

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA, NATUREZA E DINÂMICA DO
ESPAÇO

JULIANA LOPES ALMEIDA

**AVALIAÇÃO DOS MEIOS GEOBIOFÍSICOS E ANTRÓPICOS PARA A
FORMAÇÃO DAS PAISAGENS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO TURIAÇU,
MARANHÃO**

São Luís

2022

JULIANA LOPES ALMEIDA

**AVALIAÇÃO DOS MEIOS GEOBIOFÍSICOS E ANTRÓPICOS PARA A
FORMAÇÃO DAS PAISAGENS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO TURIAÇU,
MARANHÃO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia, Mestrado Acadêmico em Geografia, Natureza e Dinâmica do Espaço – PPGeo/UEMA, como partes dos requisitos necessários para a obtenção do título de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. José Fernando Rodrigues Bezerra

Linha de Pesquisa: Dinâmica da Natureza e Conservação.

São Luís

2022

Almeida, Juliana Lopes.

Avaliação dos meios geobiofísicos e antrópicos para a formação das paisagens da Bacia Hidrográfica do Rio Turiaçu, Maranhão / Juliana Lopes Almeida. – São Luís, 2022.

97f

Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Geografia, Natureza e Dinâmica do Espaço, Universidade Estadual do Maranhão, 2022.

Orientador: Prof. Dr. José Fernando Rodrigues Bezerra.

1.Métricas de paisagem. 2.Uso da terra. 3.Bacia do Turiaçu. I.Título.

CDU: 556.51:504.61(812.1)

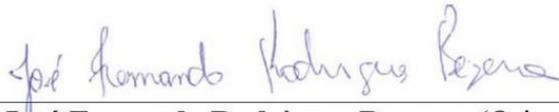
JULIANA LOPES ALMEIDA

**AVALIAÇÃO DOS MEIOS GEOBIOFÍSICOS E ANTRÓPICOS PARA A
FORMAÇÃO DAS PAISAGENS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO TURIACU,
MARANHÃO**

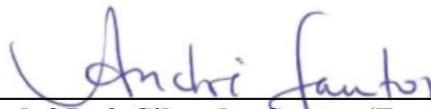
Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia, Mestrado Acadêmico em Geografia, Natureza e Dinâmica do Espaço – PPGeo/UEMA, como partes dos requisitos necessários para a obtenção do título de Mestre.

Aprovado em: 19/01/2022

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. José Fernando Rodrigues Bezerra (Orientador)
Doutor em Geografia
Universidade Estadual do Maranhão (UEMA)



Prof. Dr. André Luís Silva dos Santos (Examinador Externo)
Doutor em Ciência e Engenharia de Petróleo
Instituto Federal do Maranhão (IFMA)



Prof. Dr. Luiz Carlos Araújo dos Santos (Examinador Interno)
Doutor em Geografia
Universidade Estadual do Maranhão (UEMA)

É pelo Bom Deus que eu faço tudo.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, o doador de todo conhecimento e sabedoria, pela oportunidade de estudar a sua criação. A minha querida mãe, Julia Lopes, pelo incentivo e por me instruir no que nenhum mestre será capaz de ensinar.

A meus familiares, os quais gentilmente chamo de "minha família grega" (tios e primos) por acreditarem em mim e fazerem parte da minha história.

Agradeço a minha saudosa e antiga equipe do Laboratório de Geotecnologias da Universidade Ceuma (professor Dr. Fabrício Brito Silva, Juliana Sales dos Santos, Jessflan Rafael Nascimento Santos, Vilena Aparecida Ribeiro Silva e Mayara Lucyanne Santos de Araújo), estes transmitiram para mim ensinamentos valiosos, os quais pude colocar em prática nessa etapa do mestrado.

Agradeço também, ao meu orientador, o professor Dr. José Fernando Rodrigues Bezerra, que transmitiu seus conhecimentos e me instruiu de forma paciente e gentil, transformando-se em um exemplo de pessoa e profissional da educação.

Aos colaboradores deste trabalho, que me acompanharam nas visitas ao campo, José de Ribamar Carvalho dos Santos, um excelente fotógrafo e professor, com ele pude aprender os primeiros passos do sobrevoo de *drone*. Marly Silva Morais e Gilberlene Serra Lisboa, pela disponibilidade e o auxílio com os equipamentos durante os campos.

