, 2012; PUIG, 2008), que condicionam a diversidade e densidade de espécies de plantas em cada região do planeta, definindo variações nas tipologias dos conjuntos vegetais.

O padrão de vegetação em cada paisagem é o resultado da sua dinâmica em duas escalas de tempo: a sucessão ao longo de décadas a séculos, que em resposta a distúrbios recorrentes, cria um mosaico de manchas em vários estágios de desenvolvimento (sucessão ecológica) e; a mudança climática ao longo de períodos de séculos a milênios, que altera a biogeografia das espécies (BONAN, 2002). Uma vegetação de floresta, por exemplo, pode ser substituída por uma vegetação de savana ou uma pastagem, dependendo das perturbações naturais (no tempo geológico) e/ou antrópicas (no tempo histórico) a que é submetida.

Em escala espacial, e, portanto, horizontal, a vegetação se distribui condicionada à combinação de múltiplos agentes ambientais, de atuação global, regional e local, como a luminosidade, o calor, a disponibilidade de água e de elementos minerais, o relevo, a estrutura litológica e a ação antrópica. Em conjunto, estes agentes, atuam como condicionantes de homogeneização e diferenciação no desenvolvimento das tipologias de vegetação na superfície terrestre.

Uma das características constatadas por Ab'Saber (1967; 1984; 2003), em seus estudos sobre os domínios das caatingas e dos cerrados brasileiros, foi a diversidade de padrões dos tipos de vegetação com diferenças na composição da biota. Este fator está relacionado, no primeiro caso, ao relevo (altitude), que atua como fator de diferenciação climática (pluviosidade, umidade, temperatura) criando “ilhas de umidade” (AB' SABER, 2003) em áreas de relevo mais elevado (serras), como a serra da Ibiapaba, onde se desenvolve vegetação arbórea. E no outro caso, aos solos. Neste caso, a altitude, o clima e os solos, são os fatores de diferenciação e homogeneização de tipologias vegetais destes domínios.

Os ciclos e os ritmos do conjunto de processos e fenômenos que caracterizam a paisagem natural e, conseqüentemente, a vegetação são conduzidos pela matéria, seja em estado líquido, sólido ou gasoso e, principalmente, pelas fontes de energia, internas (gravitacional) e externas (solar). A interconexão entre eles ocorre em função da transformação e movimentação de matéria e energia. Assim, esses processos e fenômenos, circulares e rítmicos, respectivamente, comandam a dinâmica processual do complexo natural, podendo ser caracterizados pela circulação atmosférica, a ciclagem da água (CASSETI, 1991) e os ciclos biogeoquímicos.

Tais processos e fenômenos são responsáveis pelo equilíbrio natural entre o potencial ecológico (estrutura litológica, relevo, clima e hidrografia) e a exploração biológica (vegetação, solo e fauna). De todos, o conjunto de processos e fenômenos do clima, mais do que qualquer outro componente geográfico, é o que mais afeta a dinâmica natural dos demais

elementos da paisagem. A dinâmica da vegetação, por exemplo, é em sua maior parte, governada pela atuação cíclica e rítmica dos processos e fenômenos de ordem climática.

Sabe-se que as características estruturais-funcionais da vegetação são determinadas pelas condições geográficas de um determinado território sendo o clima, a condição primária. E são também expressões de suas relações com os fatores ambientais, podendo ser definidas como interações ecológicas ou funcionais. Estas interações resultam na manifestação de atributos estruturais e características distintivas da vegetação no interior das estruturas espaciais geográficas (geocomplexos/complexos naturais/unidades de paisagem), passíveis de análise e classificação, a exemplo do que ocorre no domínio dos cerrados.

Estes domínios são um tipo de área morfoclimática que comporta uma variedade de fisionomias de vegetação, campestre, savânica, florestas-galeria e floresta subcaducifólia (AB'SABER, 2003; BECERRA; SHIMABUKURO; ALVALÁ, 2009) com estruturas e características bem marcadas e diferenciáveis no terreno, cuja dinâmica funcional e estrutural está sujeita, conforme Ab' Saber (2003), aos efeitos da sazonalidade climática (precipitação e umidade), anualmente alternada entre um período muito chuvoso e outro de estiagem, uma rede hídrica comandada por "*lençóis d'água subsuperficiais*" (AB' SABER, 2003, P.38) e o predomínio de solos pobres com baixo teor de matéria orgânica.

Em razão destas interações (ecológicas e funcionais), a vegetação, uma vez presente, exerce sempre o papel de reativador do meio, e suas unidades fitogeográficas são massas vegetais bem definidas, tanto do ponto de vista fisionômico, quanto dinâmico (BERTRAND; BERTRAND, 2009; BERTRAND, 2004; BERTRAND, 1968). Seu desenvolvimento ativa um circuito entre o solo e a atmosfera que se traduz por fluxos de partículas de água (evapotranspiração), partículas gasosas (elementos químicos dos ciclos biogeoquímicos) e produção e deslocamento de matéria (PUIG, 2008) orgânica e de energia.

No âmbito do complexo natural da paisagem, ela se comporta como um sistema altamente organizado, estrutural e funcionalmente, desempenhando um grande número de "funções e papéis", tanto como formação natural, quanto como produto da atividade humana, em que, segundo Belov e Sokolova (2009), o conjunto de funções exercidas por ela, pode ser definido como ecológico e, portanto, de ordem natural, ao passo que, os papéis tem a ver com sua importância e possuem caráter regional e temporal, governados pelas condições naturais das regiões particulares, suas possibilidades ecológicas, o potencial de recursos oferecidos e os objetivos socioeconômicos de desenvolvimento territorial local.

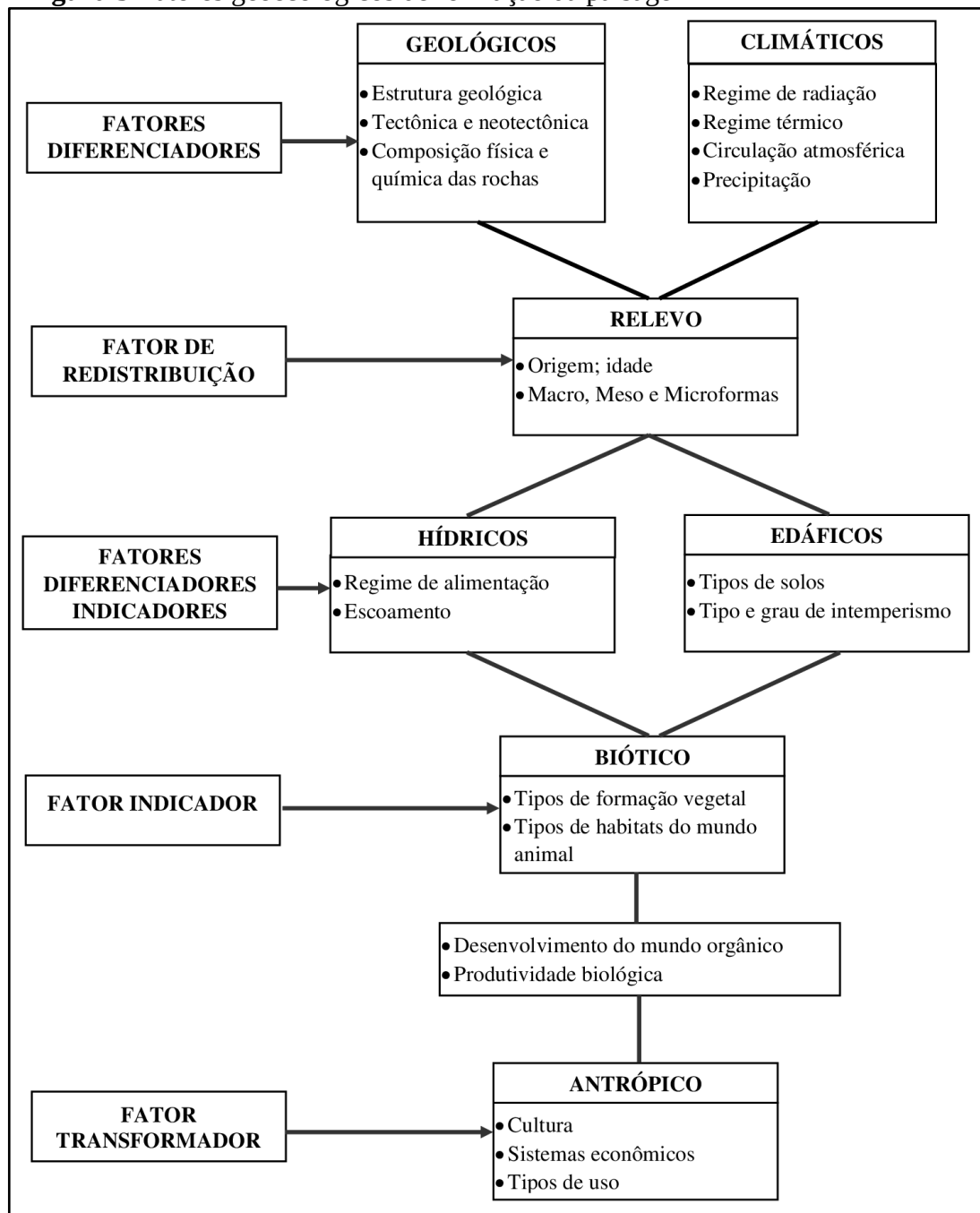
Estudos como de Belov e Sokolova (2008; 2009), têm sido realizados com a finalidade de avaliar e classificar as funções geoecológicas da vegetação. Tais estudos têm elucidado questões importantes sobre a organização funcional da vegetação, como propriedades genéticas, estruturais e dinâmicas e seu papel na organização, evolução e dinâmica da paisagem.

É possível destacar, de acordo com a leitura destes estudos, dois tipos de classes de funções geoecológicas da vegetação. Aquelas de caráter universal e de ocorrência global, comum a todo tipo de formação vegetal, independentemente das condições geográficas a que estão submetidas, que incluem, por exemplo, a formação dos climas locais e regionais, formação e proteção da hidrosfera e do solo, regulação dos fluxos biogeoquímicos e reprodução e produção de biomassa. E aquelas de grandeza local ou regional, realizadas por um tipo de vegetação em particular, de acordo com as condições do ambiente que coloniza. “Só preditivas com avaliação detalhada de suas funções e papéis naquele ambiente” (BELOV; SOKOLOVA, 2009).

A vegetação possui função singular como fator de formação da paisagem e nos estudos das variáveis geoecológicas. De um lado, ela influencia fortemente o funcionamento (balanço energético) físico global do complexo natural (geocomplexo), participando das transformações de energia (solar e gravitacional) em matéria orgânica e das trocas gasosas com a atmosfera.

E de outro, por ser, reconhecidamente sensível aos fatores ambientais, como os fatores climático-hidrológicos e de altitude, é costumeiramente utilizada como indicador de variabilidade paisagística em trabalhos de modelagem geosistêmica da paisagem, a exemplo da classificação morfoclimática e fitogeográfica de Ab’Saber (2003), Belov e Sokolova (2009), Bertrand e Bertrand (2009) e Coelho *et. al* (2018), exercendo, como demonstram estes estudos, a função de expressão síntese da paisagem.

Mateo Rodriguez, Silva e Cavalcanti (2013, p.88) definem a vegetação como um dos fatores indicadores da paisagem (figura 5) e resultante “das influências combinadas dos fatores restantes, indicando as condições do habitat, a origem e a evolução”. Os autores também a consideram um dos fatores mais móveis e transformáveis pela ação antrópica que, neste caso, assume o papel de agente transformador da paisagem.

Figura 5-Fatores geoecológicos de formação da paisagem

Fonte: Adaptado de Mateo Rodriguez, Silva e Cavalcanti (2013).

Em cada fase do desenvolvimento da vegetação, a assimilação, a transformação e a transferência de matéria e energia são uma constante, e representam um elo entre os fatores geoecológicos, principalmente entre o solo e a atmosfera, em um plano bidirecional. Esses processos de trocas energéticas e de matéria (orgânica e inorgânica) são alimentados, principalmente pela radiação solar, cuja intensidade varia de acordo com a latitude da região, a superfície do terreno e as condições atmosféricas, e, em particular, exerce papel de maior

importância para a realização das funções biológicas da vegetação, como os processos fisiológicos descritos na acima.

A intensidade da radiação solar condiciona a atividade fotossintética e, portanto, o crescimento das plantas, controlando sua fenologia e condicionando, também, o seu desenvolvimento em duas direções: a vertical (crescimento e estrutura vertical) e a espacial (arranjo horizontal e distribuição geográfica).

No sentido vertical o desenvolvimento das plantas ocorre, principalmente, em função da conjunção da radiação solar a dois outros elementos: a água e os nutrientes. Sendo estes últimos, elementos químicos (os macros e micros nutrientes¹⁴) que durante os processos fisiológicos e a partir das numerosas reações bioquímicas envolvidas, são transformados em matéria orgânica (biomassa). Enquanto em seus componentes aéreos (em seu conjunto o dossel), as trocas mais quantificáveis ocorrem com a atmosfera (baixa atmosfera ou atmosfera turbulenta), em suas estruturas inferiores (raízes e caule) a dinâmica mais notável ocorre com o solo.

Neste sentido, verticalmente a interação mais evidente na paisagem e bem elucidada em alguns estudos (BARBOSA, 1998; BARDUCO, 2015; BECERRA; SHIMABUKURO; ALVALÁ, 2008; GALINDO, 2008; GONZAGA; SANTOS; NICACIO, 2011; LLOPART, 2014; MACHADO *et. al.*, 2014) ocorre entre solo-vegetação-atmosfera, embora seja acompanhada de outros fatores ambientais, como drenagem e relevo. Com a atmosfera essa interação é alimentada pelas diversas troças gasosas e de energia, sustentando o funcionamento dos mais diversos processos naturais, como umidade, precipitação etc.

Na outra ponta deste plano bidirecional, as interações e trocas, solo-vegetação são a melhor representação do estágio dinâmico da paisagem. Estes dois elementos são a interface e a síntese do potencial geoecológico e fornecem os melhores indicadores do estado ambiental de uma paisagem.

Solo e vegetação evoluem, a partir de múltipla relação. Enquanto o solo nutre a vegetação de água e nutrientes, tornando possível seu desenvolvimento e reprodução, esta, por sua vez, retribui, fornecendo matéria orgânica, via deposição, que quando decomposta e mineralizada se agregam às suas partículas, influenciando suas características e capacidade de suporte.

O solo condiciona a vegetação, tanto em seu desenvolvimento vertical, quanto na sua distribuição espacial. Determinados tipos ou conjuntos de plantas se desenvolvem somente

¹⁴Os **macronutrientes** são os elementos químicos básicos necessários para nutrição das plantas, tais como: Nitrogênio, Fósforo, Potássio, Cálcio, Magnésio e Enxofre.

sobre certos tipos de solo. Puig (2008) destaca, por exemplo, que em florestas tropicais, o solo, por meio de suas propriedades físico-químicas e biológicas, influencia a distribuição dos agrupamentos vegetais e de acordo com suas características, é possível estabelecer classificações de tipos vegetais.

Há uma relação direta entre ambos, em que um controla as características do outro. Como comprovado nos trabalhos citados acima, o solo é um elemento condicionante da variação de fisionomias vegetais em uma mesma região, em pelo menos quatro aspectos: a fertilidade, a disponibilidade hídrica, a constituição mineralógica e a textura.

Por exemplo, um solo pobre em macronutrientes como o nitrogênio, inibe o crescimento das plantas, uma vez que este macronutriente é responsável pela produção de novas moléculas e tecidos vegetais e atua diretamente no processo de fotossíntese e na composição da clorofila.

Isso ocorre porque a composição mineral das rochas, os fatores morfométricos do relevo e o escoamento e a deposição de sedimentos pela drenagem, oferecem condições edáficas específicas, criando ambientes com propriedades físico-químicas ideais a grupos de vegetais que consigam se adaptar a elas, condicionando ambientes com grupos mais e menos densos e diversificados, e descontinuidades fisionômicas e florísticas ao longo do terreno, muitas delas, de forma abrupta (CHASCO; HIJANO, 1999; JESUS, 2004). Brown e Lomolino (2006), consideram que mudanças abruptas no ambiente tendem, habitualmente, a serem acompanhadas por transições rápidas entre duas ou mais associações de tipos diferentes de vegetação.

Quando avaliada em escala global (e, portanto, espacial), a vegetação se distribui por zonas, estando diretamente condicionada a três fatores principais: os climas existentes (SAUGIER, 1996), a incidência da radiação solar em cada latitude do planeta e estação do ano e a disponibilidade hídrica. Para Lacoste e Salanon (1996), a distribuição das grandes zonas de vegetação, mais ou menos paralelas à faixa equatorial, deve-se às condições de radiação, e, por conseguinte, às condições térmicas em cada latitude, e mais diretamente à uma modificação espacial do conjunto de fatores climáticos como precipitação, umidade e temperatura.

Bonan (2002) destaca a precipitação, juntamente com a temperatura e a umidade, como os fatores atmosféricos que mais controlam o processo fenológico das plantas. Em condições mais quentes (nas regiões tropicais), a temperatura aumenta a taxa de reações químicas, desencadeando os processos fisiológicos descritos acima, envolvidos no ciclo de

desenvolvimento da matéria vegetal: brotamento, crescimento (brotos, caule, raízes e folhas), reprodução (floração) e a maturação e senescência, e que as plantas secas-decíduas perdem ou ganham folhas em resposta à precipitação e ao estresse hídrico.

Por exemplo: enquanto na Floresta Amazônica, onde há abundância de água e umidade o ano todo em 70,4% da área da floresta, o fator determinante para o aumento da produção foliar é a insolação. Há uma relação de proporcionalidade entre insolação e produção de fitomassa. Quanto maior a intensidade de insolação, maior a taxa de crescimento foliar (WAGNER, *et al.*, 2017). No Semiárido nordestino, onde prevalece a vegetação caducifolia de caatinga e onde a insolação também é intensa o ano todo, mas há escassez de água, o fator determinante da produção foliar da vegetação é a precipitação.

Nesta região do Brasil, a intensa insolação, as altas temperaturas e a desigual distribuição de chuvas, anual e regional, caracterizam as condições climáticas, repercutindo nas características morfológicas e funcionais das tipologias vegetais, determinando o predomínio de espécies de plantas do tipo secas-decíduas e semidecíduas, com ciclo de produtividade de fitomassa oscilando em função do regime de precipitação.

Na área de estudo desta tese, conforme será visto no capítulo de resultados, esse comportamento é evidenciado (visualmente) ao longo do ano pelo processo de caducifolia, que provoca mudança na fitofisionomia da vegetação de um período a outro do ano. A condição de sazonalidade pluviométrica, caracterizada por um período de concentração de precipitação e outro de estiagem, e determinada pela dinâmica atmosférica regional, somada às altas temperaturas, presentes o ano todo, condiciona a fotossíntese das plantas e os índices de produtividade de biomassa da vegetação, repercutindo, sobre as características fisiológicas, que também varia de acordo com esse comportamento sazonal.

Na região semiárida e de modo geral em toda região Nordeste do país, há gradação de tipologias vegetais em conformidade com as zonas climáticas, onde ocorrem pelo menos cinco zonas de formações fitogeográficas sob a influência de três grandes tipos climáticos: o tropical, o semiárido e o equatorial (BARBOSA, 1998), e em geral, apresentam “cenários pluviométricos” (ANDRADE JUNIOR *et. al.*, 2008; ANDRADE JUNIOR, *et. al.*, 2004a; 2004b), com regimes de precipitação concentrados em um período do ano e déficit hídrico no outro. Fator que controla o ciclo fenológico da vegetação.

4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Este capítulo apresenta de forma descritiva as etapas e procedimentos de desenvolvimento da pesquisa e elaboração da tese, como a descrição da orientação teórico - metodológica, das bases teórica e cartográfica da pesquisa e os procedimentos seguidos para organização e levantamento dos resultados da pesquisa.

O objetivo do capítulo foi apresentar um descritivo quadro detalhado, possibilitando melhor entendimento dos caminhos seguidos para o desenvolvimento desta pesquisa e, ao mesmo tempo, a reprodução destes procedimentos em outras pesquisas.

4.1 Orientação teórico-metodológica

Em função da natureza do objeto de estudo e objetivos almejados, a pesquisa foi desenvolvida apoiada na ideia de análise global, de abordagem geossistêmica, conforme os princípios da Geoecologia da Paisagem, em que os atributos e variáveis da vegetação foram interpretados e analisados em um contexto de interações ambientais com demais fatores geoecológicos da paisagem, incluindo a ação antrópica.

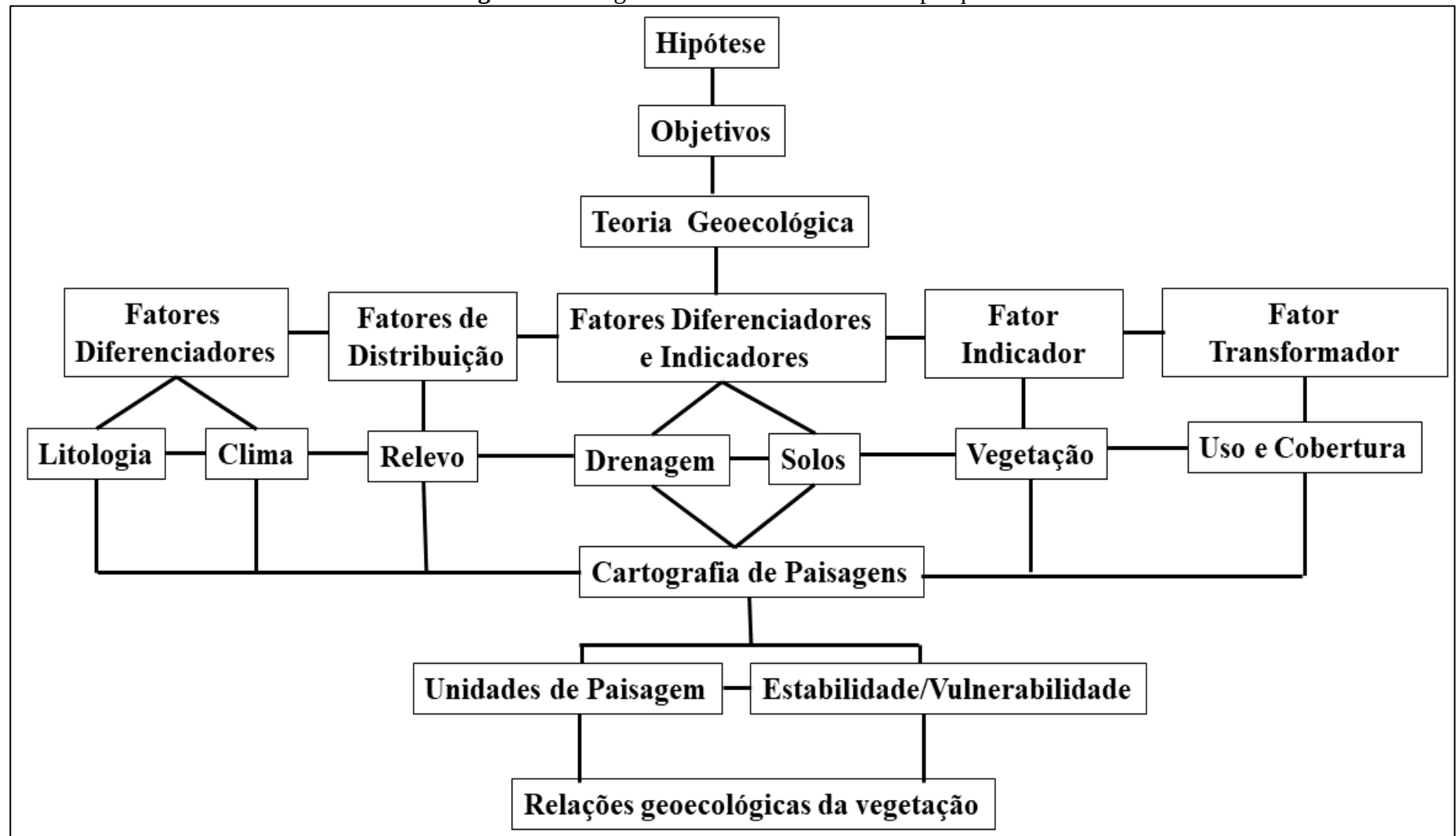
Assim, a opção por realizar estudo desta natureza, implica em adotar alicerce metodológico capaz de dimensionar a complexidade dos fenômenos e fatores estudados, admitindo-se, a avaliação comparativa-correlativa, por meio da representação cartográfica, gráfica (quantitativa e qualitativa) e ilustrativa de variáveis homogêneas e heterogêneas, tanto do ponto de vista fisionômico quanto funcional.

Neste sentido, a metodologia adotada inclui um conjunto de procedimentos teórico-metodológicos, que integra à base teórico-conceitual, métodos e técnicas de:

- ✓ levantamento de dados cartográficos, envolvendo princípios da Cartografia de Paisagens e da Modelagem aplicada à vegetação, com uso de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento;
- ✓ trabalhos de campo para realização de observações e inventários;
- ✓ análises estatísticas e equacional de dados de precipitação e temperatura;
- ✓ interpretação e representação cartográfica, gráfica, tabular e ilustrativa de dados quantitativos e qualitativos (cartográficos);
- ✓ avaliação e redação, analítica-correlativa das variáveis de estudo, por discriminação e caracterização de homogeneidades e descontinuidades fisionômicas e funcionais.

No fluxograma a seguir, da figura 6, estão resumidos os procedimentos metodológicos desta pesquisa. Seguindo os princípios metodológicos da Geoecologia da Paisagem, inicialmente desenvolveu-se a interpretação e o inventário cartográfico, de forma individual, dos vários fatores de formação da paisagem e, em seguida, aplicando a Cartografia de Paisagens, realizou-se mapeamento síntese para determinar a síntese espacial (unidades de paisagem) e diagnóstica (estabilidade/vulnerabilidade), que possibilitou a análise das relações geoecológicas da vegetação na paisagem local.

Figura 6-Fluxograma de desenvolvimento da pesquisa



Elaboração: BARBOSA, L.G. Orientação: MARTIN, E.S.

Em função do tipo de pesquisa adotado a revisão de literatura, como pôde ser observado no capítulo anterior, foi desenvolvida com base na leitura de referências apropriadas à análise integrada e de síntese, que contribuem para entender a complexidade da vegetação e suas interações na paisagem, mas também para compreensão dos conceitos e temas que fundamentam a tese.

Para a análise geográfica e de síntese, fez-se a opção pelos conceitos de paisagem e vulnerabilidade/estabilidade fundamentada na concepção da Geoecologia da Paisagem e as leituras feitas sobre eles, sendo a obra de Mateo Rodriguez, Silva e Cavalcanti (2013) a referência base da tese. Também foram utilizadas outras bibliografias de geógrafos russos, cubanos e brasileiros, que trabalharam com esses conceitos em uma perspectiva de análise teórica e de Cartografia de Síntese, aplicada ao mapeamento ambiental em diversas escalas e recortes geográficos.

A referência a ambos os conceitos está presente em praticamente toda a tese, seja na discussão teórica e dos resultados ou na forma como as informações são representadas. Assim, tanto a parte da fundamentação teórica, como a representação cartográfica e análise dos dados representados, estão baseados nestes dois conceitos geográficos.

A revisão de literatura contemplou ainda a discussão do conceito de vulnerabilidade, da Cartografia de Paisagens como ferramentas metodológicas usadas em estudo de Geoecologia da Paisagem, para realização de mapeamentos de unidades de paisagem. A vegetação, objeto de estudo da pesquisa foi fundamentada por meio da análise de suas interações na paisagem.

De modo geral, a leitura bibliográfica procurou contemplar leituras sobre os temas que cercam o objeto da pesquisa, buscando referências sobre o geossistema, paisagem, vegetação e suas relações ambientais.

4.2 Base cartográfica e mapeamento da pesquisa

A base cartográfica da pesquisa é composta por um conjunto de dados vetoriais e matriciais, adquiridos em diferentes bases de dados brasileiras e estrangeiras, incluindo arquivos shapefiles e imagens raster de Radar e de Satélite. Conforme pode ser observado no quadro 4, a seguir, todo mapeamento apresentado ao longo da tese foi elaborado com base em dados atualizados.

Quadro 4-Bases de dados e produtos cartográficos da pesquisa

Base de Dados	Dados	Programa de Geoprocessamento	Produto Derivados
EarthExplorer/USGS https://earthexplorer.usgs.gov/	Imagem SRTM 2014-30 M resolução; cenas - 05_w043_1arc_v3_bil; s06_w043_1arc_v3_bil; s06_w044_1arc_v3	ARCGIS 10.7-análise e geoprocessamento; Google Earth-análise	Hipsometria; Declividade; Rugosidade; Curvatura; Unidades de Relevo; Unidades de Paisagem; Vulnerabilidade
LandViewer/ESA https://eos.com/landviewer/?tool-timelapse	Imagem Sentinel-2 2018-cenas 23MQP; 23MQQ (jul/out) -10 M resolução	ARCGIS 10.7-análise e geoprocessamento; Google Earth-análise e coleta de pontos de controle	Vegetação; Uso e Cobertura; Unidades de Paisagem; Vulnerabilidade
EarthExplorer/USGS https://earthexplorer.usgs.gov/	LandSat4-5 TM C1 Level-1; LandSat8 OLI/TIRS C1 Level-1-cenas 063 e 064 – 30 M resolução 2006/2018	ARCGIS 10.7-análise e geoprocessamento; QGIS 3.8.0 Zanzibar-pré-processamento	NDVI; SAVI; CGI
IBGE https://mapas.ibge.gov.br/bases-e-referenciais/bases-cartograficas/cartas.html	Folha SB23-geol; Folha SB23-pedo-escala 1:250.000-2018 Malhas digitais-2015	ARCGIS 10.7-análise e geoprocessamento	Mapas de Litologia; Solos; Localização
ANA https://metadados.ana.gov.br/geonetwork/srv/pt/main.home	Base Hidrográfica do rio Parnaíba-Drenagem e Área de Contribuição-2019	ARCGIS 10.7-análise e geoprocessamento	Mapa de Subbacias Hidrográficas; Drenagem
TRMM-3B43-v7 https://giovanni.gsfc.nasa.gov/	Série histórica de precipitação 1998-2018	ARCGIS 10.7-análise e geoprocessamento	Mapas de Precipitação e Intensidade de Chuvas

Elaboração: BARBOSA, L.G. **Orientação:** MARTIN, E.S.

Com exceção do mapa de localização, os produtos derivados (mapas e índices) dos dados primários (matricial) e secundários (vetor) foram padronizados em sistema de coordenadas UTM (*Universal Transversa Mercator*), fuso 23, sul, e sistema de referência SIRGAS2000. Os mapas temáticos, de unidades de paisagem e de Estabilidade/Vulnerabilidade estão padronizados também de acordo com a escala de 1:150.000 e layout padrão.

4.2.1 Mapeamento temático

O mapeamento temático incluiu além do tratamento cartográfico das bases prontas, adquiridas em formato de vetor, Solo, Litologia e Hidrografia, a elaboração de um conjunto de mapas primários, que inclui as variáveis do relevo, Hipsometria, Declividade, Índice Global de Rugosidade e Curvatura, as Unidades de Relevo, a Vegetação e Uso e Cobertura da Terra.

Os mapas de Solos e Litologia foram elaborados a partir da base cartográfica do IBGE, compilada das cartas do Projeto RADAM Brasil. Foram utilizadas Folhas SB23 de Geologia e Pedologia, em escala de 1:250.000.

Em relação às variáveis do relevo, o mapeamento foi realizado com base no Modelo de Elevação do Terreno SRTM. Para cada variável, foi aplicado uma metodologia de classificação e técnica de geoprocessamento específica, com uso de algoritmos do software ArcGis 10.6 e ArcGis 10.7 em duas etapas. Uma primeira etapa para a geração de valores brutos em escala numérica, em intervalo de valores mínimos e máximos e a segunda etapa foi a reclassificação desses valores em intervalos de classes e a sua posterior classificação baseada outras classificações já efetuadas na área de estudo e em outras regiões do país.

A classificação das variáveis hipsometria e declividade se baseou na classificação da EMBRAPA (1979). Para hipsometria foram definidas seis classes de compartimentos com intervalos de 40 metros, as cinco primeiras e 47 a última. A declividade foi classificada em cinco unidades de relevo, considerando a variação de relevo plano a montanhoso¹⁵ da EMBRAPA.

O Índice Global de Rugosidade e Curvatura foram respectivamente classificados com base em Lima e Augustin (2012), Sampaio e Augustin (2014) e Valeriano (2008). Para a

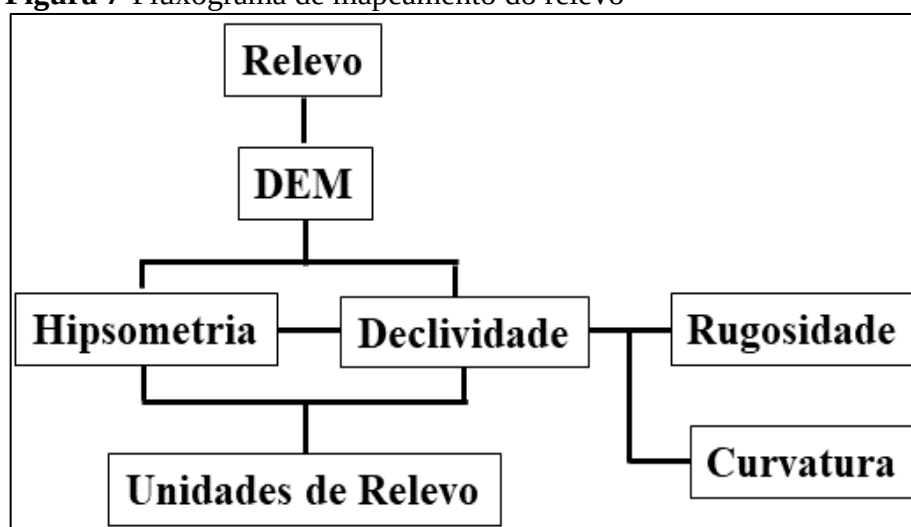
¹⁵ Embora na classificação da EMBRAPA a classe de declividade de relevo montanhoso corresponde às áreas com superfícies predominantemente acidentadas, como morros e montanhas, na área de estudo, ela corresponde às áreas de encostas escarpadas com declividade mais acentuada.

Curvatura do Terreno foram definidas três classes de curvaturas, convexa, côncava e retilínea. Para definição dessas, os valores entre intervalo de $-0,010^\circ/\text{m}$ e $+0,010^\circ/\text{m}$ foram considerados típicos de vertentes tidas retilíneas, os demais positivos convexas e negativos côncavas.

O índice de rugosidade foi obtido aplicando a metodologia de Sampaio e Augustin (2014) em que a matricial de declividade em porcentagem é transformada em vetor de pontos e rodada no estimador kernel (kernel density) com os parâmetros de 1128m pixel e divisão do arquivo de saída por 126 na álgebra de mapas. Os valores resultantes foram reclassificados em cinco intervalos classes, com base na classificação que Lima e Augustin (2012) realizaram para o município de Teresina.

O mapa de Unidades de Relevo é um produto derivado do cruzamento da hipsometria e a declividade, conforme o detalhamento apresentado por Puebla, Chávez e Damián (2010), Puebla, Chávez e Noa (2009). A classificação das unidades geradas a partir do cruzamento foi feita considerando as classificações de Lima (2016), Moraes e Lima (2015) e Lima (2011). A seguir, na figura 7, é apresentado um fluxograma da sequência seguida para o mapeamento do relevo.

Figura 7-Fluxograma de mapeamento do relevo



Elaboração: BARBOSA, L.G. **Orientação:** MARTIN, E.S.

❖ *Vegetação e uso e cobertura da terra*

A elaboração dos mapas de Vegetação e Uso e Cobertura da Terra foi feita utilizando as cenas 23MQP; 23MQQ da imagem Sentinel-2 2LA, a partir de duas composições: RGB das bandas 04/03/02 de imagem de julho de 2018 e RGB das bandas 8A/11/02 de outubro de 2018 (quadro 5). A opção por estes períodos, ocorreu em função da restrição de

disponibilidade de imagens sem cobertura de nuvens e da necessidade de identificação e discriminação das manchas de Floresta Dicótilo-Palmacea (Babaçual).

Considerando a perenidade deste tipo de formação vegetal ao longo do ano e a caducifolia das demais fisionomias de vegetação da área de estudo no período de estiagem, fez-se uso da composição 8A/11/02, da imagem de outubro, para diferenciar as manchas de Babaçú dos demais tipos de vegetação. Esta composição, quando aplicada, destaca a vegetação saudável, que surge em tons de vermelho e, isto possibilitou identificar e separar as manchas de babaçu.

A classificação das duas variáveis foi feita oito etapas:

- ✓ *Pré-classificação*-georreferenciamento das bandas de acordo com o sistema de referência do Brasil e o sistema de coordenadas locais;
- ✓ *Pré-classificação*- composição das bandas, mosaico das cenas e recorte do mosaico;
- ✓ *Pré-classificação*- definição de chaves de interpretação a partir da análise das composições e segmentação das imagens dos dois períodos mencionados acima, em conjunto.

Quadro 5-Características das bandas Sentinel-2

Resolução	Nr da Banda	Nome da Banda	Comprimento de Onda Central	Combinações de Bandas
10 m	B02	Blue (Azul)	490	Cor Verdadeira RGB 04/03/02 Falsa Cor 1 e 2 RGB 08/04/03 e 04/08/03
	B03	Green (Verde)	560	
	B04	Red (Vermelho)	665	
	B08	NIR (Infravermelho Próximo)	842	
20 m	B05	Red Edge 1	705	SWIR 1 RGB 12/11/8A
	B06	Red Edge 2	740	
	B07	Red Edge 3	783	
	B08A	Red Edge 4	865	
	B11	SWIR 1	1610	
	B12	SWIR 2	2190	
60 m	B01	Aerossol	443	—
	B09	Water Vapor	940	
	B10	Cirrus	1375	

Fonte: Land Viewer/ESA. **Elaboração:** BARBOSA, L.G. **Orientação:** MARTIN, E.S.

com análise das imagens do Google Earth e as informações da área, obtidas durante os campos da pesquisa;

✓ *Pré-classificação-coleta* de amostras e pontos de controle em imagens do Google Earth, principalmente das manchas de Floresta Dicótilo-Palmácea (Babaçual). Foram coletados 500 amostras e pontos de controle;

✓ *Classificação da imagem* -Coletas de amostras diretamente na imagem composta, criação de chaves de assinatura e classificação usando o classificador Classificação Interativa Supervisionada (*Intective Supervised Classification*), com base em nove classes, previamente definidas de uso e cobertura e vegetação. A classificação gerou um arquivo matricial que foi convertido para polígono com a finalidade de análise e reclassificação dos polígonos.

✓ *Pós- classificação (análise e reclassificação dos polígonos)*– a análise e reclassificação dos polígonos com a sobreposição das imagens Sentinel-2 compostas e dos pontos de controle e amostras, juntamente com a análise simultânea das imagens do Google Earth. Em função da extensão da área e da quantidade de polígonos gerados, foram feitos vários recortes na área. A classificação de cada recorte foi separadamente para facilitar o processamento. A área dos municípios de Altos e Teresina foram divididas em duas e três, respectivamente.

✓ *Pós- classificação (unificação das áreas e classificação da vegetação e uso e cobertura da terra)* - após a classificação individual de cada área recortada, foi feita unificação das partes gerando um arquivo matriz com classes de uso e cobertura, já com as algumas fisionomias de vegetação previamente classificadas, como a Floresta Estacional Semidecidual Submontana e a Floresta Dicótilo-Palmácea (Babaçual);

✓ *Pós- classificação (aplicação da classificação final de vegetação e uso e cobertura da terra)* -após a etapa de unificação foi feita a separação de arquivos para aplicação das classificações de uso e cobertura e de vegetação. A classificação de uso e cobertura da terra levou em consideração as nomenclaturas atualizadas pelo IBGE em 2018, para esse tipo de mapeamento. Contudo, foram feitas adaptações considerando as características locais, sendo acrescentadas as nomenclaturas das classes Uso Diversificado, Área Agrícola/Pastagem e Área de Degradação Natural.

Nos dois primeiros casos a diferenciação da nomenclatura ocorreu porque durante a classificação e as análises houve áreas onde não possível a distinção e separação dos tipos de uso que essas classes representam, sendo então estas unificadas. No caso da classe Área de Degradação Natural, foi em função de suas características tão típicas.

O mapa de vegetação a definição das fisionomias de vegetação se baseou nas nomenclaturas, classificação e caracterização da EMBRAPA (2018), IBGE (2013; 2018), Jacomine (1986a), Moraes (2004) e Ribeiro e Walter (2008), mas sobretudo nas observações de campo. No caso das fisionomias de Cerrado foram determinantes a ocorrência ou não de palmeiras e a densidade nos casos onde ocorre.

4.2.2 Mapeamento de síntese

Os mapas síntese de Unidades de Paisagem Natural e Vulnerabilidade seguindo as propostas metodológicas de Crepani *et al.* (1996), Crepani *et al.* (2008), Puebla, Chávez e Damián (2010) e Puebla, Chávez e Noa (2009), respectivamente.

O mapa de Unidades de Paisagem foi elaborado a partir da sobreposição de mapas temáticos, em escala de 1:150.000, seguindo quatro etapas de cruzamentos até chegar no mapa síntese. Na primeira etapa foram cruzados os mapas de hipsometria e declividade e suas tabelas de atributo. O resultado foi uma tabela cruzada (tabela 1), com valores de área em metros. Esses valores são exportados para uma planilha Excel onde é realizado o cálculo de conversão dos valores de metro para quilometro, dividindo-se todos por 1000000 (um milhão).

Tabela 1-Modelo de tabela cruzada do mapeamento da paisagem

DECLIVIDADE (%)	HIPSOMETRIA (m)					
	36-76	76-116	116-156	156-196	196-236	236-283
0-3	1,17	1,61	1,87	1,03	3,45	1,05
3-8	1,80	4,18	3,75	2,21	7,21	1,59
8-20	3,24	1,79	2,10	117,34	4,01	508,01
20-45	1,22	4,43	9,45	5,55	1,92	1,76
>45	0,00	0,34	2,11	301,43	116,01	0,12

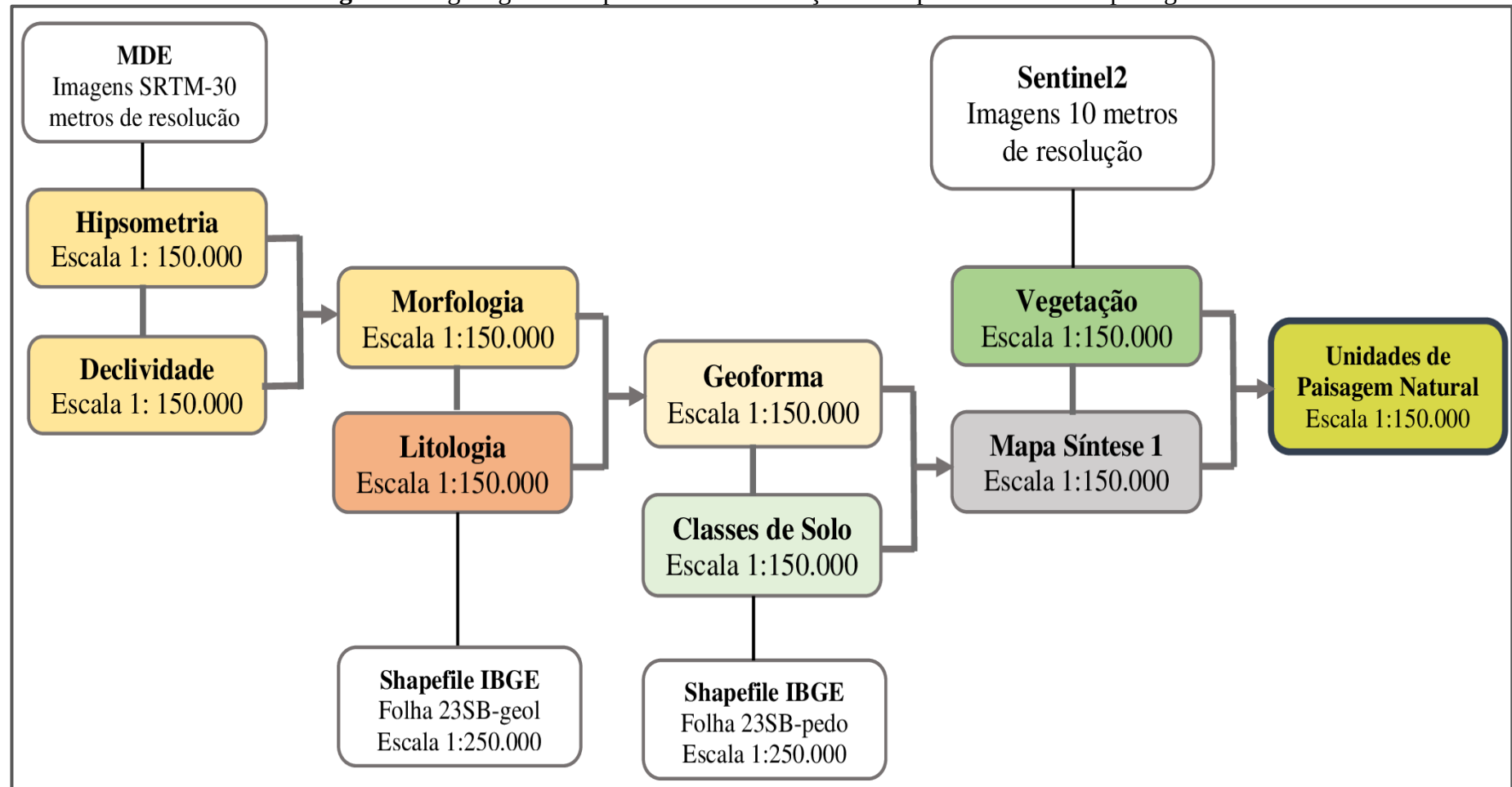
Elaboração: BARBOSA, L.G. **Orientação:** MARTIN, E.S.