Não poderei esquecer do corpo docente do PPGeo, pelos conhecimentos transmitidos e o auxílio de seus ensinamentos para minha pesquisa. Além deles, agradeço aos meus colegas, a turma de 2020, que mesmo em meio a dificuldade durante a pandemia do novo Corona vírus, sempre estavam à disposição para ajudar em qualquer dificuldade.

A coordenação deste programa, professor Dr. Luiz Carlos Araújo dos Santos, professor Dr. Silas Nogueira de Melo e, em especial, a Nana Alves, a quem adquiri uma grande admiração, pois sempre esteve disposta a me ajudar em qualquer dificuldade que surgisse.

Também estendo os meus agradecimentos à FAPEMA (Fundação de Amparo à Pesquisa e ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Maranhão), pois sem o apoio desta não seria possível a realização desta pesquisa.

Eu sei que tem mais nomes que deveriam ser citados aqui, pois fizeram e fazem parte dessa conquista. Por isso, encerro meus agradecimentos com uma citação de Tomás de Aquino: "Me deste tantas coisas Senhor, dá-me mais uma: um coração grato".

*“Conhece-te, aceita-te, supera-te”
Agostinho de Hipona*

RESUMO

A intensa pressão antrópica exercida sobre os recursos naturais tem aumentado nos últimos anos. Estas alterações em uma bacia hidrográfica afetam diretamente na ciclagem de nutrientes, na disponibilidade de água, na estrutura do solo e no clima, pois a cobertura vegetal exerce um papel de estabilidade na bacia, auxiliando na manutenção desses recursos. Por este motivo, a abordagem integrada da paisagem para o planejamento e gerenciamento dos recursos naturais tem a necessidade da identificação e a avaliação dos atributos geobiofísicos e antrópicos de um território, pois possuem características e dinâmismos próprios que consequentemente sofre influência humana no tempo e no espaço. Desta forma, o presente trabalho tem como objetivo avaliar como os meios geobiofísicos e antrópicos alteram a paisagem da Bacia Hidrográfica do Rio Turiaçu. Para isso, realizou-se os seguintes procedimentos: a caracterização ambiental, onde foram utilizados dados de geologia, geomorfologia, solos, geodiversidade, vegetação e clima; a análise da evolução do uso e cobertura da terra através dos dados do MapBiomas dos anos 1985 e 2019 da coleção 5; a estrutura da paisagem da Bacia Hidrográfica do Rio Turiaçu que foi quantificada por meio dos índices de métricas de paisagem. Este procedimento foi realizado para os anos 1985 e 2019. Para o auxílio de cada um dos procedimentos citados, realizou-se duas atividades de campo (fevereiro e novembro). Sendo assim, os resultados consistiram em nove formações geológicas; oito unidades geomorfológicas; cinco tipologias de solos; sete classes geoambientais; oito classes de vegetação. Em relação ao clima, a bacia apresentou dois tipos climáticos e a análise das variáveis climáticas, temperatura média e precipitação, mostraram que a região não apresentou significativas variações entre os anos 1985 a 2019. Os dados de uso e ocupação da terra e de métricas de paisagem evidenciaram mudanças significativas entre os anos de 1985 e 2019, mostrando que as áreas de Florestas perderam mais 20% da sua área, além do aumento da fragmentação e a redução das bordas florestais por conta do avanço de atividades antrópicas. Diante dos resultados adquiridos nesta pesquisa, percebe-se que apesar da Bacia Hidrográfica do Rio Turiaçu ainda ser, em grande parte, protegida por Unidades de Conservação e Terra Indígena, a bacia sofre graves pressões antrópicas ocasionadas, principalmente, pela transformação de florestas em áreas de pastagem, o que pode causar graves impactos, como modificação na ciclagem de nutrientes, na disponibilidade de água, na estrutura do solo e do clima.