A etapa seguinte foi a interpretação do cruzamento e a classificação das unidades que resultou no mapa de unidades de relevo. O mapa de relevo foi cruzado com o mapa de geologia e deste cruzamento foi gerado o mapa de geoforma. Novamente repetiu-se todo procedimento, cruzando mapa de geoforma com o mapa de solo e o resultado desse cruzamento com o mapa de vegetação, resultando no mapa final de unidades de paisagem natural da área.

Em cada etapa se repetiu o procedimento de cruzar as tabelas, exportar para o ExcelTM aplicar o cálculo de conversão de unidade de área, interpretar as unidades e agregá-las em menor número de unidades. Cada cruzamento gerou uma média de 25 a 30 subunidades que eram reagrupadas¹⁶. Organograma a seguir, da figura 8, mostrar a sequência das etapas seguidas para gerar o mapa síntese de unidades de paisagem.

¹⁶ O detalhamento completo das etapas e o passo-a-passo dos cruzamentos é apresentado pelos autores da proposta.

Figura 8-Organograma do processo de elaboração do mapa de unidades de paisagem



Elaboração: BARBOSA, L.G. **Orientação:** MARTIN, E.S.

O outro mapa síntese foi o de vulnerabilidade. Pela metodologia adotada, esse mapa é gerado a partir do cálculo e do cruzamento de diversas variáveis, representadas em mapas temáticos individuais, denominados Planos de Informação-PIs. Neste mapeamento foram utilizados como PIs, as variáveis morfométricas do relevo, hipsometria, declividade e rugosidade, geologia, solo, intensidade de chuvas, vegetação e uso e cobertura da terra.

Cada variável foi representada em um PI, a partir da atribuição individual de pesos às suas classes ou unidades, de acordo com as tabelas de pesos apresentadas por Crepani *et al.*, (1996; 2001; 2008). Foram atribuídos os mesmos pesos utilizados por Crepani *et al.*, (2008) em trabalho realizado em um município do Estado do Piauí, com características naturais semelhantes.

Os pesos variam em escala de 1 a 3, com valores fracionados no intervalo entre cada número inteiro, conforme pode ser observado em tabela ampliada apresentada pelos autores. No caso do PI de Vegetação, receberam pesos zero, aquelas classes que representam feições antrópicas, da mesma forma no PI de Uso e Cobertura, também foram atribuídos zero às classes de cobertura de vegetação florestal e campestre.

Após a etapa de classificação individual de cada PI, foi efetuado o cálculo das variáveis na calculadora raster, seguindo as combinações do quadro 6, baseado na equação geral apresentada abaixo:

$$E/V = (H + D + R + G + S + I + V + U) / 8$$

[1]

Onde:

E/V = Estabilidade/Vulnerabilidade

H= Hipsometria

D=Declividade

R=Rugosidade

G = Geologia

S = Solo

I=Intensidade de Chuvas

V = Vegetação

U= Uso e Cobertura da Terra

Quadro 6-Fórmulas e combinações de Planos de Informação de Estabilidade/Vulnerabilidade

Combinações	Combinações de Cálculo	Mapa Resultante
P.I. 1	$H+D+R+G+S+I/6$	Estabilidade/Vulnerabilidade natural da Paisagem à erosão sem a variável vegetação
P. I. 2	$H+D+R+G+S+I+V/7$	Estabilidade/Vulnerabilidade natural da Paisagem à erosão com a variável vegetação
P. I. 3	$H+D+R+G+S+I+U/7$	Estabilidade/Vulnerabilidade ambiental da Paisagem à erosão com a variável uso
P.I. 4	$H+D+R+G+S+I+V+U/8$	Estabilidade/Vulnerabilidade ambiental da Paisagem à erosão com todas as variáveis

Elaboração: BARBOSA, L.G. **Orientação:** MARTIN, E.S.

No cálculo final dos mapas, não houve atribuição de pesos. Os PIs foram somados e divididos, de acordo com a combinação e o número de variáveis determinadas. Os valores dos cálculos foram reclassificados em cinco intervalos de classes numéricas (quadro 7) que, ao final, receberam denominação de acordo com a nomenclatura adotada por Crepani *et al.*, (2008).

Quadro 7-Intervalos de valores das classes de Estabilidade/Vulnerabilidade

Classes de Estabilidade/ Vulnerabilidade	Intervalo de Valores
Baixa/Estável	1-1,3
Moderadamente Estável	1,4-1,7
Medianamente Estável/Vulnerável	1,8-2,2
Moderadamente Vulnerável	2,3-2,6
Vulnerável	2,7-3

Elaboração: BARBOSA, L.G. **Orientação:** MARTIN, E.S.

Com a finalidade de mostrar a importância da vegetação na estabilidade da paisagem e a vulnerabilidade da paisagem em função das atividades antrópicas, foram gerados quatro cenários diagnósticos, a partir das quatro combinações de cálculos relacionadas no quadro 6. Em cada combinação considerou-se a inclusão e/ou exclusão das variáveis vegetação e uso da terra. Com as combinações de variáveis naturais, com e sem vegetação, foram gerados mapas de estabilidade/vulnerabilidade natural e, as demais, incluindo os diferentes usos da terra foram elaborados mapas de estabilidade/vulnerabilidade ambiental.

4.3 Índices de vegetação

Para a análise sazonal da vegetação e sua relação com o regime de precipitação anual, foram gerados o Índice de Clorofila -Verde-GCI (Green Chlorophyll Index-ICgreen), o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada- NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) e o Índice de Vegetação Ajustado ao Solo – SAVI (*Vegetation Index Adjusted of Soil*).

Os índices foram aplicados em imagens de LandSat4-5 TM C1 Level-1 de 10 de junho e 30 de setembro de 2006 e, LandSat8 OLI/TIRS C1 Level-1 de 24 de abril e 02 de novembro de 2018, usando as bandas NIR e RED para o NDVI e SAVI e NIR e Green para o CGI. Foram utilizadas as cenas 063 e 064, que cobrem a área dos municípios.

A escolha dos períodos das imagens, apesar de ter como base a estacionalidade do regime de precipitação local, considerando os meses chuvosos e de maior estiagem, foi condicionada à disponibilidade de imagens sem cobertura de nuvens. Assim os quatro períodos mencionados acima, foram definidos em função da restrição de imagens com boas condições de análise dos índices. Os quatro períodos das imagens, correspondem a três cenários pluviométricos¹⁷: chuvoso (abril), médio (junho) e seco (setembro e novembro¹⁸).

O uso unificado dos três índices para realização das análises ocorre em função da variabilidade de densidade de vegetação da área e dos indicadores biofísicos que cada índice expresso. O NDVI indica a quantidade e a condição da vegetação por meio de valores que variam no intervalo de -1 a 1 (JENSEN, 2009; ROUSE *et al.*, 1973). O SAVI corrige as influências do solo em áreas com cobertura vegetal baixa, melhorando a resposta espectral da vegetação (JENSEN, 2009; HUETE, 1988). Seu intervalo de valores varia de -1,5 a 1,5.

Neste sentido, o uso deste índice ocorreu, principalmente, com a finalidade de minimização dos efeitos do solo nas áreas do Cerrado Arbustivo-Arbóreo com Carnaubais, que apresenta baixa densidade de cobertura vegetal, se comparado às demais fisionomias da área.

Já o CGI é um índice que estima o teor de clorofila nas folhas, usando a refletividade nas bandas do infravermelho próximo (NIR) e verde (Green) por meio da relação entre refletância e teor de clorofila, sendo importante indicador das atividades fotossintetizantes da vegetação, que expressam sua produção (GITELSON; MERZLYAK, 2003). Quanto mais

¹⁷ Terminologia adotada na classificação climática do Estado do Piauí, apresentada no capítulo “Localização e caracterização da área de estudo”.

¹⁸ Apesar de novembro ser um mês de chuvas regulares na região, em função das imagens serem do início do mês se considerou como sendo do cenário seco.

altos os valores que esse índice apresentamaior é índice de clorofila estimado, e vice-versa. Sua unidade de medida é $\mu\text{mol} / \text{m}^2$ ¹⁹.

A elaboração dos índices contemplou as seguintes etapas:

✓ definição dos anos amostrais de acordo com o intervalo de anos da série histórica de precipitação e temperatura e com a disponibilidade de imagens de boa qualidade para a área estudada. Assim a escolha dos anos relacionados acima, ocorreu em função da disponibilidade de imagens sem cobertura de nuvens;

✓ aquisição das imagens junto à base de dados EarthExplorer/USGS da NASA;

✓ Projeção das imagens de acordo com o sistema de coordenadas locais, em UTM (*Universal Transversa de Mercator*) e o *Datum* oficial do Brasil, SIRGAS2000;

✓ Conversão do Número Digital (DN) de todas as bandas NIR e REB em valores de reflectância do topo da atmosfera de duas formas comparadas: uma automática no Programa QGIS Desktop 3.8.0 Zanzibar, outra de forma manual, aplicando a equação seguir (PLANET, 2016), no Programa ArcGIS 10.7

$$REF(i) = RAD(i) \frac{\pi * SunDist^2}{EAI(i) * \cos(SolarZenith)} \quad [2]$$

Onde: $p(i)$ – reflectância do topo da atmosfera;

DN(i) – números digitais de cada banda;

SunDist– distância Terra-Sol no dia de aquisição da imagem;

EAI(i) – irradiância Exo-atmosférica (RED: $1560,4 \text{ W/m}^2\mu\text{m}$; NIR: $1124,4 \text{ W/m}^2\mu\text{m}$) e;

SolarZenith– ângulo expresso em graus (90° - ângulo de elevação solar).

✓ Criação do mosaico das cenas de cada banda para todas as imagens;

✓ Aplicação dos índices e recorte da área de estudo.

Os índices foram calculados conforme as fórmulas do quadro a seguir;

Quadro 8-Equações dos índices de vegetação CGI, NDVI e SAVI.

Índice	Equação	Referência
CGI	NIR/Green-1	GITELSON; MERZLYAK, 2003
NDVI	$(\text{NIR}-\text{RED}) / (\text{NIR}+\text{RED})$	ROUSE ET AL., 1973; JENSEN, 2009
SAVI	$1.5 * (\text{NIR}-\text{RED}) / (\text{NIR}+\text{RED}+0.5)$	HUETE, 1988; JENSEN, 2009

Org. BARBOSA, L.G, 2019. **Orientação:** MARTIN, E.S.

Após os cálculos e recorte da área, os índices organizados em duas pranchas de apresentação, correspondente a cada ano, em escala de 1:250.000.

¹⁹ Lido na íntegra: Micromol por metro quadrado.

3.4 Levantamento e análise dos dados climáticos

A descrição e discussão dos aspectos climáticos da área de estudo foi construída considerando a análise sazonal, tendo como base os cenários pluviométricos da região onde estão localizados os municípios estudados e, como fatores climáticos centrais da análise, a temperatura e, principalmente a precipitação.

A análise foi feita com base em indicadores de balanço hídrico, mapa de distribuição de precipitação e de intensidade de chuvas²⁰, derivados de dados de 20 anos, 1998 a 2018, dos satélites²¹ M2TMNXFLX v5.12.4 (temperatura) e TRMM-3B43-v7 (precipitação), obtidos junto à base de dados GIOVANNI, da NASA.

Entre a obtenção dos dados, e a geração e análise final dos produtos, foram realizados três procedimentos, conforme descritos a seguir:

✓ *Obtenção das séries históricas*- a partir de um par de coordenadas da área de estudo, foi definido um retângulo envolvente formado por 12 pontos de coleta, calculados de acordo com a resolução do satélite TRMM-3B43-v7, que é de 0, 25°, para definir o intervalo entre cada um. Após a definição da matriz de pontos de coleta²², para cada um foi definido um quadrante com a finalidade de obter dois pares de coordenadas, usadas nas coletas dos dados.

✓ *Organização dos dados*- os dados de cada ponto foram organizados em ambiente Excel em médias mensais e anuais para. As médias mensais foram usadas para gerar os balanços hídricos e as médias anuais na elaboração dos mapas de distribuição de precipitação e de intensidade de chuvas, descritos no item 3.2.1.

✓ *Cálculos dos balanços hídricos* – os cálculos de balanço hídrico foram aplicados utilizando médias mensais de quatro dos doze pontos de coleta, os pontos 22, 23, 32, que estão dentro dos limites da área de estudo, e o ponto 42 no limite sul do município de Nazária, usando duas planilhas de cálculo de balanço hídrico, de autoria de Rolim, Sentelhas e Barbieri (1999) e Tomaselli (2001) , ambas elaboradas de acordo com o método de Thornthwaite e Mather (1955).

A análise da precipitação e da temperatura, através do modelo de Thornthwaite; Mather (1955), permitiu determinar o balanço hídrico normal dos três municípios, que, por sua vez, além de representar a distribuição anual da precipitação, fornece estimativas da

²⁰O mapa de intensidade de chuvas foi gerado como Plano de Informação-PI para gerar a vulnerabilidade da área, conforme descrito no item 3.2.1.

²¹A opção pela utilização de dados climáticos de satélite foi feita em função de as séries históricas das Estações Meteorológicas da área de estudo apresentarem falhas significativas.

²²A numeração dos pontos foi definida de forma aleatória.

evapotranspiração potencial (ETP) e relativa (ETR), do armazenamento de água no solo (ARM) e das taxas de deficiências hídricas (DEF), excedentes hídricos (EXC), retiradas e reposição de água do sistema.

De acordo com Graham *et al.* (2004) e Moreira, Caetano e Hung (2012) esses índices são indicadores climatológicos fundamentais para estimar e monitorar a disponibilidade hídrica em uma região.

4.5 Análise discursiva dos dados

Por se tratar de pesquisa fundamentada na Geoecologia da Paisagem, a interpretação e discussão dos resultados produzidos, ocorreram de forma comparativa-associativa, analisando as interações da vegetação na paisagem em duas dimensões:

a) Dimensão espacial (horizontal vertical), incluindo o conjunto de resultados dos dados do mapeamento temático e de síntese, das unidades de paisagem e vulnerabilidade;

b) Dimensão temporal (sazonal), baseada na avaliação correlativa dos resultados dos índices de vegetação e do balanço hídrico.

A análise e discussão dos dados foi dividida em duas partes: a parte do inventário, composta pelo conjunto de mapas temáticos dos diferentes fatores geoecológicos da paisagem e a parte de síntese relacional e diagnóstica, constituída pelo mapa síntese da paisagem e índices diagnósticos de vegetação e vulnerabilidade ambiental.

Análise se baseou tanto em dados qualitativos/espaciais, como quantitativos, abrangendo aspectos estruturais, funcionais e relacionais da vegetação e dos diversos fatores geoecológicos, da paisagem local, que em certa medida influenciam seu comportamento e são influenciados por ela.

5 INVENTÁRIO DOS FATORES GEOECOLÓGICOS DA PAISAGEM ENVOLVIDOS NA ESPACIALIZAÇÃO E DINÂMICA DA VEGETAÇÃO

Este capítulo apresenta descrição analítica dos principais elementos condicionantes da vegetação na paisagem local, apoiada em um conjunto de mapas temáticos, elaborados a partir da organização de informações e produtos geoespaciais obtidos a partir de diferentes bases de dados, levantamentos feitos em campo e nas classificações baseadas em autores e instituições, descritas no capítulo 4.

Neste sentido, são apresentados e caracterizados de forma descritiva e individual, elementos físico-naturais e antrópicos da área de estudo, que são importantes para a análise integrada da vegetação e o entendimento de suas interações na paisagem. A apresentação dos elementos se inicia com a caracterização de um conjunto de variáveis geoecológicas do meio físico-natural: estrutura litológica, elementos do relevo, clima, drenagem, solos e fitofisionomia da vegetação, e finaliza com a análise de elementos e fatores antrópicos de uso e cobertura da terra.

Pretendeu-se com essa descrição analítica, apresentar um quadro detalhado, possibilitando melhor entendimento do quadro paisagístico local e, portanto, melhor conhecimento dos elementos que condicionam a dinâmica espacial e sazonal da vegetação.

5.1 Litologia

A estrutura geológica dos municípios de Altos, Nazária e Teresina apresenta características litológicas e estratigráficas de natureza sedimentar. É constituída por um pacote de rochas sedimentares, originadas em ciclos geológicos diferentes e sequenciais, a partir de processos e eventos associados a fatores endógenos e exógenos, responsáveis por criar um conjunto de compartimentações de sedimentos com características e gênese distintas.

As compartimentações de sedimentos encontradas na área dos municípios são camadas sobrepostas de deposição sedimentar, formadas durante os ciclos de transgressão e regressão marinha, que deram origem à “Bacia Sedimentar do Parnaíba” (GOES, 1995; GOES; FEIJÓ, 1994; LIMA, 2013; SANTOS; CARVALHO, 2009).

Esta bacia, outrora denominada de Bacia Sedimentar do Maranhão, Bacia Sedimentar do Piauí-Maranhão, ou ainda Bacia Sedimentar Meio-Norte (BIZZI *et. al.*, 2003; BRANDÃO; PFALTZGRAFF; TORRES, 2010; FERRAZ; CÓRDOBA; SOUSA, 2017; GOES, 1995; GOES; FEIJÓ, 1994; SANTOS; CARVALHO, 2009), é, em função da gênese e

evolução, classificada como uma subdivisão da Província Parnaíba, que possui além desta, três outras compartimentações (sítios deposicionais): a Bacia das Alpercatas, a Bacia do Grajaú (ou Grajaú e São Luís) e a Bacia do Espigão-mestre (BIZZI *et. al.*, 2003; GOES, 1995; GOES; FEIJÓ, 1994).

A Bacia Sedimentar do Parnaíba responde por mais da metade (400.000 km²) da área da Província Parnaíba (600.000 km²), abrangendo os Estados do Maranhão, Piauí, Tocantins e uma pequena porção dos Estados da Bahia, do Ceará e do Pará, apresentando coluna sedimentar de espessura estimada em 3.500 metros em seu depocentro, formada sucessivamente por cinco supersequências de deposição sedimentar (GOES; JEIJÓ, 1994; LIMA, 2013; VAZ *et. al.*, 2007).

Cada supersequência correspondeu a ciclos marcados por discordâncias erosivas, seguida por uma fase de transgressão e outra regressão marinha, em que na primeira, as camadas se mantinham preservadas em cada unidade coberta por superposições de sedimentos, e na segunda, a fase regressiva, que marcava o final de cada ciclo, todos os sedimentos eram erodidos em razão da exposição (GOES; JEIJÓ, 1994; LIMA, 2013; SANTOS; CARVALHO, 2009; VAZ *et. al.*, 2007) a fatores exógenos.

Cada um destes ciclos (supersequências) compreendeu à formação de um grupo litoestrutural, formado por um conjunto de unidades deposicionais de períodos diferentes: Siluriana-Grupo Serra Grande (dos períodos Ordoviciano e Siluriano), Mesodevoniana-Eocarbonífera - Grupo Canindé, (do Devoniano e Carbonífero), Neocarbonífera-Eotriássica - Grupo Balsas (do Carbonífero, Permiano e Triássico), Jurássica- Grupo Mearim, (do Triássico, Jurássico e início do Cretáceo), e Cretácea- formações Codó, Corda, Grajaú e Itapecuru (CAPUTO; IANNUZZI; FONSECAS, 2005; GOES; JEIJÓ, 1994; LIMA, 2013; SANTOS; CARVALHO, 2009).

Na área dos municípios em questão, são encontradas unidades deposicionais dos três últimos grupos mencionados acima, onde afloram terrenos das formações Longá e Poti (grupo Canindé), Pedra de Fogo e Piauí, (grupo Balsas), e Corda, (grupo Mearim), além das coberturas sedimentares dos períodos terciário e quaternário, as Coberturas Detrito-Lateríticas Paleogênica e os Aluviões holocênicos (CPRM, 2010; 2006; IBGE, 2018; VASCONCELOS; LUZ, 2012).

Os terrenos de idade geológica mais antiga, e, portanto, inferior, são aqueles do Grupo Canindé. Litoestratigrafia “sotoposta” (LIMA; LEITE, 1977) às demais unidades de ocorrência na área, onde afloram rochas das formações Longá e Poti. A formação Poti aparece

nas porções nordeste e sudeste do município de Altos, enquanto a Longá se restringe à uma pequena área também no nordeste deste município, conforme pode ser observado no mapa 2.

Ambas as formações apresentam terrenos do Paleozoico e, respectivamente, dos períodos Devoniano e Carbonífero, com ocorrência alternada de arenitos, folhelhos e siltitos em sua composição litológica. Estudos realizados sobre essas formações demonstram algumas características importantes em relação as áreas onde ocorrem/afloram (LOBATO; BORGHI, 2014; RIBEIRO, 2000).

A Formação Longá aparece associada a relevo plano-ondulado com alto índice de dissecação, em drenagem dendrítica e/ou semidendrítica, formando, por vezes, formas residuais que se confundem com chapadões tabuliformes. Por sua vez, os terrenos de afloramentos da Formação Poti estão associados a formas de relevo plano-ondulado e muito dissecado, com ocorrência de extensos areais e níveis topográficos elevados, formando platôs e morros arredondados com drenagem dendrítica, pouco acentuada e controle estrutural. No quadro 9, a seguir, a coluna estratigráfica dos municípios estudados.

Quadro 9-Coluna litoestratigráfica dos municípios Altos, Nazária e Teresina

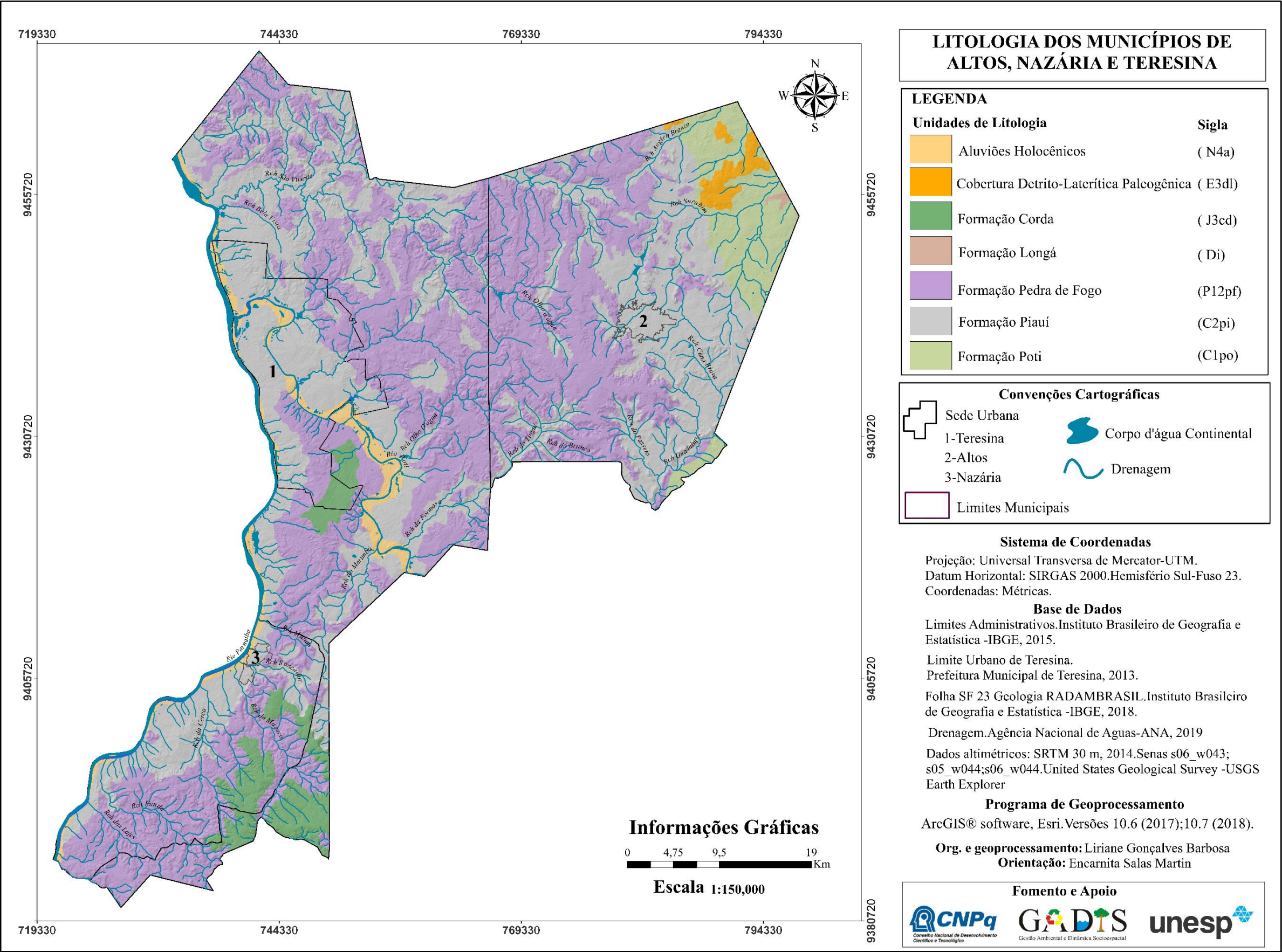
Era	Período	Época	PROVÍNCIA PARNAIBA			Ma 23	
			Bacia Sedimentar do Parnaíba				
			Litoestratigrafia	Unidades deposicionais	Características Minerais		
Cenozoica	Quaternário	Holoceno	Aluviões holocênicos (planície de inundação) ou depósitos aluvionares		N4a	Areias, cascalhos e níveis de argilas. Sedimentos detríticos colúvio-eluviais constituídos por areias de cores variadas, amareladas, avermelhadas, róseas e esbranquiçadas, com granulação fina e grosseira.	0,01
	Terciário	Paleógeno/ Oligoceno	Coberturas Detrito-Lateríticas Paleogênica		NQdl	Sedimentos semi- consolidados a incoerentes, mal classificados, matriz areno-argilosa com seixos de quartzo, caulim e limonita dispersos. Apresenta, em geral, coloração amarelada e avermelhada em função da infiltração de óxido de ferro e areias com níveis de argilas e cascalhos e crosta laterítica.	1,75
Mesozoica	Jurássico	Médio	Grupo Mearim	Formação Corda		Arenitos brancos, amarelados, homogêneos, com estratificação cruzada, mal selecionados e grãos foscos, argilitos, folhelho arroxado, bem laminado e calcários. Formada em ambientes desértico, fluvial e lacustre.	135 a 203
	Permiano	Cisuraliano	Grupo Balsas	Formação Pedra de Fogo	P12pf	Abundância de nódulos e camadas de “chert” e madeira silicificada. Ocorrência de anidrita de coloração cinza arroxados, arenitos amarelos, siltitos, calcários, sílex pisolíticos e folhelhos esverdeados com restos de vegetais. Formada em ambientes marinho raso e litorâneo.	203 a 250

²³ Abreviatura de milhões de anos.

			PROVÍNCIA PARNAIBA				
Era	Período	Época	Bacia Sedimentar do Parnaíba			Ma	
			Litoestratigrafia	Unidades deposicionais			Características Minerais
Paleozoica	Carbonífero	Pensylvaniano	Grupo Balsas	Formação Piauí	C2pi	Na parte inferior arenitos róseos médios, homogêneos ou com estratificação cruzada de grande porte, com intercalações de folhelho vermelho. Na parte superior, arenitos avermelhados com intercalações de leitos e lâminas de folhelhos vermelhos, finos leitos de sílex e ocasionais calcários esbranquiçados, siltitos e calcários. Formada em ambiente continental fluvial e litorâneo, com intercalações marinhas.	250 a 295
		Mississipiano	Grupo Canindé	Formação Poti	C1po	Na parte inferior apresenta arenitos médios, cinza-esbranquiçados, com lâminas esparsas de siltito cinza-claro e na parte superior apresenta arenitos finos, lâminas de siltitos e folhelhos carbonosos com ocasionais laminações de carvão. Formada em ambientes deltaico e litorâneo.	295 a 355
	Devoniano	Superior		Formação Longá	D3c1l	Folhelhos cinza escuros a preto, até arroxeados, homogêneos ou bem laminados, bioturbados, micromicáceos, por vezes, calcíferos, físeis ou compactos, apresentando geralmente um pacote de arenitos e siltitos cinza-claros a esbranquiçados, laminados, pouco duros. Formada em ambiente marinho raso.	355 a 410

Fonte: IBGE (2018), Vasconcelos e Luz (2012), CPRM (2006) e Lima e Leite (1977). Organização: BARBOSA, L.G., 2019. Orientação: MARTIN, E.S.

Mapa 2-Unidades litológicas dos municípios de Altos, Nazária e Teresina



Organização e Geoprocessamento:BARBOSA, L.G.Orientação: MARTIN, E.S.

As demais formações, seguidamente, Piauí (Carbonífero) e Pedra de Fogo (Permiano), ambas também do Paleozoico, e a Formação Corda do Mesozoico e do período Jurássico, apresentam em comum rochas compostas por camadas intercaladas de arenitos, calcários, folhelhos, argilitos e siltitos. As duas primeiras formações possuem uma particularidade litológica em relação as demais. Ambas apresentam leitos de sílex na composição de suas rochas (ARAUJO, 2015; LIMA 2015; LIMA; LEITE, 1977; VAZ *et. al.*, 2007).

As formações Piauí e Pedra de Fogo afloram em praticamente toda a área dos três municípios, alternando-se uma com a outra. Nos municípios de Nazária e Teresina a Formação Piauí aflora sobretudo margeando o leito dos rios Parnaíba e Poti, e do riacho São Vicente. Nestas e nas demais áreas de afloramento desta formação, os terrenos estão associados, predominantemente, às feições de relevo plano (planícies e terraços fluviais) e superfícies dissecadas com formas residuais.

Lima e Leite (1977) por meio da descrição dos ambientes de afloramentos da Formação Pedra de Fogo caracterizam os terrenos desta formação como áreas de relevo, ora plano-ondulado, dissecado com extensas superfícies sem acidentes topográficos, ora mesetas isoladas (platôs, planaltos) ou chapadões planos de grande expressão topográfica com determinações de escarpas abruptas com rebordos revirados.

Ainda segundo os autores acima, devido aos níveis de sílexito presente na composição das rochas, os estratos de sedimentos da Formação Pedra de Fogo apresentam maior resistência à erosão em relação às demais, e por essa razão geralmente formam a parte superior dos platôs e chapadões.

A Formação Corda é a formação mais recente e está depositada sobre os terrenos da Formação Pedra de Fogo. Na área de estudo, aflora nas porções centro-sul do município de Teresina e leste de Nazária, formando feições de relevo dissecado e formas residuais do tipo planaltos, em amplitude altimétrica de 116 a 196 metros.

Essa formação apresenta estrutura estratigráfica cruzada de grande porte e de baixo ângulo e acanaladas, onde ocorrem rochas com composição de arenitos brancos, amarelados, homogêneos, mal selecionados e grãos foscas, argilitos, folhelho arroxeados, bem laminado e calcários (VAZ, *et. al.*, 2007).

Os demais sedimentos de cobertura litoestratigráfica a aflorar nos municípios são coberturas datadas dos períodos Terciário e Quaternário, os Aluviões Holocênicos e as Coberturas Detrito-Lateríticas Paleogênica. Os terrenos aluvionares ocorrem nas planícies

fluviais dos rios Poti e Parnaíba e os terrenos de cobertura detrítica recobrem uma pequena porção da Formação Poti no Nordeste do município de Altos.

Lima e Leite (1977) definem os terrenos aluvionares como areais constituídos, predominantemente, por sedimentos detríticos colúvio-eluviais, compostos por areias de cores variadas e granulação fina e grosseira, e os terrenos de detrito-lateríticos como sedimentos semi-consolidados a incoerentes, mal classificados, de matriz areno-argilosa com seixos de quartzo, caulim e limonita dispersos, com coloração, em geral, amarelada e avermelhada em função da infiltração de óxido de ferro e areias com níveis de argilas e cascalhos e crosta laterítica.

Em termos percentuais, os terrenos das formações Piauí e Pedra de Fogo são os mais abundantes na área dos três municípios, representando 39,4 (1.060,2 km²) e 47,38% (1.286,7 km²) respectivamente (tabela 2). Eles respondem por mais de 80% do território dos municípios, abrangendo uma área total de 2.346,9 km². Os terrenos das formações Corda, Longá e Poti, são percentualmente pouco expressivos, quando comparados às duas outras formações, somando apenas 9,14% (248,1 km²) da litologia da área, sendo a Formação Longá a de menor representatividade (0,08%).

Tabela 2-Quantificação percentual das unidades litológicas

Nome da Unidade	Sigla	Área Km ²	Cobertura (%)
Aluviões Holocênicos	J2pb	80,5	2,97
Cobertura Detrito-Laterítica Paleogênica	NQdl	24,9	0,92
Formação Corda	J3cd	111,8	4,12
Formação Pedra de Fogo	P12pf	1.286,7	47,38
Formação Piauí	C2pi	1.060,2	39,04
Formação Poti	C1po	134,2	4,94
Formação Longá	D3c1l	2,1	0,08
Outra Feição Mapeada			
Corpo d'água Continental	-----	15,1	0,56
Área total	-----	2,732,79	-----

Fonte: Pesquisa Direta. **Base de Cálculo:** ArcGis (2017;2018). **Base de Dados:** IBGE (2018) e SRTM 30m. USGS (2014). **Organização:** Barbosa, L.G., 2019. **Orientação.** MARTIN, E.S.

5.2 Dinâmica climática

A região dos municípios de estudo, Centro-Norte do Piauí, apresenta uma dinâmica climática peculiar, marcada pela combinação de altas taxas de insolação, radiação solar, de

temperatura constantes o ano todo, e alta variabilidade sazonal e interanual do regime de chuvas, caracterizado pela concentração expressiva em um período do ano.

Como explicitado no capítulo 4 deste texto, as condições climáticas transicionais (e de contato), do clima Tropical semiárido de um lado e do clima Tropical Equatorial de outro, conferem à região, cenários climáticos, cuja principal característica é a estacionalidade pluviométrica, marcada por dois períodos bem demarcados: um com predominância de clima úmido e ocorrência de chuvas concentradas, mais expressivamente nos quatro primeiros meses do ano, e outro de estiagem, com ocorrência de clima Subúmido Seco (Thornthwaite & Mather-1955) e Semiárido (Thornthwaite-1948), quando a precipitação cessa quase por completo, a partir de junho (ANDRADE JUNIOR *et al.*, 2004a; 2004b; 2008; CODEVASF, 2006; TERESINA, 2015).

No decorrer dos meses chuvosos, especificamente entre os meses de dezembro e início de maio, a região recebe cerca de 90% ou mais do volume hídrico anual, dependendo do ano e do movimento dos dois sistemas climáticos principais (referidos no capítulo 4), que determinam a precipitação local, particularmente a ZCIT.

Os gráficos das figuras 9, 10, 11, e 12, climograma, balanço hídrico, extrato do balanço hídrico e de deficiência, excedente, retirada e reposição, elaborados com base na análise das médias mensais de precipitação e temperatura para o período de 1998 a 2018, a partir de dados coletados de 4 pontos (pixels do TRMM) e o mapa 3, apresentam distribuição espacial e sazonal, de chuvas médias, nos três municípios estudados.

A precipitação média do total anual, estimada com base nos dados dos doze pontos do satélite para a área de estudo, é de 1412 mm a mínima e 1678 mm a máxima, com uma variação média de 266 mm. Espacialmente, a porção norte dos municípios de Altos e Teresina apresentaram as maiores médias, enquanto na porção sul, incluindo sul de Teresina e centro e sul de Nazária, verificam-se as menores médias (mapa 3). Esta variabilidade espacial de precipitação está relacionada às maiores e menores médias estimadas, registradas nos pontos p 12, p 13 e p 41, p 42, p 43 (Tabela 3), localizados no norte e sul dos municípios, respectivamente.

Analisando as médias anuais totais da série (tabela 3) verifica-se, ainda, que os anos de 1998, 2010, 2012, 2015 e 2016 apresentaram índices de precipitação abaixo da média normal para a região, que apresenta média de 1.378 mm ao ano (ANDRADE JUNIOR *et al.*, 2004a; 2004b; 2008; MENEZES; MEDEIROS; SANTOS, 2016), enquanto nos anos de 1999, 2004,

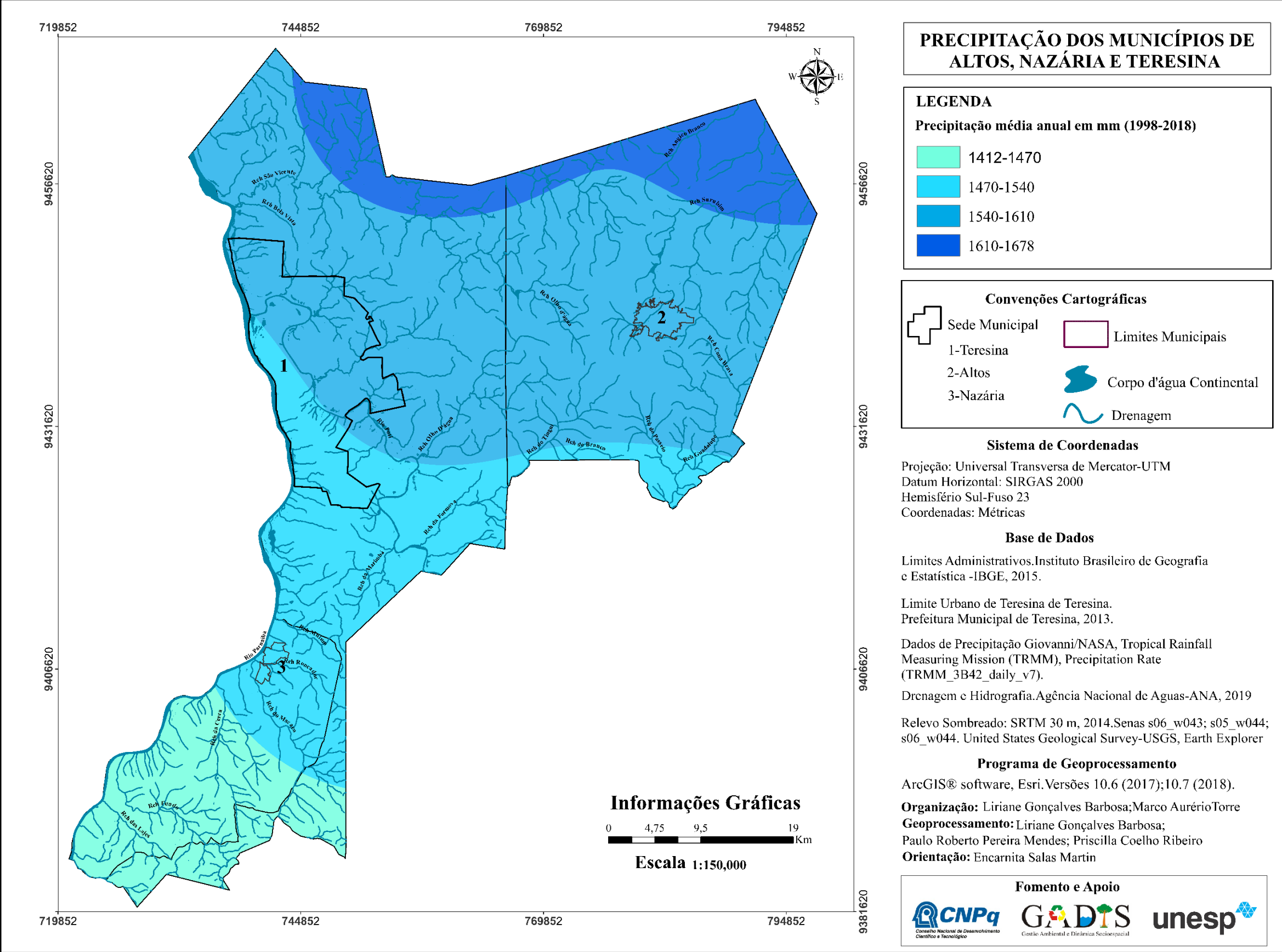
2006, 2008, 2009, 2011 e 2018 os índices ficaram acima de 1600 mm, destacadamente o ano de 2009, cuja média ultrapassou 2000 mm.

Tabela 3-Precipitação Total Anual por ponto analisado (1998-2018)

Precipitação Total: 1998-2018 (em mm)													
Anos	Pontos												
	p11	p12	p13	p21	p22	p23	p31	p32	p33	p41	p42	p43	Média
1998	1119,6	1320,6	1378,6	1103,7	1162,8	1176,8	1081,3	1109,2	1114,4	1050,5	1061,8	1074,7	1146,2
1999	1716,9	1934,3	1960,9	1636,6	1691,0	1725,4	1593,8	1629,3	1640,7	1543,0	1558,5	1569,0	1683,3
2000	1310,7	1530,6	1605,1	1436,1	1597,6	1681,5	1419,8	1557,8	1650,8	1357,4	1519,6	1583,8	1520,9
2001	1570,6	1680,0	1640,3	1465,9	1590,9	1655,4	1434,3	1578,0	1646,9	1416,1	1539,1	1580,2	1566,5
2002	1453,3	1598,7	1640,3	1359,1	1384,3	1410,3	1339,9	1397,7	1396,7	1336,9	1384,1	1408,5	1425,8
2003	1511,5	1572,3	1548,0	1299,9	1414,6	1453,8	1303,7	1360,5	1351,9	1316,4	1366,2	1315,3	1401,2
2004	1917,8	1986,2	1936,7	1688,5	1786,8	1786,2	1640,7	1723,9	1740,4	1590,5	1642,9	1660,1	1758,4
2005	1672,6	1926,7	1843,6	1474,8	1560,4	1583,4	1456,3	1402,6	1593,0	1316,2	1354,6	1503,7	1557,3
2006	1898,6	1885,9	1810,6	1652,3	1649,5	1656,0	1688,3	1575,1	1590,7	1535,1	1552,7	1608,0	1675,2
2007	1350,0	1507,0	1484,0	1254,4	1491,0	1480,0	1238,0	1368,3	1370,0	1211,2	1255,9	1241,9	1354,3
2008	1943,0	2148,3	2029,5	1947,1	2087,8	2448,3	1840,9	1913,1	1904,6	1685,5	1786,3	1810,8	1962,1
2009	2413,9	2456,9	2619,1	2274,2	2372,5	1243,8	2155,9	2279,8	2257,2	2088,5	2172,4	2171,2	2208,8
2010	1390,9	1400,7	1340,1	1234,3	1268,1	1755,9	1177,1	1168,6	1145,6	1188,4	1148,2	1106,9	1277,1
2011	1765,2	1918,4	2037,3	1714,2	1815,6	1185,8	1636,4	1702,5	1738,3	1613,8	1624,7	1664,7	1701,4
2012	1083,4	1178,1	1271,1	1023,9	1112,6	1185,8	1039,6	1059,2	1128,0	1044,7	1019,4	1033,4	1098,3
2013	1398,6	1465,3	1561,6	1500,9	1469,1	1497,1	1429,5	1416,8	1389,6	1328,4	1373,7	1400,6	1435,9
2014	1654,9	1762,8	1756,2	1377,0	1508,5	1613,2	1368,9	1436,6	1505,4	1341,9	1409,1	1382,2	1509,7
2015	1183,7	1188,8	1182,9	1152,6	1204,5	1224,0	1150,2	1174,2	1093,2	1053,0	1089,2	1051,5	1145,6
2016	1163,7	1169,1	1204,6	1033,9	1125,4	1148,4	994,1	1037,0	1076,6	968,4	1005,6	1021,9	1079,1
2017	1772,9	1826,1	1698,1	1583,7	1689,7	1752,6	1460,4	1567,7	1602,4	1346,7	1433,4	1472,6	1600,5
2018	1797,2	1844,5	1822,2	1655,0	1748,8	1786,6	1567,6	1645,9	1712,6	1471,1	1581,4	1609,7	1686,9
Média	1575,7	1681,0	1684,3	1469,9	1558,6	1545,3	1429,4	1481,1	1507,1	1371,6	1422,8	1441,5	-----

Fonte: NASA-GIOVANNI (2019). **Organização:** Torre, M.A.; Barbosa, L.G., 2019. **Orientação:** MARTIN, E.S. **Amarelo:** anos com precipitação abaixo da média normal para a região; **Azul:** anos com precipitação acima de 1600 mm; **Roxo:** pontos com precipitação acima de 1600 mm; **Laranja:** pontos com menor precipitação.

Mapa 3-Mapa de Precipitação Média Anual (1998-2018)



Fonte: NASA-GIOVANNI (2019). Org.: Torres, M.A.; Barbosa, L.G., 2019. Geoprocessamento: Barbosa, L.G.; Mendes, P. R.P.; RIBEIRO, P.C. Orientação: MARTIN, E.S.