Palavras-chave: Métricas de Paisagem. Uso da Terra. Bacia do Turiaçu

ABSTRACT

The intense anthropogenic pressure exerted on natural resources has increased in recent years. These changes in a hydrographic basin directly affect nutrient cycling, water availability, soil structure and climate, as vegetation cover plays a role in stability in the basin, helping to maintain these resources. For this reason, the integrated approach to landscape planning and management of natural resources requires the identification and assessment of the geobiophysical and anthropic attributes of a territory, as they have their own characteristics and dynamisms that consequently suffer human influence in time and space. . Thus, the present work aims to evaluate how the geobiophysical and anthropic environments alter the landscape of the Turiaçu River Basin. For that, the following procedures were carried out: the environmental characterization, where geology, geomorphology, soils, geodiversity, vegetation and climate data were used; the analysis of the evolution of land use and land cover using MapBiomias data from the years 1985 and 2019 of collection 5; the landscape structure of the Turiaçu River Basin that was quantified through landscape metrics indices. This procedure was carried out for the years 1985 and 2019. To help with each of the procedures mentioned, two field activities were carried out (February and November). Thus, the results consisted of nine geological formations; eight geomorphological units; five types of soils; seven geoenvironmental classes; eight classes of vegetation. In relation to climate, the basin presented two climatic types and the analysis of climatic variables, mean temperature and precipitation, showed that the region did not present significant variations between the years 1985 to 2019. landscape evidenced significant changes between 1985 and 2019, showing that the forest areas lost more than 20% of their area, in addition to the increase in fragmentation and the reduction of forest edges due to the advance of anthropic activities. research, it is clear that although the Turiaçu River Basin is still largely protected by Conservation Units and Indigenous Land, the basin suffers serious anthropogenic pressure, mainly caused by the transformation of forests into pasture areas, which it can cause serious impacts, such as changes in nutrient cycling, water availability, soil structure and climate.

Keywords: Landscape Metrics. Use of the soil. Turiaçu Basin

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Esquema teórico da abordagem geossistêmica, segundo o modelo em tripé proposto por Bertrand (1972).....	18
Figura 2 - (a) Câmera fotográfica CANON EOS Rebel T6; (b) Drone DJI Mavic Air 2; (c) Drone DJI Phantom 4 Advanced; (d) GPS Garmin Oregon 750.....	34
Figura 3 - Mapa de Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Turiaçu.....	40
Figura 4 - Áreas que indicam a formação geológica Itapecuru. (a) Município de Santa Luzia do Paruá, Ponto 5; (b) Município de Pedro do Rosário1	41
Figura 5 - Presença da unidade Depósitos aluviais no rio Paruá, afluente do rio Turiaçu, no município Santa Luzia do Paruá, Ponto 6.....	42
Figura 6 - Presença da unidade Depósitos de pântanos e mangues no rio São João, afluente do rio Tutiaçu, no Município Turiaçu, ponto 7	43
Figura 7 - Mapa de Geologia.....	44
Figura 8 - Colinas suaves no município de Santa Luzia do Paruá, ponto 6, indicando a presença da unidade Domínio de Colinas Amplas e Suaves	46
Figura 9 - Áreas propensas a inundações periódicas no município de Turilândia, ponto 8. (a) Período chuvoso, data: 21/02/2021; (b) Período de estiagem, data: 08/11/2021 .	47
Figura 10 - Presença da unidade Planícies Fluvio-marinhas às margens do rio São João, afluente do rio Turiaçu, no município Turiaçu, ponto 7.....	48
Figura 11 - Mapa de Geomorfologia	49
Figura 12 - Presença de Argissolo vermelho no município de Santa Luzia do Paruá, ponto 11	50
Figura 13 - Presença de Gleissolos no município de Turiaçu, às margens do rio São João, ponto 7	51
Figura 14 - Mapa de Solos.....	52
Figura 15 - Presença da unidade geoambiental Ambiente Fluvio-lacustre no município de Turilândia, ponto 9	54
Figura 16 - Presença da unidade geoambiental Ambiente Misto (marinho/continental) às margens do rio São João que sofre influência da maré, ponto 7.....	55
Figura 17 - Mapa de Geodiversidade.....	56