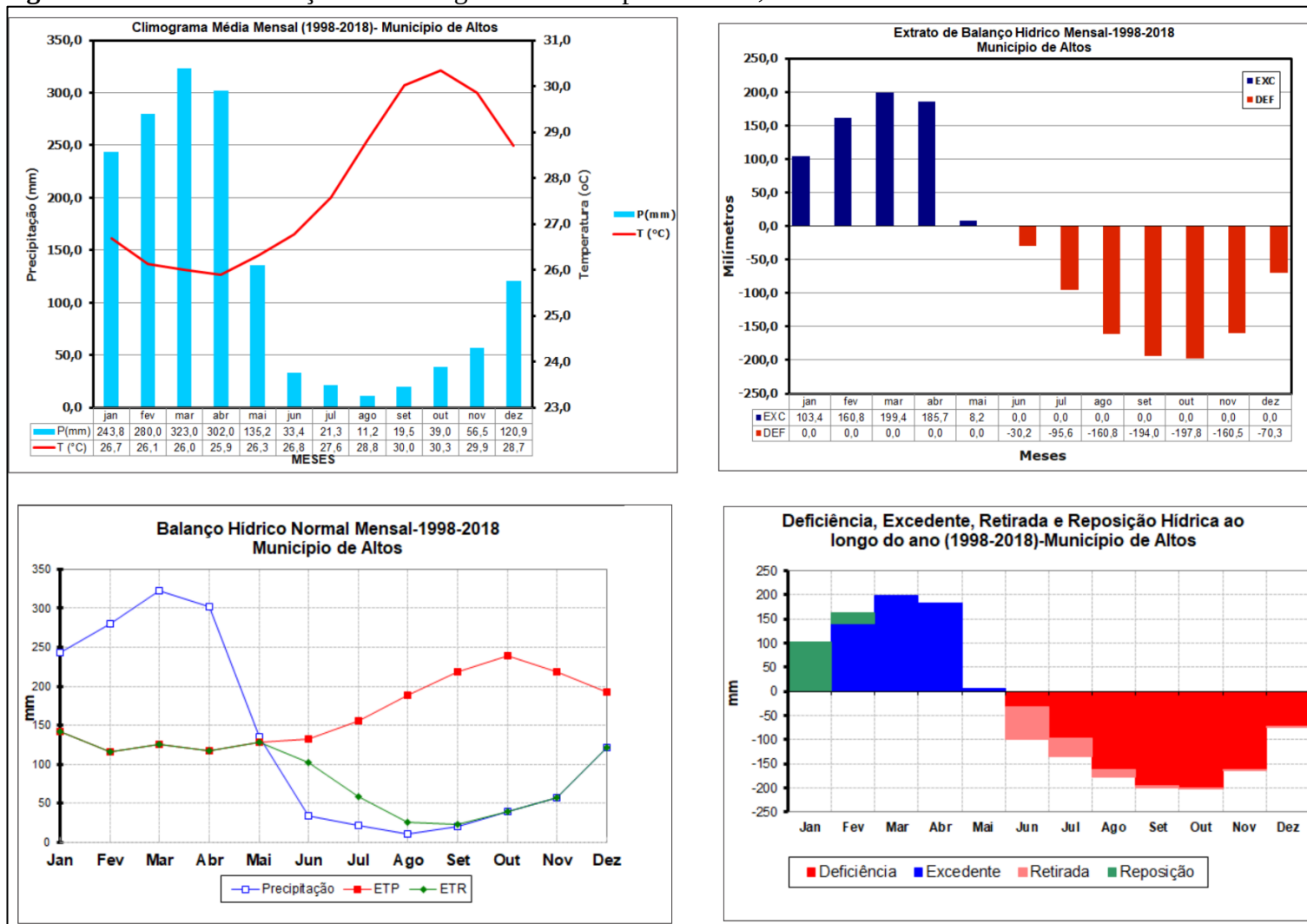
Os resultados da análise sazonal para quatro dos doze pontos de coleta de dados podem ser observados nas figuras 9, 10, 11 e 12, onde são apresentados os gráficos do balanço hídrico. Para os três municípios, os dados apresentam um padrão de sazonalidade marcado por dois períodos bem definidos ao longo do ano: chuvoso e seco. O período chuvoso, que inicia em dezembro e se estende até maio, apresenta uma variação pluviométrica (estimada) de até 100 mm de chuvas de um mês para outro, atingindo volume máximo no mês de março (300 a 350 mm). Janeiro, fevereiro, março e abril são os meses de maior concentração de chuvas, variando de 997 a 1148 mm para os três municípios.

A partir de maio o volume de chuvas começa a se reduzir drasticamente. Verifica-se redução brusca de até 100 mm dos totais mensais do mês de maio em relação ao mês de junho quando efetivamente, inicia o período de estiagem, se estendendo até a primeira quinzena de novembro. Neste período os maiores volumes de precipitação não ultrapassam 50 mm. Os meses de julho, agosto e setembro são os mais secos do ano, cujas médias mensais de precipitação não chegam a 35 mm.

Na relação entre as médias de precipitação e temperatura, verifica-se nos gráficos dos climogramas uma variação inversa. Com exceção do gráfico do climograma 1 de Teresina (figura 11), correspondente ao ponto localizado no norte deste município, que apresenta queda da temperatura média no mês de janeiro (23,4°C), o eixo da temperatura dos demais climogramas mostra uma tendência à diminuição nos meses mais chuvosos, fevereiro, março e abril, com variação entre 25°C e pouco mais de 26°C.

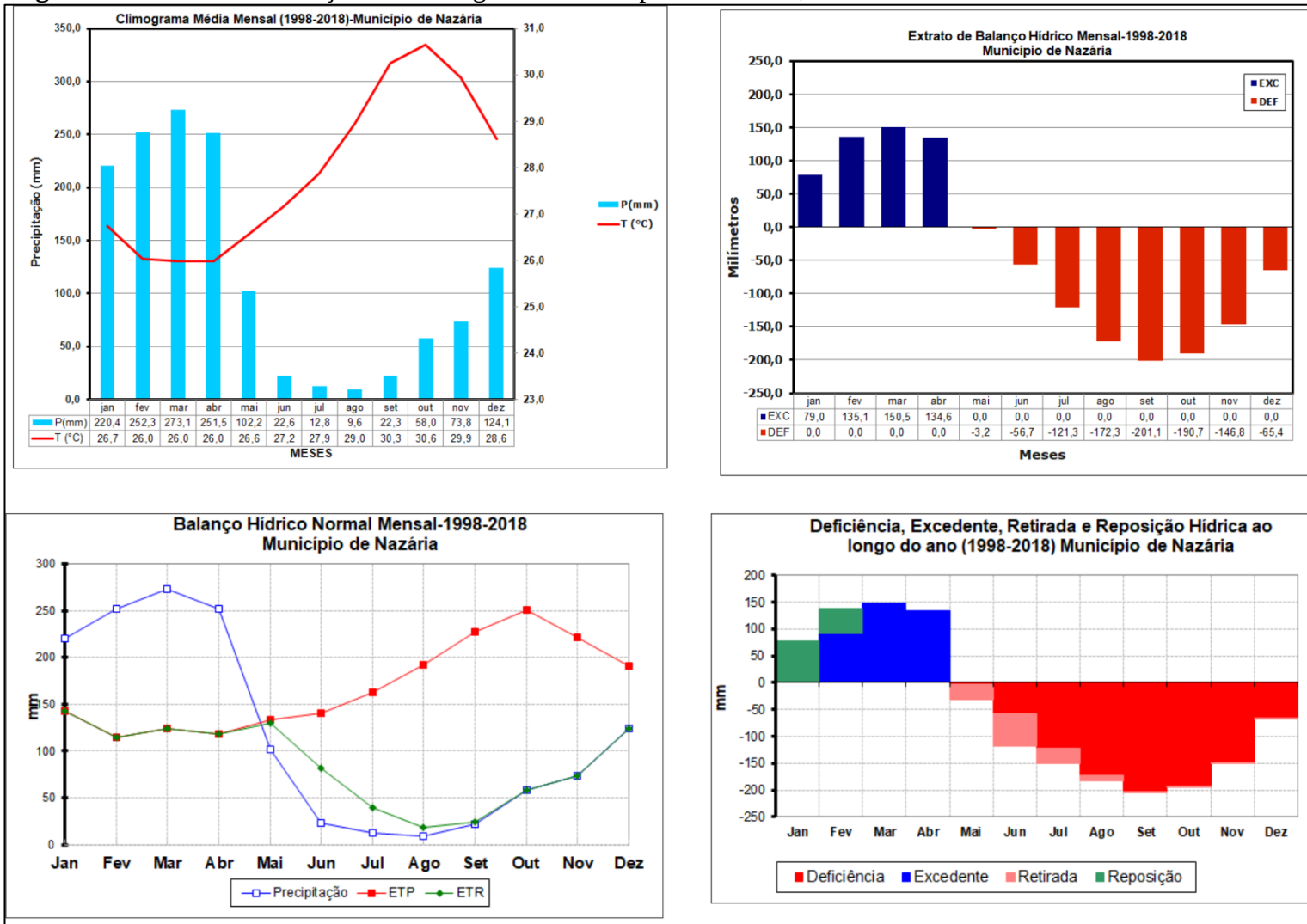
De modo geral, as menores médias mensais de temperatura coincidem com o período chuvoso nos três municípios e as maiores, com o período de estiagem. À medida que a incidência de chuvas diminui, a temperatura aumenta, superando 30°C de média entre setembro e outubro, iniciando seu ciclo de queda em novembro, quando o volume de precipitação começa a aumentar. Esse aspecto permite inferir que a oscilação da temperatura média local, ao longo do ano, está diretamente relacionada à variabilidade sazonal do regime de precipitação que, por sua vez, está condicionado à atuação dos sistemas climáticos regionais descritos no capítulo 2.

Figura 9-Gráficos de variação climatológica do Município de Altos, Piauí-1998 a 2018.



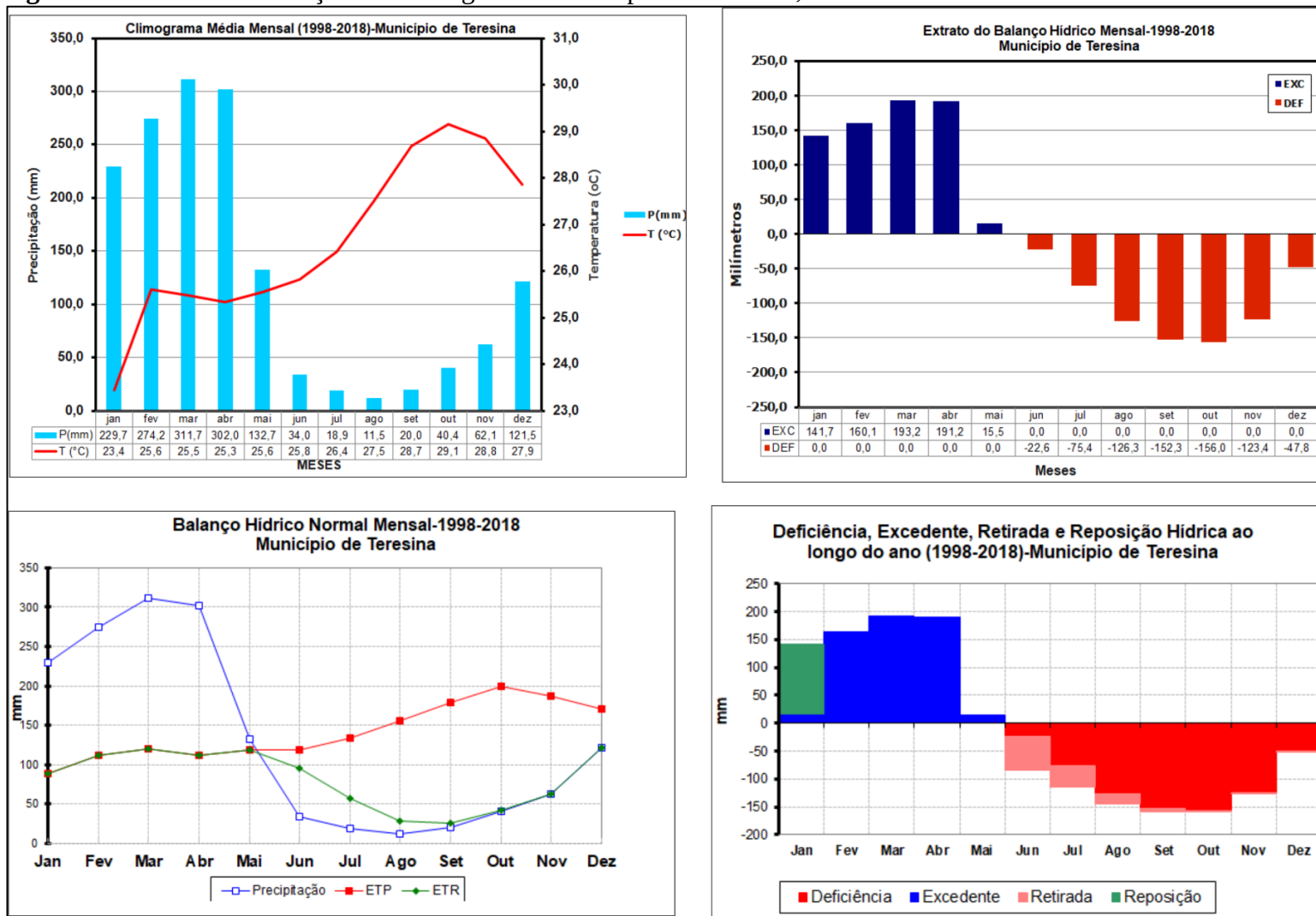
Fonte: NASA-GIOVANNI (2019), Tomaselli (2001) e Rolim, Sentelhas e Barbieri (1998). **Org.:** Torre, M.A.; Barbosa, L.G., 2019. **Elaboração:** Barbosa, L.G. **Orientação:** MARTIN, E.S.

Figura 10-Gráficos de variação climatológica do Município de Nazária, Piauí-1998 a 2018.



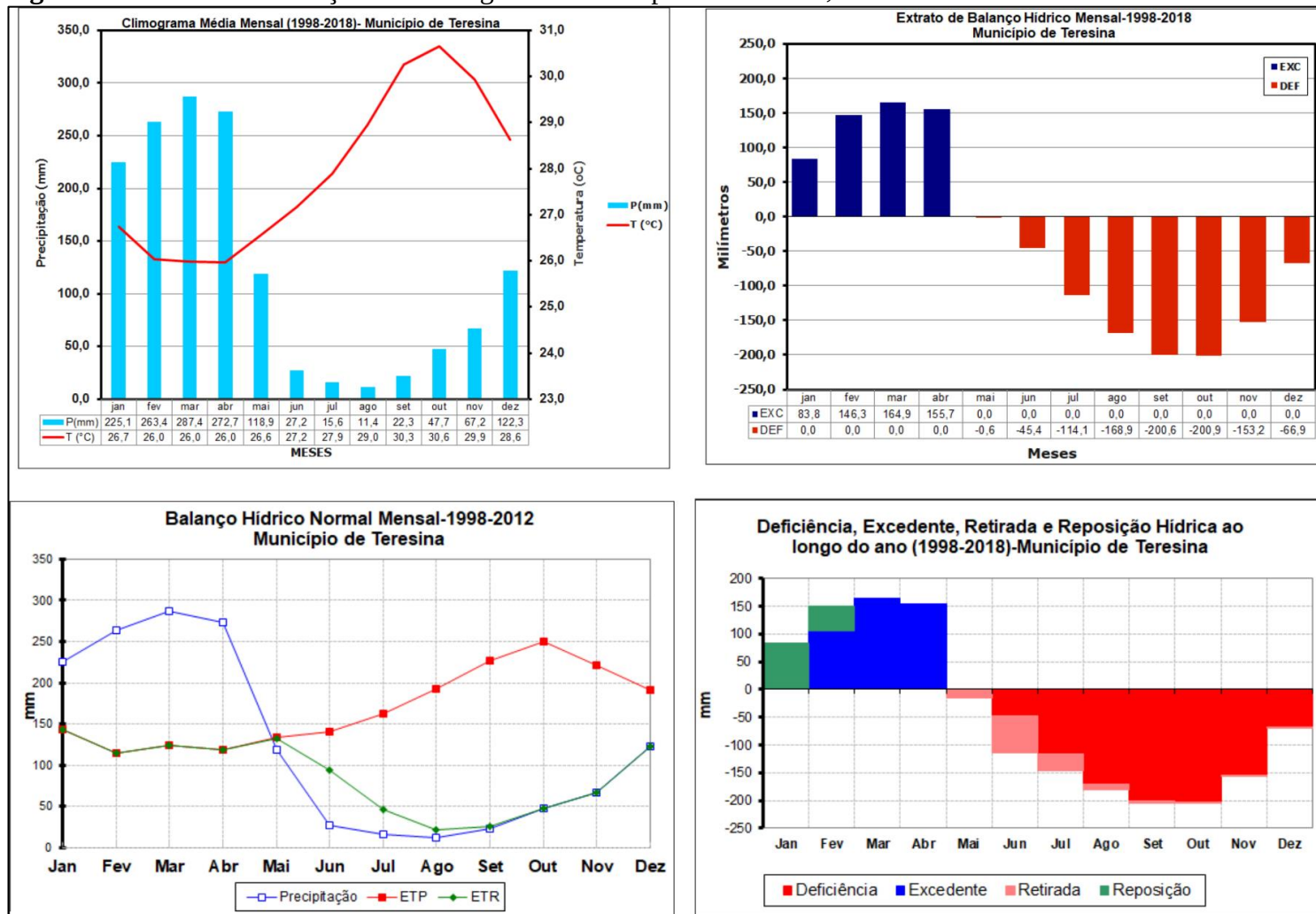
Fonte: NASA-GIOVANNI (2019), Tomaselli (2001) e Rolim, Sentelhas e Barbieri (1998). **Org.:** Torre, M.A.; Barbosa, L.G., 2019. **Elaboração:** Barbosa, L.G. **Orientação:** MARTIN, E.S

Figura 11-Gráficos de variação climatológica do Município de Teresina, Piauí-1998 a 2018.



Fonte: NASA-GIOVANNI (2019), Tomaselli (2001) e Rolim, Sentelhas e Barbieri (1998). **Org.:** Torre, M.A.; Barbosa, L.G., 2019. **Elaboração:** Barbosa, L.G. **Orientação:** MARTIN, E.S.

Figura 12-Gráficos de variação climatológica do Município de Teresina, Piauí-1998 a 2018.



Fonte: NASA-GIOVANNI (2019), Tomaselli (2001) e Rolim, Sentelhas e Barbieri (1998). **Org.:** Torre, M.A.; Barbosa, L.G., 2019. **Elaboração:** Barbosa, L.G. **Orientação:** MARTIN, E.S.

As figuras 9, 10, 11 e 12 também mostram índices do balanço hídrico feito para os três municípios estudados e o período da série histórica amostrada. O município de Nazária e a porção sul do município de Teresina (ponto 2 de coleta) apresentam excedente hídrico em quatro meses do ano, de janeiro a abril, com reposição hídrica em janeiro e fevereiro. O déficit hídrico em ambos chega a ser de 200 mm, em setembro no município de Nazária, e setembro e outubro no sul de Teresina. Nestas áreas, os maiores índices de retirada hídrica do sistema foram registrados entre os meses de maio e agosto, com retiradas acima de 50 mm no mês de junho.

Já a porção norte do município de Teresina e o município de Altos apresentam uma pequena diferença em relação às duas áreas analisadas anteriormente. Em ambos os casos, o excedente hídrico se estende até o mês de maio e, conseqüentemente, o déficit hídrico ocorre em um período menor em comparação com as duas outras áreas, entre junho e dezembro.

Contudo a exemplo de Nazária e do sul de Teresina, nestas áreas os índices máximos de excedente hídrico se concentram nos meses de fevereiro, março e abril, sendo março o mês com maior excedente hídrico 193,2 e 199,4 mm para o norte de Teresina e Altos, respectivamente. Quanto à reposição hídrica, o gráfico de Altos acompanha o padrão apresentado nos gráficos de Nazária e da área sul de Teresina, enquanto o gráfico da área norte deste município mostra a concentração da reposição no mês de janeiro, com índice acima de 100mm.

A retirada hídrica nos dois casos (norte de Teresina e Altos) começa em junho, quando reduz drasticamente a precipitação local. Este mês e o mês de julho apresentam os maiores índices de retirada hídrica, que, em todos os casos (Altos, Nazária e porções norte e sul de Teresina), vai diminuindo à medida que aumenta o déficit hídrico.

Quando comparados os meses de estiagem, os maiores índices de retirada hídrica, concentrados entre maio e agosto, em Nazária e sul de Teresina, e junho e setembro, em Altos e norte de Teresina, indicam relação direta entre a maior disponibilidade hídrica na superfície, em decorrência da reposição hídrica dos meses chuvosos, da diminuição da precipitação e do excedente hídrico, a partir de junho, do aumento da temperatura e da evapotranspiração real.

Com a redução da precipitação e o aumento da temperatura, a taxa de saída de água da superfície, particularmente do solo e das plantas passa a ser maior que a entrada nestes meses destacados, quando a taxa de evapotranspiração real supera a precipitação, embora apresente queda significativa em relação aos meses chuvosos.

5.3 Dinâmica do relevo e da drenagem

Os municípios apresentam seis níveis topográficos, conforme o intervalo de 40 metros distribuídos no intervalo de 247 metros de amplitude altimétrica geral, considerando o nível de base local, de 36 metros, determinado pelo leito principal do rio Parnaíba e a maior cota altimétrica registrada para a área, de 283 metros (mapa 4). O primeiro compartimento apresenta variação altimétrica de 36-76 metros e o último 236-283 metros.

Em relação à declividade (mapa 5), considerando a classificação da EMBRAPA (1979) os municípios apresentam cinco classes: 0-3%, terrenos planos, de 3-8%, terrenos suavemente ondulados, de 8-20%, terrenos ondulados, de 20-45%, terrenos fortemente ondulados e uma pequena quantidade de terrenos com inclinação acima de 45% , com características montanhosa.

O Índice de Concentração de Rugosidade do relevo (mapa 6), foi outra variável do relevo quantificada. Esse índice foi quantificado conforme propõe Sampaio e Augustin (2008) e subdividido em cinco classes de rugosidade, de acordo com a classificação de Lima e Augustin (2012) para o município de Teresina.

Os índices variaram de 371,754, o menor valor, para 26,541, o maior valor, expressos em metros. Dessa forma foram mapeadas cinco classes de rugosidade (mapa 6): muito baixo (371,7-3,993), baixo (3,993-6,686), moderado (6,686-8,491), alto (8,491-12,613) e muito alto (12,623-26,541).

Para cada uma destas três variáveis do relevo, foram calculados os valores de cada classe mapeada (tabela 4), em km² e porcentagem (%). Para a declividade e rugosidade, a segunda classe apresenta maiores percentuais de área coberta, 48,32% (1.312,75 km²) e 30,13% (818,61 km²), respectivamente. Esta classe corresponde para declividade, a terrenos suavemente ondulados, com declive de 3-8%, e para rugosidade a índice baixo, de 3,993-6,686. Já a hipsometria, as classes um e dois, com altitudes de 76-116 e 116-156 metros, somam mais de 50%, dos terrenos, 29,72% e 32,13%, respectivamente, ocupando área de 1,680,33 km².

Tabela 4-Quantificação das classes de hipsometria, declividade e ICR

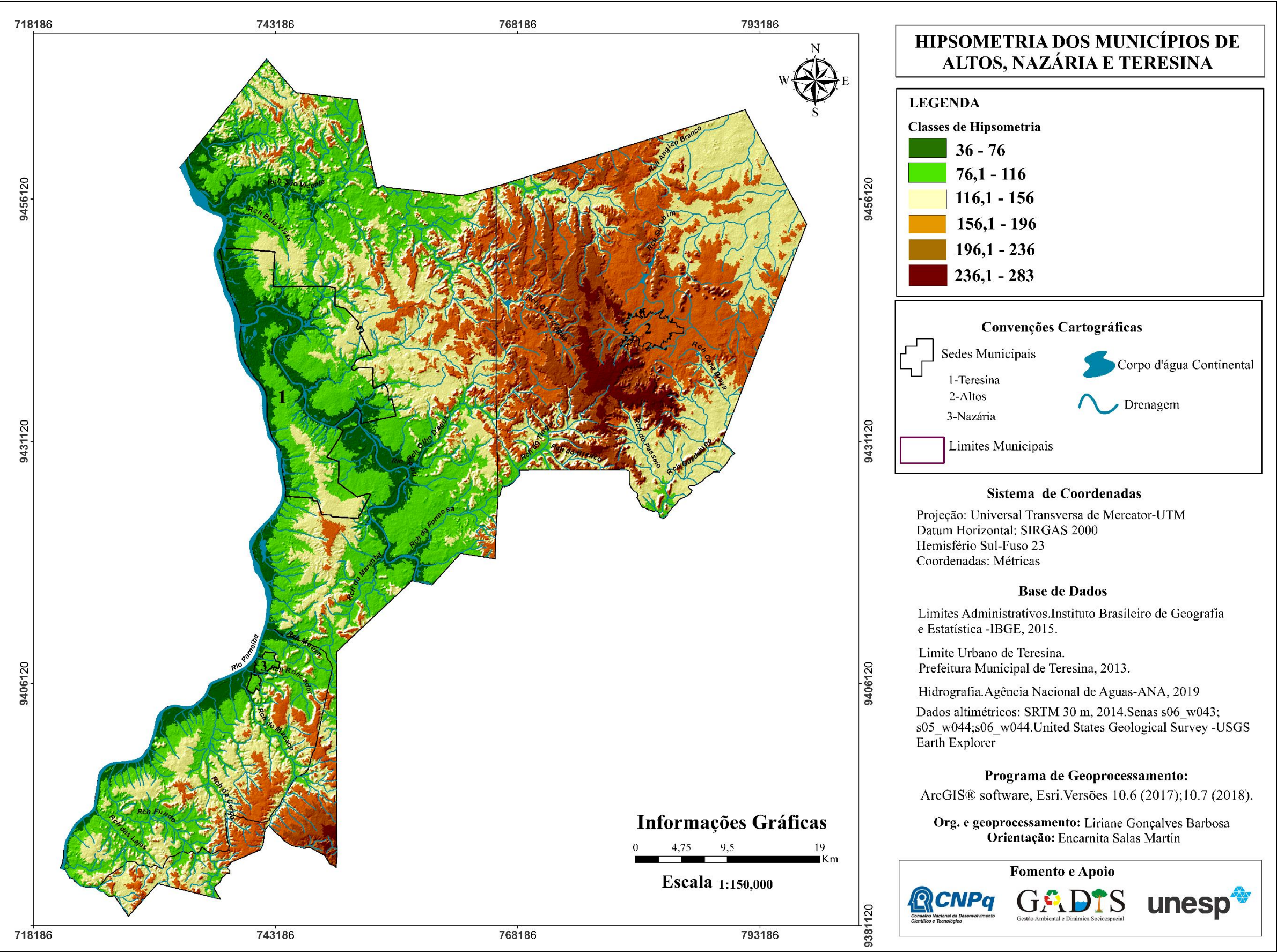
Classes	Hipsometria		Declividade		Rugosidade	
	Area km ²	obertura (%)	Area km ²	Cobertura (%)	Area km ²	Cobertura (%)
1	333,69	12,28	565,93	20,83	390,60	14,37
2	807,45	29,72	1.312,75	48,32	818,61	30,13
3	872,88	32,13	589,75	21,71	429,50	15,81
4	501,59	18,46	231,71	8,53	677,31	24,93
5	166,69	6,13	6,05	0,22	399,54	14,70
6	33,16	1,33	-----	-----	-----	-----

Fonte: Pesquisa Direta, 2019. **Base de Cálculo:** ArcGis, 2017; 2018. **Base de Dados:** SRTM 30m. USGS, 2014. **Organização:** Barbosa, L.G., 2019. **Orientação.** MARTIN, E.S.

Os menores percentuais de declividade, 0-3%, ocorrem em terrenos com até 156 metros de altitude, concentrados em sua maioria na porção nordeste do município de Altos e ao longo dos cursos dos rios Poti e Parnaíba, no município de Teresina. Nas áreas de ocorrência destes terrenos verifica-se a presença de relevo plano do tipo planícies e terraços fluviais (mapa 9), margeando os leitos dos rios, principalmente dos dois maiores rios da região, Parnaíba e Poti, e superfícies dissecadas em forma de vales e/ou depressão periférica.

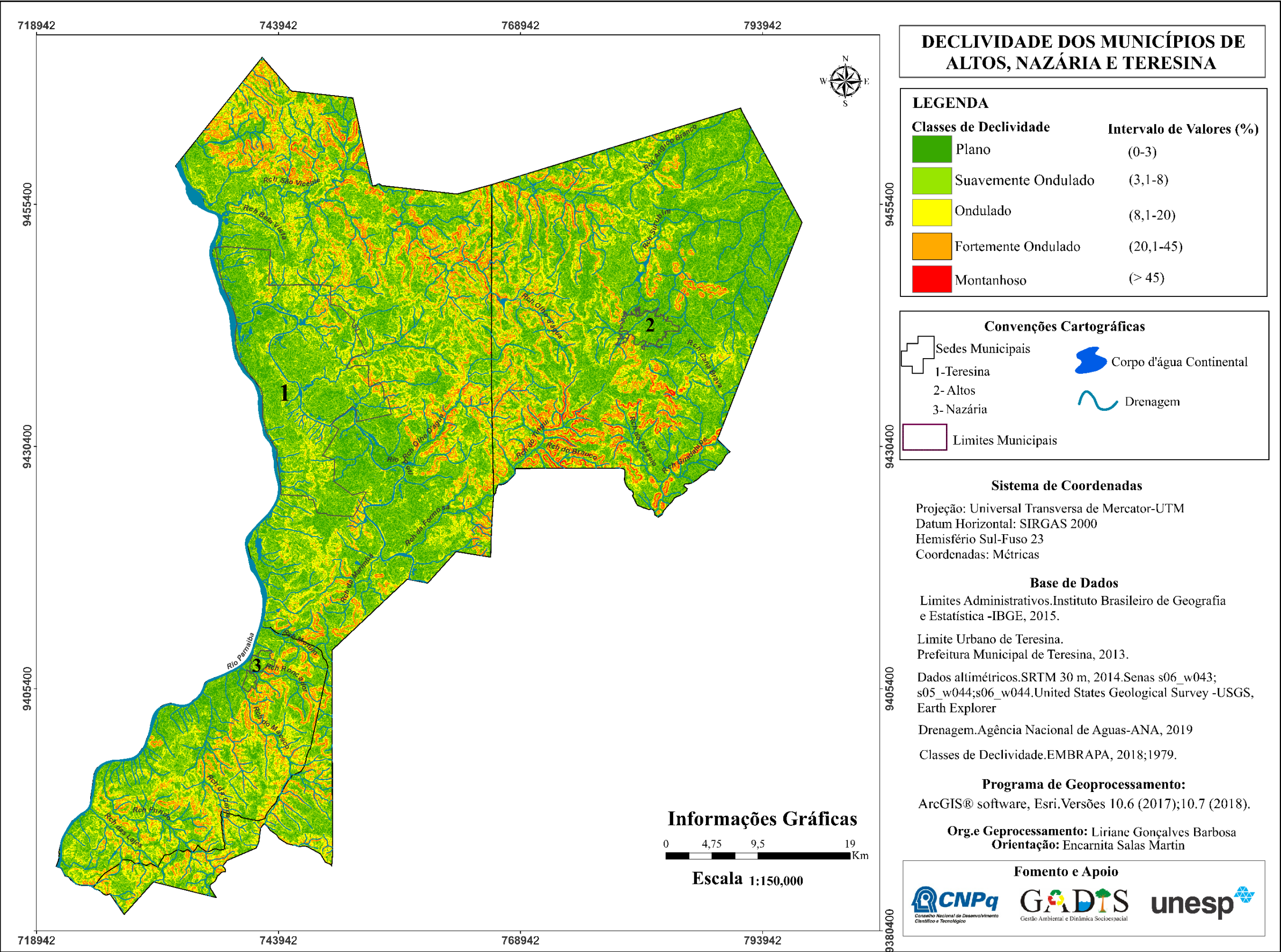
Os maiores percentuais de declividade, acima de 45%, estão concentrados, principalmente no sul de Altos, área que apresenta as maiores altitudes variando, entre 236 a 283 metros, e no norte-nordeste de Teresina, destacadamente nas áreas de encostas.

Mapa 4-Hipsometria dos Municípios de Altos, Nazária e Teresina

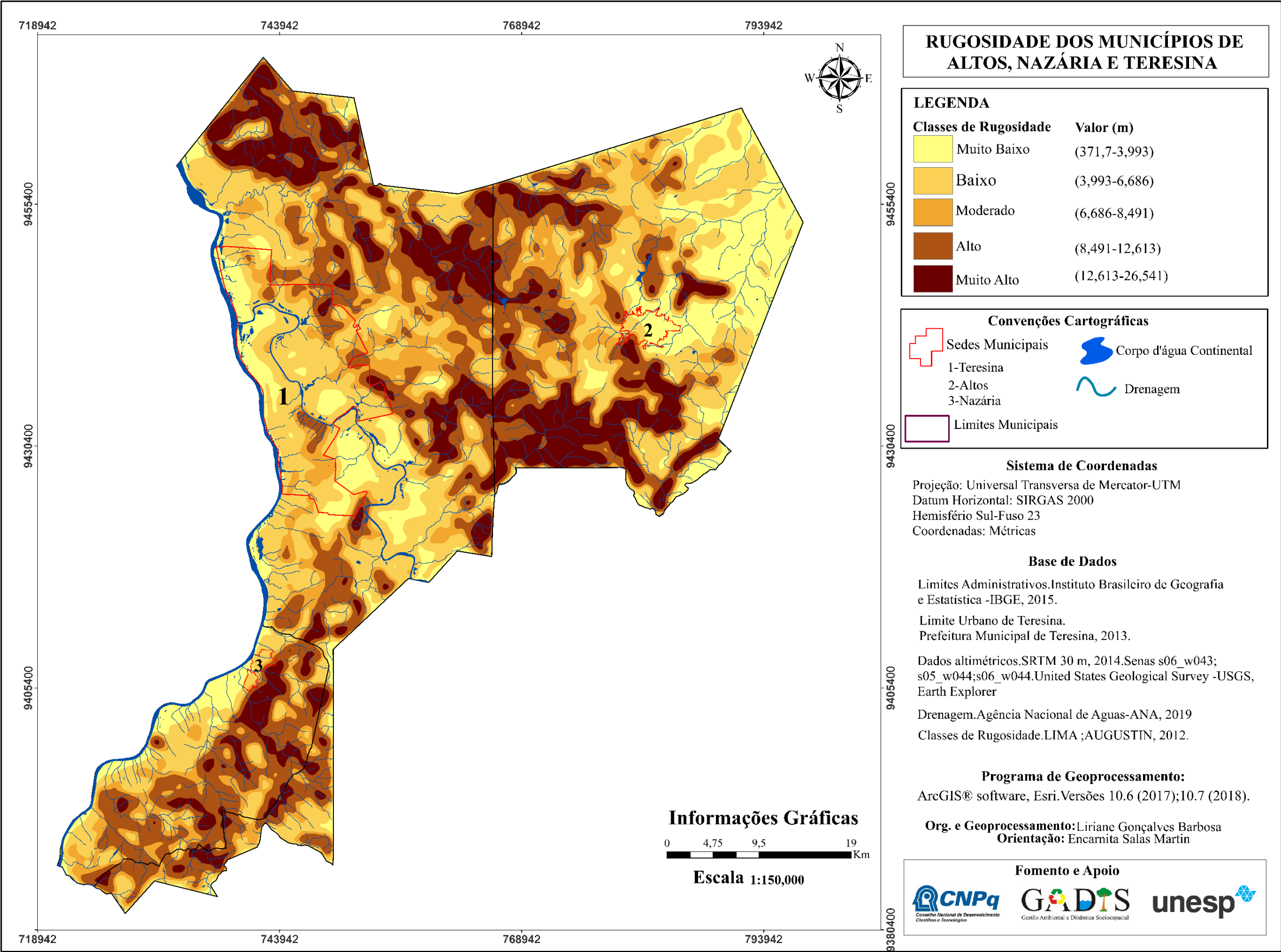


Organização e Geoprocessamento: BARBOSA, L.G. Orientação: MARTIN, E.S.

Mapa 5-Declividade dos Municípios de Altos, Nazária e Teresina



Mapa 6-Índice de Concentração de Rugosidade do Relevo dos municípios de Altos, Nazária e Teresina



Organização e Geoprocessamento: BARBOSA, L.G. Orientação: MARTIN, E.S.

Comparativamente aos dois outros municípios estudados, o município de Altos é o que apresenta a maior concentração de terrenos com as cotas altimétricas mais elevadas da área. Tem parte expressiva de seu território coberta por um conjunto de planaltos e sequências de morros residuais elevados, limitados por escarpas íngremes, que se caracterizam, segundo a classificação adotada para a declividade, como relevo fortemente ondulado e montanhoso. Neste conjunto de planaltos, está situado o divisor topográfico de um conjunto de subbacias hidrográficas locais, afluentes dos rios Parnaíba, Poti e Longá.

De outra parte, verifica-se nos municípios de Nazária e Teresina a ocorrência significativa de relevo com declives de 8-20% (ondulado). Isso se explica pela expressiva presença de formas residuais da Formação Pedra de Fogo, modeladas por processos erosivos e controlados estruturalmente pela litologia, com maior resistência à erosão e cujas encostas apresentam valores de inclinação médios e altos.

Em termos percentuais, 69,15% da área dos municípios, apresenta relevo plano (20,83%) e suavemente plano (48,32%), e apenas 8,75% apresenta relevo fortemente ondulado (8,53%) e montanhoso (0,22%). No restante da área, predomina relevo ondulado em 21,71%. Isto significa que, na maior parte da área de estudo os terrenos possuem pouca capacidade de transporte em função da baixa velocidade dos fluxos d'água e maior capacidade de infiltração.

Por outro lado, nos terrenos de maior inclinação a situação se inverte. O escoamento dos fluxos d'água é maior e apresenta maior velocidade e capacidade de transportar sedimentos. Por essa razão, estas são as áreas mais vulneráveis à ocorrência de processos erosivos, quando desprotegidas de cobertura vegetal.

De maneira geral, na observação conjunta da hipsometria, declividade e o ICR, nota-se significativa correlação entre as classes mapeadas das três variáveis. Os menores compartimentos de relevo de menor altitude concentram a maior parte das superfícies planas e os menores índices de ICR. Já as áreas dos compartimentos topográficos acima de 100 metros de altitude concentram os maiores percentuais de declividade e os índices mais elevados de ICR, estando essas condições concentradas nas áreas de encostas.

Entre as três variáveis a relação mais expressiva ocorre entre a declividade e o ICR. Os valores de ICR estão espacialmente distribuídos de acordo com os valores percentuais de inclinação do relevo. Quanto mais inclinado o relevo, mais rugoso e quanto menor a inclinação menor a rugosidade. Isto se explica porque, como subproduto da declividade, o ICR expressa os padrões de variabilidade dos “valores altimétricos que caracterizam uma

vertente ou segmento de vertente quanto à sua declividade e quanto ao padrão de dissecação, [...], indicando a variação dos valores de declividade por unidade de área” (SAMPAIO; AUGUSTIN, 2014, p.52).

Os níveis de ICR identificados na área, com variação de muito baixa a muito alta, além de expressar a relação entre a altimetria e a declividade (CHRISTOFOLETTI, 1980), indicam o padrão de dissecação do relevo, definido a partir de processos mecânicos do sistema fluvial local, ao agregar unidades espaciais contínuas (de declividade e altimetria) com características morfológicas semelhantes, expressando a amplitude interfluvial dos canais de drenagem e seu nível de entalhamento, que se traduz pela distância horizontal entre os divisores topográficos e a profundidade do entalhe dos vales, respectivamente (CHRISTOFOLETTI, 1980),.

Isto quer dizer que as áreas que apresentam os maiores índices de rugosidade, como no extremo norte do município de Teresina, sul de Altos e centro-norte de Nazária, indicam maior nível de entalhamento (profundidade) dos vales fluviais, menor amplitude interfluvial e maior concentração de energia no sistema. Por outro lado, as áreas com menor rugosidade apresentam menor nível de entalhamento dos rios, interflúvios mais amplos e maior espalhamento de energia no sistema. É o caso das áreas situadas no leste e nordeste de Altos e das planícies e terraços fluviais ao longo dos cursos dos rios Parnaíba, Poti e do riacho São Vicente.

Os maiores e menores índices de rugosidade da área estão também fortemente associados à maior e menor densidade e frequência dos canais de drenagem. Analisando visualmente a imagem SRTM (mapa 7) em conjunto com os mapas de rugosidade e de subbacias (mapa 8), nota-se que nas áreas onde o relevo apresenta menor amplitude interfluvial e maior rugosidade, a drenagem apresenta maior densidade e frequência de canais, situação inversamente proporcional às áreas onde o relevo apresenta baixos valores de rugosidade e maior espaço interfluvial.

Observando a imagem SRTM (mapa 7), nota-se ainda, que o nível de entalhamento e aprofundamento dos vales dos rios aumenta da jusante para montante, juntamente com o aumento da altitude, da declividade e da rugosidade, indicando que a dissecação do relevo ocorre das cabeceiras dos rios em direção à foz. Quanto mais próximos às cabeceiras dos rios mais estreitos e mais profundos são os vales e mais intenso o processo de dissecação.

O trabalho de dissecação do relevo (“desmonte”, LIMA, 2013) pela drenagem, resulta no alargamento dos vales dos rios à medida que se aproxima das fozes e no nivelamento (por deposição sedimentar) de superfícies de altitudes mais baixas. Por outro lado, atua isolando

partes do relevo que apresentam maior resistência mineralógica aos processos erosivos, permanecendo, estas, como formas residuais de relevo, tais como colinas, morros, morrotes e planaltos.

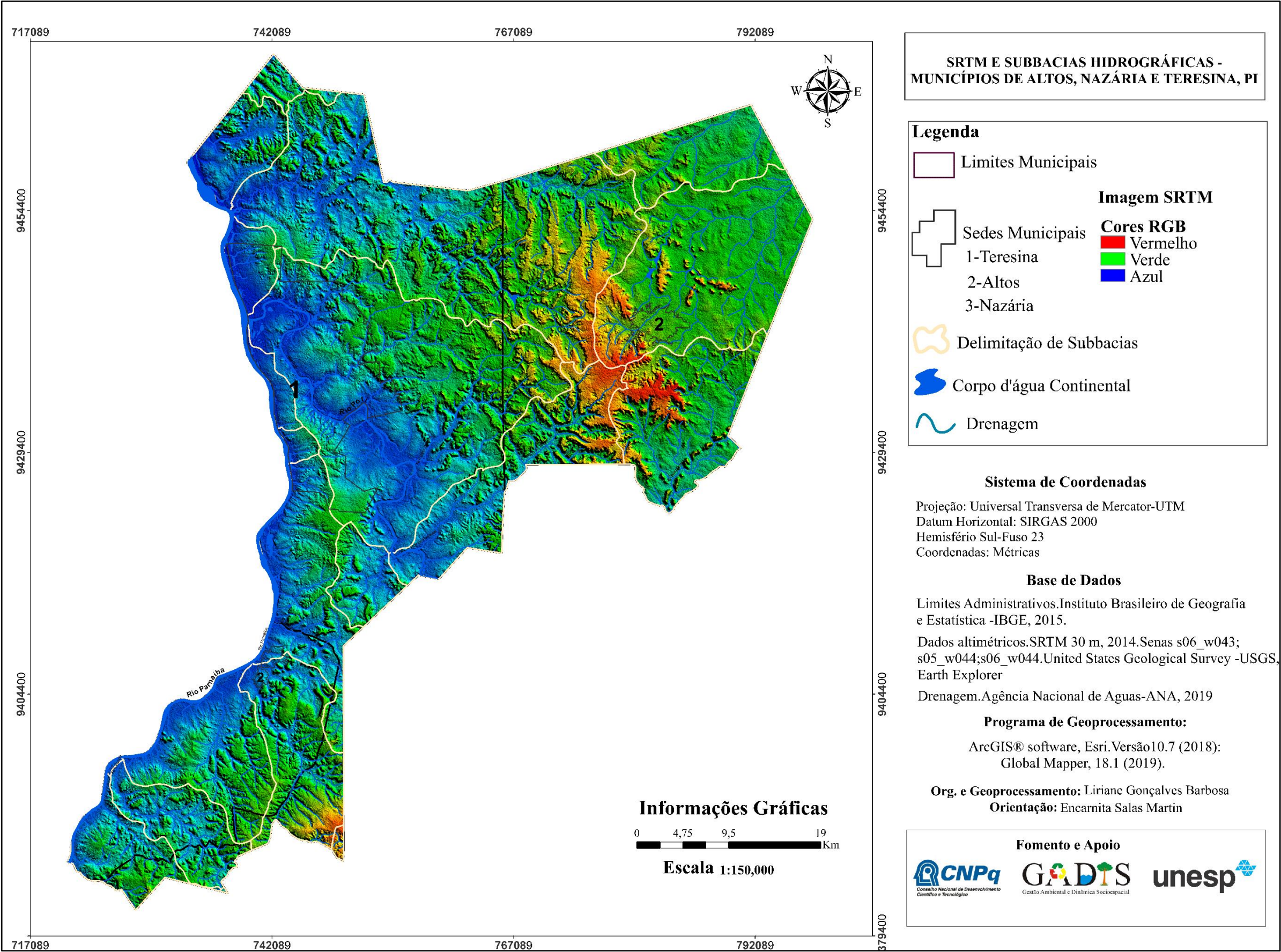
Em estudo realizado sobre a dinâmica do relevo em uma área de interflúvio regional abrangendo a porção centro-sul do município de Teresina, desde a foz do rio Poti, na área urbana deste município, e o município de Nazária, Lima (2013) identificou que a dinâmica do relevo (denudação e aggradação), outrora condicionada à estrutura litológica regional, hoje é comandada, prioritariamente, pelos sistemas fluviais locais tendo o rio Parnaíba (nível de base regional) como eixo condutor.

Neste sentido, o processo de desmonte e remodelagem das formas do relevo local é promovido, principalmente, pelo sistema de drenagem, por meio dos processos de desnudação erosiva (dissecação) nas áreas de maior declividade e de acumulação sedimentar e aplainamento naquelas outras de superfície plana e baixa declividade.