Figura 18 - Presença de fragmentos de Vegetação Secundária. (a) Município de Presidente Sarney, povoado Três-Furos, ponto 3; (b) Município de Araguaã, ponto 4; (c) Município de Santa Luzia do Paruá, ponto 12; (d) Município de Turiaçu, às margens do rio Caxias, ponto 13	58
Figura 19 - Presença de fragmentos de Savana parque com floresta-de-galeria às margens do rio Paruá, no município de Santa Luzia do Paruá, ponto 6	59
Figura 20 - Presença da Formação Pioneira com influência fluviomarinha ou manguezais às margens do rio São João no Município de Turiaçu, ponto 7	60
Figura 21 – Mapa de Vegetação	61
Figura 22 - Influência do clima na sazonalidade em alguns ambientes da Bacia Hidrográfica do Rio Turiaçu. (a) rio Turiaçu localizado no povoado Três-Furos, no município de Presidente Sarney, ponto 3, período chuvoso, data: 19/02/2021; (b) rio Turiaçu localizado no povodo Três- Furos, no município de Presidente Sarney, ponto 3, período de estiagem, data: 07/11/2021; (c) Lagos no município de Turilândia, ponto 9, período chuvoso, data: 21/02/2021; (d) Lago com baixo volume de água no município de Turilândia, ponto 9, período de estiagem, data: 09/11/2021...	63
Figura 23 - Mapa de Clima.....	64
Figura 24 - Médias da Precipitação e Temratura da Estação Meteorológica Turiaçu dos Anos 1985 a 2019	65
Figura 25 - Médias da Precipitação e Temperatura da Estação Meteorológica Zé Doca dos Anos 1985 a 2019.....	66
Figura 26 - Mapa da Evolução do Uso e Ocupação da Terra nos anos 1985 e 2019	69
Figura 27 - Áreas averiguadas sobre a existência de plantação de soja (a) área de loteamento imobiliário do bairro Lacerda no município Santa Luzia do Paruá, ponto 11; (b) Área de loteamento imobiliário no município de Santa Luzia do Paruá, ponto 12	71
Figura 28 - Evolução da classe Formação Florestal no alto curso da Bacia Hidrográfica do Rio Turiaçu, localizado no TI Alto Turiaçu nos anos 1985 e 2019	78
Figura 29 - Área de extração mineral para construção civil, localizada no município de Santa Luzia do Paruá, ponto 5	81
Figura 30 - Áreas de pastagem (a) Município de Santa Luzia do Paruá, ponto 11; (b) Município de Turiaçu, ponto 13	81
Figura 31 - Área de vegetação ciliar à margem esquerda do rio Caxias sendo ocupada pela pastagem, no município de Turiaçu, ponto 13.....	82

Figura 32 - Rio Turiaçu, povoado Três-Furos no município de Presidente Sarney, ponto 3. A margem direita está bastante assoreada por conta da retirada da vegetação e espaço de recreação 84

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Localização dos pontos visitados na atividade de campo.....	35
Tabela 2 - Localização dos pontos acrescentados na segunda atividade de campo.....	36
Tabela 3 -Valores de área das classes de uso e ocupação da terra na Bacia Hidrográfica do Rio Turiaçu nos anos 1985 e 2019	70
Tabela 4 - Valores das métricas referentes às classes de uso e ocupação da terra na paisagem da Bacia Hidrográfica do Rio Turiaçu no ano de 1985	72
Tabela 5 - Valores das métricas referentes às classes de uso e ocupação da terra na paisagem da Bacia Hidrográfica do Rio Turiaçu no ano de 2019	73
Tabela 6 - Valores das métricas referentes a classe de Formação Florestal do alto curso da bacia do Turiaçu, localizado no limite da TI Alto Turiaçu	79

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Am - Tropical monçônico

APA - Área de Preservação Ambiental

Aw - Tropical com estação seca de inverno

AWMSI - Índice de Forma Média Ponderada pela Área

CA - Área da Classe

A CPRM - Serviço Geológico do Brasil

Embrapa - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

ED - Densidade de Borda

ET - Borda Total

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IDH - Índice de Desenvolvimento Humano

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

MDE - Modelo Digital de Terreno

MMA - Ministério do Meio Ambiente

MPAR - Média da Relação Área-Perímetro

MPS - Tamanho Médio dos Fragmentos

MSI - Índice de Forma Média

NUGEO - Núcleo Geoambiental da Universidade Estadual do Maranhão

NumP - Número de Fragmentos

PSCoV - Coeficiente de Variação do Tamanho do Fragmento

PSSD - Desvio Padrão do Fragmento

REBIO - Reserva Biológica

GIGs - Sistema de Informação Geográfica

SRTM - Shuttle Radar Topographic Mission

TI - Terra Indígena

UC - Unidade de Conservação

URSS - União das Repúblicas Socialistas Soviéticas

ZEE - Zoneamento Ecológico Econômico

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	OBJETIVOS	16
2.1	Geral	16
2.2	Específicos	16
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICO METODOLÓGICO	17
3.1	Geossistema	17
3.2	Paisagem	20
3.3	Geodiversidade	24
3.4	Bacia Hidrográfica	27
4	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	29
4.1	Levantamento Cartográfico e Bibliográfico	29
4.2	Mapeamento Temático	30
4.3	Análise da temperatura média e precipitação das estações meteorológicas Turiaçu e Zé Doca durante os anos 1985 a 2019	31
4.4	Evolução do uso e cobertura da Terra	31
4.5	Análise das métricas de paisagem	33
4.6	Atividade de Campo	34
5	AVALIAÇÃO DOS ATRIBUTOS GEOBIFÍSICOS E ANTRÓPICOS PARA A FORMAÇÃO DAS PAISAGENS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO TURIAÇU, MARANHÃO	37
5.1	Caracterização da área de estudo	37
5.2	Evolução do Uso e Cobertura do Solo nos Anos de 1985 e 2020	68
5.3	Análise da estrutura da paisagem através do uso de matrizes de paisagem	71
5.4	Evolução da Área da Formação Florestal no Alto Curso da Bacia Hidrográfica do Rio Turiaçu, Área da TI Alto Turiaçu nos Anos 1985 e 2019	76
5.5	Alteração da Paisagem da Bacia Hidrográfica do Rio Turiaçu	80
6	CONCLUSÃO	85
	REFERÊNCIAS	87

1 INTRODUÇÃO

As intensas pressões antrópicas exercidas sobre os recursos naturais tem aumentado nos últimos anos. O crescimento populacional e conseqüentemente a demanda de matéria prima para saciar a necessidade de consumo tem ocasionado intensas transformações na paisagem natural, como a transformação de áreas naturais em pastos e terras cultiváveis, além da extração de madeira e minerais (TAMBOSI, 2008; DANTAS *et al.*, 2015).

A Amazônia Maranhense vem sendo afetada por diversos impactos, que incluem a degradação do solo, alterações no clima e na disponibilidade de água (LAWRENCE; VANDECAR, 2015). No Maranhão, a região amazônica perdeu mais de 75% da cobertura florestal original devido o desmatamento ilegal (CELENTANO *et al.*, 2017). Sendo a região da pré-amazônica de grande importância social e ecológica para o estado. Portanto, com o crescente desequilíbrio ambiental, surge a necessidade de buscas por soluções para proteger a natureza e a sociedade, desenvolvendo metodologias que auxiliem na demarcação de áreas em situação de risco (WHITTAKER *et al.*, 2005). Desta forma, o estudo de análise de paisagem vem recebendo nos últimos anos mais atenção, pois contribui para a compreensão em determinadas relações ecológicas (CARRÃO; CAETANO; NEVES, 2001). De acordo com Dantas *et al.* (2015) o estudo do conjunto de elementos do meio geobiofísico (rochas, minerais, relevos, solos, biota) são necessários para a análise da estrutura espacial da paisagem, especialmente para estabelecer as relações entre seus padrões decorrentes com uma função ecológica específica (VIDOLIN; BIONDI; WANDEMBRUCK, 2011).

Segundo Meirelles (1997) a abordagem integrada da paisagem para o planejamento e gerenciamento dos recursos naturais tem a necessidade da identificação e a avaliação dos atributos geobiofísicos e antrópicos de um território, pois possuem características e dinâmismos próprios que conseqüentemente sofre influência humana no tempo e no espaço.