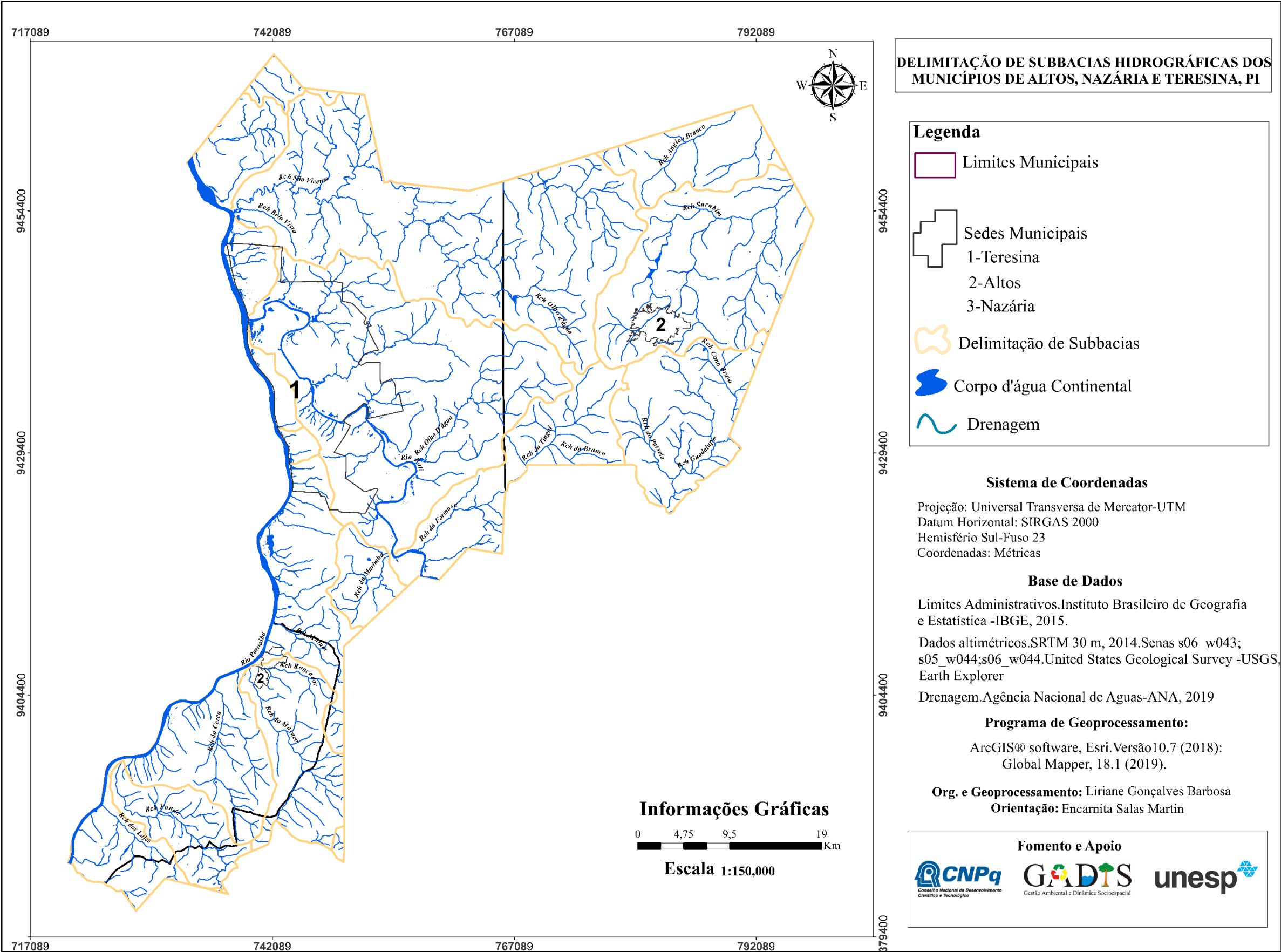
A análise da imagem SRTM (mapa 7) e do mapa de subbacias (8), permite ainda tecer algumas observações a respeito da rede de drenagem local:

- Como pode ser observado, a área apresenta um conjunto de bacias e dos rios Parnaíba, Poti e Longá. As cabeceiras de uma parte delas estão localizadas nos altos planaltos tabulares, situados na porção centro-norte da área, abrangendo o leste do município de Teresina e oeste de Altos, de onde partem em direção divergente para leste/nordeste (bacia do Longá), sul/oeste (bacia do Poti) e norte/noroeste (bacia riacho São Vicente).
- Na porção sul da área de estudo, que abrange o sul de Teresina e o município de Nazária os principais afluentes do rio Parnaíba, os riachos do Mulato, Roncador, do Macaco, da Cerca, Fundo e das Lajes, têm suas nascentes fora dos limites da área de estudo e apresentam direção de fluxo de leste para oeste.
- Ao longo das planícies e terraços fluviais do rio Parnaíba, nos limites da área de estudo, ocorre um conjunto de pequenas bacias difusas, que se apresentam em “padrão de drenagem dendrítica subparalela” (CHRISTOFOLETTI, 1980).
- O riacho São Vicente e o rio Poti apresentam canais com expressivas curvas sinuosas, típicas de canais meândricos, formando ao longo de seus cursos terraços e planícies fluviais.
- Tendo como pressuposto os padrões de drenagem definidos por Christofolletti (1980) e considerando o conjunto da drenagem, a área de estudo apresenta padrão dendrítico, assemelhando-se à configuração de uma árvore.

Mapa 7- Imagem SRTM e Subbacias Hidrográficas



Mapa 8-Mapa de Delimitação das Subbacias Hidrográficas dos municípios de Altos, Nazária e Teresina



Organização e Geoprocessamento: BARBOSA, L.G. Orientação: MARTIN, E.S.

A partir do cruzamento das variáveis declividade e hipsometria e com base na análise conjunta das variáveis morfométricas relacionadas neste tópico e nas classificações de Lima e Augustin (2012), Lima (2011) e Moraes e Lima (2015), para o município de Teresina, foi possível identificar e mapear as feições morfológicas do relevo local, agrupando-as em seis unidades (mapa 9): Planícies e Terraços Fluviais, Superfície Dissecada com Baixos Morros Residuais, Superfície Dissecada com Elevados Morros Residuais, Baixos Planaltos Isolados pela Drenagem, Altos Planaltos com Topos Horizontais e Encostas Escarpadas.

Em termos de cobertura de área as unidades Superfície Dissecada com Baixos Morros Residuais e Superfície Dissecada com Elevados Morros Residuais são as feições de relevo que predominam nos municípios. Somam mais de 50% do relevo local, correspondendo a 759 km² (28%) e 754,8 km² (27,8%) de área, respectivamente (Tabela. 5). As feições de relevo com menor área são os Altos Planaltos com Topos Tabulares e as Encostas Escarpadas, com 7,3% (197,3 km²) e 8,3% (225,9 km²) de cobertura, respectivamente.

Tabela 5-Quantificação percentual das Unidades de Relevo

Nome da Unidade	Área km ²	Cobertura %
Planícies e Terraços Fluviais	333,6	12,3
Superfície Dissecada com Baixos Morros Residuais	759	28
Superfície Dissecada com Elevados Morros Residuais	754,8	27,8
Baixos Planaltos Isolados pela Drenagem	444,9	16,4
Altos Planaltos com Topos Tabulares	197,3	7,3
Encostas Escarpadas	225,9	8,3
Área total	2,732,79	100

Fonte: Pesquisa Direta. **Base de Cálculo:** ArcGis (2018). **Base de Dados:** SRTM 30m. USGS (2014). **Organização:** BARBOSA, L.G., 2019. **Orientação:** MARTIN, E.S.

Genericamente estas unidades do relevo local são feições seccionadas em conjuntos de diferentes formas (terraços, planícies, morros, colinas e planaltos limitados por escarpas) aplainadas e degradadas por processos erosivos generalizados, promovidos, principalmente, pela atuação da rede de drenagem e pela dinâmica das encostas.

Considerando a relação amplitude altimétrica, amplitude interfluvial e a inclinação das vertentes, as formas locais do relevo apresentam um padrão fisiográfico de acordo com cada compartimento topográfico. As unidades de menor e maior altitude topográfica, Planícies e Terraços Fluviais e Altos Planaltos com Topos Tabulares, respectivamente, apresentam um padrão de formas planas e tabulares, enquanto nas demais unidades, Superfície Dissecada

com Baixos Morros Residuais, Superfície Dissecada com Elevados Morros Residuais e Baixos Planaltos Isolados pela Drenagem prevalece um padrão de formas tendendo aos formatos arredondado e angular.

As feições de *Planícies e Terraços Fluviais*, são áreas caracterizadas como “formas de acumulação” (BRASIL, 1973; ROSS, 2001), onde ocorre deposição sedimentar por processos fluviais. São terrenos de declividade plana a levemente inclinada, em faixas de 36²⁴ a 76 metros de altitude, formadas sobre estrutura sedimentar de terrenos da Formação Piauí e dos Aluviões Holocênicos (mapa 2), formando solos mais profundos (LIMA, 2013).

Verifica-se sua ocorrência ao longo dos cursos dos rios Parnaíba e Poti, dos riachos São Vicente e da Formosa e outros pequenos córregos de bacias difusas, afluentes do Parnaíba, formando faixas contínuas, ora mais largas, ora mais estreitas, conforme é possível observar no mapa 9.

Ocupam área de 333,6 km² de extensão, respondendo por 12,3% do relevo local (Tabela 5) e abrangem faixas de sul a norte dos municípios de Nazária e Teresina, concentrando-se os meandros abandonados dos dois rios, principalmente nas faixas correspondentes às margens direita e esquerda do rio Poti, estas são áreas sujeitas a inundações durante o período chuvoso e de maior vazão deste rio.

Do ponto de vista da dinâmica atual, Lima (2013) destaca que as áreas de terraços estão submetidas aos processos de erosão laminar resultantes da ação antrópica e as planícies são áreas em processo de formação pela deposição fluvial dos “períodos de elevada vazão e transbordamento” (p.244) dos rios.

A segunda e terceira unidades mapeadas, *Superfície Dissecada com Baixos Morros Residuais* e *Superfície Dissecada com Elevados Morros Residuais* são feições que compreendem formas de denudação e acumulação, modeladas por processos erosivos a partir de intenso trabalho da drenagem, em que predominam feições de relevo plano e suavemente onduladas, distribuídas em dois compartimentos topográficos: 76-116 e 156-196 metros de altitude.

²⁴ Valor correspondente a uma pequena área do leito do Rio Parnaíba, localizada próxima à foz do Riacho Bela Vista no norte do Município de Teresina, coordenadas X-736248290 e Y-9455491392. Exluindo esta área, o plano mais baixo da área de estudo é de 46 metros, considerando o nível de base do Rio Parnaíba, na porção norte do município de Teresina.

As áreas de *Superfície Dissecada com Baixos Morros Residuais* se caracterizam pela ocorrência de “vales dissecados” (LIMA, 2013) e morros residuais arredondados. Estão localizadas em compartimento topográfico superior às Planícies e Terraços Fluviais, não ultrapassando 116 metros de altitude, predominantemente nas áreas de influência dos dois rios principais da área de estudo, o Parnaíba e o Poti.

Lima (2013), destaca que a morfodinâmica destas áreas é resultado dos processos de dissecação dos vales, ocorridos em função da influência dos dois grandes rios sobre os demais afluentes. Processo que acontece “da foz em direção à montante, fazendo recuar as vertentes, alargar os fundos dos vales e isolar pequenos morros residuais no seu interior. Assim, a evolução das encostas ocorre predominantemente por erosão regressiva, com incisão vertical e erosão lateral dos vales, além dos movimentos de massa” (p.242).

Estas unidades de relevo ocorrem quase em sua totalidade nos municípios de Nazária (norte a sul) e Teresina (norte a centro-sul), em faixas contínuas, circundando, por vezes, áreas das *Superfícies Dissecadas com Elevados Morros Residuais*, sobre estrutura litológica constituída por minerais das formações Piauí e Pedra de Fogo.

Em Teresina aparece com maior expressão no norte, nas áreas de influência da bacia do Riacho São Vicente, no sudeste, no entorno e entre as fozes dos riachos da Formosa e Olho D'água, e na área de interflúvio do rios Parnaíba e Poti, que vai do encontro entre os dois rios ao limite sul de Teresina com Nazária. Enquanto no município de Nazária predominam na porção norte, no limite com Teresina, margeando a faixa de planícies e terraços fluviais na porção leste e no sul do município.

Já as áreas de *Superfície Dissecada com Elevados Morros Residuais* estão em um compartimento topográfico superior à unidade descrita acima, com elevação superior a 120 metros de altitude. Do ponto de vista do processo de dissecação e das feições, a dinâmica é semelhante à aquela outra, apresentando superfícies planas ou suavemente onduladas com ocorrência de elevações residuais em forma de morros e colinas, dissecadas pelo intenso trabalho da drenagem, abrangendo terrenos das formações Pedra de Fogo, Piauí, Poti e Longá e da Cobertura Detrito-Laterítica Paleogênica.

Essas feições estão presentes nos três municípios estudados, mas aparecem de forma mais concentrada no oeste do município de Nazária, na porção centro-leste de Teresina e nordeste e sudeste de Altos. Nestas duas áreas de Altos, ocorre um padrão de formas residuais circulares e semicirculares “erosivas” (LIMA, 1990, p.668), onde se verifica a ocorrência de processos erosivos físicos, caracterizados pela desagregação mecânica da estrutura litológica

em blocos e seixos de diversos tamanhos e formatos, mais visíveis no sopé das elevações (morros e colinas).

Esse tipo de processo erosivo também se verifica em algumas áreas de ocorrência da unidade de relevo Baixos Planaltos Isolados pela Drenagem, na porção leste do município de Altos. Esta unidade representa 16,4% do relevo local, ocupando 444,9 km² de extensão de área, em compartimento topográfico acima de 150 metros e inferior a 200 metros de altitude.

A maior parte dessas feições estão localizadas no município de Altos, no entorno dos Altos Planaltos com Topos Tabulares e apresenta um padrão de formas constituídas por superfícies aplainadas e um conjunto de baixos planaltos, limitados pelos vales de dissecção dos canais de drenagem, aparecendo ora de forma contínua, ora descontínua, formando em algumas áreas, sequência de divisores topográficos com forma alongada e topos angulosos, e noutras topos planos tendendo ao arredondamento.

Em alguns casos específicos, verifica-se a ocorrência de formas seccionadas em formato circular, circundando vale de dissecção, “formando um significativo “arco” de encostas abruptas, que estão sendo retrabalhadas por canais fluviais de direções divergentes que se formam no seu interior já dissecado” (LIMA, 2013, p. 237).

As áreas de ocorrência desta unidade de relevo estão em terrenos das formações Pedra de Fogo e Piauí em sua maior parte, da Formação Corda em área que abrange o sul de Teresina e oeste de Nazária, e uma pequena área de ocorrência da Formação Poti e da Cobertura Detrito-Laterítica Paleogênica, no nordeste do município de Altos.

Os *Altos Planaltos com Topos Tabulares* é a unidade que apresenta a menor área. Recobrem 7,3% da área de estudo, correspondendo a 197,3 km². São superfícies de relevo constituídas por planaltos de topo plano, tendendo ao formato tabular, denominados pela CPRM (2006) de Baixos Platôs. Apresentam altitudes ligeiramente mais elevadas que as feições adjacentes e estão limitadas por escarpas declivosas, representando os compartimentos topográficos mais elevados dos três municípios, com variação de 196-236 e 236,1-283 metros de altitude e uma amplitude altimétrica de quase 100 metros.

Esta unidade é formada por um planalto principal, de extensão expressiva, situado no oeste do município de Altos com extensão de norte a sul deste município, um segundo planalto de extensão média, localizado no sul do município de Teresina e outros de menor extensão, que aparecem de forma descontínua, próximos ao planalto principal e no lado leste de Altos, em base litológica das formações Pedra de Fogo e Corda.

Nestas feições a rede de canais de drenagem apresenta densidade menor, resultando em menor índice de rugosidade e com evolução mais lenta dos processos erosivos, o que contribui para a litologia exercer maior controle sobre a morfodinâmica nas áreas de ocorrência dessas formas, deixando mais lentos os processos de dissecação.

A sexta e última unidade de relevo mapeada são as feições de Encostas Escarpadas, que representam 8,3% do relevo local, com extensão de 225,9 km² de área. São as superfícies com os maiores percentuais de inclinação, onde a declividade apresenta valores acima de 20% e a rugosidade do terreno é mais acentuada.

Estas feições representam as áreas de maior instabilidade do relevo local e ao mesmo tempo, como definem Christofolletti (1980), Florenzano (2008) e Penteado (1983), são os elementos básicos para entender os processos erosivos e de acumulação que acontecem na área, em vista de serem estas, responsáveis por estabelecer o elo dinâmico entre o interflúvio e o fundo de vale.

As *Encostas Escarpadas* aparecem limitando os Planaltos e morros residuais, formando vales encaixados e faixas de transição abruptas entre uma forma e outra do relevo, em alguns setores da área de estudo, como no caso do alto curso do riacho do Tingui, no sudoeste do município de Altos, e do médio curso do riacho Olho d'água, no nordeste de Teresina.

Nestas áreas, a drenagem esculpiu vales profundos no relevo, recuando as vertentes na direção das cabeceiras dos riachos e modelando formas, que grosso modo, lembram “pés de galinha”. São superfícies altamente dissecadas onde, aparentemente, a influência da drenagem sobre o modelado é maior que a litologia.

Quando comparadas às áreas de ocorrência das Encostas Escarpadas (mapa 9) com a curvatura vertical do terreno (mapa 10), observa-se que, espacialmente, há uma correlação muito forte entre estas áreas e aquelas de maior ocorrência das vertentes convexas e côncavas, indicando o caráter convexo-côncavo destas encostas, apresentando segmento de superior convexo e inferior côncavo, quase sem ocorrência de segmento reto entre as curvas superior e inferior.

Em relação à curvatura vertical do relevo, de maneira geral, verifica-se a predominância de segmentos de vertentes côncavas (39,74%) e convexas (35,32%), que somadas equivalem a 75,06% da área, correspondendo a 2.038,63 km² (tabela 6). As vertentes retilíneas representam 24,92% e sua ocorrência está associada às áreas de relevo plano e suavemente plano ou aquelas onde há encostas com desnível abrupto entre o interflúvio e a base.

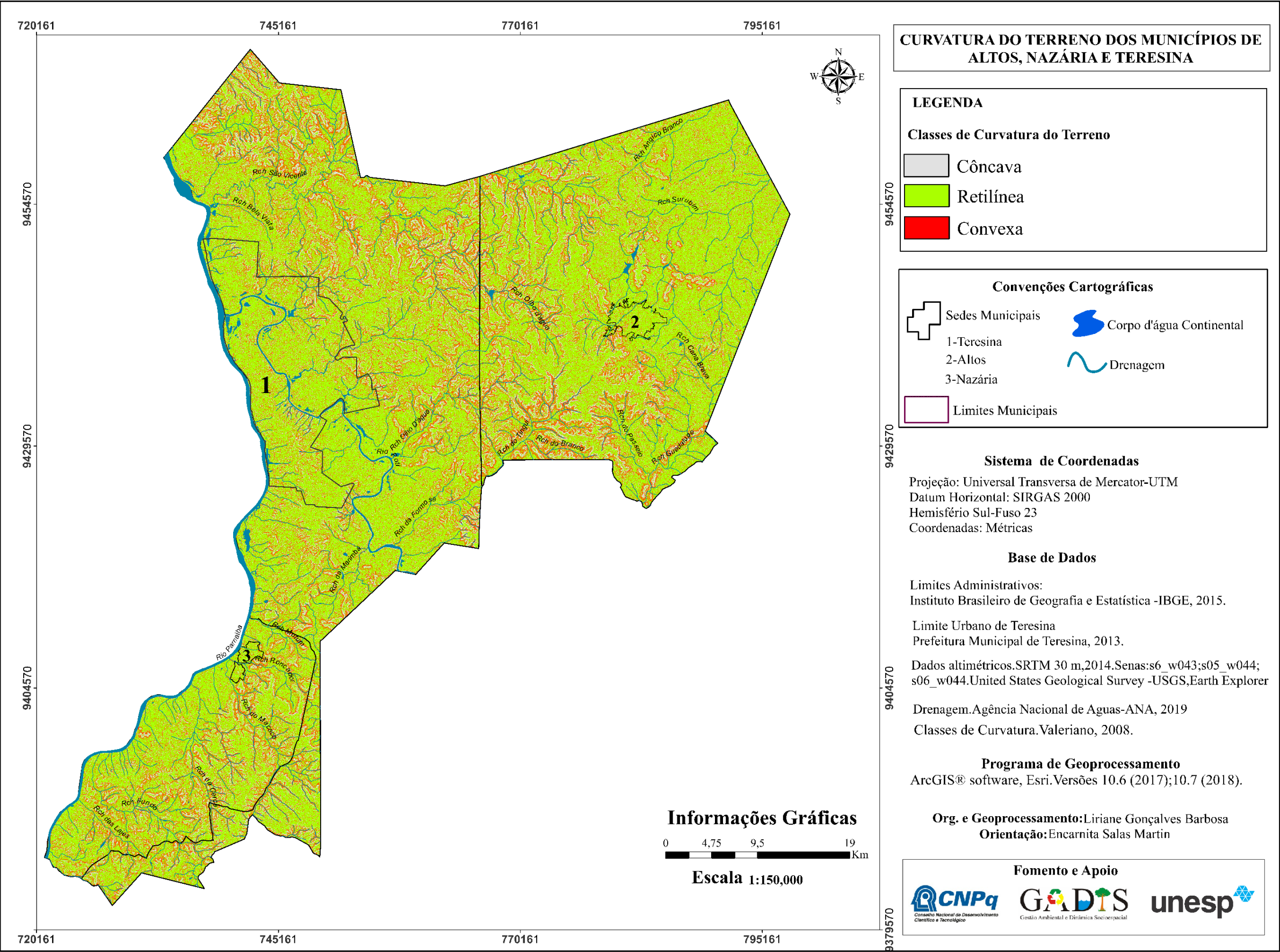
No mapa de curvatura, a seguir, nota-se ainda que as áreas com predominância de relevo com segmentos de vertentes convexo/côncavo estão relacionadas àquelas áreas com superfície ondulada, fortemente ondulada e montanhosa, com declividade acima de 8%.

Tabela 6-Quantificação percentual das unidades de Curvatura Vertical

Nome da Unidade de Curvatura	Área km ²	Cobertura % % (%)
Convexas	959,40	35,32
Retilíneas	676,80	24,92
Côncavas	1079,23	39,74
Área total	2,732,79	100

Fonte: Pesquisa Direta. **Base de Cálculo:** ArcGis (2018). **Base de Dados:** SRTM 30m. USGS (2014). **Organização:** Barbosa, L.G., 2019. **Orientação.** MARTIN, E.S.

Mapa 10-Curvatura do terreno dos municípios de Altos, Nazária e Teresina



Organização e Geoprocessamento: BARBOSA, L.G. Orientação: MARTIN, E.S.

Fazendo uma análise entre os mapas morfométricos (hipsometria, declividade e rugosidade) e de unidades do relevo (morfológico), apresentados ao longo desta seção, com a informação da curvatura vertical, representada no mapa acima observa-se, que, as áreas de relevo semelhantes apresentam padrões de curvatura parecidos.

Destacadamente, nas áreas de morros e planaltos predominam vertentes com segmentos convexos no topo e côncavos na base. Nos vales dos cursos d'água mais encaixados, como no vale do riacho do Tingui, no sudoeste do município de Altos, os segmentos côncavos aparecem com maior frequência. Já os segmentos de vertentes retilíneas aparecem com maior predominância nas áreas planas, como nas Planícies e Terraços Fluviais.

Os segmentos de curvatura vertical das vertentes estão relacionados com a retirada, transporte e acumulação de matéria e energia e, por essa razão, com os processos de dissecação do relevo e formação e erosão dos solos. Onde o relevo apresenta curvatura vertical convexa, áreas de topos, principalmente, tende a ser caracterizado por áreas com maior retirada de material sendo, geralmente, áreas mais vulneráveis aos processos erosivos e com ocorrência de solos pouco profundos, como o Neossolo Litólico e Plintossolo Pétrico.

Nas áreas onde o relevo apresenta curvatura vertical côncava há uma relação inversa. Por serem áreas onde os materiais transportados são acumulados, tende a haver a predominância de processos de pedogênese, com a formação de solos mais profundos e maior concentração de nutrientes minerais e orgânicos, sendo estas áreas mais férteis.

5.4 Características pedológicas da área

Quanto aos aspectos pedológicos, os solos dos municípios estão agrupados em cinco classes: Chernossolo, Latossolo, Neossolo, Planossolo e Plintossolo (mapa 11). Os Latossolo e Plintossolo recobrem quase toda a área de estudo, representando 92,55% dos solos locais, o que equivale a 2.513,4 km² de área (Tabela 7). Ambos se distribuem, alternadamente, em quase toda a extensão territorial dos municípios.

As demais classes Chernossolo, Neossolo e Planossolo, comparadas às duas primeiras em termos de extensão territorial, são de ocorrência pouco expressiva na área. Juntas representam apenas 6,89% de cobertura, correspondendo a 187 km² de área e, concentrando-se em áreas específicas dos três municípios, respectivamente, nas porções sul de Nazária e Teresina, nas planícies do rio Parnaíba em Teresina e sul de Altos e no nordeste de Altos.

Tabela 7-Quantificação percentual das classes de Solo

Nome da Unidade	Sigla	Área km ²	Cobertura (%)
Chernossolo Argilúvico Órtico	MTo	92,0	3,39
Latossolo Amarelo Distrófico	LAd	1095,5	40,34
Neossolo Flúvico Ta Eutrófico	RYve	23,3	0,86
Neossolo Litólico Distrófico	RLd	19,2	0,71
Planossolo Háplico Distrófico	SXd	52,5	1,93
Plintossolo Argilúvico Distrófico	FTd	319,3	11,76
Plintossolo Pétrico Concrecionário	FFc	1098,6	40,45
Área total	-----	2,732,79	-----

Fonte: Pesquisa Direta. **Base de Cálculo:** ArcGis (2018). **Base de dados:** IBGE (2018) EMBRAPA (2018). **Organização:** BARBOSA L.G. **Orientação:** MARTIN, E.S.

Individualmente, a classe de Plintossolo é a de maior ocorrência na área. Representa mais de 50% dos solos dos municípios, quando consideradas as duas subordens mapeadas: Plintossolo Argilúvico Distrófico (FTd) com 11,76% (319,3 km²) e Plintossolo Pétrico Concrecionário (FFc) 40,45% (1.098,6 km²).

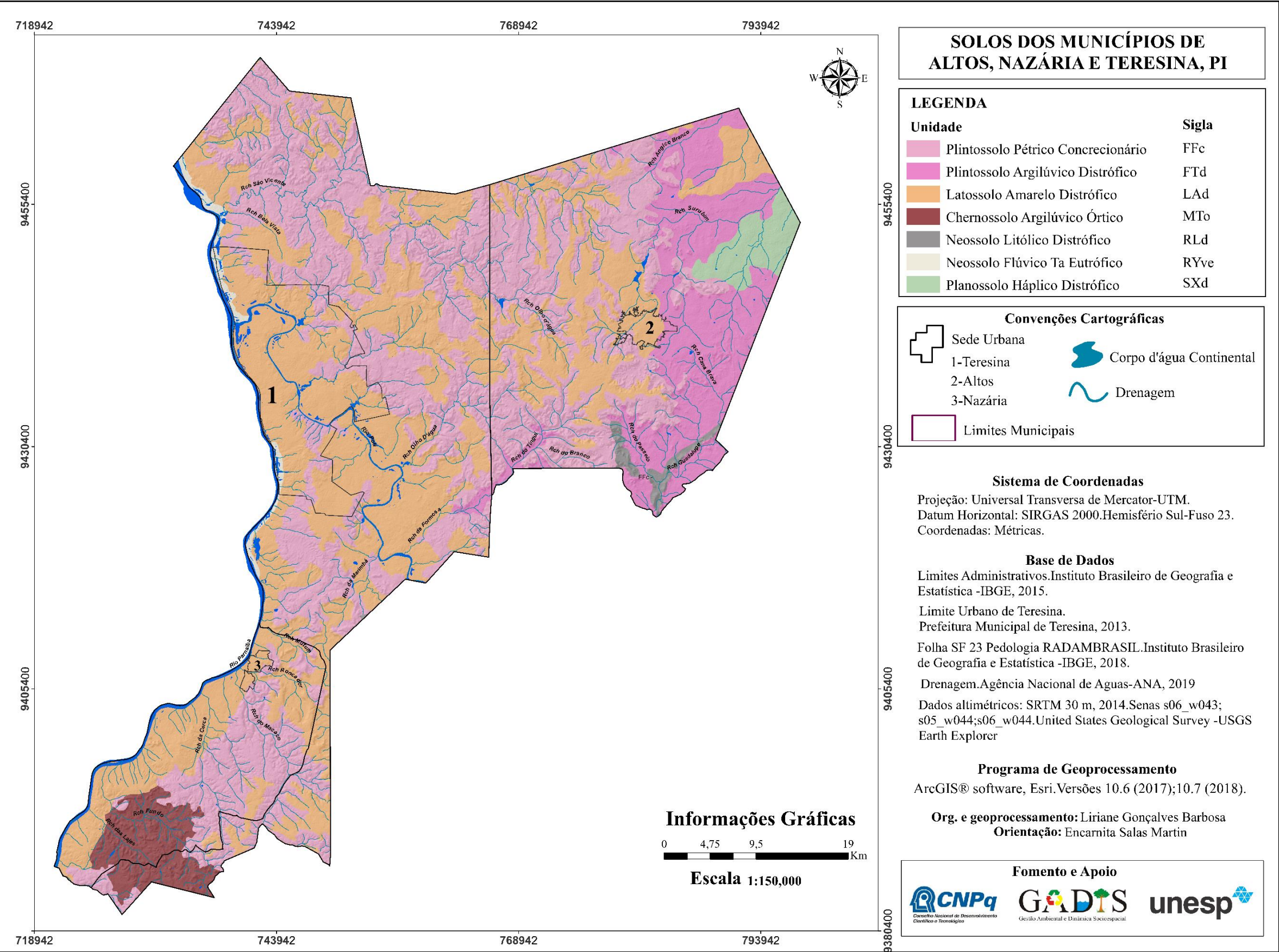
A subordem Plintossolo Pétrico Concrecionário se distribui por quase toda a extensão dos municípios de Nazária e Teresina e de norte a sul da porção oeste do município de Altos, sobre terrenos das formações Pedra de Fogo e Piauí, e uma pequena área sobre terrenos da Formação Corda, no sul de Nazária e Teresina.

A outra subordem dessa classe de solo, a Plintossolo Argilúvico Distrófico está concentrada de norte a sul da porção leste do município de Altos e em uma pequena área na divisa sudoeste deste município com o sudeste de Teresina, sobre terrenos das formações Piauí, Poti e da Cobertura Detrito-Laterítica Paleogênica.

Os Plintossolo são solos formados de material mineral, com horizontes provenientes de segregação de ferro, baixa fertilidade natural e acidez elevada, apresentando “horizonte com pronunciado acúmulo de óxidos de ferro e/ou alumínio na forma de nódulos e/ou concreções, ou mesmo de camadas contínuas. Tais feições podem ser tanto macias, constituindo a plintita, quanto endurecidas, caso da petroplintita” (LEPSH, 2010, P.105).

Como pode ser observado no quadro 10, enquanto os Plintossolo Argilúvico ocorrem em condições de relevo plano e suavemente ondulado, os Plintossolo Pétrico estão associados a relevo com declividade que varia, de 8 a 45% (ondulado e fortemente ondulado). Os dois se diferenciam também pelas condições geológicas e a cobertura vegetal às quais estão associados: os primeiros a terrenos das formações Piauí e Poti e vegetação de Cerrado com carnaubais e os outros, predominantemente a terrenos da Formação Pedra de Fogo, com

Mapa 11-Unidades de Solo dos municípios de Altos, Nazária e Teresina



Quadro 10-Características gerais das classes de Solos

Classes de Solos					Características Gerais e Condições Ambientais		
Ordem	Subordem	Grande Grupo	Sigla	Subgrupos	Textura	Relevo/Vegetação	Vulnerabilidade à Erosão
Latossolo	Amarelo	Distrófico	LAd	Típico	Argilosa e muito argilosa	Plano e suavemente ondulado/Floresta Semidecidual, Cerrado e Floresta Dicótilo-Palmácea	Baixa
Plintossolo	Argilúvico	Distrófico	FTd	Típico	Média e argilosa	Plano e suave ondulado/Cerrado	Alta
	Pétrico	Concrecionário	FFC	Argissólico	Média a muito cascalhenta e média a muito cascalhenta/argilosa muito cascalhenta; pedregosa e rochosa	Ondulado e forte ondulado/Floresta Semidecidual, Floresta Dicótilo-Palmácea e Cerrado	Alta
Neossolo	Flúvico	Ta Eutrófico	RYve	Típico e Solódico	Argilosa, silto-argilosa ou média	Plano e suave ondulado/Floresta Semidecidual e Floresta Dicótilo-Palmácea	Alta
	Litólico	Distrófico	RLd	Típico	Média com cascalho ou cascalhenta ou arenosa	ondulado, forte ondulado e montanhoso/Cerrado	Alta
Chernossolo	Argilúvico	Órtico	MTo	Vertissólico e Típico	Argilosa e muito argilosa; fase pedregosa	Suave ondulado e ondulado//Floresta Semidecidual e Cerrado	Moderada
Planossolo	Háplico	Distrófico	SXd	Típico e Solódico	Arenosa/média e média	Plano e suave ondulado/Cerrado	Moderada

Fonte: Crepani *et al.*, (2008), EMBRAPA (2018), e MORAES (2004). **Organização:** BARBOSA L.G. **Orientação:** MARTIN, E.S.

alguns carnaubais e os outros, predominantemente a terrenos da Formação Pedra de Fogo, com alguns trechos sobre a Formação Piauí, e a uma variedade maior de cobertura vegetal, Floresta Semidecidual, Floresta de Babaçual e Cerrado.

Do ponto de vista do uso, os Plintossolo apresentam restrições. Os Pétrico, embora sejam solos bem drenados, tem seu uso limitado, principalmente para a agricultura, em função da presença de concreções, dificultando tanto o enraizamento das plantas, quanto o trabalho de preparo do solo com máquinas agrícolas. Os Argilúvico têm drenagem restrita e seu uso na agricultura é limitado à adoção de práticas de manejo especiais para evitar o endurecimento da plintita pela drenagem (LEPSH, 2010).

A segunda maior classe de solos da área de estudo é o Latossolo Amarelo Distrófico (LAd), que apresenta, de acordo com esse mapeamento, uma única subordem. Essa classe ocupa uma extensão de 1.095,5 km² (40,34%) de área, se distribuindo em faixas de norte a sul dos municípios de Nazária e Teresina, acompanhando os cursos dos rios Parnaíba e Poti, e nas porções oeste (de norte a sul) e nordeste do município de Altos, sobre terrenos das formações Pedra de Fogo, Piauí e Corda.

Os solos desta classe, a exemplo dos solos Plintossolo Pétrico Concrecionário, também estão espacialmente distribuídos em todos os compartimentos topográficos da área. Sua ocorrência é verificada naquelas áreas de relevo plano ou no máximo suave ondulado, como nas áreas dos topos de morros, colinas, planaltos residuais e particularmente em largas faixas ao longo dos rios Parnaíba e Poti, sobre as planícies, os terraços e vales fluviais (MORAES, 2004), indicando maior estabilidade da dinâmica do relevo, uma vez que estes solos são os mais antigos, em termos de gênese (LIMA, 2013).

Em estudo realizado com a finalidade de determinar a capacidade de uso da terra no município de Teresina, Moraes (2004) analisou alguns atributos desta classe de solo. Ele identificou sete unidades de Latossolo, LATO1, LATO2, LATO3, LATO4, LATO5, LATO6 e LATO13, e as caracterizou conforme onze atributos: profundidade, declividade, textura, drenagem, erosão, pedregosidade, fertilidade, argila expansiva, alumínio trocável, sódio trocável e seca hidrológica.

Conforme os atributos analisados pelo autor, os solos Latossolo da área de estudo se formam em terrenos com declividade plana e suavemente ondulada, são bem desenvolvidos e bem drenados, apresentando textura média a média/argilosa. Porém são solos de baixa fertilidade, de pouca ou nenhuma argila expansiva, com ocorrência de troca de alumínio e

ausência de sódio trocável. Apresentam, ainda, de seis a sete meses de seca hidrológica e baixa vulnerabilidade à erosão.

O período de seca hidrológica está relacionado ao regime de precipitação local, que, conforme apresentado no item 5.1.2, apresenta variação sazonal de cinco a seis meses de chuvas e seis a sete meses de estiagem. A baixa vulnerabilidade à erosão tem a ver com as características físicas e químicas desse tipo solo tais como: “a boa permeabilidade e drenabilidade e a baixa relação textural A/B (pouca diferenciação no teor de argila do horizonte A para o B)” (GUERRA; BOTELHO, 2001, p.184).

De forma menos expressiva aparecem na área, as classes dos solos Chernossolo Argilúvico Órtico (MTo), concentrados na parte sul do município de Nazária e Teresina, ocupando área de 92 km² (3,39%) sobre terrenos da Formação Pedra de Fogo, Planossolo Háplico Distrófico, no nordeste de Altos com área de 52,5 km² (1,93%), sobre as formações Poti e Longá, Neossolo Litólico Distrófico (RLd), no sul do município de Altos, e Neossolo Flúvico Ta Eutrófico (RYve), margeando o rio Parnaíba no município de Teresina. Ambos estão sobre terrenos da Formação Piauí e Aluviões Holocênicos, cobrindo área de 19,2 km² (0,71%) e 23,3 km² (0,86%), respectivamente.

Os Chernossolo são solos profundos com presença de horizonte B textural bruno avermelhado, bem desenvolvido, logo abaixo do horizonte A chernozênico, com argila de atividade alta. Possui textura argilosa e muito argilosa (EMBRAPA, 2018; LEPSH, 2010; MORAES, 2004).

Na área de estudo, este tipo pedológico recobre terrenos de quatro das seis unidades de relevo da área: Superfície Dissecada com Baixos Morros Residuais, Superfície Dissecada com Elevados Morros Residuais, os Baixos Planaltos Isolados pela Drenagem e Encostas Escarpadas. De acordo com Moraes (2004), apresentam drenagem moderada e seis meses de seca hidrológica, que assim como no caso dos Latossolo está relacionada ao período de estiagem local.

Em relação à morfometria, essa classe de solo abrange terrenos com variação topográfica de 76 a 196 metros de altitude e declividades mínima de 3% e máxima de 45%, em relevo suavemente ondulado, ondulado e fortemente ondulado, caracterizado pelo predomínio de elevados valores de rugosidade (alta e muito alta) em função da presença significativa de formas residuais com encostas íngremes, (morros e pequenos planaltos). Particularmente nos topos e encostas destas formas residuais este solo apresenta pedregosidade acentuada.

Apesar de ser um tipo de solo de elevado potencial agrícola, por ser bem estruturado, rico em húmus e de elevada fertilidade química (LEPSH, 2010), propiciando, do ponto de vista químico e biológico, condições ideais para o desenvolvimento das plantas, as características ambientais descritas acima, constituem-se fatores restritivos ao seu uso agrícola e de significativa vulnerabilidade à erosão. Na área de sua ocorrência, as atividades agrícolas estão limitadas ao relevo mais plano e onde a superfície do solo apresenta pouca ou quase nenhuma pedregosidade.

Os Planossolo Háplico Distrófico são solos minerais, de textura arenosa nos horizontes superficiais e argilosa e adensada nos horizontes subsuperficiais, definidos pelo horizonte A ou E (quando ocorre), que contrasta abruptamente com o horizonte B plânico. Apresentam-se imperfeitamente ou mal drenados, com baixa permeabilidade, formando em alguns casos horizonte endurecido ou cimentando quando seco (pã), que dificulta a infiltração de água, e em função disso, retém água acima do horizonte B, formando lençol d'água suspenso em um período do ano (EMBRAPA, 2018; JACOMINE, *et al.*, 1986a; LEPSH, 2010).

Como o próprio nome sugere, essa ordem de solos se desenvolve em ambientes de relevo plano. Na área de estudo, aparece como uma mancha contínua de solos com textura superficial arenosa, sobre terrenos planos e levemente inclinados, onde a declividade não ultrapassa 8% e a altitude varia 116 a 156 metros, em associação à vegetação típica de cerrado com carnaúba.

Em função das características texturais e estruturais, abruptamente contrastantes entre os horizontes, este tipo pedológico apresenta moderado potencial (vulnerabilidade) à erosão e restrição ao uso agrícola. Na área de estudo sua utilização está voltada para atividade de pecuária extensiva como a criação de bovinos e caprinos em pastagem natural, em função das características da vegetação local.

Os Neossolo, tanto os Litólicos Distróficos (RLd), quanto os FlúvicosTaEutrófico (RYve), são solos pouco desenvolvidos, sem horizonte B, definidos pelos constituintes minerais ou orgânicos e com profundidade que varia de rasa (Neossolos Litólico e Neossolo Regolítico), menor que 20 cm, a profunda (Neossolo Flúvico), com profundidade de 200 cm ou mais (EMBRAPA, 2018; LEPSH, 2010; MORAES, 2004).

Os Neossolo Litólicos apresentam horizonte A diretamente sobre a rocha, com textura média/arenosa, cascalho ou cascalhenta, dificultando, por vezes, a definição de sua estrutura (JACOMINE *et. al* 1986a). Na área de estudo, ocorrem em condições de relevo ondulado, fortemente ondulado e montanhoso, abrangendo uma sequência de morros e pequenos

planaltos residuais e a parte sul-sudeste do planalto principal da área de estudo, localizada no sul do município de Altos.

A outra subordem dos Neossolo, os Neossolo Flúvico, são solos de textura argilosa, silto-argilosa ou média, formados por sedimentos de deposições aluviais ou colúvio-aluvionar recentes. Apresentam horizonte A sobreposto a um horizonte C ou a camadas estratigráficas, com variações irregulares de granulometria e de outros atributos, sem possuírem entre si qualquer relação pedogenética (EMBRAPA, 2018; GUERRA; BOTELHO, 2001).

De maneira adversa aos Neossolo Litólicos, estes solos ocorrem em ambiente de relevo plano e suavemente ondulado, nas áreas de Planícies e Terraços Fluviais, ao longo das margens do rio Parnaíba e, de acordo com o estudo de Moraes (2004), também ao longo das margens do rio Poti e outros cursos d'água menor, do município de Teresina, como o riacho São Vicente.

Ainda segundo este autor, de um ambiente para outro, há uma diferença significativa na textura destes solos. Nas margens do Parnaíba predominam solos de textura média, enquanto aqueles que margeiam o rio Poti, apresentam variação textural de média a argilosa, influenciando no comportamento da drenagem, podendo ser bem ou imperfeitamente drenados, respectivamente. Isto ocorre porque estes dois rios encontram-se, no trecho da área estudada, com dinâmicas fluviais diferentes, estando o rio Parnaíba no seu médio curso e o Poti no seu baixo curso (LIMA, 2013).

Ambas as tipologias de Neossolo, apresentam alguma restrição ao uso, principalmente ao uso agrícola, e são vulneráveis à ocorrência de processos erosivos. Os primeiros, por serem solos de pouca espessura, com frequência de pedregosidade e situados em relevos íngremes ou muito íngremes, “facilitando o escoamento superficial, gerado pela saturação do solo, e em subsuperfície, na zona de contato solo-rocha” (GUERRA; BOTELHO, 2001, p. 190) e a inclinação do terreno.

Já os Flúvicos, embora apresentem condições de fertilidade natural e ambientais favoráveis aos diversos tipos de uso, inclusive o agrícola, o fato de serem solos de pouca maturidade (textura arenosa a pouco arenosa), onde predominam processos de morfogênese, eleva seu grau de vulnerabilidade à erosão. Além disso, são solos suscetíveis a inundações constantes (CREPANI *et al.*, 2008; GUERRA; BOTELHO, 2001; LEPSH, 2010), o que também restringe seu uso.

5.5 Características fisionômicas da vegetação

Nos municípios de Altos, Nazária e Teresina a vegetação é um dos elementos mais característicos da paisagem, tanto pela expressiva cobertura, quanto pela diversidade de tipos fisionômicos, que se expressam pela mistura e alternância de fisionomias, constituídas por faixas descontínuas, com transições às vezes bruscas entre elas, ou “interpenetrações de formações que conservam suas características ecológicas” (JACOMINE, 1986a, p. 49).

Do ponto de vista fitogeográfico, os três municípios e seu entorno, apresentam um complexo de formações fisionômicas, formadas por agrupamentos de espécies nativas do Cerrado, da Caatinga e de Floresta, caracterizando-se pela condição de transição morfoclimática definida por Ab’Saber (1967; 2003).

Na área dos municípios predominam fisionomias de Floresta e Cerrado, embora mescladas, em alguns setores, com interpenetrações de espécies da caatinga, formando fisionomia típica, como no caso da palmeira *Copernicia prunifer* (Carnaúba), espécie nativa da Caatinga (NOGUEIRA, 2009), que aparece em forma de agrupamentos densos (carnaubais) entremeados em área de Cerrado Arbustivo-Arbóreo, na porção leste do município de Altos.

Como se verifica, no mapa 12, foi possível identificar a ocorrência de dois subtipos (classes) fisionômicos de Floresta e três de Cerrado, conforme os critérios estabelecidos neste estudo (especificados no capítulo Procedimentos Metodológicos): Floresta Dicótilo-Palmácea (Babaçual) e Floresta Estacional Semidecidual Submontana, Cerrado Arbustivo-Arbóreo com Carnaubais, Cerrado Arborizado com Palmeiras e Cerrado Arborizado sem Palmeiras.

As fisionomias de Floresta recobrem 42,29% do território dos municípios, ocupando área equivalente a 1.155,62 km² (Tabela 8). Aparecem em quase toda a extensão da área, particular mente nas porções centro-norte do município de Teresina e oeste do município de Altos.

Tabela 8-Quantificação percentual das classes de Vegetação

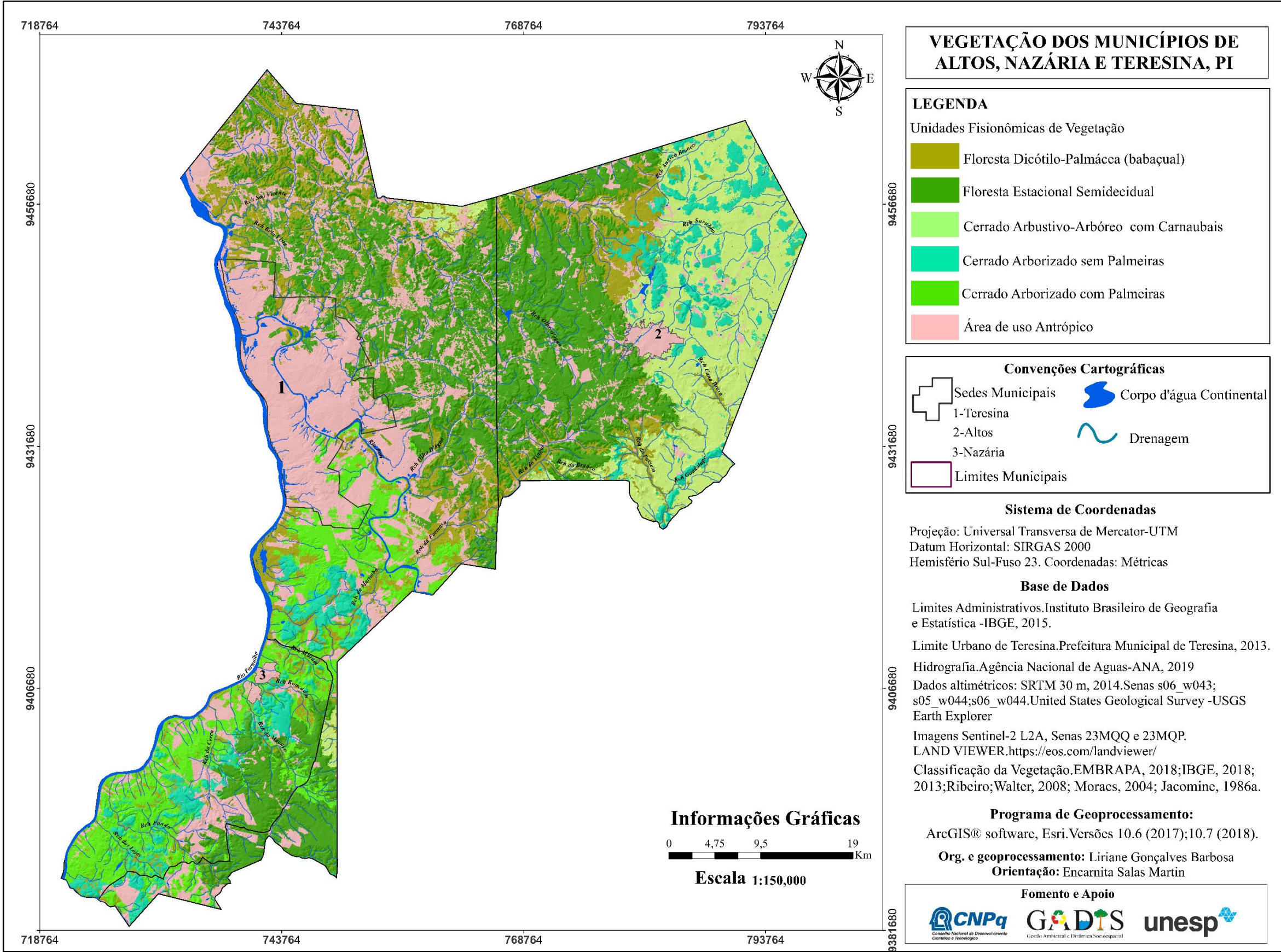
Nome da Unidade	Área km²	Cobertura (%)
Cerrado Arbustivo-Arbóreo com Carnaubais	377,53	13,81
Cerrado Arborizado com Palmeiras	263,19	9,63
Cerrado Arborizado sem Palmeiras	188,19	6,89
Floresta Dicótilo-Palmácea	376,61	13,78
Floresta Estacional Semidecidual Submontana	779,01	28,51
Outros Componentes Fisiográficos		
Área de Uso Antrópico	694,66	25,42
Corpo d'água Continental	53,61	1,96
Área total	2,732,79	-----

Fonte: Pesquisa Direta. **Base de Cálculo:** ArcGis (2018). **Base de dados:** IBGE (2013; 2018) e LAND VIEWER -Sentinel2 (2018). **Organização:** BARBOSA L.G. **Orientação:** MARTIN, E.S.

Enquanto a Floresta Estacional Semidecidual Submontana aparece concentrada em duas faixas contínuas, no centro-norte e sul da área de estudo, a Floresta Dicótilo-Palmácea, ocorre de forma fragmentada em manchas densas ou em polígonos dispersos, formados por pequenos grupos de indivíduos, em meio às demais fisionomias, tanto de Floresta Semidecidual quanto de Cerrado.

Individualmente, a Floresta Estacional Semidecidual Submontana é a mais representativa dos cinco tipos fisionômicos identificados, representando 28,51% da cobertura dos municípios. De outra parte, a Floresta Dicótilo-Palmácea (babaçual), responde pela cobertura de 13,78% (376,61 km²) da área e, como se verifica no mapa, as áreas onde ocorre a maior concentração de suas manchas, estão localizadas nas porções noroeste do município de Altos e norte de Teresina. O município de Nazária apresenta fragmentos dispersos, relativamente pequenos.

Mapa 12-Vegetação dos municípios de Altos, Nazária e Teresina



Base de Dados: EMBRAPA (2018), IBGE (2013; 2018), Jacomine (1986a), LAND VIEWER -Sentinel2 (2018), Moraes (2004) e Ribeiro e Walter (2008). Org.: BARBOSA, L.G., 2019. Elaboração: BARBOSA, L.G. Orientação: MARTIN, E.S.

Conforme descrito no quadro 11, tanto a Floresta Estacional Semidecidual Submontana, quanto a Floresta Dicótilo-Palmácea (babaçual), são formações secundárias, caracterizadas pelo predomínio do estrato arbóreo. Contudo, a primeira apresenta maior diversidade florística em todos os estratos, enquanto a segunda, quanto mais densa menor é sua diversidade, em função do domínio expressivo do Babaçu.

Os estudos de Lima *et al.* (2013) e Barbosa (2015), realizados em áreas específicas da Floresta Estacional Semidecidual Submontana, demonstraram uma variedade de espécies típicas de diferentes domínios fitogeográficos, como Cerrado, Caatinga e florestas decíduais, (Amazônia e Mata Atlântica).

Em campo, durante a realização dos inventários da pesquisa, foi possível verificar a presença de exemplares arbóreos destes domínios: a *Copaífera duckel* (Copaíba) da Floresta Amazônica e Mata Atlântica, a *Riodocea pulcherrima* (Jenipapo) da Mata Atlântica, a *Inga umbellifera* (Ingá de Macaco), da Amazônia, a *Secondatia floribunda* (Catubaba) do Cerrado e da Caatinga, a *Sterculia striata* (Xixá do Cerrado) e a *Hymenacea courbaril* L. (Jatobá) do Cerrado etc.

Em relação às características geoecológicas do ambiente de ocorrência dessa fisionomia, ela recobre áreas de Latossolo Amarelo e Plintossolo Pétrico, sobre as formações Pedra de Fogo e Piauí, na maior parte da área e, a Formação Corda, no oeste de Nazária e sul de Teresina, em relevo plano, ondulado e fortemente ondulado, onde as cotas altimétricas variam de 76 a 283 metros. Ocorre nos topos das maiores elevações da área, mas também nos vales e encostas, por vezes, se misturando aos babaçuais.

A Floresta Dicótilo-Palmácea (babaçual), embora apresente outros tipos de palmáceas (quadro 9) e espécies arbóreas, arbustivas e herbáceas, se define pela alta concentração de indivíduos da palmácea *Orbignyaspeciosa* (Babaçu). Os indivíduos desta espécie, por sua vez, ocorrem tanto como formação densa, formando babaçuais (manchas densas), como de forma isolada, dispersa e misturada às espécies das demais formações.

De maneira geral, a Floresta Dicótilo-Palmácea (babaçual), se distribui de forma descontínua, formando babaçuais, em meio às demais fisionomias, principalmente nas áreas de vales e planícies dos cursos d'água, chegando a ocupar até a meia vertente das encostas menos íngremes e, eventualmente os topos de morros, onde os “solos são em geral arenosos e com elevado índice de umidade” (SILVA; ARAÚJO; BARROS, 2015, p. 53).

Quadro 11- Descrição geral das classes de Vegetação

Unidades Fisionômicas	Características Gerais
Cerrado Arbustivo-Arbóreo com Carnaubais 	Fisionomia de Cerrado, caracterizada pela ocorrência predominante de vegetação típica do bioma Cerrado, mesclada com carnaubais (<i>Copernicia prunifer</i> -Carnaúba) e outras espécies de palmeira como a <i>Bactris vulgaris</i> (Tucum), e a <i>Acrocomia aculeata</i> (Macaúba), formando um complexo fisionômico onde a vegetação se apresenta em manchas ou capões, alternadas por campos de carnaubais com pastagem natural e, matas de galeria, formando corredores ao longo dos riachos. A estrutura da vegetação apresenta duas divisões estratigráficas bem marcadas: uma arbórea/arbustiva, constituída por espécies e indivíduos com altura máxima de 5 a 7 metros e, de 9 a 12 metros no caso das palmeiras, e uma segunda herbácea/subarbustiva, predominantemente, composta por ervas e gramíneas, que formam pastagens naturais. Excetuando as áreas de mata de galeria e dos capões, onde a copa dos indivíduos de maior porte chega a se tocar, o dossel dessa formação é aberto e descontínuo. O estrato arbóreo/arbustivo apresenta indivíduos com ramificação irregular, muitos com folhas grandes e endurecidas e caules e galhos tortuosos.
Cerrado Arborizado com Palmeiras 	Fisionomia característica de Cerrado, formadas por elementos do Cerrado, com mistura de espécies de floresta (da Caatinga arbórea, Cerradão, Floresta Amazônica e Mata Atlântica) e palmeiras Babaçu, Macaúba, Buriti e Carnaúba, que não chegam a formar manchas densas e contínuas. A vegetação apresenta estrato arbóreo com porte elevado para esse tipo de fisionomia, variando em média de 7 a 10 metros. Além do porte arbóreo mais elevado, em relação à fisionomia anterior, a vegetação dessa unidade fisionômica, apresenta maior densidade de cobertura e maior continuidade do dossel e está estruturada pelos estratos herbáceo/subarbustivo, arbóreo e arbustivo, sendo este último dominante.
Cerrado Arborizado sem Palmeiras 	Fisionomia também característica de Cerrado, formada majoritariamente por espécies deste bioma, que ocupa áreas de morros e alguns planaltos residuais, diferenciando-se das demais, pela ausência de palmáceas. Apresenta em geral, dossel com copas semifechadas que chegam a se tocarem, embora não formem um dossel densamente fechado. Predomina o estrato arbóreo/arbustivo, com a ocorrência expressiva de indivíduos com troncos múltiplos, formando grandes touceiras, que dificulta em alguns setores o desenvolvimento de espécies do estrato herbáceo/arbustivo. Estas quando verificadas, estão em pequenas clareiras.
Floresta Dicotílo-Palmácea (babaçal) 	É um tipo de formação secundária, formada por palmáceas, caracterizada pela alta concentração da espécie de palmácea <i>Orbignyaspeciosa</i>(Babaçu)²⁵, com eventual ocorrência de outras palmáceas como a <i>Bactris vulgaris</i> (Tucum), a <i>Acrocomia aculeata</i> (Macaúba) e a <i>Mauritia flexuosa</i> (Buriti).Apresenta uma capacidade alta para se regenerar, sendo uma espécie pioneira e dominante em áreas degradadas, onde antigas formações, principalmente florestais, foram desmatadas. A estrutura interna dessa formação vegetal é formada basicamente por um estrato arbóreo, formado pelas palmeiras adultas e outro arborescente, constituído pelaspalmeiras jovens (pindobas e palmiteiros), em áreas de maior densidade. Noutras áreas menos densas, além dos mencionados acima, formam um estrato herbáceo/subarbustivo, constituído por algumas ervas, mas principalmente gramíneas e um estrato arbóreo/arbustivo que apresentam elementos de outras espécies vegetais, arbóreas e arbustivas.
Floresta Estacional Semidecidual Submontana 	É uma formação secundária, constituída por um agrupamento de indivíduos e espécies de floresta, predominantemente arbóreos, com caules eretos e lenhoso, troncos acima de 5 metros e, altura superior a 10 metros, podendo chegar a 25 metros. Apesar do estrato arbóreo ser predominante, nas áreas de sua ocorrência, a estrutura interna da vegetação é composta por uma variedade de hábitos, representados por espécies herbáceas (ervas e gramíneas), subarbustos, arbustos e lianas (cipós). Parte do estrato arbóreo é envolvido por cipós lenhosos (lianas), que crescem apoiados nas outras árvores até atingir a luz no dossel da floresta, formando um emaranhado de galhos, que muitas vezes dificulta a identificação da copa das árvores.

Fonte:Pesquisa Direta, Jacomine (1986a), Moraes (2004) e Ribeiro e Walter (2008). Org. e Elaboração: BARBOSA L.G. Orientação: MARTIN, E.S.

²⁵A *Orbignya speciosa*(Babaçu), é uma palmeira arbórea que cresce de 10 a 30 metros de altura, com caule (tronco) ereto, na forma de coluna, formando copa de mais ou menos 10 metros de circunferência, constituída por folhas do tipo “pinadas e palmadas” (SILVA; ARAUJO; BARRROS, 2015), popularmente denominadas de palhas, que chegam a medir entre 5 a 8 metros.

Os babaquais apresentam-se ora como formação densa, com indivíduos muito próximos entre si, formando um dossel contínuo, com pouca ou quase nenhuma ocorrência de outras espécies, exceto subarbustos e herbáceos que crescem com pouca luz, ora de forma aberta, entremeados por outras espécies arbóreas como a *Anadenathera colubrina* (Angico Branco), a *Hymenacea courbaril* L. (Jatobá) etc., lianas, arbustos e plantas herbácea-rasteira.

Já os subtipos de Cerrado, representam 30,33% de cobertura, correspondendo a uma área de 828,91 km², sendo a unidade Cerrado Arborizada com Carnaubais, a mais representativa das três fisionomias, com 377,53 km² (13,81%) de área e, o Cerrado Arborizado sem Palmeiras, a fisionomia que ocupa o menor percentual de área, 6,89% (188,19 km²).

As fisionomias do Cerrado estão concentradas nas porções leste do município de Altos, centro-sul e sul do município de Teresina, na maior parte do município de Nazária²⁶ e em uma pequena mancha no extremo nordeste de Teresina. São unidades vegetais que, embora partilhem de características fisionômicas comuns, se individualizam pela presença ou ausência de elementos florísticos e estrutura fisionômica típica, conforme descritos no quadro 11.

A mais típica das três fisionomias é a de Cerrado Arbustivo-Arbóreo com Carnaubais. Formada por uma mistura de Cerrado arbóreo/arbustivo aberto, em forma de capões e grandes moitas, com graminóides (pastagem natural), mata galeria e carnaubais, esta fisionomia se desenvolve em ambiente de características peculiares, constituído por superfície de relevo “aplainada com presença de áreas deprimidas, que por vezes formam lagoas temporárias” (JACOMINE, *et al.*, 1986a, p.48). Em muitos casos, no entorno desses capões se formam depósitos de sedimentos finos e arenosos em forma de meia lua, coberto apenas por vegetação herbácea.

De maneira geral, as três fisionomias de Cerrado apresentam elementos florísticos comuns, com destaque para as espécies *Parkia pendula* Benth (Faveira-de-bolota) e *Curatella americana* L. (Simbaíba, lixeira, cambarba), bem características deste domínio. Contudo, a frequência com que essas e outras espécies aparecem, varia de uma fisionomia para outra.

Por exemplo, a *Salvertia convallariae odora* (Colher-de-vaqueiro, bananeira-do-campo, folha-larga, pau-de-arara) e a *Caryocar brasiliense* (Pequizeiro) são verificadas com maior frequência no sul da área de estudo, principalmente no município de Nazária, enquanto a

²⁶ Estudos como de Brasil (1973), Jacomine *et al.* (1986a) e Moraes (2004) apontam a ocorrência dessa fisionomia também em outras áreas, localizadas no norte do município de Teresina. Contudo, essa ocorrência não possível ser verificada neste mapeamento.

Annonacrassifolia (Araticum-do-cerrado/Bruto) e a *Psidium firmum* (Araçá-do-cerrado) são mais comuns no leste de Altos, na fisionomia Cerrado Arborizado com Carnaubais.

Por outro lado, há espécies que só foi possível observar em uma ou noutra fisionomia. É o caso das espécies *Solanum americanum* (Maria preta), *Tapirira guianensis* (Pau pombo) e *Callesthele fasciculata* (Capitão de Campo), verificadas somente nas unidades de Cerrado Arborizado com Palmeiras e Cerrado Arborizado sem Palmeiras e, da *Andiraspa* (Alecrim), *Mouriri surinamensis* (Creolí), *Anacardium occidentale* L. (Cajuí), encontradas com certa abundância em alguns setores da unidade de Cerrado Arborizado com Carnaubais.

Na área de estudo, as fisionomias de Cerrado se desenvolvem praticamente sobre todas as tipologias mapeadas na área, Plintossolo Argilúvico e Pétrico, Latossolo Amarelo, Planossolo Háptico, Neossolo Litólico e Chernossolo Argilúvico, em terrenos das formações Piauí, Poti, Longá, Corda e das Coberturas Detrito-Lateríticas Paleogênica e, em relevo plano e suavemente ondulado.

5.6 Uso e Cobertura da Terra

Como evidenciado no item anterior, os remanescentes de vegetação nativa, de formação florestal e campestre, são um dos elementos mais expressivos da paisagem nos municípios de Altos, Nazária e Teresina, constituindo cobertura estimada em quase dois mil quilômetros (1,973,39), de acordo os cálculos feitos para essa pesquisa. Em termos percentuais isto equivale a mais de 70% (72,21%) da cobertura da terra da área como um todo.

São coberturas que apresentam predomínio de superfícies e estruturas naturais e onde se desenvolvem atividades como o extrativismo vegetal e a pecuária extensiva. Esta última atividade mais facilmente observada nas áreas de vegetação campestre, na porção leste do município de Altos.

A cobertura de vegetação campestre é constituída por um tipo de vegetação aberta, fisionomicamente de cerrado, caracterizada pela formação de um estrato herbáceo-rasteiro formado por gramíneas muito aproveitado para o pastoreio dos animais, principalmente bovinos e caprinos.

Nesta área também se destaca o aproveitamento da palha da Carnaúba²⁷ (extrativismo vegetal) para a produção de cera. Um produto largamente utilizado em diversos setores da indústria, como a indústria automotiva, farmacêutica, de cosméticos, de construção civil etc., na fabricação de tintas, medicamentos, pisos, polimentos, alimentos e outros.

A atividade extrativista local também é comum nas áreas de babaquais, em que o aproveitamento desse vegetal é feito de diversas maneiras e para diferentes finalidades²⁸. A mais comum delas é a extração da amêndoa para a produção de óleo, de forma artesanal ou industrial.

As demais coberturas somam 27,79% (759,4 km²), destacando-se entre estas, as classes de Uso Diversificado, Área Artificial e Área Agrícola/Pastagem com maior cobertura de área, 8,44% (230,65 km²), 8,24% (225,32 km²) e 7,83% (214 km²), respectivamente. As classes com menor percentual de cobertura/ocupação são a Silvicultura e a Piscicultura, com 0,21% e 0,25%, correspondendo a 12,59 km² de área (Tabela 9).

Tabela 9-Quantificação percentual das classes de Uso e Cobertura da Terra

Classe de Uso e Cobertura	Área km²	Cobertura (%)
Área Agrícola/Pastagem	214	7,83
Área Artificial	225,32	8,24
Área de Mineração/Solo Exposto	12,12	0,44
Área Descoberta	10,87	0,40
Corpo d'água Continental	54,03	1,88
Piscicultura	6,77	0,25
Silvicultura	5,82	0,21
Vegetação Campestre	366,73	13,42
Vegetação Florestal	1606,66	58,79
Uso Diversificado	230,65	8,44
Área total	2,732,79	-----

Fonte: Pesquisa Direta. **Base de Cálculo:** ArcGis (2018). **Base de dados:** IBGE (2013; 2018) e LAND VIEWER -Sentinel2 (2018). **Organização:** BARBOSA L.G. **Orientação:** MARTIN, E.S.

²⁷O extrativismo da carnaúba e a produção do pó das palhas para a fabricação de cera industrial é uma das principais atividades econômicas do Estado do Piauí, sendo este o maior produtor deste tipo de produto no país, de acordo com dados do IBGE (2019).

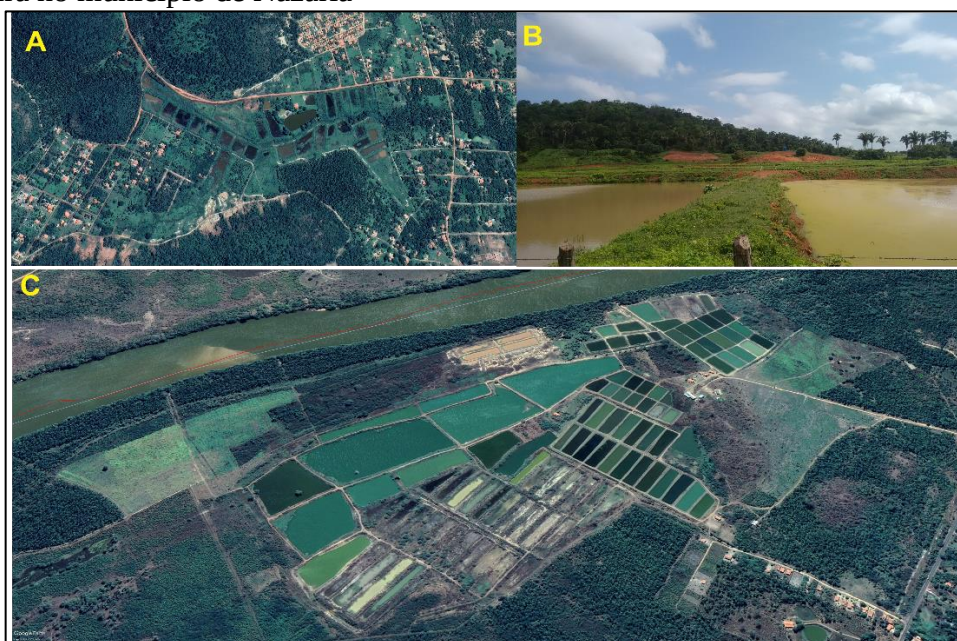
²⁸Artesanalmente o aproveitamento do Babaçu é feito produção de azeite de cozinha, bastante utilizado na culinária local, de carvão, artesanato, móveis etc. Aproveita-se ainda o adulto das palmeiras mortas nos canteiros de hortaliças. Industrialmente são aproveitados os frutos, na produção de óleos de cozinha (o tradicional e refinado), azeite extra virgem, ração animal, biomassa para queima, açúcar orgânico, gases combustíveis, biodiesel, etc.

Com exceção da classe Silvicultura, que aparece somente em Teresina, concentrada em quatro áreas ao sul e ao norte, e Área Descoberta, que ocorre concentrada no município de Altos, as demais classes estão distribuídas nos três municípios, constituindo áreas maiores ou menores, conforme podem ser observadas no mapa 13, onde estão relacionadas e espacializadas as classes de uso e cobertura identificadas.

No município de Altos foram identificados os menores fragmentos de áreas ocupadas, que no mapa constam como Uso Diversificado. Isto se deve ao fato deste município apresentar grande extensão de área com baixa densidade populacional e com ocorrência de atividades econômicas associadas às coberturas vegetais, como o extrativismo vegetal e a pecuária extensiva, principalmente na sua porção leste, contribuindo para a ocorrência de superfícies antrópicas pequenas e dispersas, que não chegam a formar unidade mínima mapeável.

No município de Nazária a maior ocorrência de usos e coberturas antropizadas está relacionada a atividades agrícolas e pecuárias. Contudo, o município se destaca também pela maior concentração de superfícies com estruturas instaladas para a atividade de Piscicultura (figura 13), que se desenvolve de forma extensiva e intensiva nas áreas próximas aos leitos do rio Parnaíba e de riachos, conforme descreve o quadro 12.

Figura 13- Fotografia e imagens de satélite com vista panorâmica de áreas de tanques de piscicultura no município de Nazária



A: Vista panorâmica de área de piscicultura abandonada, próxima à cidade de Nazária. **B:** Tanques de piscicultura. Extração de massará/seixo na sul da cidade de Teresina. **C:** Vista panorâmica de área de piscicultura no povoado Bananeira, no município de Nazária, com destaque para o Rio Parnaíba acima. **Fonte:** Google Earth (2019) e Sousa (2019).

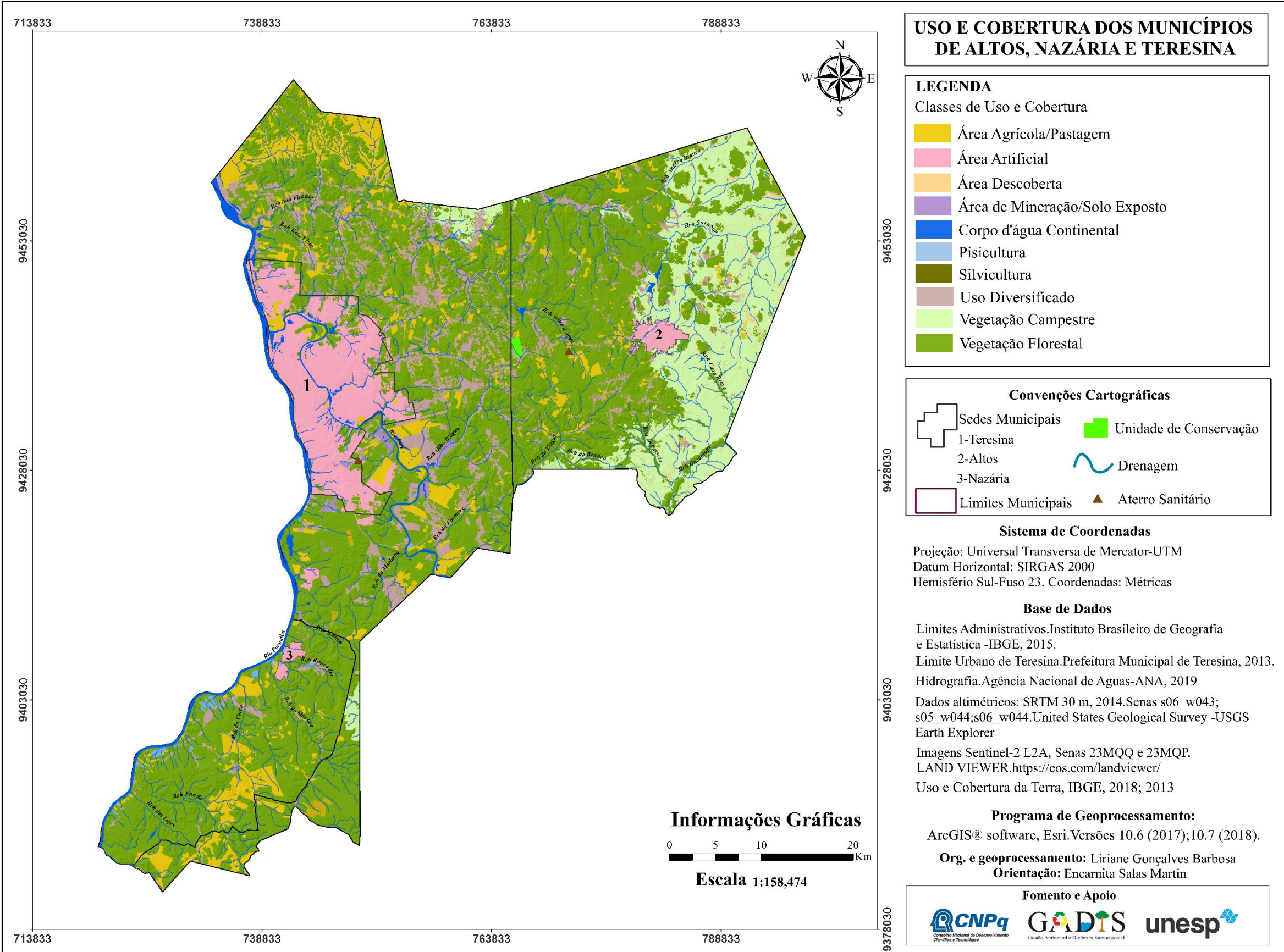
Quadro 12-Descrição geral das classes de Uso e Cobertura da Terra

Classes de Uso e Cobertura da Terra	
Classes	Descrição
Área Agrícola/Pastagem	Áreas caracterizadas pela ocorrência de lavouras temporárias e permanentes, irrigadas ou não, voltadas para produção de alimentos em grandes e pequenas propriedades, como as culturas de cana, caju, manga e coco-da-baía etc. Essa classe é constituída ainda pelas áreas em que os usos são voltados para a pecuária, onde se realiza o cultivo de gramíneas para o pastoreio do gado, caprinos e outros animais, excluindo-se aquelas coberturas de pastagem natural, como as que ocorrem na área de vegetação campestre no município de Altos.
Área Artificial	Corresponde as áreas urbanas dos municípios, incluindo além das três sedes municipais um núcleo urbano isolado do município de Teresina, o povoado Cerâmica Cil. São áreas onde predominam superfícies artificiais, destacadamente a cidade de Teresina.
Área Descoberta	Formada por pequenas áreas onde ocorrem processos erosivos físicos, caracterizados pela desagregação mecânica da estrutura litológica em blocos e seixos de diversos tamanhos e formatos, que se misturam ao solo local formando depósitos coluvionares em forma de semicírculo na base das encostas, contornando alguns morros e pequenos planaltos residuais no leste do município de Altos.
Corpo d'água Continental	Inclui todos os corpos d'água identificados durante a classificação das feições de uso e cobertura dos municípios, como os dois rios principais, pequenos riachos na área urbana ou periferia urbana de Teresina, as lagoas naturais e alguns pequenos lagos represados.
Área de Mineração/Solo Exposto	Caracterizada por áreas onde o solo está exposto ou a terra descoberta de coberturas antrópicas ou naturais. A maior parte em função de atividades de mineração, seja para a extração ou beneficiamento mineral. Estão localizadas, principalmente, em áreas no entorno dos bairros periféricos da cidade de Teresina, próximo às margens e nos leitos dos rios Poti e Parnaíba. Neste último caso, ocorre ainda margeando o rio ao longo do sul de Teresina e no município de Nazária, ocorrendo associadas ao polo de Indústrias Cerâmicas para o fabrico de materiais para construção civil. As atividades de mineração se caracterizam pela extração e beneficiamento de areia, seixo, argila e massará, para atender os setores da construção civil e de artesanato. A extração desses minerais ocorre de forma intensa em áreas de terraços fluviais, nos topos de pequenas elevações tabulares em forma de “baixos planaltos” (VIANA, 2013), vulgarmente denominados de “barreiros” (SALES 2015; VIANA, 2013) e por dragagem, nos leitos dos próprios rios.

Classes de Uso e Cobertura da Terra	
Classes	Descrição
Piscicultura	A classe Piscicultura é caracterizada pelas áreas ocupadas por concentrações de tanques de criação de peixes e alevinos, ativos ou abandonados, geralmente margeando rios e riachos para aproveitamento de suas águas. É observada mais expressivamente no município de Nazária onde há a maior concentração de estruturas construídas para esse fim.
Silvicultura	São pequenas áreas com plantios florestais de espécies exóticas como a <i>Eucalyptus</i> (Eucalipto), que correspondem a 0,21% da área estudada e aparecem concentradas no município de Teresina. São plantações destinadas à extração de madeira para lenha e produção de carvão vegetal.
Uso Diversificado	É caracterizado por uma associação de usos e coberturas mistas muito próximas umas das outras para serem individualizadas e mapeadas. Inclui áreas de usos agrícolas diversos, em pequena escala, pequenas áreas de pastagem, associadas ou não a ocupações rurais e a remanescentes de vegetação nativa onde não foi possível fazer a individualização de seus componentes. Inclui, ainda, pequenos distritos rurais, localmente denominados de povoados, condomínios rurais, sítios e chácaras com plantios de quintal, geralmente de frutas, como caju e manga, em meio aos remanescentes florestais ou de cerrado, e instalações fabris, de processamento de ração animal, castanha de caju, de material de para construção civil, dentre outros. Embora, em alguns setores dos municípios essa classe de uso e cobertura seja representada por uma concentração expressiva de superfícies artificiais, como edificações e vias de acesso, em conjunto, estas ainda são áreas formadas em sua maior parte por elementos naturais, se constituindo de áreas com forte interferência antrópica não artificiais.
Vegetação Campestre	Classe formada pelo predomínio de cobertura vegetal nativa do tipo Cerrado Arbustivo-Arbóreo com Carnaubais, composta por espécies vegetais arbustivas e expressiva ocorrência de gramíneas na composição no estrato herbáceo/subarbustivo, formando pastagem natural. As principais atividades desenvolvidas nesta cobertura são a agricultura extensiva, fazendo o aproveitamento da vegetação herbácea rasteira, e o extrativismo vegetal da palha da carnaúba.
Vegetação Florestal	Corresponde à área coberta por remanescentes florestais das fisionomias de vegetação nativa descritas no item anterior: Cerrado Arborizado com Palmeiras, Cerrado Arborizado sem Palmeiras e as duas fisionomias de Floresta mapeadas: Floresta Estacional Semidecidual Submontana e Floresta Dicotilo-Palmácea.

Fonte: Pesquisa Direta, Sales (2015) e Viana (2013). **Org. e Elaboração:** BARBOSA L.G. **Orientação:** MARTIN, E.S.

Mapa 13-Uso da e Cobertura da Terra dos municípios de Altos, Nazária e Teresina



Base de Dados: EMBRAPA (2018), IBGE (2013; 2018), Jacomine (1986a), LAND VIEWER -Sentinel2 (2018), Moraes (2004) e Ribeiro e Walter (2008). Org. e Geoprocessamento: BARBOSA, L.G., 2019. Elaboração: BARBOSA, L.G. Orientação: MARTIN, E.S.

O município de Teresina é o que apresenta a maior extensão de áreas sob a interferência antrópica. Encontram-se Áreas Artificiais, estruturadas por edificações e sistema viário e de serviços e áreas não artificiais, apresentando maior ou menor interferência antrópica, e que não se caracterizam como artificiais, como as áreas agrícolas e de pastagem, por exemplo.

De maneira geral, os municípios apresentam áreas com uso antrópico inconsolidado, sendo a classe de Uso Diversificado a que mais representa esse tipo de uso na área de estudo. Essa tipologia se caracteriza por uma associação de feições onde ocorrem usos múltiplos da terra, conforme pode ser observado na descrição do quadro 12.

Nas áreas agrícolas se desenvolvem tanto culturas permanentes, como banana, caju, manga, coco-da-baía, laranja, tangerina, goiaba e maracujá (IBGE, 2014), quanto culturas temporárias, com destaque para a cana, voltada para produção de açúcar e álcool em larga escala. As áreas de cultivo de cana caracterizam e tipificam a paisagem no extremo norte do município de Teresina, onde ocupam grande extensão de área, formando cobertura homogênea alternada em a vegetação nativa.

A imagem a seguir, da figura 14, mostra as manchas na paisagem formadas pelas plantações da cana, intercaladas com os fragmentos de remanescentes de vegetação nativa. Na fotografia D da figura 15 também é possível visualizar uma área de cultivo de cana em meio a vegetação nativa de Babaçu. Essa figura apresenta ainda fotografias de áreas de pastagem natural e cultivada em fisionomias de cerrado, Floresta de Babaçu e Floresta Semidecidual.

Figura 14-Imagem aérea de plantação de cana no extremo norte de Teresina



Fonte: Google Earth, 2019.

Figura 15-Fotografias mostrando áreas de pastagem cultivada e natural nos municípios de Altos e Nazária e cultivo de cana no município de Teresina.

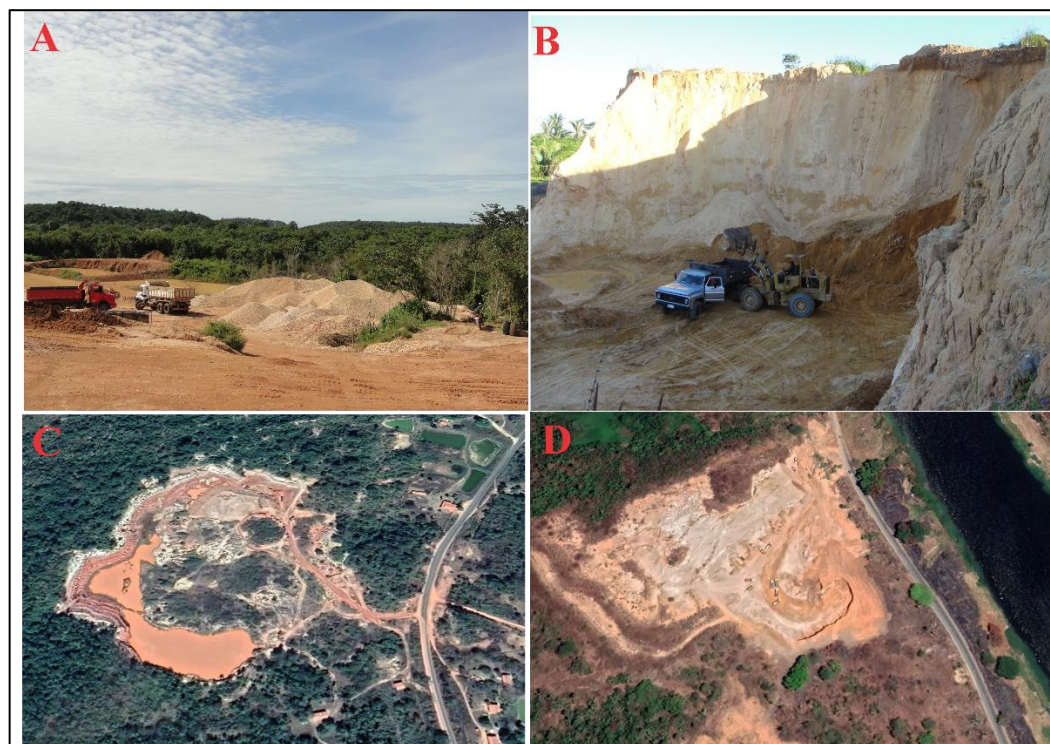


A: Cultivo de pastagem no município de Nazária, em área de Floresta Dicótilo-Palmácea (Babaçual). **B:** Pecuária extensiva em área de pastagem natural no leste do município de Altos, em área de vegetação Cerrado. **C:** Cultivo de pastagem em área de Floresta Estacional Semidecidual Submontana na divisa dos municípios de Altos e Teresina. **D:** Cultivo de cana em área no norte do município de Teresina, com destaque para Babaçual ao fundo. **Fonte:** Pesquisa direta e Sousa (2019).

Embora apresente cobertura pouca expressiva, com pouco mais de 12 km² (0,44%) de área mapeada, a classe Área de Mineração/Solo Exposto é uma das mais significativas nos municípios estudados, tanto do ponto de vista econômico quanto ambiental, em função de ser um tipo de uso decorrente de atividades de extração e beneficiamento mineral que, se caracteriza como uma atividade fortemente impactante, tanto do ponto de vista econômico, como ambiental, positivos e negativos.

As atividades de extração mineral ocorrem destacadamente nos municípios de Nazária e Teresina, em áreas de depósitos minerais formados por rochas das formações Pedra de Fogo e Piauí, excetuando a extração de areia, que ocorre em leito fluvial formado por sedimentos de natureza geológica diversificada, os Aluviões Holocênicos. A figura a seguir, inclui fotografias e imagens de satélite mostrando vista panorâmica, extração e transporte de massará/seixos próxima a área urbana de Teresina e na área rural do município de Nazária.

Figura 16-Imagem de satélite com vista panorâmica de áreas de extração e fotografias de método de extração e transporte de massará/seixo nos municípios de Teresina e Nazária.



A:Extração e transporte de massará/seixo na zona norte da cidade de Teresina.**B:** Extração de massará/seixo na sul da cidade de Teresina.**C:** Vista panorâmica de área de extração no povoado Cabra, no sul do município de Nazária. **D:** Vista panorâmica de área de extração nas margens do Rio Poti, próximo ao bairro São Lourenço, na zona sul da cidade de Teresina.

Fonte: Google Earth (2019) e Viana (2011).

A atividade de mineração tem crescido nos últimos anos, principalmente, em função da expansão urbana da cidade de Teresina, impactando de maneira positiva no mercado de trabalho local, com a geração de emprego e renda, na melhoria das condições econômicas da população de baixa renda, direta ou indiretamente ligada ao ciclo produtivo da atividade. Contribui ainda para a melhoria das condições de moradia da classe social mais pobre, em função do acesso a materiais de construção civil mais baratos (VIANA, 2013).

Contudo, embora seja uma das atividades que mais movimenta a economia local, contribuindo com a geração de emprego e renda, quando considerada toda a cadeia produtiva, da extração da matéria-prima à comercialização dos produtos derivados, seja no setor da construção civil ou de artesanato, esta atividade está associada, à geração de uma variedade de impactos negativos, físicos, biológicos e sociais. Estudos locais têm apontado uma série desses impactos (PORTELA; BARROS, 2015; SALES, 2015; VIANA, 2013; DIAS, 2006).

Os principais deles incluem, segundo Sales (2015) e Viana (2013), processos erosivos e o assoreamento das áreas onde ocorrem as atividades de extração dos minerais, inclusive das

margens e leitos dos rios e riachos, alteração total ou parcial da flora nas áreas de extração, compactação do solo, afloramento do lençol freático, formação de depósitos de rejeitos, conflitos de uso do solo, desvalorização fundiária dos terrenos do entorno das áreas de exploração, degradação da paisagem e poluição dos cursos d'água.

6 ANÁLISE DAS INTERAÇÕES ESPACIAIS E SAZONAIS DA VEGETAÇÃO E DIAGNÓSTICO AMBIENTAL DA PAISAGEM DOS MUNICÍPIOS DE ALTOS, NAZÁRIA E TERESINA

Analisando de forma correlacionada as características individuais dos fatores geocológicos da paisagem dos municípios estudados, por meio do inventário geocológico apresentado no capítulo 5, nota-se que a vegetação é um dos principais elementos na composição da paisagem e, ao mesmo tempo, expressa através de suas características fisionômicas e funcionais, as variações da organização estrutural e do funcionamento geossistêmico da paisagem local. Suas propriedades funcionais, estruturais e dinâmicas, são indicadoras da evolução e dinâmica dessa paisagem.

A relação mais evidenciada ao longo da pesquisa foi entre vegetação e precipitação, que tipifica os aspectos fisionômicos e funcionais (dinâmica) da paisagem local em escala sazonal, sendo marcadamente caracterizada pela dupla estacionalidade climática e é, ao mesmo tempo, do ponto de vista funcional, reveladora de aspectos importantes da própria dinâmica morfológica da vegetação.

Os dados climáticos, apresentados no item 5.2, mostram uma dinâmica de distribuição bastante desigual de chuvas na região, determinada pela atuação de fatores climáticos regionais, já evidenciados em outros estudos, que tratam especificamente do tema (ANDRADE JUNIOR *et al.*, 2004a; 2004b; 2008; MENEZES; MEDEIROS; SANTOS, 2016).

Essa condição climática, claramente se reflete na dinâmica da vegetação, que em função da desigual disponibilidade hídrica ao longo do ano, apresenta variação sazonal de produtividade de biomassa, facilmente observada, *in situ*, pelas diferenças do dossel, nos dois períodos do ano. As imagens a seguir, da figura 17, se referem à uma mesma área característica da fisionomia de Floresta Estacional Semidecidual Submontana e mostra a diferença fisionômica da vegetação de um período para outro, tanto no dossel quanto no interior da floresta.

Com exceção das formações de palmáceas, cujas espécies constituintes são perenes, no período de estiagem, acentua-se o processo de caducifolia das plantas, reduzindo a cobertura, volume e massa do dossel. A maior parte dos indivíduos do conjunto vegetal perde parcialmente ou totalmente suas folhas, caracterizando uma paisagem completamente distinta daquela observada durante o período de chuvas.

Figura 17-Fotografias de variação sazonal da vegetação em fisionomia de Floresta Estacional Semidecidual Submontana no limite dos municípios de Altos e Teresina



Fonte: Pesquisa Direta

Os índices de vegetação NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada), SAVI (Índice de Vegetação Ajustado ao Solo) e CGI (Índice de Clorofila Verde) apresentados nas figuras 18 e 19, calculados para dois anos amostrais, 2006 e 2018, juntamente com seus respectivos valores máximos e mínimos, mostram em números e visualmente, essa variabilidade dinâmica.

Em todos os índices é possível observar redução dos valores máximos entre o período úmido e o seco, embora os cálculos para o primeiro semestre de 2006 tenham sido realizados em imagem referente a junho, mês de transição entre o período chuvoso e de estiagem, quando as taxas de evaporação e evapotranspiração²⁹ superam a taxa de precipitação e tem início a retirada hídrica do sistema.

A diferença entre os valores máximos de um período em relação a outro pode ser observada na tabela a seguir, onde verifica-se que essa diferença foi maior no ano de 2018 em todos os índices. O NDVI e CGI apresentaram diferenças maiores que o SAVI. Isso pode ser

²⁹Gráficos de balanço hídrico apresentados do capítulo 5.

explicado em função dos meses de referência dos cálculos. Abril é um dos meses mais chuvosos do ano, enquanto junho é um mês de transição para o período de estiagem e apresenta baixa ocorrência de chuvas.