Desta forma, é importante compreender que a proteção da paisagem depende da governança territorial e de uma abordagem técnica consistente capaz de orientar os usos e lidar com as disputas do mercado que não considera a proteção do meio físico do terreno, os remanescentes de cobertura e as territorialidades humanas que, conseqüentemente, expressam seus usos em conformidade com a alteração da dinâmica das paisagens protegidas (FURLAN, 2018).

Com base no que foi exposto, as geotecnologias fornecem subsídios para o manejo e planejamento ambiental, devido ao seu baixo custo, disponibilidade e aplicabilidade, além da eficiência na obtenção dos dados de cobertura do solo. Desse modo, o sensoriamento remoto é

uma ferramenta cada vez mais importante em estudos ambientais, auxiliando na compreensão dos aspectos de formação do relevo, dos atributos que formam as paisagens e da dinâmica do comportamento de áreas impactadas (CALDERANO FILHO *et al.*, 2010).

Aliado ao sensoriamento remoto, estão os Sistemas de Informação Geográficas (SIGs) destinados ao tratamento automatizado dos dados georreferenciados, auxiliando, por exemplo, na caracterização da potencialidade e fragilidade dos ambientes naturais de uma determinada área, a partir dos mapas de classes de solo, de declividade, uso atual das terras, relevo, recursos hídricos, suscetibilidade dos solos à erosão, geologia e geomorfologia (ANTONELI; THOMAZ, 2007). Estes métodos de processamento de dados provenientes de satélites podem ser utilizados para auxiliar na avaliação da dinâmica espaço-temporal de uma paisagem (BORUAH *et al.*, 2008).

uma ferramenta cada vez mais importante em estudos ambientais, auxiliando na compreensão dos aspectos de formação do relevo, dos atributos que formam as paisagens e da dinâmica do comportamento de áreas impactadas (CALDERANO FILHO *et al.*, 2010).

Aliado ao sensoriamento remoto, estão os Sistemas de Informação Geográficas (SIGs) destinados ao tratamento automatizado dos dados georreferenciados, auxiliando, por exemplo, na caracterização da potencialidade e fragilidade dos ambientes naturais de uma determinada área, a partir dos mapas de classes de solo, de declividade, uso atual das terras, relevo, recursos hídricos, suscetibilidade dos solos à erosão, geologia e geomorfologia (ANTONELI; THOMAZ, 2007). Estes métodos de processamento de dados provenientes de satélites podem ser utilizados para auxiliar na avaliação da dinâmica espaço-temporal de uma paisagem (BORUAH *et al.*, 2008).

Além da complexidade e diversidade de ambientes, a Bacia Hidrográfica do Rio Turiaçu apresenta escassez de informações que podem auxiliar na preservação das duas Unidades de Conservação (UC) de Uso sustentável, as APAs (Área de Preservação Ambiental) da Baixada Maranhense e Reentrâncias Maranhenses e da Terra Indígena (TI) Alto Turiaçu, que intergram a bacia. O Ministério do Meio Ambiente (MMA) constatou que em 2006 essa região apresentava cerca de 7% de agricultura e 37% de pastagens, o restante da área era ocupada por fragmentos de floresta amazônica e de matas secundárias em diferentes ideades de recomposição.

A pesquisa tem como finalidade construir uma base de informações adequadas da área de estudo para o planejamento e gerenciamento dos recursos naturias. Desta forma, a avaliação dos atributos geobiofísicos e antrópicos para a formação das paisagens da Bacia

Hidrográfica do Rio Turiaçu, trás uma abordagem integrada capaz de mitigar conflitos referentes ao uso do solo e dos recursos naturais.

Para a realização deste estudo, adotou-se a seguinte distribuição temática em Capítulos, o capítulo 2 apresenta os objetivos, onde há o objetivo geral da pesquisa e os objetivos específicos que pretende-se alcançar até o final do trabalho. O capítulo 3 refere-se a fundamentação teórica, apresentando as teorias fundamentais para o desenvolvimento da pesquisa, tais como: Geossistema, Paisagem, Geodiversidade e Bacia Hidrográfica.