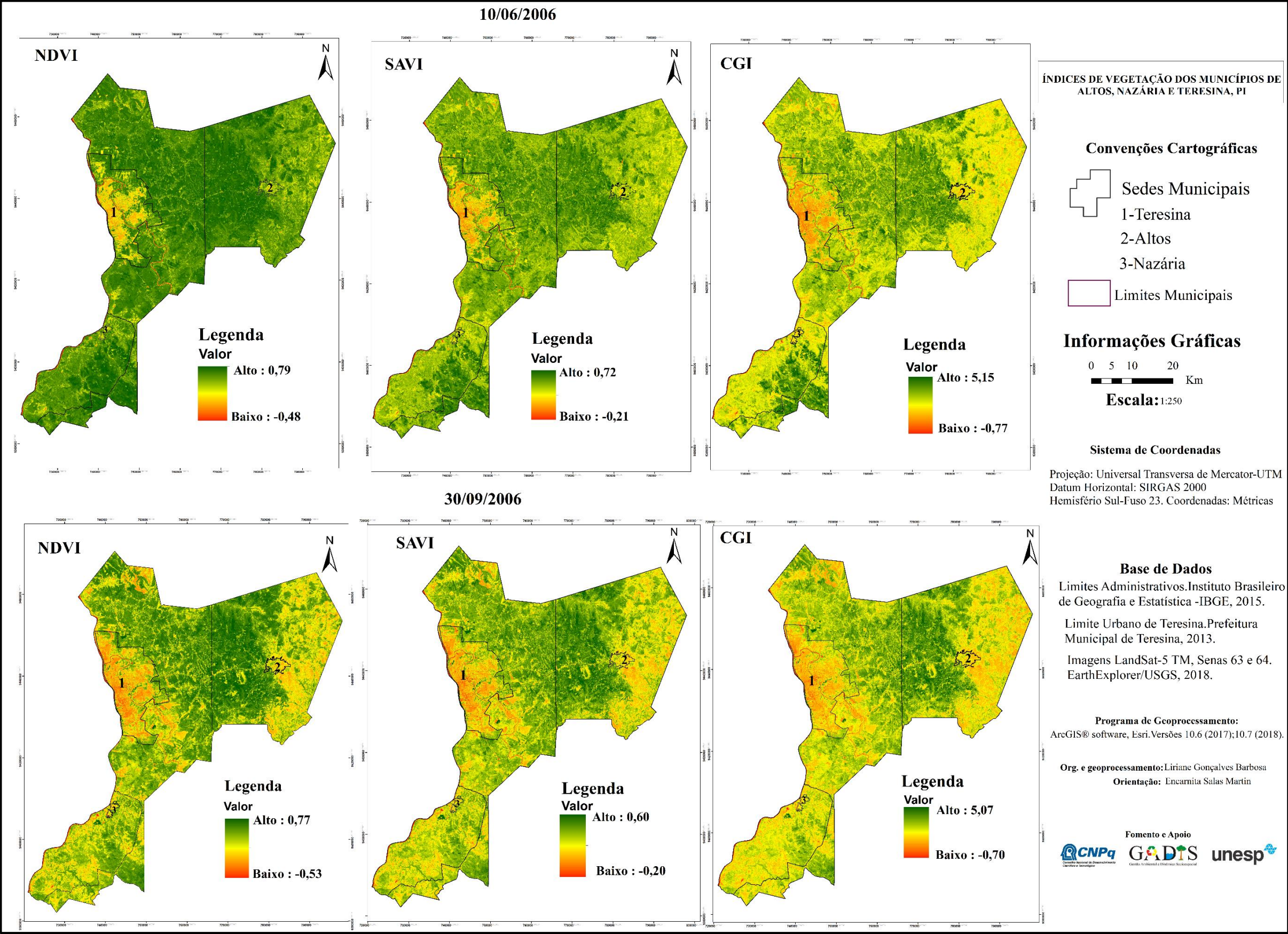
Tabela 10-Valores máximos e mínimos dos índices NDVI, SAVI e CGI nos anos de 2006 e 2018

Índices	Mês	Valores Máximos	Valores Mínimos	Diferença de valores entre os períodos
2006				
CGI	jun	5,15	-0,77	0,08
	set	5,07	-0,70	
NDVI	jun	0,79	-0,48	0,02
	set	0,77	-0,53	
SAVI	jun	0,72	-0,21	0,06
	set	0,60	-0,20	
2018				
CGI	abr	6,64	-1,16	0,86
	nov	5,78	-0,68	
NDVI	abr	0,87	-1,59	0,12
	nov	0,81	-0,45	
SAVI	abr	0,74	-0,29	0,03
	nov	0,70	-0,19	

Base de Dados:Earth Explorer/USGS (2018). **Org.:** BARBOSA, L.G., 2019. **Orientação:** MARTIN, E.S

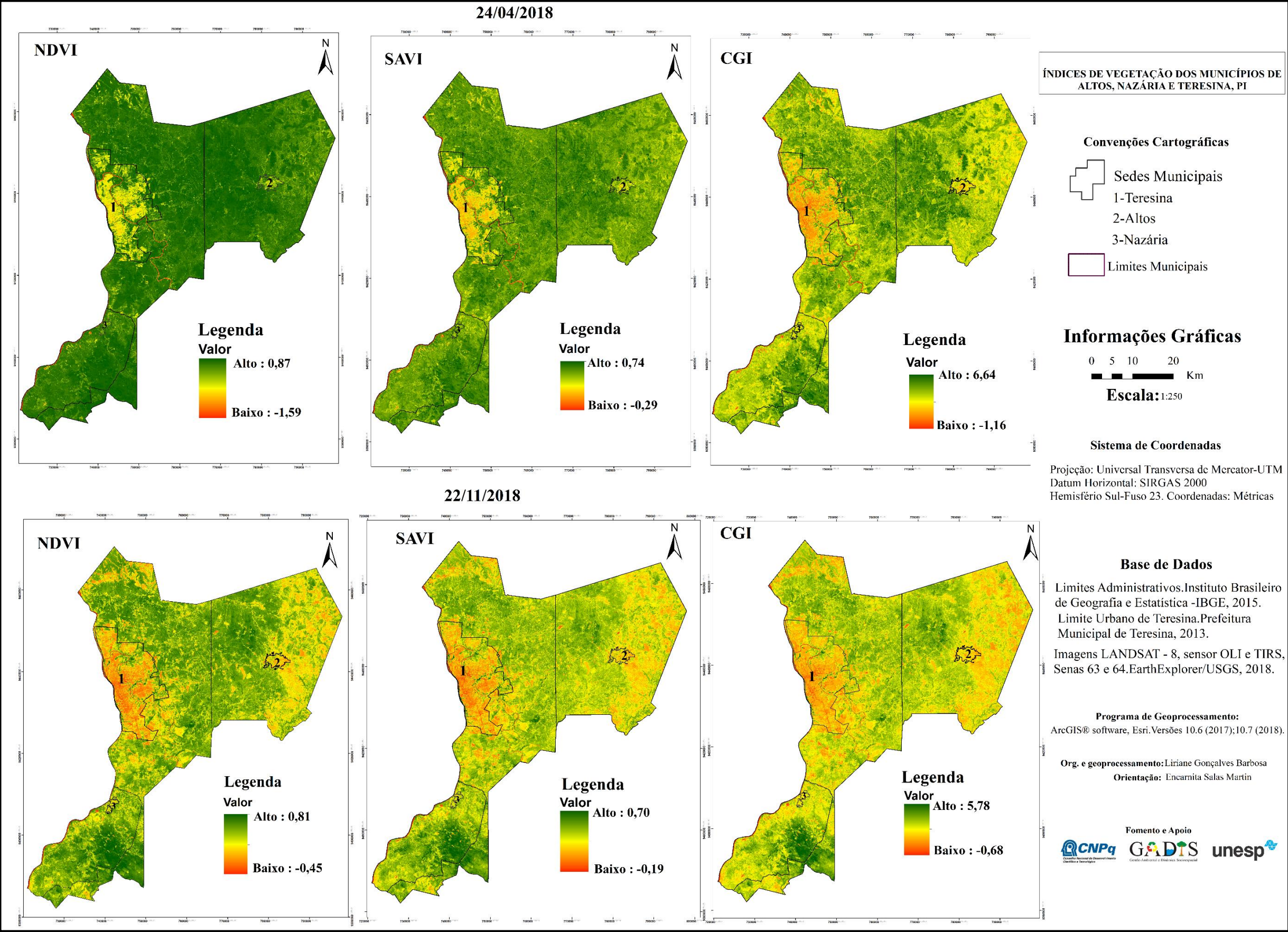
Embora tenham apresentado valores altos, os índices também apresentaram valores negativos em todos os períodos, com oscilação entre um período e outro. Porém, enquanto o SAVI apresentou os valores mais baixos no período úmido, - 0,21 e -0,29, o NDVI e o CGI apresentaram valores mais baixos em 2006 (-0,48) e alto em 2018 (-1,59).

Figura 18-Prancha de Carta Imagem de NDVI, SAVI e CGI-2006



Base de Dados: Earth Explorer/USGS (2018). Org. e Geoprocessamento: BARBOSA, L.G., 2019. Orientação: MARTIN, E.S

Figura 19-Prancha de Carta Imagem de NDVI, SAVI e CGI-2018



Base de Dados: Earth Explorer/USGS (2018). Org. e Geoprocessamento: BARBOSA, L.G., 2019. Orientação: MARTIN, E.S

Conforme pode ser observado nas imagens, os índices do período úmido apresentam um predomínio de áreas verdes, principalmente no ano de 2018. Já no período seco essas áreas apresentam uma redução significativa, havendo um aumento das áreas em vermelho, amarelo e verde, que atingem valores próximos de zero. As áreas em vermelho e amarelo correspondem às superfícies construídas, como as áreas urbanas, áreas sem cobertura vegetal ou com vegetação pouco densa.

Considerando as fisionomias da vegetação da área de estudo, no período de estiagem as cores amarela e vermelha aparecem mais expressivamente nas áreas que correspondem às fisionomias de vegetação do Cerrado, principalmente na área de ocorrência da fisionomia Cerrado Arbustivo-Arbóreo com Carnaubais, no leste do município de Altos. Onde predominam fisionomias de Floresta que, embora apresentem valores menores em relação à época chuvosa, são as áreas que apresentam os valores mais altos.

Na prática a variação de valores e de cores observada nos índices, está relacionada a indicadores biofísicos da vegetação, como o vigor vegetativo ao longo do ano, o estresse hídrico, a produção de biomassa e densidade de cobertura do dossel e a clorofila (Jensen, 2009). Isto significa que a maior ocorrência de feições manifestando cores amarela e verde próximo a zero caracteriza vegetação seca ou com pouca densidade de dossel.

Neste caso, os índices indicam uma mudança no comportamento biofísico da vegetação, do período chuvoso (abril) e úmido (junho) em relação ao período de estiagem, permitindo inferir que os processos fenológicos (queda de folhas, floração, germinação, crescimento etc.) da vegetação local estão condicionados ao regime de precipitação.

A experiência em campo possibilitou observar vários desses processos em períodos diferentes do ano. O completo fechamento das copas e maior densidade do dossel e do estrato herbáceo ocorre entre fevereiro e abril, período de maior concentração de chuvas na região e quando há maior excedente hídrico. Exceto em ano que as chuvas se estendem até o mês de maio. Já a queda de folhas das plantas é mais intensa entre os meses de junho e agosto, período de menor precipitação e de maior retirada hídrica, conforme pode ser observado nos gráficos do balanço hídrico apresentados no item 5.2 do capítulo 5.

Entre setembro e meados de novembro é o período de maior secura da vegetação, caracterizada pela desnudação das copas ou murchamento das folhas. Neste período, a folhagem seca se acumula no solo, formando em algumas áreas uma camada de serrapilheira de até 150 mm, que começa a se desintegrar quando inicia o período de chuvas.

Do ponto de vista espacial, a maneira como a vegetação está distribuída sobre o terreno, revela uma relação complexa entre os diferentes elementos geoecológicos na formação da paisagem local. Isto fica evidenciado pela organização de suas unidades fisionômicas, que se distribui de forma irregular e bastante heterogênea, com alguns contatos relativamente abruptos entre suas classes fisionômicas em algumas áreas e interpenetrações noutras, indicando correlação com um ou mais dos elementos geoecológicos, relevo, solo, drenagem e litologia.

A partir das análises correlacionadas dos mapas e das observações em campo, considera-se que, espacialmente a vegetação está condicionada pela interação entre os componentes relevo, drenagem e solo, que através da litologia se constituem em fatores geoecológicos determinantes da estrutura natural da paisagem local.

Muitos contatos e descontinuidades entre as fisionomias de vegetação mapeadas, são coincidentes com os contatos pedológicos, como por exemplo a fisionomia Floresta Estacional Semidecidual Submontana, que se desenvolve sobre duas unidades específicas de solo, Latossolo Amarelo Distrófico e Plintossolo Pétrico Concrecionário, formadas sobre terrenos das formações Pedra de Fogo, Piauí e Corda, no seu contato com a fisionomia Cerrado Arbustivo-Arbóreo com Carnaubais, apresenta descontinuidade relativamente abrupta, acompanhando a linha de contato das classes de Plintossolo Pétrico e Plintossolo Argilúvico.

As interpenetrações de fisionomias como das manchas de Floresta Dicótilo-Palmácea (Babaçual) e do Cerrado Arborizado sem Palmeiras estão condicionadas a aspectos do relevo e do solo, ao mesmo tempo, não especificamente aos tipos, mas a algumas características morfométricas e físicas, respectivamente, topografia, declividade e textura do solo.

Isto fica evidenciado pelos ambientes onde ambas ocorrem. Enquanto a primeira se distribui sobre os topos de morros e pequenos planaltos residuais, onde o solo apresenta pouca profundidade, constituindo horizonte A pouco espesso, com ocorrência de pedregosidade e muitas vezes afloramentos rochosos, a segunda fisionomia se desenvolve em áreas úmidas, de solo arenoso, em vales, planícies e algumas encostas com declividade moderada, raramente ocupando áreas de topo.

Contudo, a estrutura litológica se mostrou norteadora da forma como os demais elementos estão arranjados na paisagem, inclusive a própria vegetação, demonstrando exercer um controle maior na estrutura da paisagem. Nas análises comparativas dos mapas, nota-se também que, muitos contatos/descontinuidades claramente são coincidentes entre as unidades

de mapeamento do solo, do relevo e da vegetação, com os limites das unidades litológicas da área.

A descontinuidade mais característica ocorre no contato norte-sul das formações Pedra de Fogo, a oeste, e Piauí, a leste de Altos, praticamente dividindoeste município em duas fisionomias de paisagem, com características diferentes em dinâmica e estrutura, embora parte dos elementos constituintes se repitam de um lado e do outro.

Observa-se aí uma “linha divisória” de contatos entre as classes de solo Latossolo Amarelo Distrófico e Plintossolo Pétrico Concrecionário com a classe Plintossolo Argilúvico Distrófico e,descontinuidade relativamente abrupta entre as fisionomias de Cerrado Arbustivo-Arbóreo com Carnaubais e a Floresta Estacional Semidecidual Submontana, já mencionada acima.

Essas relações ficam ainda mais claras quando observadas a partir da comparação dos mapas temáticos, do capítulo 5, com o mapa 14 das unidades da paisagem e as sínteses dos quadros 13 e 14. A maior parte dos limites e contatos das unidades de paisagem mapeadas (I, II, V, VI e VII), foram definidos em função das características dos elementos do relevo, hipsometria e declividade, que estão condicionados pelo arranjo estrutural, que as rochas das diferentes camadas litológicas conseguiram formar na área, destacadamente os conjuntos rochosos das formações Pedra de Fogo e Piauí.

A primeira sobreposta à segunda, formando feições de relevo mais elevadas, de diferentes tamanhos e formatos (planaltos, morros e colinas), em diferentes compartimentos topográficos, com encostas íngremes, cuja declividade medida chega a apresentar percentuais acima de 40% (>45%), assumindo características de relevo montanhoso³⁰.

Nas observações em campo, verificou-se que em alguns setores da área, onde essas formas aparecem mais expostas, em função da pouca densidade de cobertura vegetal, como na porção leste do município de Altos, a base delas é o limite entre uma formação e outra, indicando a diferença de níveis altimétricos entre elas, em alguns casos, mas principalmente, a resistência do material rochoso que as compõem. Neste caso, a maior resistência aos processos erosivos pode ser explicada pela natureza sedimentar das rochas que constituem sua estrutura, explicada por Lima e Leite (1977) em função da presença de elevados níveis de sílex presentes na sua composição mineral.

E neste sentido é preciso ressaltar o papel da drenagem na remodelagem e desmonte dessas feições de relevo e estruturas litológicas, respectivamente, que atua erodindo e

³⁰ Considerado a partir da classificação da EMBRAPA, adotada na pesquisa.

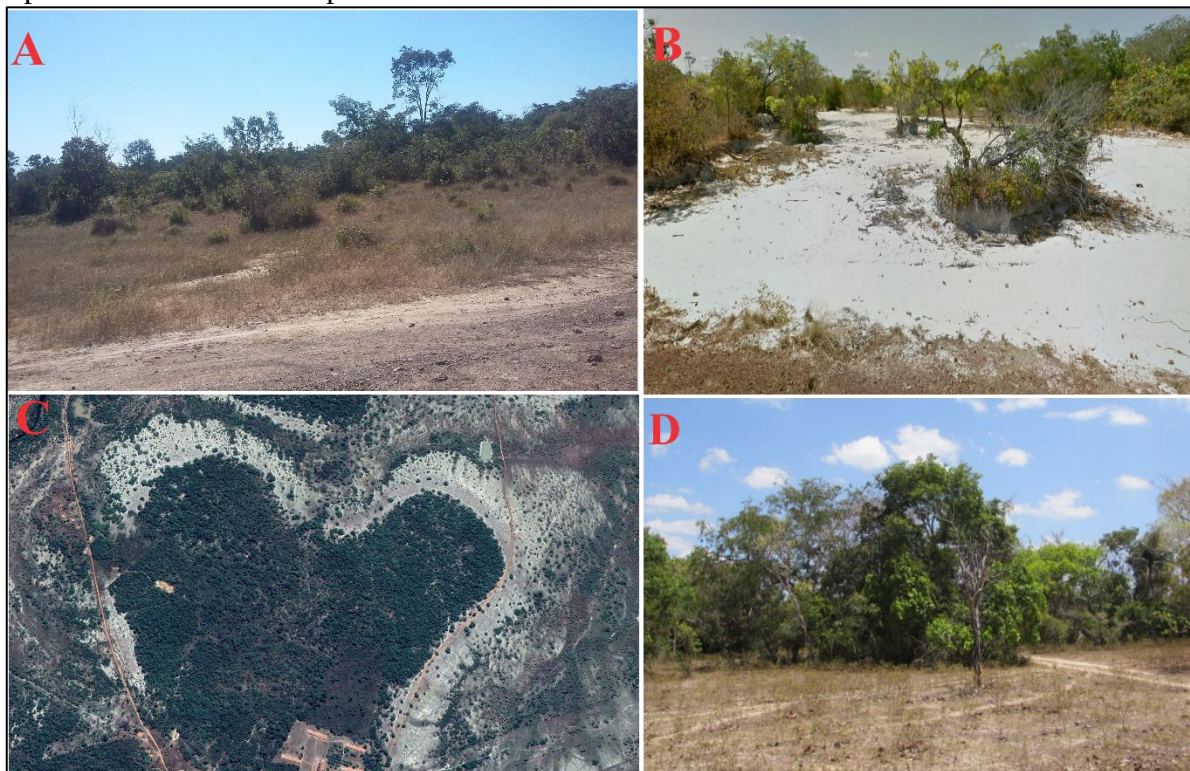
dissecando as formas de relevo, em função da orientação de sua rede de canais, cuja direção geral se orienta em função do nível de base principal, o leito do rio Parnaíba.

O solo foi determinante na definição dos limites da unidade III, que aparece somente em uma área específica no sul dos municípios de Nazária e Teresina. Essa unidade é formada, unicamente por solos da classe Chernossolo Argilúvico Órtico e terrenos da Formação Pedra de Fogo (quadro 13). Já no caso da unidade IV, a litologia parece ser a principal variável geocológica na definição de seus limites.

Nesta unidade, principalmente no leste de Altos onde aparece de forma mais concentrada, a relação solo, relevo, vegetação, drenagem e litologia foi constituída uma paisagem complexa com características bem distintas das demais unidades mapeadas, tanto em termos de estrutura quanto de dinâmica.

É uma paisagem formada pela combinação de superfícies muito planas e um conjunto de elevações semicirculares, em que a maior diversidade litológica e as condições de relevo, contribuíram para formar uma maior diversidade de solos e de paisagens, cobertos ou semicobertos por uma vegetação constituída de um estrato arbustivo-arbóreo, que apresenta-se em forma de capões, margeados pelo estrato herbáceo (figura 20).

Figura 20-Fotografias e imagem de satélite mostrando fisionomia de vegetação em forma de capões no leste do município de Altos



A, B e D: vegetação de cerrado formando capões rodeado por vegetação herbácea e depósitos de sedimentos. **C:** Vista panorâmica de um capão de vegetação rodeado por depósito de sedimentos finos (areia).

Fonte: Pesquisa direta e Google Earth (2019).

As condições de relevo plano, de solos mal drenados e lençol freático superficial, contribuem para criar ambientes propícios a inundações periódicas formando, por vezes, campos inundáveis, próximos aos leitos dos riachos perenes e intermitentes, onde se desenvolvem floresta galeria mais densa e manchas contínuas de carnaubais.

Além dos contatos e discontinuidades, é possível fazer observações a respeito de como a dinâmica interna das fisionomias de vegetação é reveladora do grau de influência dos demais fatores geoecológicos no comportamento espacial da vegetação e, também, da forma como esta contribui para formar a paisagem local. A primeira delas diz respeito ao comportamento de algumas espécies, cuja ocorrência varia em decorrência das condições de declividade, topografia e textura do solo, em uma mesma fisionomia.

Espécies como a *Ziziphus cinnamomum* (Jacarandá), *Lecythus Pisonis cambes* (Sapucaia), a *Anadenathera colubrina* (Angico Branco), a *Acrocomia aculeata* (Macaúba), a *Bactris vulgaris* (Tucum), são observadas somente em áreas planas onde a textura do solo costuma ser arenosa ou média/arenosa e, normalmente mais úmidas. Por outro lado, espécies como a *Machaerium acutifolium* (Miolo Roxo/Coração de Negro), a *Eschweilera alvimii* (Sapucarana), a *Copaífera duckel* (Copaíba/Podói), a *Geissospermium sericeum* (Quina Quina Branco) e a *Caryocar villosum* (Piquiá), são observadas, mais frequentemente, nas áreas de topografia mais elevadas com ocorrência de pedregosidade no solo.

Outra observação tem a ver com as condições de formação de serrapilheira e de ciclagem da matéria orgânica. Essas condições variam muito de uma fisionomia para outra e, às vezes em uma mesma fisionomia. Por exemplo, em áreas de babaçuais, por conta do volume de seu material orgânico (palhas, frutos, ramos florais e caule), são as áreas que apresentam o maior acúmulo de serrapilheira. Já nas áreas de Cerrado Arbustivo-Arbóreo é menor e há diferenças bruscas na disposição dos estratos. Nestas áreas, a serrapilheira se forma apenas nos fragmentos de capões, matas galerias e nos carnaubais (quando não há extração de suas palhas).

Os quadros a seguir, 13 e 14, reúnem sínteses descritivas a respeito das características individuais de cada unidade de paisagem mapeada, sendo possível observar, além das informações cruzadas da composição geoecológica dessas unidades, os principais indicadores geoecológicos, naturais e antrópicos, que ocorrem.

Quadro 13-Síntese das Unidades de Paisagem

Unidade	Composição Geocológica								
	Litologia	Relevo Local	Hipsometria (m)	Declividade	Rugosidade	Curvatura de Vertente	Solo	Vegetação	Uso Antrópico
Unidade I	Formação Piauí; Aluviões Holocênicos	Planícies e Terraços Fluviais	36-166	0-8%	Muito Baixa; Baixa	Predomínio de vertentes retilíneas	Latossolo Amarelo Distrófico; Neossolo Flúvico	Floresta Estacional Semidecidual Submontana; Floresta Dicótilo-Palmácea (Babaçual); Cerrado Arborizado com Palmeiras	Urbano; Agricultura Permanente e Temporária; Pecuária Intensiva e Extensiva; Extração Mineral; Piscicultura; outros usos mistos.
Unidade II	Formação Piauí; Pedra de Fogo	Superfície Dissecada com Baixos Morros Residuais	76-116	3-8%	Baixa; Moderada.	Predomínio de vertentes retilíneas	Latossolo Amarelo Distrófico; Plintossolo Pétrico Concrecionário	Floresta Estacional Semidecidual Submontana; Floresta Dicótilo-Palmácea (Babaçual); Cerrado Arborizado com Palmeiras e Cerrado Arbustivo-Arbóreo com Carnaubais.	Urbano; Agricultura Permanente e Temporária; Pecuária Intensiva e Extensiva; Extrativismo Vegetal; outros usos mistos
Unidade III	Formação Pedra de Fogo	Superfície Dissecada com Baixos Morros Residuais; Superfície Dissecada com Elevados Morros Residuais	76-156	3-20%	Baixa; Moderada; Alta.	Retilíneas; convexas; côncavas	Chernossolo Argilúvico Órtico	Cerrado Arborizado com Palmeiras; Cerrado Arborizado sem Palmeiras	Agricultura Permanente e Temporária; Pecuária Intensiva e Extensiva; outros usos mistos
Unidade IV	Formação Piauí; Formação Poti; Formação Longá; Cobertura Detrito-Laterítica Paleogênica	Superfície Dissecada com Elevados Morros Residuais; Baixos Planaltos Isolados pela Drenagem	116-196	0-20%	Muito Baixa; Baixa; Moderada.	Retilíneas; convexas; côncavas	Latossolo Amarelo Distrófico; Plintossolo Distrófico; Argilúvico Distrófico; Planossolo Háptico	Floresta Estacional Semidecidual Submontana; Floresta Dicótilo-Palmácea (Babaçual); Cerrado Arborizado sem Palmeiras; Cerrado Arbustivo-Arbóreo com Carnaubais.	Agricultura Permanente e Temporária; Pecuária Intensiva e Extensiva; Extrativismo Vegetal; Piscicultura; outros usos mistos
Unidade V	Formação Piauí; Formação Pedra de Fogo; Formação Corda	Superfície Dissecada com Elevados Morros Residuais; Baixos Planaltos Isolados pela Drenagem;	76-236	3- >45%	Baixa; Moderada; Alta; Muita Alta	Predomínio de vertentes Côncavas e Convexas	Latossolo Amarelo Distrófico; Plintossolo Pétrico Concrecionário	Floresta Estacional Semidecidual Submontana; Floresta Dicótilo-Palmácea (Babaçual); Cerrado Arborizado sem Palmeiras.	Agricultura Permanente e Temporária; Pecuária Intensiva e Extensiva; Extrativismo Vegetal; Silvicultura; outros usos mistos
Unidade VI	Formação Pedra de Fogo; Formação Corda	Altos Planaltos com Topos Tabulares	156-283	0- >45%	Muita Baixa; Baixa; Moderada; Alta; Muita Alta	Retilíneas; convexas; côncavas	Latossolo Amarelo Distrófico; Plintossolo Pétrico Concrecionário	Floresta Estacional Semidecidual Submontana; Floresta Dicótilo-Palmácea (Babaçual);	Agricultura Permanente e Temporária; Pecuária Intensiva e Extensiva; Extrativismo Vegetal; Silvicultura; outros usos mistos
Unidade VII	Formação Pedra de Fogo; Formação Piauí; Formação Corda	Encostas Escarpadas	116-283	20- >45%	Alta; Muita Alta	Predomínio de Côncavas e Convexas	Plintossolo Pétrico Concrecionário; Neossolo Litólico	Floresta Estacional Semidecidual Submontana; Floresta Dicótilo-Palmácea (Babaçual); Cerrado Arborizado sem Palmeiras.	Sem ocorrência presenciada

Fonte: Pesquisa Direta. Base de Dados: ANA (2019), Earth Explorer/USGS (2017), EMBRAPA (2018), IBGE (2013; 2015; 2018), Jacomine (1986a), LAND VIEWER (2018), Moraes (2004) e Ribeiro e Walter (2008).Org. e Geoprocessamento: BARBOSA, L.G., 2019. Orientação: MARTIN, E.S.

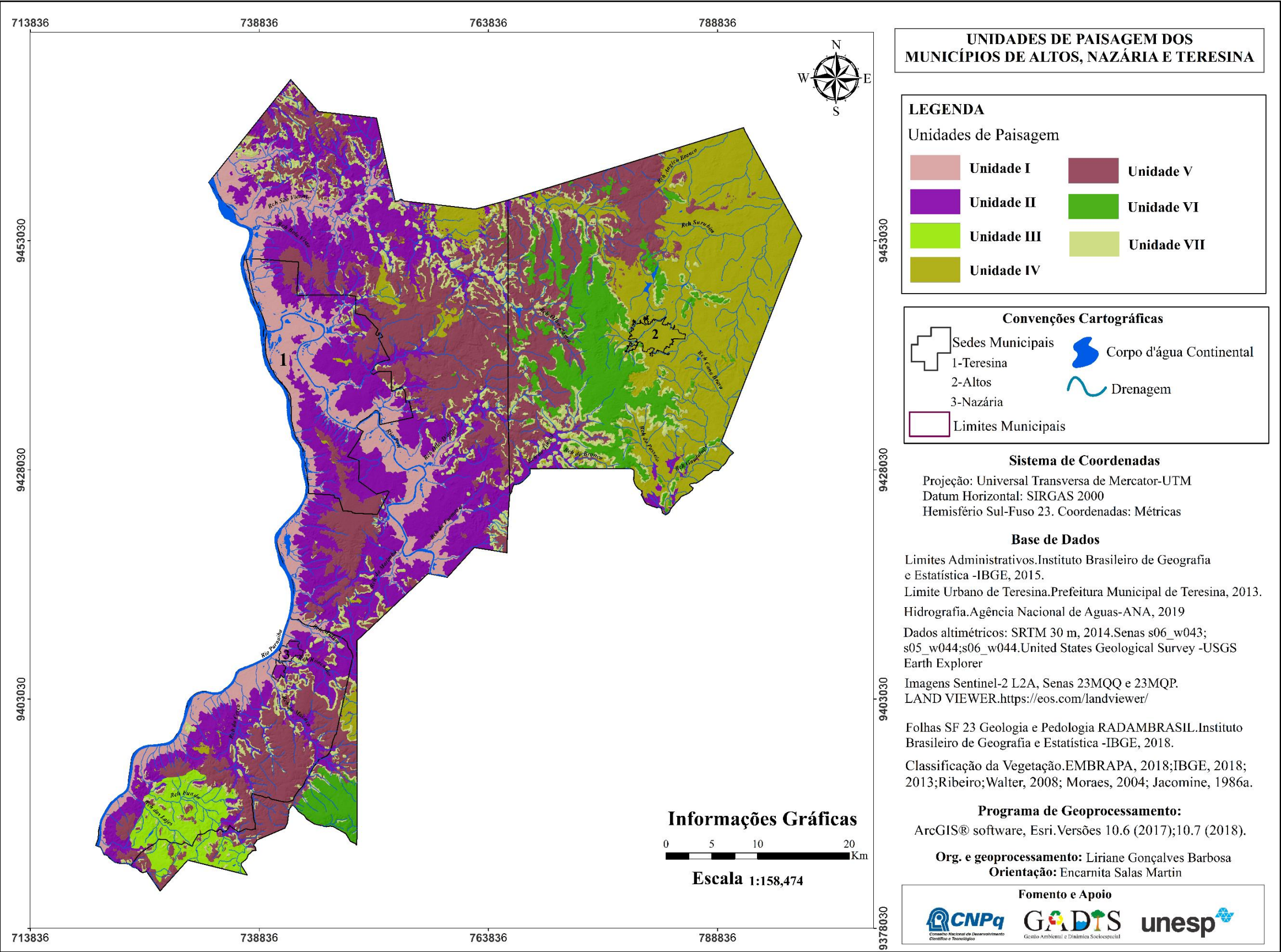
Quadro 14-Síntese dos principais processos naturais e antrópicos das Unidades de Paisagem

Unidade	Principais Processos Geocológicos
Unidade I	Terrenos planos com dissipação de energia, escoamento superficial lento, facilitando a infiltração da água e a acumulação sedimentar que contribuem para a formação de solos profundos, devido aos processos de pedogênese. Contudo são terrenos sujeitos a inundações durante o período chuvoso e à “erosão laminar” (LIMA, 2013) resultante da ação antrópica. Vegetação é perene ³¹ e caducifólia.
Unidade II	Terrenos com declividades suaves e moderadas, com algumas elevações mais acentuadas em forma de morrotes. Predominam processos de pedogênese, com acumulação de sedimentos e matéria orgânica, formando solos mais profundos e ricos em matéria orgânica, exceto nas pequenas feições (morrotes), onde atuam, ao mesmo tempo, processos de pedogênese e morfogênese. A vegetação é perene e caducifólia.
Unidade III	Terrenos suavemente ondulados e ondulados, com solos profundos, onde predominam processos de pedogênese. São terrenos de emissão de matéria e energia cobertos por vegetação perene e caducifólia.
Unidade IV	Terrenos planos com solos bastante lixiviados e mal drenados, com superfície arenosa e subsuperfície argilosa, que dificulta a infiltração da água e, por essa razão, se acumula na superfície formando, por vezes, campos inundáveis. Predominam processos de acumulação sedimentar e de pedogênese e, em função das condições naturais, processos de degradação natural. Vegetação perene e caducifólia.
Unidade V	Terrenos com altitudes e declividade um pouco mais elevadas, com solos rasos, bem drenados, de superfície pedregosa nas vertentes e nos topos, e profundos nas áreas mais deprimidas. No conjunto, são terrenos de emissão de energia e matéria e de denudação sedimentar. Apresentam equilíbrio entre os processos de pedogênese e morfogênese, e processos de erosão laminar. O escoamento superficial é mais rápido em função das condições relevo, apresentando maior capacidade de erosão. Vegetação perene e caducifólia.
Unidade VI	Também são terrenos com altitudes e declividade elevadas, com solos rasos, bem drenados, de superfície pedregosa nas vertentes e nos topos, e profundos nas áreas mais deprimidas. E assim como na unidade anterior, são áreas de emissão de energia e matéria e de denudação sedimentar. Apresentam equilíbrio entre os processos de pedogênese e morfogênese, com vegetação bem desenvolvida e processos de erosão laminar. O escoamento superficial é mais rápido em função das condições relevo. Vegetação perene e caducifólia.
Unidade VII	São os terrenos de maior declividade da área, onde predominam vertentes convexas na parte superior e côncavas na parte inferior, escoamento acentuado, prevalecendo em relação à infiltração. São áreas transmissoras de matéria e energia, com solos rasos com no máximo 20cm de profundidade, geralmente com textura arenosa, média/arenosa e pedregosa. Vegetação bem desenvolvida. Processos de pedogênese e morfogênese atuando ao mesmo tempo. Vegetação é perene e caducifólia. Vegetação perene e caducifólia.

Fonte: Pesquisa Direta. **Base de Dados:** ANA (2019), Earth Explorer/USGS (2017), EMBRAPA (2018), IBGE (2013; 2015; 2018), Jacomine (1986a), LAND VIEWER (2018), Moraes (2004) e Ribeiro e Walter (2008). **Org. e Geoprocessamento:** BARBOSA, L.G., 2019. **Orientação:** MARTIN, E.S.

³¹ Inclui todas as espécies de palmeiras, cujo processo de caducifolia de suas folhas não está condicionado à sazonalidade da precipitação.

Mapa 14- Unidades de Paisagem dos municípios de Altos, Nazária e Teresina



Fonte: Pesquisa Direta. Base de Dados: ANA (2019), Earth Explorer/USGS (2017), EMBRAPA (2018), IBGE (2013; 2015; 2018), Jacomine (1986a), LAND VIEWER (2018), Moraes (2004) e Ribeiro e Walter (2008). Org. e Geoprocessamento: BARBOSA, L.G., 2019. Orientação: MARTIN, E.S.

Observa-se que a distribuição da vegetação também está condicionada pela ação antrópica, que atua transformando a paisagem por meio da substituição dos componentes naturais e da inserção de novos elementos, artificiais e naturais. Nos últimos anos, em função do crescimento populacional do município de Teresina e do aumento da demanda por bens e serviços, tem havido o avanço significativo das atividades antrópicas e áreas construídas sobre as coberturas de vegetação nativa, alterando a configuração da paisagem local a partir:

- ✓da retirada total ou parcial da cobertura vegetal nativa e sua substituição por estruturas e coberturas artificiais ou por novos elementos florísticos não nativos, como a pastagem cultivada, o eucalipto, as diversas culturas agrícolas etc. e;

- ✓da modificação da distribuição espacial dos componentes florísticos, das estruturas e das unidades fisionômicas nativas;

As consequências ambientais desse processo, sobre a cobertura vegetal e a configuração da paisagem, variam de acordo com o grau de interferência, que por sua vez está condicionado ao tipo de atividade e/ou ocupação em cada unidade da paisagem. No contexto local, podem ser enumeradas algumas, como a extração mineral, voltada para a fabricação de materiais de construção civil, as queimadas causadas pela prática de limpeza de terrenos para o cultivo de pastagens e culturas temporárias e o extrativismo vegetal.

Cada uma dessas e outras atividades e ocupações representam e proporcionam diferentes graus e níveis de modificação/perturbação diferentes na paisagem, de acordo com o tipo, intensidade e velocidade temporal com que ocorrem. A atividade de extração mineral, que é uma das atividades que mais crescem nos municípios, e que está diretamente relacionada, ao crescimento da cidade de Teresina, provoca a completa retirada da cobertura vegetal e do solo, modifica a topografia do relevo, contribui para o afloramento do lençol freático, levando à formação de lagoas artificiais (VIANA; LIMA, 2018).

Além disso, aumenta o risco de poluição das águas subterrâneas, provoca o assoreamento dos leitos e das margens dos rios, altera o tempo e a intensidade de formação de novos solos, em função do volume de sedimentos que passam a ser removidos e carregados pelas águas pluviais que podem, inclusive, transportar poluentes e resíduos sólidos.

As queimadas são um dos problemas ambientais que mais afetam a região anualmente. Elas ocorrem no período de estiagem, quando a vegetação está seca, favorecendo a rápida propagação das chamas. Além do estresse hídrico extremo, as principais consequências têm sido a modificação dos componentes florísticos da vegetação nativa e da composição florística das fisionomias, além da alteração da diversidade genética.

Com a alteração do estado de clímax e a degradação das áreas afetadas, o que se verifica após episódios de queimadas, é o crescimento e a multiplicação de espécies sucessoras como a *Cecropia pachystachya* (Embaúba) ou ervas, que crescem sobre a vegetação afetada, provocando, por vezes, a mortalidade de espécies nativas.

O extrativismo vegetal, que mesmo sendo uma atividade de menor impacto, interfere no ciclo de trocas de matéria orgânica e mineral entre o solo e a vegetação. Destaca-se os casos da extração de palhas da Carnaúba, e no ciclo de renovação da espécie, no caso do Babaçu.

Nas áreas onde ocorre, a Carnaúba (*Copernicia prunifera*) é, juntamente com outras palmeiras, a espécie que mais contribui com o fornecimento de matéria orgânica para o solo, em função do volume e da quantidade de suas folhas (palhas), e a retirada constante desse componente afeta diretamente, tanto a proteção, como a umidade e a incorporação de nutrientes dos solos nestas áreas.

O extrativismo da Carnaúba é uma das principais atividades econômicas no Estado do Piauí, e é um processo que envolve a retirada total ou parcial das palhas da palmeira, sua posterior secagem para múltiplas finalidades, produção artesanal, de ração animal, na confecção de chapéus, bolsas e, principalmente para retirada do pó ceríferousado na produção de cera, que serve insumo utilizado na fabricação de uma variedade de produtos na indústria fina: medicamentos, cosméticos, alimentos, etc.

Quanto ao Babaçu (*Attalea speciosa*), o componente mais utilizado é o côco. As formas de aproveitamento mais comuns e popularizadas são o uso da amêndoa para a fabricação de óleos e azeites e das demais partes do fruto para produção de carvão. Essa atividade quando realizada em larga escala, como vem ocorrendo nos últimos anos³², pode afetar o ciclo de renovação da própria espécie nativa, em função da diminuição dos frutos disponíveis no solo para germinação e reprodução.

O Babaçu (*Attalea speciosa*) apresenta também outra peculiaridade relacionada diretamente à degradação dos ambientes. Por ser uma espécie pioneira e dominante, as áreas degradadas costumam ser colonizadas por essa espécie, onde formam manchas mais densas e contínuas com o processo de degradação local.

A vegetação, ao mesmo tempo em que é condicionada pela interação com os demais fatores geoecológicos da paisagem e entre estes, sendo importante fator indicador da paisagem, cumpre papel fundamental em relação à sua estabilidade geoecológica, através de sua capacidade de proteção dos solos.

³² Vem crescendo na região, Maranhão, Piauí e Tocantins, a utilização do Babaçu na produção de carvão em larga escala, em função da demanda de empresas de diversos setores, como cervejaria, cerâmica, celulose etc.

Compete à vegetação a função de regular alguns fluxos de entrada e saída de matéria e energia na/da paisagem, como a infiltração e o escoamento superficial, retardando e atenuando a ocorrência de processos desestabilizadores do equilíbrio natural, naturais ou causados pela transformação antrópica da paisagem. A sua capacidade protetora é maior ou menor dependendo da densidade com que recobre uma área.

Na avaliação diagnóstica feita para a área de estudo, por meio da metodologia proposta por Crepani (2008; 2001; 1996) e apresentada no quadro 15 e nos mapas 15, 16, 17 e 18, verifica-se clara relação entre a estabilidade/vulnerabilidade da paisagem local com a vegetação e sua capacidade de proteção do solo.

Considerando a relação entre morfogênese e pedogênese, critério geoecológico utilizado no diagnóstico, os resultados apontam quatro cenários distintos para a área de estudo, de acordo com os fatores modificadores e reguladores dos processos de morfodinâmica da paisagem, precipitação, vegetação e ação antrópica.

Os mapas 15 e 17 apresentam cenários desconsiderando a variável vegetação. No primeiro caso, consideram-se as variáveis do relevo (hipsometria, declividade e rugosidade), a litologia e solo e sua relação com a intensidade de chuvas na região. O segundo considera um cenário com todas as variáveis naturais da paisagem, excluindo a vegetação, e sua relação com os usos da terra mapeados na área.

Ambos os mapas apresentam cenários de estabilidade e vulnerabilidade semelhantes. As áreas mais vulneráveis à ocorrência de processos erosivos são aquelas com maior declividade e altimetria, concentradas, principalmente na porção oeste do município de Altos, leste de Nazária e sul e extremo norte de Teresina, enquanto as áreas mais baixas e com menor declividade apresentam maior estabilidade.

Contudo, no mapa 17, verifica-se uma ligeira acentuação da vulnerabilidade nas áreas de topo, localizadas no oeste de Altos, em relação ao mapa 15. Áreas com estabilidade/vulnerabilidade mediana passaram a apresentar condição de vulnerabilidade moderada, representando um percentual de 3% (82,02 km²) de área com vulnerabilidade moderada, conforme é possível observar na tabela 11.

O aumento da vulnerabilidade nestas áreas pode ter explicação na relação entre as características do solo e os usos da terra, considerados no mapeamento para esta área, Área Agrícola/Pastagem e Uso Diversificado. Nestas áreas predominam solos Plintossolo Pétrico Concrecionário com alta vulnerabilidade à erosão em função de serem solos pouco desenvolvidos.

Por outro lado, verifica-se que em parte das áreas localizadas no leste do município de Altos houve mudança da condição de estabilidade/vulnerabilidade. Em termos quantitativos houve diminuição de 5,16% (141,1 km²) de áreas em condição de estabilidade/vulnerabilidade mediana e aumento de 4,67 % (127,66 km²) das áreas com estabilidade moderada, do mapa 15 em relação ao mapa 17. Isto pode ser explicado em função da capacidade de proteção do solo que coberturas antrópicas como pastagens e algumas culturas agrícolas apresentam.

Embora esse tipo de cobertura apresente baixa e média capacidade de proteção do solo, neste cenário, em que se desconsidera o papel da vegetação, para o relevo que apresenta baixas declividades e o solo que é altamente vulnerável à erosão, determinados tipos de culturas e a pastagem se constituem como fatores atenuantes.

Tabela 11-Quantificação percentual das classes de Estabilidade/Vulnerabilidade

Classes	Mapa 15		Mapa 16		Mapa 17		Mapa 18	
	Area (km ²)	Area (%)	Area (km ²)	Area (%)	Area (km ²)	Area (%)	Area (km ²)	Area (%)
I	652,62	23,88	998,17	36,53	590,6	21,61	591,13	21,63
II	709,16	25,95	786,28	28,77	836,82	30,62	809,61	29,63
III	817,45	29,91	671,65	24,58	676,35	24,75	579,18	21,19
IV	318,87	11,67	184,24	6,74	400,89	14,67	589,02	21,55
V	208,01	7,61	65,86	2,41	201,49	7,37	137,04	5,01

Fonte: Pesquisa Direta. **Base de Cálculo:** ArcGis (2018). **Base de dados:** CREPANI, *et al.*, (1996; 2001; 2008), Earth Explorer/USGS (2014; 2017), EMBRAPA (2018), IBGE (2013;2015; 2018), Jacomine (1986a), LAND VIEWER (2018), Moraes (2004) e Ribeiro e Walter (2008). **Organização:** BARBOSA L.G. **Orientação:** MARTIN, E.S.

Os outros dois cenários, apresentados nos mapas 16 e 18 foram calculados incluindo-se avariável vegetação. No primeiro caso, excluindo-se as variáveis de natureza antrópica, do Plano de Informação Uso e Cobertura da Terra, e no segundo considerando todas as variáveis geológicas, relevo (hipsometria, declividade e rugosidade), litologia, solo, intensidade de chuvas, vegetação e uso e cobertura da terra.

Como é possível observar, quando se adiciona a vegetação, tanto no mapa 16, de vulnerabilidade natural, quanto no mapa 18, de vulnerabilidade ambiental, nota-se atenuação da condição de vulnerabilidade nas áreas onde ocorre vegetação com fisionomia florestal, em relação aos efeitos da intensidade de chuvas e dos impactos dos usos antrópicos.

Nestes dois outros cenários, as áreas mais vulneráveis passam a ser aquelas onde a cobertura vegetal apresenta média e baixa capacidade de proteção do solo, principalmente na porção leste do município de Altos e no sul do município de Nazária, nos quais predomina vegetação de Cerrado.

No cenário apresentado no mapa 16, as áreas de maior instabilidade/vulnerabilidade estão localizadas nas encostas e alguns topos de planaltos, colinas e morros, localizados no sul de Teresina e leste de Altos e Nazária. Neste cenário, as áreas estáveis representam mais da metade da área de estudo, 65,3% (1,784,45 km²) e apenas 6,74% (184,24 km²) e 2,41% (65,86 km²) apresentam vulnerabilidade moderada e alta, respectivamente.