O capítulo 4 trata dos procedimentos metodológicos que se baseia na integração das informações dos atributos geobiofísicos (geologia, geomorfologia, solos, geodiversidade vegetação e clima) e antrópicos (uso e ocupação da terra), além da descrição da análise da estrutura da paisagem utilizando Métricas de Paisagem. Nesta etapa, também, descreve também o trabalho desenvolvido em campo, já o capítulo 5 descreve sobre a avaliação dos atributos geobiofísicos e antrópicos para a formação das paisagens da Bacia Hidrográfica do Rio Turiaçu, Maranhão. Nesta etapa, contém os resultados e discussões da ‘Caracterização da Área de Estudo’ que descrevem os atributos geobiofísicos da Bacia Hidrográfica do Rio Turiaçu; a ‘Evolução do Uso e Cobertura do Solo nos anos de 1985 e 2019’, que discorre sobre as mudanças das paisagens na bacia; a ‘Análise da estrutura da paisagem através do uso de Métricas de Paisagem’, que descreve de maneira detalhada a estrutura da paisagem utilizando as métricas que descrevem a o tamanho, borda e forma de cada classe encontrada na bacia; e a ‘Evolução da Área da Formação Florestal no Alto Curso da Bacia Hidrográfica do Rio Turiaçu, Área da TI Alto Turiaçu nos Anos 1985 e 2019’, nesta etapa também é utilizada as métricas de paisagem, mas para descrever a classe de Formação Florestal na área delimitada da região da TI Alto Turiaçu que está localizado no baixo curso da bacia.

O capítulo 6 apresenta as considerações finais obtidas na pesquisa, dificuldades e recomendações futuras

2 OBJETIVOS

2.1 Geral

Avaliar como os meios geobiofísico e antrópico influenciam na formação das paisagens da Bacia Hidrográfica do Rio Turiaçu, no Litoral Ocidental do Maranhão.

2.2 Específicos

- a) elaborar a caracterização ambiental da bacia através de dados secundários;
- b) analisar as alterações do uso e cobertura da Terra da bacia nos anos 1985 2019, através de técnicas de geoprocessamento;
- c) avaliar a quantificação das mudanças estruturais da paisagem nos anos de 1985 e 2019, através da técnica de métricas de paisagem.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICO METODOLÓGICA

3.1 Geossistema

O termo Geossistema surgiu na antiga URSS (União das Repúblicas Socialistas Soviéticas) no início da década de 1960, sendo primeiramente mencionada pelo Russo Sotchava como forma de designar o Sistema Geográfico ou Complexo Natural Territorial (CHRISTOFOLETT, 1999; MONTEIRO, 2001). Para Sotchava (1977) o geossistema é uma classe particular de sistemas dinâmicos abertos e hierarquicamente organizados, diferenciando-o em três níveis: planetário, regional e topológico, sendo que qualquer um desses níveis pode ser chamado de geossistema (NASCIMENTO; SAMPAIO, 2005). Mas para Troppmair e Galina (2006), Sotchava deixou o termo bastante vago e flexível.

Em 1968, o francês Georges Bertrand aperfeiçoou o conceito de Sotchava dando uma conotação mais precisa à unidade geossistema, estabelecendo uma tipologia espaço-temporal compatível com a escala socioeconômica, focando nos fatores biogeográficos e sociais, além de relacionar o desenvolvimento dos solos à cobertura vegetal e à evolução do relevo e seus processos (NASCIMENTO; SAMPAIO, 2005). À vista disso, o geossistema para Bertrand (2004) é o resultado na paisagem através da combinação entre: 1. Potencial Ecológico (natureza das rochas, dinâmica e valor do declive das vertentes, dinâmica da precipitação, da temperatura, hidrografia, pH do solo, etc.); 2. Exploração biológica (fauna e flora em dinâmica ecossistêmica); e 3. Ação antrópica (atividades socioeconômicas).

Cavalcanti (2013) e Oliveira (2016a) observaram que existe uma diferença na concepção de geossistema entre Sotchava e Bertrand. Onde o primeiro considerava que os geossistemas podem possuir qualquer dimensão, já para o francês, os geossistemas são da ordem de centena das dezenas às centenas de quilômetros quadrados. Ou seja, para Bertrand é apresentado em uma ordem escalar definida, enquanto para Sotchava o geossistema se expressaria em qualquer ordem escalar.