Neste cenário, a declividade e a densidade de cobertura da vegetação foram as variáveis que mais influenciaram o resultado final do mapeamento. As áreas onde a vegetação possui maior capacidade de proteção do solo, como no caso das áreas de floresta, mesmo em alguns casos de encostas íngremes, apresentaram estabilidade moderada. Outras áreas onde a vegetação é pouco densa, com pouca capacidade de proteção do solo, principalmente onde ocorre vegetação de Cerrado Arbustivo-Arbóreo com Carnaubais, a estabilidade foi reduzida a medianamente estável/vulnerável.

Já no mapa 18, observa-se potencialização significativa da vulnerabilidade em áreas que no mapa 16 aparecem estáveis ou medianamente estáveis, como algumas áreas de encosta, mesmo sob cobertura de vegetação florestal, outras de usos voltados para agricultura, pecuária agrícola e silvicultura e, principalmente no leste do município de Altos, sugerindo que a substituição da vegetação nativa por outras coberturas nestas áreas aumenta a vulnerabilidade do terreno a processos erosivos. Em termos comparativos, há redução de 14,04% (383,71 km²) das áreas estáveis e aumento de 17,41% (475,96 km²) das áreas de vulnerabilidade alta e moderada.

No leste do município de Altos, a combinação de solos vulneráveis à erosão, principalmente os solos Plintossolo Argilúvico e Neossolo Litólico, vegetação com baixa densidade de cobertura e o uso antrópico, contribuem para aumentar a instabilidade da paisagem, criando um cenário vulnerável à degradação ambiental.

Em estudo realizado como objetivo de analisar o risco de degradação do alto curso da Bacia Hidrográfica do rio Longá, área que inclui parte da porção leste do município de Altos, Silva, Aquino e Oliveira (2016), estimaram risco alto e moderado de degradação ambiental nesta área do município. Resultado semelhante ao apresentado no cenário do mapa 18 deste trabalho.

Os autores avaliaram que a baixa densidade de cobertura da vegetação, as características do solo, principalmente onde apresenta textura pedregosa e os intensos processos de erosão natural ou provocados pela pecuária extensiva, são os fatores que contribuem para aumentar o risco de degradação da área.

Nesta e noutras áreas, como no centro-sul e sul do município de Teresina e de Nazária, a densidade da vegetação, baixa e média, as características dos solos, Plintossolo Pétrico e Chernossolo Argilúvico, vulneráveis à erosão, são os fatores que favorecem a condição de vulnerabilidade, contudo essa condição é potencializada pela relação com os diferentes tipos usos da terra que, em quase toda a área de estudo, contribuíram para aumentar a instabilidade da paisagem e a ocorrência de áreas vulneráveis, moderadamente vulneráveis e, principalmente as áreas medianamente vulneráveis.

No quadro 15, a seguir, é possível observar as características de cada classe de estabilidade/vulnerabilidade mapeadas, incluindo sua morfodinâmica, relação morfogênese/pedogênese e situação ambiental. Também é possível verificar a espacialização e variação delas ao longo da área de estudo nos quatro cenários apresentados pelos mapas 15, 16, 17 e 18.

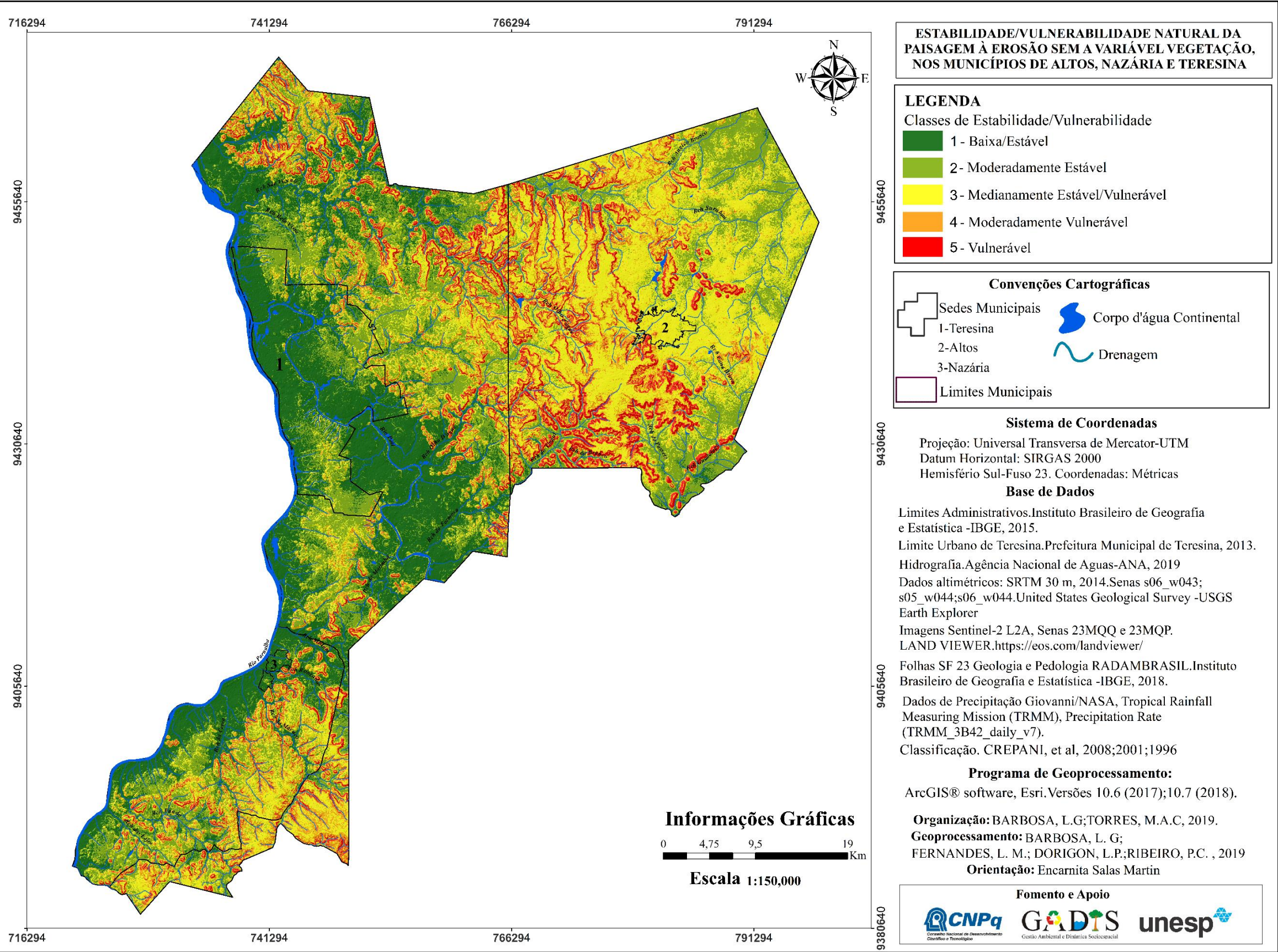
Quadro 15-Classes de Estabilidade/Vulnerabilidade e processos de morfodinâmica da paisagem dos municípios de Altos, Nazária e Teresina³³

Classe	Vulnerabilidade/Estabilidade à Erosão	Morfodinâmica	Relação Pedogênese/Morfogênese	Situação Ambiental/UsosIndicados/Medidas de Proteção
Classe I	Baixa/Estável	Estável	Prevalece a pedogênese (planícies, vales e terraços fluviais; solos profundos, bem desenvolvidos)	Terrenos com pouca cobertura vegetal nas áreas de usos intensos (áreas urbanas, pequenos povoados, culturas anuais e permanentes, pastagens, extração mineral etc.), inclusive nas áreas de APP. Processos erosivos pontuais, principalmente em antigas áreas de extração mineral. Cobertura vegetal expressiva nas outras áreas pouco ocupadas, principalmente sul de Teresina e no município de Nazária. Apesar de não apresentarem restrições de uso em função da estabilidade morfodinâmica, são terrenos que incluem áreas alta vulnerabilidade às inundações periódicas, principalmente aquelas próximas aos cursos dos rios Poti e Parnaíba. Nestas áreas, onde estão incluídas as APPs, não é indicado nenhum tipo de uso e ocupação. Necessidade de recomposição vegetal das APPs degradadas e preservação das demais. Recuperação das áreas degradadas pela atividade de mineração. Respeito e cumprimento à legislação ambiental em vigor.
Classe II	Moderadamente Estável	Intermediária	Equilíbrio Pedogênese/Morfogênese (Solos rasos em topos e encostas e profundos em áreas planas)	Terrenos com equilíbrio morfodinâmico entre a pedogênese e morfogênese com presença de solos mais bem desenvolvidos nas áreas mais planas, onde ocorre Latossolo Amarelo e solos rasos e pedregoso em áreas de topo e encosta, de ocorrência de Plintossolo Pétrico. Usos e ocupações diversas, incluindo pequenos povoados, culturas permanentes e anuais e pastagens, com maior concentração no município de Teresina. A vegetação possui alta capacidade de proteção do solo, e representa a maior parte da cobertura dessa classe. As restrições de uso estão relacionadas às áreas de solos pedregosos e de relevo ondulado. Preservação das áreas de topos, encostas, bordas dos planaltos tabulares acima de 100 metros e das nascentes, de acordo com o que determina a legislação ambiental/uso sustentável das demais áreas/agropecuária com tecnologia/extrativismo vegetal e cumprimento da legislação ambiental.
Classe III	Medianamente Estável/Vulnerável	Intermediária	Equilíbrio Pedogênese/Morfogênese (Solos rasos em topos e encostas e profundos em áreas planas)	Terrenos com características semelhantes aos terrenos da classe II. Equilíbrio morfodinâmico entre a pedogênese e morfogênese com presença de solos mais bem desenvolvidos nas áreas mais planas, onde ocorre Latossolo Amarelo, Planossolo e Plintossolo Argilúvico, e solos rasos e pedregoso em áreas de topo e encosta, de ocorrência de Plintossolo Pétrico. Usos e ocupações diversas, incluindo pequenos povoados, cultivos de culturas permanentes e anuais, pastagens, psicultura etc. A vegetação com alta capacidade de proteção do solo nas áreas de floresta e cerrado arborizado e baixa nas áreas onde predomina Cerrado Arbustivo-Arbóreo. As restrições de uso estão relacionadas às áreas de solos pedregosos e de relevo ondulado, e no leste do município de Altos às características do solo e à alta vulnerabilidade de inundações pontuais e periódicas. Preservação das áreas de topos de morros e encostas que de acordo com as exigências da legislação ambiental/uso sustentável das demais áreas/agropecuária com tecnologia conservacionista/extrativismo vegetal.
Classe IV	Moderadamente Vulnerável	Intermediária	Equilíbrio Pedogênese/Morfogênese (Solos rasos em topos e encostas e profundos em áreas planas)	Assim como os terrenos da classe III, apresentam equilíbrio morfodinâmico entre a pedogênese e morfogênese com presença de solos mais bem desenvolvidos nas áreas mais planas, onde ocorre Latossolo Amarelo, Planossolo e Plintossolo Argilúvico, e solos rasos e pedregoso em áreas de topo e encosta, de ocorrência de Plintossolo Pétrico. Áreas de pastagens intensivas e extensivas, culturas permanentes e anuais. Áreas de topos e encostas, e maior parte das terras planas cobertas de vegetação com capacidade alta e média de proteção do solo nas áreas de floresta e cerrado arborizado, respectivamente, e baixa capacidade nas áreas onde predomina Cerrado Arbustivo-Arbóreo. As restrições de uso estão relacionadas à declividade e ao solo pouco desenvolvido nas encostas, e a pouca capacidade protetora da vegetação nos terrenos da parte leste de Altos, onde, também estão sujeitos inundações pontuais e periódicas. Preservação das áreas de encostas e sujeitas a inundações de acordo com o que determina a legislação ambiental. Uso sustentável das demais áreas/agropecuária com tecnologia conservacionista/extrativismo vegetal.
Classe V	Vulnerável	Instável	Prevalece a Morfogênese (relevo acidentado, solos rasos e pedregosos)	Terrenos com muita cobertura vegetal preservada, exceto naquelas áreas próximas à cidade de Teresina. São impróprios para a maioria dos usos e ocupações, como agricultura, pecuária, moradias e toda e qualquer atividade que cause a retirada de sua cobertura vegetal, em virtude das características do relevo e do solo pouco desenvolvido. Podem ser usadas para produção de culturas permanentes, protetoras do solo, adequadamente manejadas, com emprego de técnicas conservacionistas. Uso prioritário para preservação, de acordo com as determinações da legislação ambiental.

Org.: BARBOSA, L.G., 2019. **Orientação:** MARTIN, E. S.

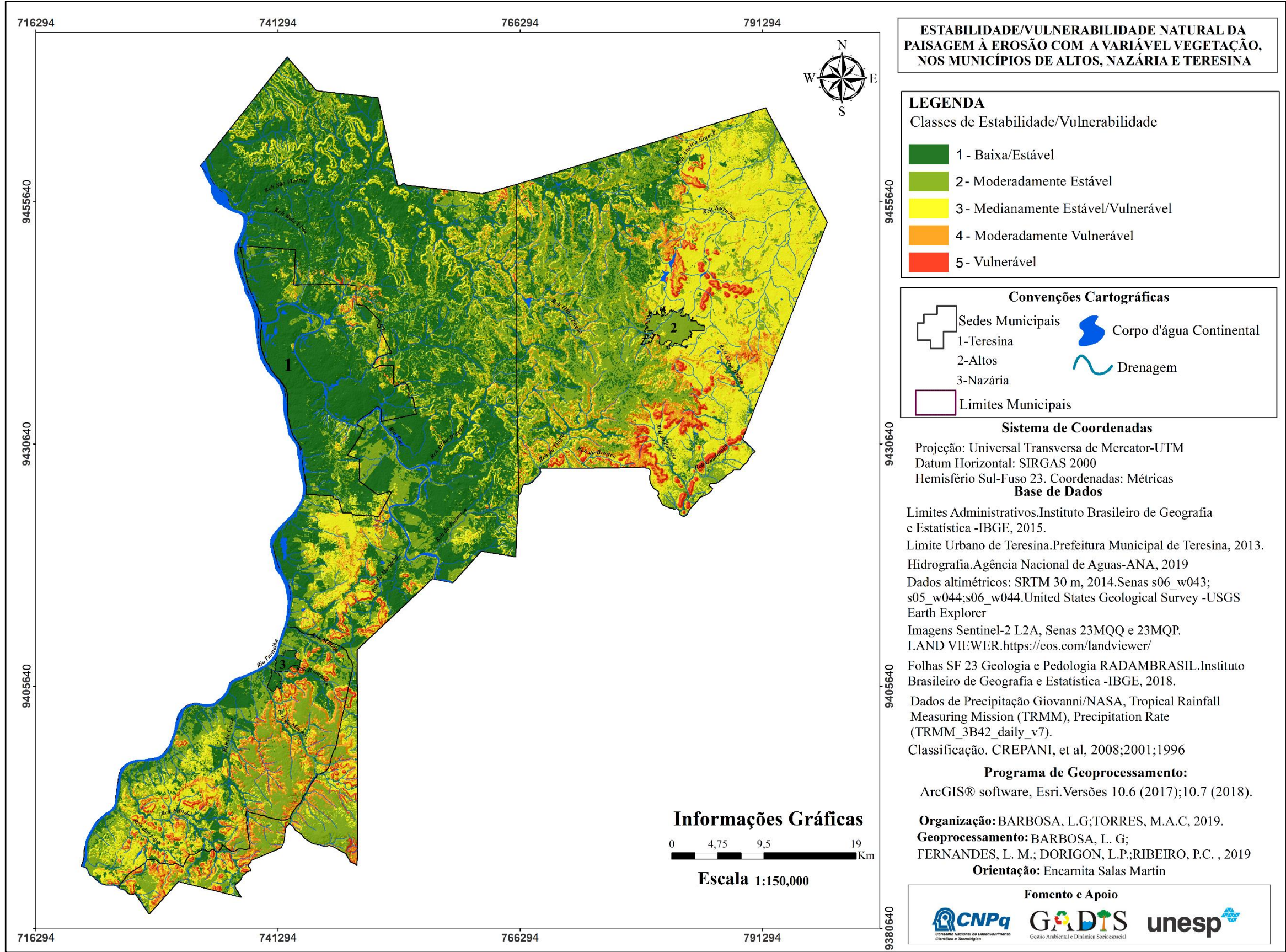
³³ Quadro construído com base nas informações de uso atual e no mapa 18.

Mapa 15- Estabilidade/Vulnerabilidade natural da paisagem à erosão sem a variável vegetação



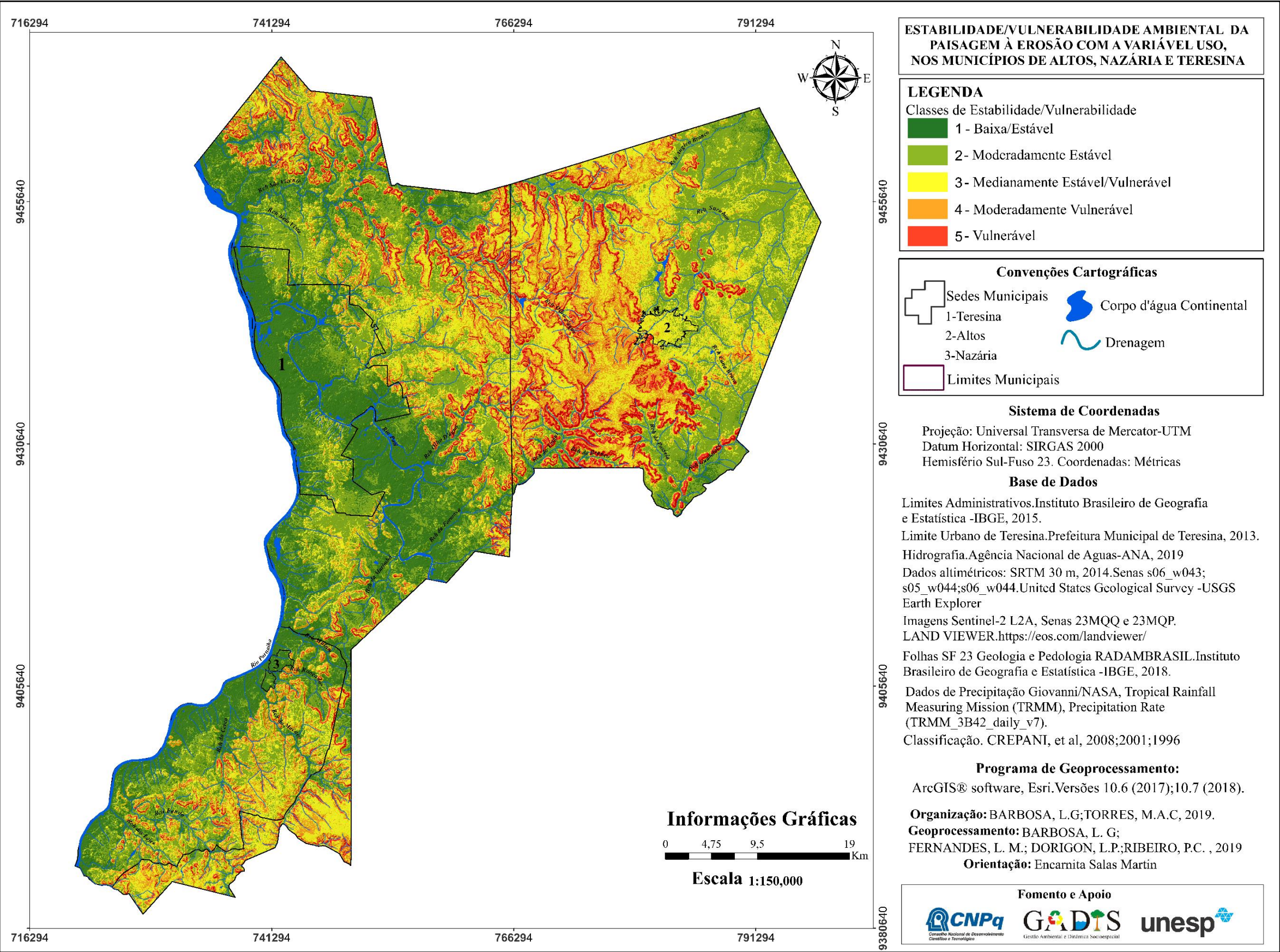
Fonte: Pesquisa Direta. Base de Dados: ANA (2019), Earth Explorer/USGS (2017), EMBRAPA (2018), IBGE (2013; 2015; 2018), Jacomine (1986a), LAND VIEWER (2018), Moraes (2004) e Ribeiro e Walter (2008).Org. e Geoprocessamento: BARBOSA, L.G., 2019. Orientação: MARTIN, E.S.

Mapa 16- Estabilidade/Vulnerabilidade natural da paisagem à erosão com a variável vegetação



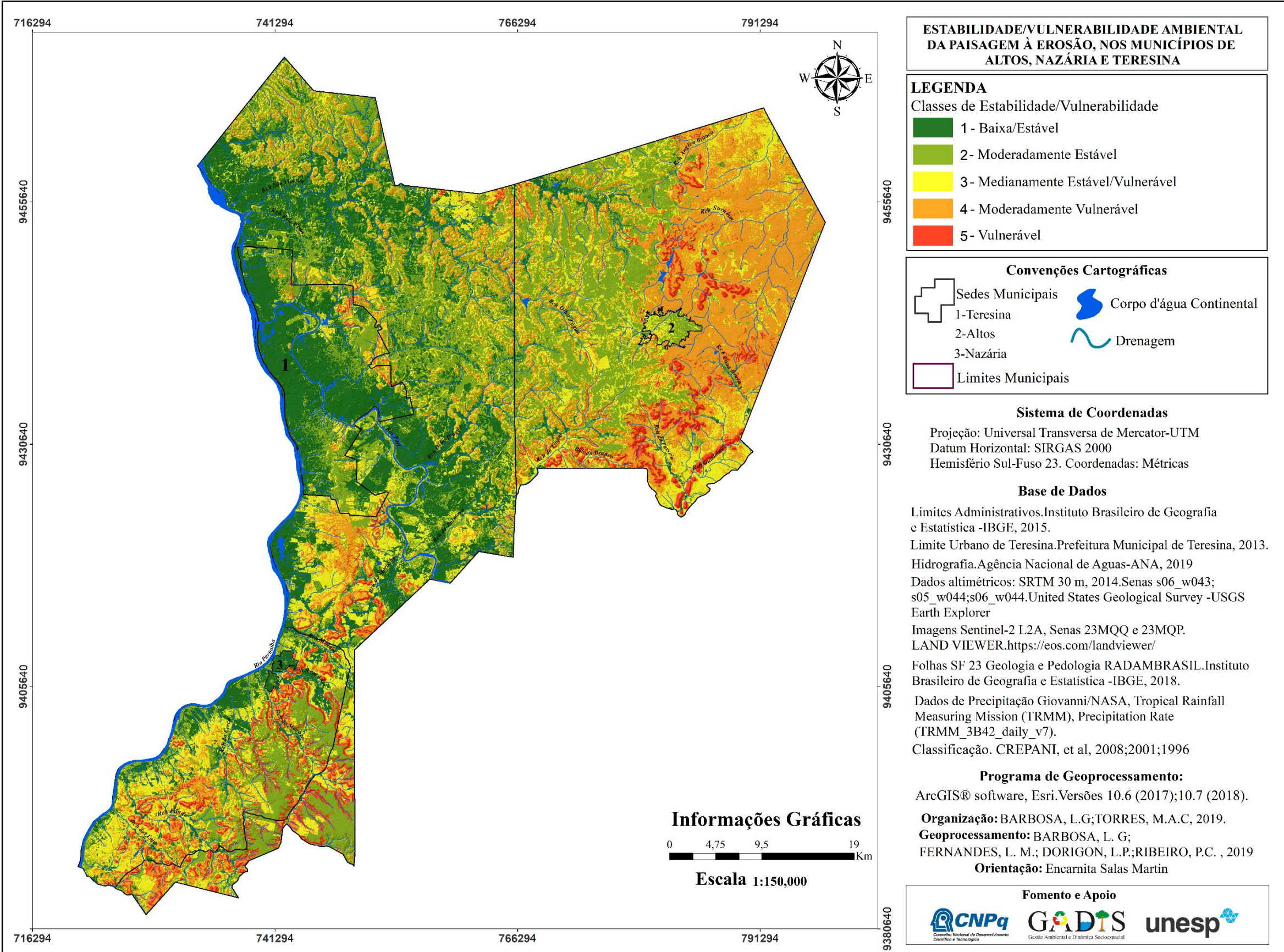
Fonte: Pesquisa Direta. Base de Dados: ANA (2019), Earth Explorer/USGS (2017), EMBRAPA (2018), IBGE (2013; 2015; 2018), Jacomine (1986a), LAND VIEWER (2018), Moraes (2004) e Ribeiro e Walter (2008).Org. e Geoprocessamento: BARBOSA, L.G., 2019. Orientação: MARTIN, E.S.

Mapa 17- Estabilidade/Vulnerabilidade ambiental da paisagem à erosão com a variável uso e sem vegetação



Fonte: Pesquisa Direta. Base de Dados: ANA (2019), Earth Explorer/USGS (2017), EMBRAPA (2018), IBGE (2013; 2015; 2018), Jacomine (1986a), LAND VIEWER (2018), Moraes (2004) e Ribeiro e Walter (2008).Org. e Geoprocessamento: BARBOSA, L.G., 2019. Orientação: MARTIN, E.S.

Mapa 18-Estabilidade/Vulnerabilidade ambiental da paisagem à erosão com todas as variáveis



Fonte: Pesquisa Direta. Base de Dados: ANA (2019), Earth Explorer/USGS (2017), EMBRAPA (2018), IBGE (2013; 2015; 2018), Jacomine (1986a), LAND VIEWER (2018), Moraes (2004) e Ribeiro e Walter (2008).Org. e Geoprocessamento: BARBOSA, L.G., 2019. Orientação: MARTIN, E.S.

De maneira geral, as condições mais estáveis da paisagem dos municípios são observadas nas áreas de planícies, vales e terraços fluviais, concentradas em sua maioria no município de Teresina. Nestas áreas, prevaleceram as características do solo, a baixa altitude, declividade e rugosidade do relevo, e a litologia, na determinação das condições de vulnerabilidade/estabilidade, predominando processos de pedogênese.

Contudo, em função da alta concentração de atividades e coberturas antrópicas potencialmente causadoras de instabilidade na paisagem, da ocorrência, pontual, de processos erosivos, ocasionados pela retirada de cobertura vegetal para fins diversos, principalmente nas áreas de extração mineral e da alta vulnerabilidade à ocorrência de inundações periódicas em função das características do relevo, considera-se que estas áreas são também vulneráveis, apresentando restrições de uso em função disso.

Em todos os cenários, o município de Altos apresentou a maior parte das áreas em condição de vulnerabilidade mais elevada. Além das condições morfométricas do relevo, favoráveis à ocorrência de processos erosivos, a maior parte das classes de solo que ocorrem no município possui alta vulnerabilidade à erosão e quase metade do seu território é coberto por vegetação com baixa capacidade de proteção do solo.

A vulnerabilidade apresenta relação inversa à estabilidade da paisagem. Isto significa que as áreas mais vulneráveis em cada cenário apresentado, são aquelas que apresentam menor estabilidade à ocorrência de processos erosivos, em relação às variáveis geoecológicas consideradas, e são também áreas onde predominam processos de morfogênese ou onde a relação morfogênese/pedogênese encontra-se em estágio intermediário.

É o caso das áreas de encostas e algumas áreas de topos de morros, colinas e planaltos que, apesar de apresentarem, na maior parte da área, densa cobertura vegetal, principalmente nas áreas de fisionomias de floresta, os solos são ainda pouco desenvolvidos e os processos de dissecação do relevo ocorrem de forma acentuada.

7 CONCLUSÕES

A análise dos principais resultados e da investigação sobre os fatores geoecológicos que mais influenciam o comportamento da vegetação nos municípios de Altos, Nazária e Teresina, por meio do inventário das características individuais dos diferentes elementos da paisagem e da síntese relacional destes com a vegetação, permitiu compreender a combinação e o importante papel dos elementos físico-naturais e antrópicos na formação da paisagem local e na distribuição espacial das fisionomias de vegetação e seu comportamento sazonal.

O comportamento da vegetação nativa expressa, através de suas características espaciais e sazonais, a maneira como os diferentes elementos estão arranjados na paisagem e como esta se organiza estrutural e funcionalmente. Isso ficou evidenciado nas análises dos limites e contatos das fisionomias da vegetação, e na maneira como estão arranjados, de acordo tipos litológicos, de relevo e de solo. A análise desses contatos mostrou que, especialmente as fisionomias da vegetação se conectam, ora em função das características do solo, ora do relevo e, em certa medida, das unidades litológicas.

Os resultados também mostraram que a precipitação determina a estacionalidade climática da vegetação e sua dinâmica funcional ao longo do ano, condicionando seus processos fenológicos, principalmente o processo de caducifolia, tipificando através da vegetação e sua dupla estacionalidade climática (fisionomia úmida e seca), dois tipos de paisagem, marcadamente diferenciadas.

Do pondo de vista do conjunto paisagístico, a litologia se mostrou o elemento geoecológico norteador da organização geral da estrutura da paisagem, a partir do qual os demais elementos estão arranjados espacialmente, principalmente o relevo e o solo. Por outro lado, a hipsometria e a declividade foram elementos determinantes na definição dos limites e contatos das unidades de paisagem mapeadas.

Os remanescentes de vegetação nativa, formado por fisionomias de Floresta e Cerrado, respondem pela maior parte das coberturas da terra nos municípios estudados (mais de 70%), sendo um dos elementos que mais caracterizam a paisagem local. Apresentam um complexo de fisionomias, distribuídos em áreas contínuas de cobertura vegetal arbórea e arbóreo-arbustiva, que reflete a condição de transição regional da área e a própria dinâmica estrutural e evolutiva da paisagem.

Em relação à morfodinâmica, a análise da vulnerabilidade à erosão resultou na elaboração de quatro mapas, cada um com um cenário distinto, dependendo das variáveis geoecológicas combinadas. Nas áreas de topografia e declividade elevadas e onde a cobertura

vegetal possui baixa capacidade protetora, a vulnerabilidade é acentuada, reduzindo a estabilidade da paisagem. Situação inversa se verificou nas áreas com ocorrência de floresta, onde a cobertura vegetal é densa e possui alta capacidade protetora. Na avaliação geral, predominaram áreas com equilíbrio morfodinâmico entre a pedogênese e a morfogênese.

Quanto à situação ambiental da área de estudo como um todo, a expressiva cobertura vegetal é um dos principais fatores na manutenção da estabilidade ambiental da paisagem, mantendo o equilíbrio aparente nas relações de troca dos fluxos de matéria, energia e informação com os demais elementos do sistema. Condições que lhe permitem a produção constante de biomassa, constatada a partir da observação do crescimento progressivo de novas plantas e o restabelecimento natural da vegetação, mesmo nas áreas que sofreram algum tipo de degradação por intervenção antrópica.

Essa condição de estabilidade ambiental da vegetação mantém conservados também os solos, inibindo e/ou atenuando os processos erosivos, principalmente nas áreas de encostas mais íngremes. A densidade de plantas que cobrem os solos, controla os fluxos de escoamento superficial e de entrada de energia e a perda de matéria desse componente.

Contudo, o crescimento urbano da área e a expansão e diversificação de atividades que demandam a eliminação e exploração da cobertura vegetal, em grande e pequena escala, sem o devido planejamento territorial, presenciado ao longo do processo de uso e ocupação do solo, se constituem em fatores que podem comprometer os mecanismos de auto-regulação do sistema paisagístico local, e o equilíbrio ambiental dessa região, desencadeando uma série de problemas ambientais que inclui processos erosivos, degradação de cursos d'água, comprometimento de lençol freático, etc.

Essa observação encontra respaldo nos resultados do diagnóstico da vulnerabilidade apresentados no capítulo 6 da tese e no próprio sistema de auto-regulação da paisagem, que é determinado pelas interconexões entre solo, vegetação e demais subsistemas paisagísticos naturais.

De maneira geral, esta pesquisa buscou realizar uma análise global das interações da vegetação na paisagem e dos fatores geoecológicos que a formam, incluindo em sua discussão, aspectos naturais e antrópicos, por meio de inventário e síntese cartográfica e, diagnóstico ambiental, na tentativa de entender o comportamento da vegetação dos três municípios estudados, através dos princípios de análise geoecológica, da orientação teórico-metodológica que norteou o desenvolvimento da pesquisa, a Geoecologia da Paisagem.

Procurou ainda, contemplar conceitos e temas fundamentais para o entendimento da natureza do objeto de estudo e suas interações geoecológicas, explorando conceitos geográficos e ambientais, como paisagem, vulnerabilidade, unidades de paisagem e estabilidade. Estes conceitos contribuíram para pensar a realidade local, em se tratando das interconexões da vegetação na paisagem, do entendimento da paisagem local e da relação sociedade-natureza.

A adoção dos princípios teóricos da Geoecologia da Paisagem e de parte do seu conjunto técnico-metodológico, o inventário geoecológico e a Cartografia de Paisagens, que integram sua base teórica, como norteadores técnico-metodológicos, contribuiu para alcançar os objetivos da pesquisa e esclarecer seus pressupostos iniciais, se mostrando de importância teórica e metodológica em estudos de análise integrada do ambiente.

A aplicação da Cartografia de Paisagens, em especial, possibilitou a interpretação integrada das propriedades estruturais (estrutura horizontal, disposição e características fisionômicas) dos diferentes fatores geoecológicos que compõem a paisagem local e a distinção das unidades de paisagem, que o conjunto destes elementos formam.

Sua aplicação baseada em etapas de inventário cartográfico, generalização e síntese paisagística, e diagnóstico ambiental permitiu reunir informações quantitativas e qualitativas acerca dos principais fatores geoecológicos de formação da paisagem na área estudada, envolvidos na espacialização e dinâmica da vegetação, assim como a avaliação diagnóstica da paisagem, por meio da análise morfodinâmica.

O conjunto cartográfico produzido durante o desenvolvimento da pesquisa e apresentado ao longo desta tese, em escala semidetalhada (média) de 1:150.000 e 1:250.000, reúne um conjunto de informações inéditas sobre aspectos físicos-naturais e antrópicos dos municípios estudados, como informações do relevo, das fisionomias de vegetação nativa, unidades de paisagem, Estabilidade/Vulnerabilidade da paisagem, índices de vegetação, precipitação e uso da terra.

Estas informações, além de formar uma base cartográfica importante para que pesquisas futuras possam se aprofundar na discussão de questões ambientais como capacidade de uso da terra, áreas prioritárias para conservação, análise de riscos, etc., também servem de instrumento norteador de estudos voltados para o planejamento, ordenamento e gestão do território nestes municípios.

Além disto, os resultados desta tese possibilitam uma variedade de outras leituras sobre a situação geográfica dos municípios, além daquelas apresentadas ao longo da discussão

do texto, como leituras direcionadas, especificamente, às relações solo-vegetação, relevo-solo, litologia-relevo-vegetação, vegetação-precipitação, etc., ao potencial econômico e a capacidade ecossistêmica das fisionomias vegetais dos municípios, a capacidade de uso da terra e a vulnerabilidade de perdas de solo por processos erosivos, induzidos pela interferência antrópica, dentre outros.

REFERÊNCIAS

- AB' SABER, A. N. **Os Domínios da Natureza no Brasil:** potencialidades paisagísticas. São Paulo: Ateliê Editorial, 2003.
- AB' SABER, A. N. Ecossistemas Continentais. *In:* OLIVEIRA, E. M.; KACOWICZ, Z. (Coord.). **Relatório da Qualidade do Meio Ambiente.** Sinopse. Brasília - DF, SEMA, 1984, p.171-218.
- AB SABER, A. N. **Domínios morfoclimáticos e províncias fitogeográficas do brasil.** Revista Orientação. São Paulo, n. 3, p. 45-48, 1967. [Republicado em Grandes paisagens brasileiras. São Paulo: Eca, 1970; e como parte do artigo “Províncias geológicas e domínios morfoclimáticos no Brasil”. Geomorfologia, São Paulo, n. 20, p. 1-26, 1970].
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUA-ANA. **Base Hidrográfica do Rio Parnaíba.** Brasília: geonetwork, 2019. Escala 1:100.000. Disponível em: <https://metadados.ana.gov.br/geonetwork/srv/pt/main.home>. Acesso: jul de 2019.
- ESA. **LandViewer.** Imagem Sentinel-2 L2A.EOS:ESA, 2018. Resolução 10 M. Disponível em: <https://eos.com/landviewer/?tool-timelapse/>. Acesso em: jan. de 2019.
- ALVES FILHO, E.; CAMPOS, W. W.; FURLAN, S. A. Ecologia da paisagem e a conservação de Florestas Tropicais. **Revista OKARA: Geografia**, vol. 9, n. 2, p.195-215, 2015. Disponível em: <https://periodicos.ufpb.br/ojs2/index.php/okara/article/view/26734>. Acesso: abr. de 2019.
- ANDRADE JÚNIOR, A. S.; BASTOS, E. A.; SILVA, C. O.; GOMES, A. A. N.; FIGUEREDO JÚNIOR, L. G. M. de. **Atlas Climatológico do Estado do Piauí.** Documentos 101. Teresina, PI: EMBRAPA-Meio Norte, 2004a. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/885291/atlas-climatologico-do-estado-do-piaui>. Acesso: fev. de 2014.
- ANDRADE JÚNIOR, A. S.; BASTOS, E. A.; BARROS, A. H. C.; SILVA, C. O.; GOMES, A. A. N. **Classificação climática do Estado do Piauí.** Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2004b. 86p, Embrapa Meio-Norte. Documentos, 86. Disponível em: https://www.macroprograma1.cnptia.embrapa.br/finep/metas-fisicas/meta-fisica-17/publicacoes/01%20-%20cpamn_documentos_86.pdf. Acesso: fev. de 2014.
- ANDRADE JÚNIOR, A. S.; BASTOS, E. A.; BARROS, A. H. C.; SILVA, C. O.; GOMES, A. N. Classificação climática e regionalização do semi-árido do Estado do Piauí sob cenários pluviométricos distintos. **Revista Ciência Agronômica**, vol. 36, n. 2, maio/ago., 2005, p. 143-151. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/279508552_Classificacao_climatica_e_regionalizacao_do_semi-arido_do_Estado_do_Piaui_sob_cenarios_pluviometricos_distintos.2008/. Acesso: fev. de 2014.
- ANTUNES, R. L. S. **Análise Integrada da Paisagem com a aplicação do Sensorimento Remoto na Bacia Hidrográfica do Rio Botucaí-Rio Grande do Sul.** Tese (Doutorado em Geografia Física) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo.- São Paulo, 2017, 201f. Disponível em:

https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/8/8135/tde-13042017-091655/publico/2017_RobertoLuizDosSantosAntunes_VCorr.pdf. Acesso: out. de 2019.

AQUINO, R.P.; VALLADARES, G.S.; AQUINO, C.M. S; GUIMARÃES, C.C.B. COELHO, R.M. Análise da vulnerabilidade natural e do risco de degradação no alto curso do rio Banabuiu-CE. Recife, PE: **Revista Brasileira de Geografia Física** v.09, n.02, 2016, p.601-613. Disponível em: <http://www.ufpe.br/rbgfe>. Acesso: set. de 2019. DOI: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v11.4.p1442-1457>.

AQUINO, A. R.; PALETTA, F. C.; ALMEIDA, J. R. **Vulnerabilidade ambiental**. - São Paulo: Blucher, 2017. 112 p. ISBN 978-85-803-9242-5. Disponível em: <https://openaccess.blucher.com.br/article-details/vulnerabilidade-ambiental-20402>. Acesso: set. de 2019.

ARAUJO, R. N. **Depósitos Lacustres Rasos da Formação Pedra de Fogo, Permiano da Bacia do Parnaíba, Brasil**. Dissertação (Mestrado em Geologia e Química) -Programa de Pós-Graduação em Geologia e Química da Federal do Pará-UFPA, 2015. Disponível em: http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/bitstream/doc/14772/1/MESTRADO_RAPHAEL_ARA%C3%9AJO.pdf. Acesso: out. de 2019.

ARAÚJO, E. C. E.; MENDES, A. M. de C.; RIBEIRO, F. E. **Comportamento fenológico do babaçu (*Orbigliyaphaleratamart.*) em três tipos de solo do Piauí**. Teresina: EMBRAPA-CPAMN, 1996. Disponível em: <https://www.embrapa.br/meio-norte/busca-de-publicacoes/-/publicacao/49563/comportamento-fenologico-do-babacu-orbignya-phalerata-mart-em-tres-tipos-de-solo-do-piaui>. Acesso: nov. de 2019.

BARDUCO, G. L.; ALVES, R. R.; BASTOS, A. B.S.; FURLAN, S. Â. Relação entre a vegetação e o solo na restinga do Parque Estadual da Ilha do Cardoso, SP. XIII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada. **Anais do [...]**. Viçosa, MG, v. XIII, 2009. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/282021260>, 2009. Acesso: set. de 2018. DOI: 10.13140/RG.2.1.5020.7201.

BARBOSA. H. A. **Análise espaço temporal de Índice de Vegetação AVHRR/NOAA e precipitação na região Nordeste do Brasil em 1982-85**. 170 f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, SERE, 1998. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/47446049_Analise_espaco_temporal_de_indice_de_vegetacao_AVHRRNOAA_e_precipitacao_na_regiao_Nordeste_do_Brasil_em_1982-85. Acesso: set. de 2016.

BARBOSA, L. G. **Análise de sistemas em Biogeografia: estudo diagnóstico da cobertura vegetal da Floresta Nacional de Palmares, Altos, Piauí/Brasil**. 2015. 177 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia, 2015. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/154622>. Acesso em: fev. de 2019.

BARREIROS, A. M. **Da paisagem como objeto da Geografia: repasse teórico e sugestão metodológica**. 2017. Tese (Doutorado em Geografia) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências, Universidade do Estado de São Paulo, São Paulo, 2017. Disponível em: <http://teses.usp.br/teses/disponiveis/8/8135/tde-19022018-121253/pt-br.php>. Acesso em: out. 2018. DOI: 10.11606/T.8.2018.tde-19022018-121253.

BARROS, J. S.; CASTRO, A. A. J. F. Compartimentação geoambiental no complexo de Campo Maior, PI: uma área de tensão ecológica. **Revista Internacional de Desenvolvimento Local**, Teresina, PI, v. 8, n. 13, set. 2006, p. 119-130. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/inter/v8n13/a13v8n13.pdf>. Acesso: jun. de 2015.

BASTOS, E. A.; ANDRADE JUNIOR, A. S. **Boletim Agrometeorológico de 2007 para o município de Teresina, PI**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2007. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/70689/boletim-agrometeorologico-de-2007-para-o-municipio-de-teresina-piaui>.

BECERRA, J. A. B.; SHIMABUKURO, Y. E.; ALVALÁ, R. C. dos S. Relação do padrão sazonal da vegetação com a precipitação na região de Cerrado da Amazônia Legal, usando índices espectrais de vegetação. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.24, 2009, p.125-134. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-77862009000200002. Acesso em: fev. de 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-77862009000200002>.

BECKER, B. K.; EGLER, C. A. G. **Detalhamento da Metodologia para execução do Zoneamento Ecológico-Econômico pelos Estados da Amazônia Legal**. -Rio de Janeiro, RJ:SAE e MMA, maio de 1996. Disponível em: http://www.egler.com.br/pdf/Metodo_ZEE.pdf. Acesso: dez. de 2018.

BELOV, A.V.; SOKOLOVA, L. P. Functional organization of Vegetation in the system of cartographic forecasting. **Geography and Natural Resources**. Ed. 30, 2009, p. 8-13. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1875372809000045>. Acesso: dez. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gnr.2009.03.003>.

BELOV, A.V.; SOKOLOVA, Vegetation stability in the system of geobotanical forecasting. **Geography and Natural Resources**. Ed. 29, 2008, p. 124–131. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1875372808000336>. Acesso: dez. de 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gnr.2008.06.016>

BERTRAND, G. **Paisagem e Geografia física Global**: esboço metodológico. R. RAÍE GA, Curitiba, n. 8, p. 141-152, 2004. Editora UFPR. Disponível em: <http://ojs.c3sl.ufpr.br/ojs2/index.php/raega>. Acesso em: jul. de 2014.

BERTRAND, G. Paysage et géographie physique globale: esquisse méthodologique. **Revue géographique des Pyrénées et sud-ouest**, v. 39, fasc. 3, 1968. p. 249-272. Disponível em: https://www.persee.fr/doc/rgpso_0035-3221_1968_num_39_3_4553. Acesso em: ago. de 2017.

BERTRAND, C.; BERTRAND, G. **Uma Geografia transversal e de travessias**: o meio ambiente através dos territórios e das temporalidades. Tradução Messias Modesto dos Passos. Maringá: Ed. Massoni, 2009. 361 p. ISBN:978-85-88905-95-5.

BEROUTCHACHVILI, N.L.; BERTRAND, G. O Geossistema ou “sistema territorial natural”. In: BERTRAND, C.; BERTRAND, G. **Uma Geografia transversal e de travessias**: o meio ambiente através dos territórios e das temporalidades. Tradução Messias Modesto dos Passos. Maringá: Ed. Massoni, 2009. 361 p. ISBN:978-85-88905-95-5.

BEROUTCHACHVILI, N. L.; BERTRAND, G. L. Géosystème ou Système territorial naturel. **Revue Géographique des Pyrénées et du sud-ouest**. Toulouse. 1978. p. 167-180. Disponível em: https://www.persee.fr/doc/rgpso_0035-3221_1978_num_49_2_3548. Acesso em: fev. de 2017.

BESSE, J. **Ver e Terra**: seis ensaios sobre a paisagem e a Geografia. Tradução: Vladimir Bartalini. - São Paulo: Perspectiva, 2014. -(Coleção estudos: 230). 109p.ISBN 978-85-273-0755-3.

BIZZI, L. A.; SCHOBENHAUS, C.; VIDOTTI, R. M.; GONÇALVES, J. H. (Org.). **Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil**. Texto, Mapas & SIG. Brasília: CPRM, 2003. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/Recursos-Minerais/Apresentacao/Geologia%2C-Tectonica-e-Recursos-Minerais-do-Brasil-343.html>. Acesso: out. de 2019.

BOLOS i CAPDEVILA, M; BOVET PLA, M. D. T.; GARCIA, X. E.; VILA, R. P.; VILÁS, J. R.; INSA, J. S. **Manual de Ciência del Paisaje**: teoria, métodos y aplicaciones. Barcelona-ES: MASSON, 1992.273 p. ISBN: 84-311-0595-X.

BONAN, G.B. **Ecological Climatology**: concepts and applications. Cambridge University Press, 2002. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/262833178_Ecological_Climatology_Concepts_and_Applications_Second_Edition. Acesso: set. de 2016. DOI: <https://doi.org/10.1017/CBO9781107339200>.

BRASIL, Departamento Nacional de Produção Mineral. Projeto RADAM. **Folha SB. 23 Teresina e parte da folha SB.24 Jaguaribe**: geologia, geomorfologia, solos, vegetação, uso potencial da terra. Rio de Janeiro, 1973. (Levantamento de Recursos Naturais, 2).

BREIL, M.; PANITZ, H. J.; SCHÄDLER, G. Impact of soil-vegetation-atmosphere interactions on the spatial rainfall distribution in the Central Sahel. **Meteorologische Zeitschrift**, vol. 26, n. 4, 2017, p.379-389. Disponível em: Gebrüder Borntraeger Science Publishers, Stuttgart, www.borntraeger-cramer.com. Acesso: jan de 2019. DOI 10.1127/metz/2017/0819.

BROWN, J. H.; LOMOLINO, M. V. **Biogeografia**. Tradução Iulo Feliciano Afonso. 2 ed. Rev. e ampl. - Ribeirão Preto-SP: FUNPEC Editora, 2006.

CALLO-CONCHA, D.; EWERT, F. Using the concepts of resilience, vulnerability and adaptability for the assessment and analysis of agricultural systems. **Change Adaptation Socioecol Syst**, Bonn, Germany, v. 1, 2014, p. 1-11. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/261401347_Using_the_Concepts_of_Resilience_Vulnerability_and_Adaptability_for_the_Assessment_and_Analysis_of_Agricultural_Systems. Acesso: out. de 2019. DOI: 10.2478/cass-2014-0001.

CAPRA, F. **A teia da vida**: uma nova compreensão científica dos sistemas vivos. Tradução de Newton Roberval Eichenberg. São Paulo: Editora Cultrix, 1995.256 p.

CPRM, de Pesquisa de Recursos Minerais. **Mapa Geológico do Estado do Piauí**, 1:1.000.000. Teresina: CPRM, versão 2006. Disponível em: <http://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/handle/doc/2923>.

CAPUTO, M. V.; IANNUZZI, R.; FONSECA, V. M. M. Bacias sedimentares brasileiras: Bacia do Parnaíba. **Phoenix**, v. 81, p. 1-6, 2005. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Mario_Caputo4/publication/317551866_Bacia_do_Parnaiba/links/593ee99ea6fdcc1b109c5949/Bacia-do-Parnaiba.pdf. Acesso em: fev. de 2019.

CARVALHO, G.M.B.S.; SOUZA, M.J.N.; SANTOS, S.M. Análise da Vulnerabilidade à erosão: Bacias dos Rios Aracatiaçu e Aracatimirim, CE. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto-SBSR, Belo Horizonte, Brasil, 2003. **Anais do [...]**. INPE, p. 1281 - 1288. Disponível em: http://marte.dpi.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2002/11.05.15.17/doc/12_040.pdf.

CASSAB, G. I.; GUEVARA, Y. S. **Diferenciación y Crecimiento Diferencial**: La Capacidad Motriz de Las Plantas La Serena-Chile: Universidade de La Serena, 2006. (Capítulo XVII). Disponível em: http://www.biouls.cl/librofv/web/pdf_word/Capitulo%2017.pdf. Acesso em: set. 2015.

CASSETI, V. **Ambiente e apropriação do relevo**. São Paulo: Contexto, 1991.

CAVALCANTI, L. C. **Geossistemas do Semiárido Brasileiro**: Considerações Iniciais. Caderno de Geografia, v.26, número especial 2, P 214-228, dez. 2016. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/312287263>. Acesso em: jul. de 2017. DOI:10.5752/p.2318-2962.2016v26nesp2p214.

CHASCO, C. F.; HIJANO, C. F. **Biogeografía y Edafogeografía**. Madrid, ES: Ed. SINTESIS, 1999.

CHÁVEZ, E. S.; RIBEIRO, A. F. N. La Cartografía de los Paisajes con el empleo de los Sistemas de Información Geográfica: caso de estudio Parque Nacional Sierra de Bodoquema y su entorno, Mato Grosso do Sul, Brasil. Luján, Argentina: **Geografía y Sistemas de Información Geográfica (GEOSIG)**, v. 9, n. 9, 2017, p.186-205. Disponível em: <http://www.gesig-proeg.com.ar>. Acesso: dez. de 2019. ISSN 1852-8031.

CHRISTOFOLETTI, A. As perspectivas dos estudos geográficos. In: CHRISTOFOLETTI, A. Perspectivas da Geografia. Rio Claro: DIFEL Difusão Editorial, 1982.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia fluvial**. São Paulo: Edgard Blucher, 1981, v.1.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo: Edgard Blucher, 1980.

CHRISTIPHERSON, R. W. **Geossistemas**: uma introdução à Geografia Física. Tradução Francisco Eliseu Aquino *et. al.* Porto Alegre: Bookmam, 2012.

CLAVAL, P. **Epistemologia da Geografia**. Tradução Margareth de Castro Afeche Pimenta, Joana Afeche Pimenta. Florianópolis: Ed. UFSC, 2011.

CLAVAL, P. **Terra dos Homens: a Geografia**. Tradução Domitila Madureira. São Paulo: Contexto, 2010. 143p. ISBN 978-85-7244-490-3.

CODEVASF, Companhia de Desenvolvimento dos Vales do Parnaíba e São Francisco. **Plano de Ação Integrado e Sustentável para a RIDE Grande Teresina**. Produto II: Diagnóstico Situacional Participativo. Teresina, PI: Ministério da Integração, CODEVASF, 2014. Disponível em: <https://semplan.teresina.pi.gov.br/ride-teresina/>. Acesso: abr. de 2018.

CODEVASF, Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba. **Plano de Ação para o Desenvolvimento Integrado da Bacia do Parnaíba – PLANAP**. Brasília, DF: TDA Desenho & Arte Ltda., 2006. Disponível em: https://www.codevasf.gov.br/acesso-a-informacao/institucional/biblioteca-geral-do-rocha/publicacoes/arquivos/livro_14.pdf. Acesso: abr. de 2018.

COSTA, Y.T.; RODRIGUES, S.C. Relação entre cobertura vegetal e erosão em parcelas representativas de Cerrado. **Revista Geográfica Acadêmica**, v.9, n. 2, 2015, p. 61 - 75. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/288904012>. Acesso: ago. de 2019. DOI: 10.18227/1678-7226rga.v9i2.3160.

COELHO, A. S.; MARENZI, R. C.; IZA, O. B.; SOUZA, V. A. C.; LONGARETE, C. Análise da estrutura espacial e funcional da paisagem aplicada ao planejamento da conservação da natureza no município de Itajaí, Santa Catarina, Brasil. **Geosul**, Florianópolis, SC, v. 33, n. 66, p. 304-327, jan./abr. 2018. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/329134873_Analise_da_estrutura_espacial_e_funcional_da_paisagem_aplicada_ao_planejamento_da_conservacao_da_natureza_no_municipio_de_Itajai_Santa_Catarina_Brasil. Acesso: out. de 2019. DOI: 10.5007/2177-5230.2018v33n66p304.

CPRM, Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais. **Mapa de Geodiversidade do Piauí**. Teresina: CPRM, 2010. Disponível em: <http://pt:www.cprm.gov.br>

CPRM, Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais. **Mapa geológico do Piauí**. Teresina: CPRM, 2006. Disponível em: <http://pt:www.cprm.gov.br>.

CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S.; PALMEIRA, A. F.; SILVA, E. F. Zoneamento Ecológico-Econômico. In: FLORENZANO, T. G. **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais**. - São Paulo, SP: Oficina de Textos, 2008. ISBN: 978-85-86238-65-9.

CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S.; 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, SP: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais-INPE, jun. 2001. Disponível em: <http://sap.ccst.inpe.br/artigos/CrepaneEtAl.pdf>. Acesso: dez. de 2018.

CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S.; AZEVEDO, L.G.; HERNANDEZ FILHO, P.; FLORENZANO, T. G.; DUARTE, V. **Curso de Sensoriamento Remoto aplicado ao Zoneamento Ecológico-Econômico**. - São José dos Campos, SP: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais-INPE, abr. de 1996. Disponível em: <http://mtc-m12.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/sergio/2004/05.13.15.34/doc/publicacao.pdf>. Acesso: dez. de 2018.

EAKIN, H.; LUERS, A. L. Assessing the vulnerability of Social-Environmental Systems. **Annual Review of Environment and Resources**, jan, 2008, p.365-394. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/228285384>. Acesso: set. de 2019. DOI: 10.1146/annurev.energy.30.050504.144352.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Zoneamento Edafoclimático do Babaçu nos Estados do Maranhão e Piauí**. Rio de Janeiro, RJ, EMBRAPA-SNLCS/SUDENE-DRN, 1984. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/336071/zoneamento-edafoclimatico-do-babacu-nos-estados-do-maranhao-e-piaui>. Acesso: jan. de 2018.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Zoneamento Edafoclimático do Babaçu nos Estados do Maranhão e Piauí**. Rio de Janeiro, RJ, EMBRAPA-SNLCS/SUDENE-DRN, 1984. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/336071/zoneamento-edafoclimatico-do-babacu-nos-estados-do-maranhao-e-piaui>. Acesso: jan. de 2018.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Súmula da 10. Reunião Técnica de Levantamento de Solos**. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SNLCS. Miscelânea, 1, 1979. Disponível em: <https://edepot.wur.nl/480004>. Acesso: out. de 2018.

FERRAZ, N. C.; CÓRDOBA, V. C.; SOUSA, D. C. Análise estratigráfica da sequência Mesodevoniana-Eocarbonífera da Bacia do Parnaíba, Nordeste do Brasil. São Paulo, UNESP, **Geociências**, v. 36, n. 1, 2017, p. 154-172. Disponível em: <http://www.ppegeo.igc.usp.br/index.php/GEOSP/article/view/10947>. Acesso: out. de 2019.

FIGUEIRÊDO, M. C. B.; VIEIRA, V. P. P. B.; MOTA, S.; ROSA, M. F.; MIRANDA, S. **Análise da Vulnerabilidade Ambiental**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2010. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agroindustria-tropical/busca-de-publicacoes/-/publicacao/877885/analise-da-vulnerabilidade-ambiental>. Acesso: set. de 2019.

ESA. LandViewer. **Imagem Sentinel-2 L2A**. EOS: ESA, 2018. Resolução 20 M. Disponível em: <https://eos.com/landviewer/?tool-timelapse/>. Acesso em: jan. de 2019.

FLORENZANO, T. C. **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

GALINDO, I. C. L.; RIBEIRO, M. R.; SANTOS, M. F. A. V.; LIMA, J. F.W. F.; FERREIRA, R. F. A. L. Relações solo-vegetação em áreas sob processo de desertificação no Município de Jataúba, PE. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, n. 3, 2008, p.1283-1296. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-06832008000300036&script=sci_abstract&tlng=pt. Acesso: nov. de 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832008000300036>.

GALLOPÍN, G. C. Linkages between vulnerability, resilience, and adaptive capacity. **Global Environmental change**, v.16, n. 3, 2006, p. 293-303. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959378006000409>. Acesso: set. de 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2006.02.004>.

GITELSON, A. A.; GRITZ, Y.; MERZLYAK, M. N. Relation ships between leaf chlorophyll content and spectral reflectance and algorithms for non-destructive chlorophyll assessment in higher plantlet aves,” **Journal of Plant Physiology**, vol. 160, n. 3, 2003, p. 271–282.

Disponível em: <https://nebraska.pure.elsevier.com/en/publications/relationships-between-leaf-chlorophyll-content-and-spectral-refle>. Acesso: out. de 2019. DOI: <https://doi.org/10.1078/0176-1617-00887>.

GÓES, A. M. **A Formação Poti (Carbonífero Inferior) da Bacia do Parnaíba**. 1995, 180f. Tese (Doutorado). Programa de Pós-Graduação em Geologia Sedimentar do Instituto de Geociências. Universidade de São Paulo, 1995.

GOÉS, A. M. O.; FEIJÓ, F. J. Bacia do Parnaíba. **Boletim de Geociências**. Rio de Janeiro: PETROBRÁS, v.8, n.1, p. 57-67. 1994.

GONZAGA, E. P.; SANTOS, V. V.; NICÁCIO, R. M. Análise do comportamento do NDVI e NDWI em períodos de diferentes intensidades pluviométricas no Sertão alagoano. XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto-SBSR. **Anais do [...]**. Curitiba, PR, 2011, p. 1736-1743. Disponível em:

<http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/marte/2011/07.04.12.48/doc/p1632.pdf>. Acesso em: fev. de 2019.

GRAHAM, P.; MACLEAN, L.; MEDINA, D.; PATWARDHAN, A.; VASARHELYI, G. The Role of Water Balance Modelling in the Transition to Low Impact Development. **Water Quality Research Journal of Canada**, v.39, n.4, 2004, p. 331-342.

Disponível

em: https://www.researchgate.net/publication/279584267_The_Role_of_Water_Balance_Modelling_in_the_Transition_to_Low_Impact_Development. Acesso: ago. de 2019.

DOI:10.2166/wqrj.2004.046.

GUERRA, A. J. T.; BOTELHO, R. G. M. Erosão dos Solos. In: CUNHA, S. B. da; GUERRA, A. J. T. (Org.). **Geomorfologia do Brasil**. - 2 ed.- Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2001. ISBN 85-286-0670-8.

HUETE, A.R. **A soil-adjusted vegetation index**. **Remote Sensing of Environment**, Elsevier Science Publishing Co, New York, USA, 1988, P. 295-309. Disponível em:

<https://www.researchgate.net/publication/220040775>. Acesso: nov. de 2019. DOI: 10.1016/0034-4257(88)90106-X.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatístico. **Monitoramento da Cobertura e Uso da Terra do Brasil 2014–2016**. Rio de Janeiro: IBGE, 2018. Disponível em:

<https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101625.pdf>. Acesso: fev. de 2019.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatístico. **Manual Técnico de Vegetação Brasileira**. 2 ed., rev. e ampl., Rio de Janeiro: IBGE, n.1, 2012. Disponível em:

<https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv63011.pdf>. Acesso: jan. de 2018.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatístico. **Manual Técnico de Uso e Cobertura da Terra**. 3. ed. rev. e ampl., Rio de Janeiro: IBGE, n.7, 2013. Disponível em:

<https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv63011.pdf>. Acesso: jan. de 2018.

JACOMINE, P. K. T. **Levantamento exploratório reconhecimento de solos do Estado do Piauí**. v. 2. Rio de Janeiro: EMBRAPASNLCS/SUDENE-DRN, 1986a. Disponível em:

<https://www.bdpa.cnptia.embrapa.br/consulta/busca?b=ad&id=64834&biblioteca=vazio&busca=autoria:%22JACOMINE,%20%20P.K.T.%22&qFacets=autoria:%22JACOMINE,%20%20P.K.T.%22&sort=&paginacao=t&paginaAtual=1>. Acesso: nov. de 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Folha SB23-geol.** IGC, 2018. 1 carta. Escala 1:250.000. Disponível em: <https://mapas.ibge.gov.br/bases-e-referenciais/bases-cartograficas/cartas.html>. Acesso: dez. de 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Folha SB23-pedo.** IGC, 2018. 1 carta. Escala 1:250.000. Disponível em: <https://mapas.ibge.gov.br/bases-e-referenciais/bases-cartograficas/cartas.html>. Acesso: dez. de 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Projeção da População**. Rio de Janeiro: IBGE, 2018. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9109-projecao-da-populacao.html?=&t=downloads>. Acesso em: jan. de 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Trabalho e Rendimento**. Rio de Janeiro: IBGE, 2017. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pi/>. Acesso em: jan. de 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **População Estimada**. Rio de Janeiro: IBGE, 2019. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pi/>. Acesso em: jan. de 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Demográfico 2010**. Características da população e dos domicílios: resultados do universo. Rio de Janeiro: IBGE, 2011. Disponível em: http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/caracteristicas_da_populacao/resultados_do_universo.pdf. Acesso em: mar. de 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Demográfico 2010**. Características da população e dos domicílios: resultados do universo. Rio de Janeiro: IBGE, 2011. Disponível em: http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/caracteristicas_da_populacao/resultados_do_universo.pdf. Acesso em: mar. de 2018.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente**: uma perspectiva em recursos terrestres. 2. ed. São José dos Campos: Parêntese, 2011.

JORDÃO, C. O. Análise da vulnerabilidade ambiental no planejamento espacial do cultivo de cana-de-açúcar no Estado de São Paulo. 2011. **Dissertação** (Dissertação em Engenharia Ambiental) - Programa de Pós-Graduação em Ciências de Engenharia Ambiental. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18139/tde-09122011-133549/publico/DissertacaoCarolinaDeOliveiraJordao.pdf>. Acesso: set. de 2019.

LACOSTE, A.; SALANON, R. **Biogeografia**. Elementos de Geografia. Barcelona: Oikos-Tau, 1996.

LEI, Y.; WANG, J.; YUE, Y.; ZHOU, H.; Yin, W. Rethinking the relationships of vulnerability, resilience, and adaptation from a disaster risk perspective. **Natural Hazards**, fev./ago., 2013, p. 609-627. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11069-013-0831-7>. Acesso: out. de 2019. DOI:10.1007/s11069-013-0831-7.

LICHT, O. A. B.; BITTENCOURT, A. V. L. Paisagens Geoquímicas - Naturais e Antrópicas - no Estado do Paraná. **Revista Técnico-Científico do CREA.PR**, 2015. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/284353057>. Acesso: set. de 2019.

LIMA, E. de A. M.; LEITE, J. F. **Projeto estudo Global dos Recursos Minerais da Bacia Sedimentar do Parnaíba**: integração Geológico-Metalogenética. Etapa III. Relatório Final. Recife: DNPM/CPRM, 1977.

LIMA, I. M. M. F. **Morfodinâmica e meio ambiente na porção centro-norte do Piauí, Brasil**. 2013, 309 f. Tese (doutorado em Geografia) - Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências. Belo Horizonte: IGC/UFMG, 2013. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/BUBD-AD7P7T?show=full>.

LIMA, I. M. M. F.; AUGUSTIN, C. H. R. R. Dissecção do relevo na área de Teresina e Nazária, PI. In: 9º Simpósio Nacional de Geomorfologia. **Anais do [...]**. Rio de Janeiro-RJ: Universidade Federal do Rio de Janeiro-UFRJ, 2012. Disponível em: <http://www.sinageo.org.br/2012/trabalhos/8/8-645-554.html>.

LIMA, I. M.M.F. O relevo de Teresina, PI: compartimentação e dinâmica atual. In: IX ENANPEGE, Encontro Nacional da Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Geografia. **Anais do [...]**. Goiânia, GO: Universidade Federal de Goiânia, 2011. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/308697215_O_RELEVO_DE_TERESINA_PI_CO_MPARTIMENTACAO_E_DINAMICA_ATUAL. Acesso: jan. de 2018.

LIMA, L. F. G.; BARROS, R. F. M.; CABRAL, O. S.; SILVA, M. B. C. Levantamento Florístico da Floresta Nacional (FLONA) de Palmares, Altos, Piauí, Brasil. In: SANTOS FILHO, F. S.; SOARES, A. F. C. L.; ALMEIDA JUNIOR, E. B. **Biodiversidade do Piauí**: pesquisas e perspectivas.v. 2- Teresina, PI: EDITORA CRV, 2013.

LIMA, M. I. C.; MONTEIRO, N.; SILVA, L. L.; MARINHO, D. A. Identificação de Morfoestruturas Anômalas na Porção Centro-Oriental da Bacia do Maranhão (Brasil), através de imagens Slar e Landsat-Tm. Simpósio Brasileiro de Sensoramento Remoto, 6, 1990, Manaus. **Anais [...]**. Manaus: INPE, 1990, v.3, p.663-670. Disponível em: <http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/marte@80/2008/08.19.15.30/doc/663-670.pdf>. Acesso: jun. de 2019.

LINDOSO, D.P. Vulnerabilidade e Resiliência: potenciais, convergências e limitações na interdisciplinar. **Ambiente & Sociedade**, São Paulo v. XX, n. 4, out./dez, 2017, p. 131-148. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1414-753X2017000400127&lng=en&nrm=iso&tlng=pt. Acesso: set de 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4422asoc0248r1v2042017>.

LOBATO, G.; BORGHI, L. Estratigrafia de sequências do contato formacional Longá/Poti (Carbonífero Inferior) em testemunhos de sondagem da Bacia do Parnaíba. **Boletim de Geociências da Petrobras**, Rio de Janeiro, v. 22, n. 2, jul./dez. 2014, p. 213-235. Disponível em: <http://publicacoes.petrobras.com.br/main.jsp?lumPageId=8A9E308F545405DE0154A04B46AD0C9E&lumItemId=8A9D2AAF5CA274FD015D746F91B218E5&previewItemId=8A9D2AAF5CA274FD015D746F91A818E4&publicacaoId=8A9D2AAF5A284744015A2958DE4D3BC9&lastItem=1>. Acesso: out. de 2019.

LLOPART, M. P. **Impacto da representação solo-planta-atmosfera em simulações climáticas regionais para a América do Sul**. Tese (Doutorado em Ciências) - Departamento de Ciências Atmosféricas do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014, 114f. Disponível em: <https://www.iag.usp.br/pos/meteorologia/portugues/dissertacoestestes/impacto-da-representa%C3%A7%C3%A3o-solo-planta-atmosfera-em-simula%C3%A7%C3%B5>. Acesso: nov. 2019.

MACHADO, T. S.; CAIONI, C.; FERNANDES, R. S.; NEVES, R. J.; NEVES, S. M. S. A. Análise de NDVI e NDWI em diferentes intensidades pluviométricas para bacia hidrográfica do rio do Cachoeirinha–Mato Grosso, Brasil. Simpósio de Geotecnologias no Pantanal. 5º. 2014. Campo Grande. **Anais do [...]**. Embrapa Informática Agropecuária/INPE, 2014, p. 690-699. Disponível em: <https://www.geopantanal.cnptia.embrapa.br/2014/cd/p108.pdf>. Acesso em: fev. de 2019.

MATEO RODRIGUEZ, J.M.; SILVA, E.V. **Teoria dos Geossistemas**- o legado de V. B. Sochava: fundamentos teórico-metodológicos. v. I. Fortaleza: Edições UFC, 2019. 176 p. ISBN 978-85-7282-769-0.

MATEO RODRIGUEZ, J. M.; SILVA, E.V.; CAVALCANTI, A. P. B. **Geoecologia das Paisagens**: Uma visão geossistêmica da análise ambiental. 3 ed. Fortaleza: Edições UFC, 2013. 222 p. ISBN 85-7282-148-1.

MATEO RODRIGUEZ, J. M.; SILVA, E. V. **Planejamento e gestão ambiental: subsídios da geoecologia das paisagens e da teoria geossistêmica**. Fortaleza: Edições UFC, 2013. 370 p. ISBN 978-85-7282-478-1.

MATEO RODRIGUEZ, J. M. **Geografía de los paisajes**: primera parte- paisajes naturales. Ciudad de La Habana: Editorial Universitaria, 2008, 188 p. ISBN 978-959-16-0730-0. Disponível em: https://www.academia.edu/16049008/Geograf%C3%ADa_de_los_paisajes._Primera_Parte_Paisajes_naturales. Acesso em: nov. de 2017.

MATEO RODRIGUEZ, J. M.; DA SILVA, E. V. La geoecología del paisaje, como fundamento para el análisis ambiental. REDE. **Revista Eletrônica do PRODEMA**, Fortaleza, v. 1, n.1, p. 77-98, dez 2007. ISSN 1982-5528. Disponível em: <http://www.revistarede.ufc.br/rede/article/view/5>. Acesso em: nov. 2017.

MATEO RODRIGUEZ, J. M; SILVA, E. V. A classificação das paisagens a partir de uma visão geossistêmica. **Mercator (Fortaleza. Online)**, v. 1, p. 95-112, 2002. Disponível em: <http://www.mercator.ufc.br/mercator/article/view/198/164>. Acesso em: fev. de 2019.

MEDEIROS, R. M. **Estudo agrometeorológico para o Estado do Piauí**. [S.l; s.n], 2007.

MEIRELLES, M. S. P. **Análise Integrada do Ambiente através de Geoprocessamento - uma proposta metodológica para elaboração de zoneamentos**. Rio de Janeiro-RJ, 1997, 174 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Federal do Rio de Janeiro. Disponível em: <http://www.eng.uerj.br/~maggie/tese-phd.pdf>. Acesso em: ago. 2017.

MENEZES, H.E.A.; MEDEIROS, R.M. de.; SANTOS, J.L. G. Climatologia da pluviometria do município de Teresina, Piauí, Brasil. **Revista Verde**, Pombal, PB.v. 11, n.4, p.135-141, out-dez, 2016. Disponível em: <http://www.gvaa.com.br/revista/index.php/RVADS>. Acesso em: janeiro de 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.18378/rvads.v11i4.4609>.

MENEZES, P. M. L.; COELHO NETO, A. L. **Cartografia Geoecológica**. Laboratório de Cartografia-GeoCart, Rio de Janeiro, RJ, 2001. Disponível em: http://www.geocart.igeo.ufrj.br/pdf/trabalhos/2001/Cart_Geoecologica_2001.pdf. Acesso em: nov. de 2017.

MENEZES, H. E. A.; MEDEIROS, R. M.; SANTOS, J. L. G. Climatologia da pluviometria do município de Teresina, Piauí, Brasil. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**. Pombal, PB, v.11, n. 4, 2016, p. 135-141. Disponível em: <http://www.gvaa.com.br/revista/index.php/RVADS>. Acesso: set. de 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.18378/rvads.v11i4.4609>.

METZGER, O que é Ecologia de Paisagens? **Biota Neotropica**. Campinas v.1 n.1-2. P. 1-9, 2001. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1676-06032001000100006. Acesso: mai. de 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1676-06032001000100006>.

MIRLEAN, N.; TELLES, R. M.; DUARTE, G. M. O que é geoquímica da paisagem? **Geosul**, Florianópolis, v. 21, n. 41, p. 107-126, jan./jun. 2006. Disponível: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/geosul/article/viewFile/13170/12205>. Acesso em: março de 2015.

MORAES, A. C. R. **Geografia: pequena história crítica**. 19 ed.-São Paulo: Annablume, 2003, 132 p. ISBN:85-7419-360-7.

MORAES, A. M. **Capacidade de Uso da Terra no Município de Teresina; elementos para uma política de conservação dos recursos naturais**. - Teresina: 2004, 153 p. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) - UFPI. Disponível em: http://www.dominiopublico.gov.br/pesquisa/DetalheObraForm.do?select_action=&co_obra=159730. Acesso: dez. de 2017.

MORAES, M. V. A. R.; LIMA, I. M. M. F. Mapeamento Geomorfológico a partir de dados SRTM: Município de Teresina, Piauí. *In: V XI Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada. Anais do [...]*. Teresina, PI, 2015. Disponível em: <https://iracildefelima.webnode.com/sobre-teresina/>. Acesso: out. de 2018. ISSN:2236-5311.

NASA. GIOVANNI. **Série Histórica de Precipitação**. TRMM-3B43-v7, 2019. Disponível em: <https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/>. Acesso: jun. de 2019.

NASA. GIOVANNI. **Série Histórica de Temperatura**. M2TMNXFLX v5.12.4, 2019. Disponível em: <https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/>. Acesso: jun. de 2019.

NOGUEIRA, D. H. **Qualidade e potencial de utilização de frutos de Carnaubeira (*Copernicia prunifera*) do Estado do Ceará**. Tese (Doutorado em Agronomia) -Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Federal da Paraíba-UFPB, 2009. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/697462/1/OT09016.pdf>. Acesso: out. 2019.

OSTASZEWSKA K. The Geochemical Landscape Concept and Its Usefulness. **Physical Geography Miscellanea Geographica**. Regional Studies on Development, Sciend, v. 14, n.1, p.5-12, dez., 2010. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/267295915_The_Geochemical_Landscape_Concept_and_Its_Usefulness_in_Physical_Geography. Acesso em: out. de 2019. DOI: 10.2478/mgrsd-2010-0001.

PENTEADO, M. M. **Fundamentos de Geomorfologia**. 3 ed., Rio de Janeiro: IBGE, 1983.

PFALTZGRAFF, P. A. dos S.; TORRES, F. S. de M.; BRANDÃO, R. de L. (Org.). **Geodiversidade do Estado do Piauí**. Recife: CPRM, 2010. Disponível em: <http://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/handle/doc/16772?show=full>.

PINTO, E. J. de A.; AZAMBUJA, A. M. S. de; FARIAS, J. A. M.; SALGUEIRO, J. P. de B.; PICKBRENNER, K. (Coords.). **Atlas pluviométrico do Brasil: isoietas mensais, isoietas trimestrais, isoietas anuais, meses mais secos, meses mais chuvosos, trimestres mais secos, trimestres mais chuvosos**. Brasília: CPRM, 2011. SIG - versão 2.0 - atualizada em 11/2011; Levantamento da Geodiversidade. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/Hidrologia/Mapas-e-Publicacoes/Atlas-Pluviometrico-do-Brasil-1351.html>. Acesso em: jan. 2018.

PLANET. **Planet imagery product specification: Planetscope&RapidEye**. PLANET, 2016, p.52. Disponível em: <https://www.planet.com/products/satelliteimagery/>

files/1611.09_Spec_Sheet_Combined_Imagery_Product_Letter_DraftV3.pdf. Acesso em: out. de 2019.

PNUD – Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento. **Ranking IDHM Municípios Brasil 2010**. Disponível em: <http://www.br.undp.org/content/brazil/pt/home/idh0/rankings/idhm-municipios-2010.html>. Acesso em: fev. de 2019.

PORTELA, M. O. B.; GOMES, J. M. A.; Os danos ambientais resultantes da Extração de Argila no Bairro Olarias em Teresina-PI. In: II Jornada Internacional de Políticas Públicas. São Luís, MA. **Anais do [...]**. São Luís, 2005.

PREFEITURA MUNICIPAL DE TERESINA. **Agenda 2030**: Teresina 2000 à 2010, avançando para o futuro, diagnóstico - avanços - desafios. Secretaria Municipal de Planejamento e Avaliação de Teresina. 2013. Disponível em: <https://semplan.teresina.pi.gov.br/diagnostico-teresina-2000-2010-agenda-2030/>. Acesso: maio de 2019.

PUEBLA, A. M. R.; CHAVEZ, E.S.; NOA, R. R. Diseño Metodológico para la elaboración de mapas de Paisajes con el uso de los SIG: aplicación a la Cuenca Alta del Río Cauto, Cuba. **Geografía y Sistemas de Información Geográfica (GeoSIG)**, Luján, Argentina, ano 1, n. 1, 2009, P. 95-108. Disponível em: <http://www.gesig-proeg.com.ar>. Acesso: dez. de 2017.

PUEBLA, A. M. R.; CHAVEZ, E. S.; DAMIÁN, J. L. P. **Diseño metodológico para la elaboración de mapas de paisajes con el uso del SIG ArcGIS 9.3**. Tonantzintla, Puebla, México: CRECTEALC, 2010.

PUIG, H. **A floresta tropical úmida**. Tradução de Maria Leonor Frederico Rodrigues Loureiro. São Paulo: Editora UNESP, 2008.

RIBEIRO, C. M. M. **Análise Faciológica das Formações Poti e Piauí (Carbonífero da Bacia do Parnaíba) na Região de Floriano-PI**. Tese (Doutorado em Geologia e Química) Programa de Pós-Graduação em Geologia e Química da Universidade Federal do Pará-UFPA, 2000. Disponível em: http://bdtd.ibict.br/vufind/Record/UFPA_9d3851f88ee8a8ac6bae51f9b424d13c. Acesso: out. de 2019.

RIBEIRO, F. J.; WALTER, B. M. T. As Principais Fitofisionomias do Bioma Cerrado. In: Sueli SANO, M.; ALMEIDA, S.P.; RIBEIRO, J.F. **Cerrado: ecologia e flora**. Ed. 1., v.1, Brasília-DF: EMBRAPA, 2008. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/283072910_As_principais_fitofisionomias_do_bio_ma_Cerrado. Acesso: dez. de 2019.

ROGER, A. La Naissance du Paysage en Occident. In: SALGUEIRO, H. A. **Paisagem e Arte**: a invenção da natureza, a evolução do olhar. -São Paulo: H. Angotti Salgueiro, 2000.452p. ISBN 85-901430-1-5.

ROLIM, G. S.; SENTELHAS, P. C.; BARBIERI, V. Planilhas no ambiente EXCELTM para os cálculos de balanços hídricos: normal, sequencial, de cultura e de produtividade real e

potencial. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 6, n.1, p133-137, 1998. Disponível em: www2.feis.unesp.br/irrigação/ftp/bh_aula_sentelhas. Acesso: abr. de 2019.

ROSS, J. L. S. Geomorfologia Ambiental. In: CUNHA, S. B. da; GUERRA, A. J. T. (Org.). **Geomorfologia do Brasil**.- 2 ed.- Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2001. ISBN 85-286-0670-8.

ROUGERIE, G.; BEROUTCHACHVILI, N. **Géosystèmes et Paysages: bilan et méthodes**. - Paris-FR: Armand Colin Éditeur, 1991.302P. ISBN 2-200-31280-6.

ROUSE JR., J.W.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W. Monitoring vegetation systems in the great plain swith ERTS. In: **Third ERTS Symposium, Proceedings NASA SP-351**. NASA, Washington, DC, v. 1, 1973. p. 309-317. Disponível em: <https://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/19740022614.pdf>. Acesso: nov. de 2019.

SALES, M. F. G. **Degradação urbana decorrente da Atividade de Mineração para a Construção Civil em Teresina -PI**. Tese (Doutorado em Geociências e Ciências Exatas) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas do Campus de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista. - Rio Claro, SP, 2015.

SAMPAIO T. V. M.; AUGUSTIN C. H. R. Índice de Concentração da Rugosidade: uma nova proposta metodológica para o mapeamento e quantificação da dissecação do relevo como subsídio a Cartografia Geomorfológica. **Revista Brasileira de Geomorfologia**. v. 15, n. 1, 2014. Disponível em: <http://www.lsie.unb.br/rbg/index.php/rbg/article/view/376>. Acesso em: jun. de 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v15i1.376>.

SAMPAIO T. V. M.; AUGUSTIN, C. H. R. R. Análise das Incongruências dos Índices de Dissecação e Rugosidade. In: SIMPOSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA, 7, Belo Horizonte, 2008, **Anais do [...]**. Belo Horizonte, 2008.

SALGUEIRO, T. B. **Paisagem e Geografia**. Minho: Finisterra, v.36, n. 72, p.37-53, 2001. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/25847528.pdf>. Acesso: ago. de 2014.

SAMPAIO, T. V. M.; AUGUSTIN, C. H. R. R. Análise das Incongruências dos Índices de Dissecação e Rugosidade. In: SIMPOSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA, 7, Belo Horizonte, 2008, **Anais do [...]**. Belo Horizonte, 2008.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. Á.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J.A.; ARAÚJO FILHO, J. C. OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5 ed., rev. e ampl. - Brasília, DF: Embrapa, 2018. Disponível em: <https://www.embrapa.br/solos/sibcs>. Acesso: fev. de 2019.

SANTOS, M. M.; CHANG, M. R. C.; KIANG, C. H. Análise do balanço Hídrico Climatológico do Sistema Aquífero Guarani, em sua área de afloramentos no Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Climatologia**. Ano 8, v.10, jan/jun, 2012, p. 153-170. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/30596/19780>. Acesso: nov. de 2019. DOI: DOI:10.5380/abclima. v10i1.30596.

SAUGIER, B. **Vegetação e atmosfera**. Tradução Miguel Mascarenhas. Lisboa-PT: Instituto Piaget, 1996.

SILVA, R. K.O.; AQUINO, C.M.S.; OLIVEIRA, J.G.B. Análise do risco de degradação da Sub-bacia do altocurso do Rio Longá-Piauí. **Revista OKARA: Geografia em debate**, João Pessoa, PB, v.10, n. 1, p. 23-44, 2016. Disponível em: [2https://periodicos.ufpb.br/ojs/index.php/okara/article/view/26783](https://periodicos.ufpb.br/ojs/index.php/okara/article/view/26783). Acesso: dez. de 2019.

SILVA, V. M. A.; MEDEIROS, R. M. de; SANTOS, D. C. dos.; GOMES FILHO, M. F. Variabilidade pluviométrica entre regimes diferenciados de precipitação no Estado do Piauí. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, PE. v.06, n.05, 2013, P. 1463-1475. Disponível em: <http://www.ufpe.br/rbgfe>. DOI 10.26848/rbgf.v6.5.p1463-1475

SILVA, V. M. A.; Medeiros, R. M.; SANTOS, D. C.; GOMES FILHO, M. F. Variabilidade pluviométrica entre regimes diferenciados de precipitação no Estado do Piauí. Recife, PE: **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.06, n.05, 2013, p.1463-1475. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/233118>. Acesso: nov. de 2019. DOI: <https://doi.org/10.26848/rbgf/v6.5.p1463-1475>.

SILVA, A. J.; ARAÚJO, J. L. L.; BARROS, R. F. M. O desafio do Babaçu (*Orbignya speciosa* Mart. Ex Spreng) no Piauí. **R. Ra'e Ga**, Curitiba, v.33, abr/2015, p.44-74. Disponível em; www.ser.ufpr.br/raega. Acesso: set. de 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/raega.v33i0.31960>.

SOARES FILHO, B. **Análise da Paisagem**: fragmentação e mudança. Belo Horizonte MG: Instituto de Geociências-UFMG, 1998. Disponível em: https://csr.ufmg.br/dinamica_utils/download/files/publications/apostila.pdf. Acesso: nov. de 2014.

SOCHAVA, V. B. El objeto de la Geografía física a la luz de la teoría sobre los geosistemas. **GEOgraphia**, v. 17, n. 33, 2015. Disponível em: <http://periodicos.uff.br/geographia/article/view/13705/8905>. Acesso em: fev. de 2019.

STEFFEN, W.; SANDERSON, A.; TYSON, P. D.; JAGER, J.; MATSON, P. A.; MOORE III, B.; OLDFIELD, F.; ROCHARDSON, K.; SCHELLNHUBER, H.-J.; TUNER II, B.L.; WASSON, R.J. **Global Change and the Earth System**: A Planet Under Pressure. 2. ed. The IGBP Séries. Berlin, Germany: Springer, 2005. ISBN 3-540-40800-2. Disponível em: http://www.igbp.net/download/18.1b8ae20512db692f2a680007761/1376383137895/IGBP_ExecSummary_eng.pdf. Acesso em: set. de 2015.

SOUSA, S. R.; CASTRO, A. A. J. F.; FARIAS, R. R. S.; SOUSA, G. M.; CASTRO, N. M. C. F. Fitoecologia do Complexo de Campo Maior, Piauí, Brasil. **Conservação de Ecossistemas**, Teresina, PI, n.22, 2009. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/276127160_Fitoecologia_do_Complexo_de_Campo_Maior_Piaui_Brasil. Acesso: set. 2018. DOI: 10.18029/1809-0109/pace.n22p1-22.

TOMMASELLI, J. T. G. **Balanço Hídrico Normal-Método de Thornthwaite**. Versão 2.1, 2001.

TREVISAN, D. P.; MOSCHINI, L. E.; DIAS, L.C. C.; GONÇALVES, J. C. Avaliação da Vulnerabilidade Ambiental de São Carlos – SP. **Raega**, Curitiba, v.44, maio, 2018, p. 272 - 288. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/raega/article/view/50439>. Acesso: set. de 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/raega.v44i0.50439>.

TROLL, C. A paisagem Geográfica e sua investigação. **Revista Espaço e Cultura**, Rio de Janeiro - RJ, n. 4, p. 1-7, 1997. Disponível em: <http://www.e-publicacoes.uerj.br/index.php/espacoecultura/issue/view/515>. Acesso em: 8 ago. 2014. DOI: <https://doi.org/10.12957/espacoecultura.1997.6770>.

TROMBETA, L. R.; LEAL, A. C. Planejamento ambiental e geoecologia das paisagens: contribuições para a bacia hidrográfica do Córrego Guaíçarinha, município de Álvares Machado, São Paulo, Brasil. **Formação (Online)**, v. 3, n. 23, 2016. Disponível em: <http://revista.fct.unesp.br/index.php/formacao/article/view/4026>. Acesso em: 21 de fev. de 2019. DOI: <https://doi.org/10.33081/formacao.v3i23.4026>.

TROMBETA, L. R.; CHÁVES, E.; LEAL, A. C. Unidades de paisagem como contribuição à gestão das águas: estudo aplicado na unidade de gestão de recursos hídricos Paranapanema - Brasil. In: FILHO, A. P.; AMORIM, R. R. (Org.) **Os desafios da Geografia Física na fronteira do conhecimento**. IGEO – UNICAMP. 2017. Disponível em: <https://ocs.ige.unicamp.br/ojs/sbgfa/issue/view/75>. Acesso em: fev. de 2019. DOI: <https://doi.org/10.20396/sbgfa.v1i2017.1811>.

TURNER II, B. L.; ROGER, E. KASPERSON, P. A. MATSON, J. J.; MCCARTHY, R. W. CORELL, L. C.; ECKLEY, N.; KASPERSON, J. X.; LUERS, A.; MARTELLO, M. L.; POLSKY, C.; PULSIPHER, A.; SCHILLER, A. A framework for Vulnerability analysis in Sustainability Science. **Proceedings of the National Academy of Sciences**. v. 100, n. 14, jul, 2003, p. 8074–8079. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/10720959>. Acesso: out. de 2019. DOI: 10.1073/pnas.1231335100.

USGS. **Earth Explorer**. Imagem SRTM. [Reston]: USGS, 2014. Resolução 30 m. Disponível em: <http://earthexplorer.usgs.gov/>. Acesso em: out. de 2017.

USGS. **Earth Explorer**. Imagem LandSat4-5 TM C1 Level-1. [Reston]: USGS, 2006. Resolução 30 M. Disponível em: <http://earthexplorer.usgs.gov/>. Acesso em: nov. de 2019.

USGS. **Earth Explorer**. LandSat8 OLI/TIRS C1 Level-1. [Reston]: USGS, 2018. Resolução 30 M. Disponível em: <http://earthexplorer.usgs.gov/>. Acesso em: nov. de 2019.

VALERIANO, M. M. **Topodata**: guia para utilização de dados Geomorfológicos locais. Projeto de Produtividade em Pesquisa “Modelagem de dados topográficos SRTM”, 2008. Disponível em: www.dsr.inpe.br/topodata/documentos.php. Acesso: out. de 2018.

VASCONCELOS, M. B.; LUZ, C. A.; MOURÃO, M. A. A. **Projeto Rede Integrada de Monitoramento das Águas Subterrâneas**: relatório diagnóstico Aquífero Serra Grande, Bacia Sedimentar do Parnaíba. Belo Horizonte, MG: CPRM, 2012. Disponível em: http://rimasweb.cprm.gov.br/layout/pdf/PDF_RIMAS/VOLUME4_Aquifero_Serra_Grande.pdf. Acesso: out. de 2019.

VAZ, P. T.; REZENDE, N. G. A. M.; WANDERLEY FILHO, J. R.; TRAVASSOS, W. A. S. Bacia do Parnaíba. **Boletim de Geociências da Petrobrás**, v. 15, n. 2, p.253-263, 2007. Disponível em: <https://www.doccity.com/pt/bacia-do-parnaiba-vaz-boletim-de-geociencias-da-petrobras/4970893/>. Acesso: jul. de 2019.

VIANA, B. A. da S. Caracterização estratigráfica, química e mineralógica do massará e conflitos socioambientais associados a sua exploração em Teresina, PI, Brasil. 2013, 212 f. **Tese** (Doutorado em Geografia) - Programa de Pós-Graduação do Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/IGCC-9DFLZB>. Acesso: dez. de 2019.

VILLA, F.; MCLEOD, H. Environmental Vulnerability Indicators for Environmental Planning and Decision-Making: Guidelines and Applications. -New York, EUA: **Environmental Management**, v. 29, n. 3, 2002, p. 335-348. Disponível em: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s00267-001-0030-2.pdf>. Acesso: maio de 2019. DOI: 10.1007/s00267-001-0030-2.

WAGNER, F. H; HERAULT, B. ROSSI, V.; HILKER, T.; MAEDAS, E. E.; SANCHEZ, A.; LYAPUSTIN, A. L; GALVÃO, L. S.; WANG, Y.; ARAGÃO, L. E. O. Climate drivers of the Amazon forest greening. **PloS ONE**, v. 12, n.7. jul. 2017, p. 1-15. Disponível em: <https://journals.plos.org/plosone/article/file?id=10.1371/journal.pone.0180932&type=printabl>. Acesso: dez. de 2018. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0180932>.

ZANATTA, F. A. S.; LUPINACCI, C. M.; BOIN, M. N. Geoecologia da Paisagem x Legislação Ambiental: uma análise da distribuição espacial das restrições ao uso da terra frente à problemática erosiva na alta bacia do Ribeirão Areia Dourada, Marabá Paulista (Sp). **Sociedade & Natureza**, Uberlândia-MG, n. 28 (1), p. 21-38, jan/abr/2016. Disponível em: <http://www.seer.ufu.br/index.php/sociedadennatureza/article/view/28309>. Acesso em: maio de 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1982-451320160102>.

ZIELINSKI, J. Watershed Vulnerability Analysis. **Center for Watershed Protection**, jan. 2002. Disponível em: http://www.riversimulator.org/Resources/farcountry/WatershedTools/Watershed_Vulnerability_Analysis_-_CWP.pdf. Acesso: set. de 2019.