Desta forma, pode-se considerar que os geossistemas se manifestam em níveis *planetários*, controlados por fatores hidrotérmicos; *regionais*, controlados por condicionantes geológico-geomorfológicos; e *locais*; onde se diferenciam segundo as formas de relevo, sistemas de formação pedológica, unidades de vegetação e cobertura (OLIVEIRA, 2016b).

Christofoletti (1999) aborda que o geossistema, ou sistemas ambientais físicos, é um sistema natural, não essencialmente homogêneo, aberto ou específico a um território que tem características de uma morfologia específica (estrutura espaciais, verticais e horizontais), por um funcionamento (energia solar, gravitacional, ciclos biogeoquímicos, processos morfogenéticos e pedogenéticos) e comportamento específico (mudanças em sequências

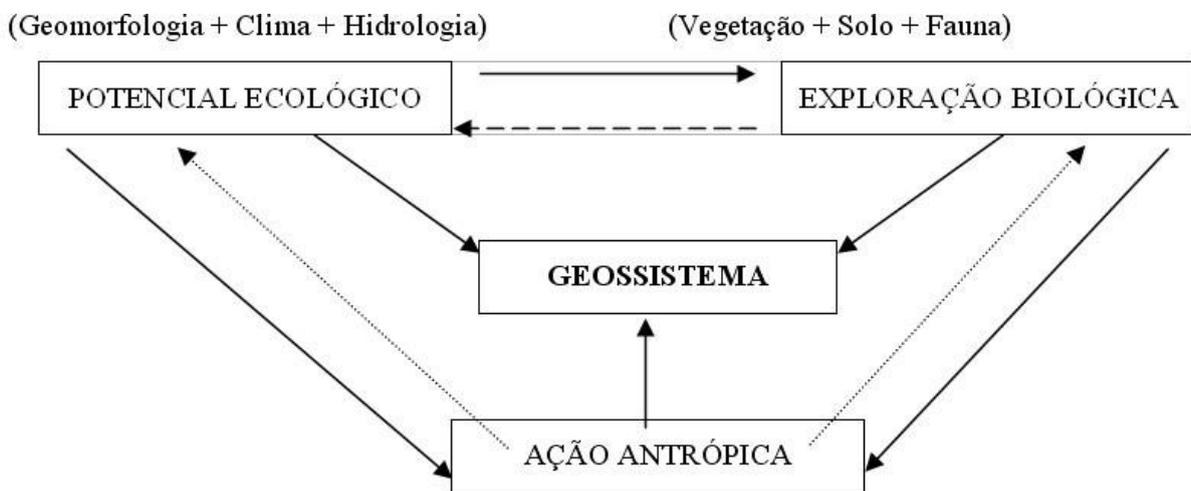
temporal). Além de reagrupar dinamicamente geofáceis e geótopos representando um mosaico do ponto de vista vegetacional.

Entretanto, independente da sua dimensão, o geossistema é uma entidade formada por componentes que se relacionam na natureza. Para Troppmair e Galina (2006), o geossistema é um sistema natural, complexo e integrado no qual há circulação de energia e matéria, onde são discernidas unidades dinâmicas e homogêneas de organização do espaço em escalas diversas, e onde ocorre exploração biológica, inclusive aquela praticada pelo homem.

Troppmair (2004) ainda assinala que a morfologia, dinâmica e exploração biológica são três características primordiais de qualquer Geossistema. Desta forma, o geossistema é composto por três componentes: os abióticos (litosfera, atmosfera, hidrosfera que formam o geoma), os bióticos (flora e fauna) e os antrópicos (formado pelo homem e suas atividades) (ROUGEIRIE; BEROUTCHACHAVILI, 1991).

Schier (2003a) afirma que a abordagem dos geossistemas na França apoiava-se em um tripé que abrangia os elementos abióticos; os elementos bióticos e elementos antrópicos, como mostra a Figura 1:

Figura 1 - Esquema teórico da abordagem geossistêmica, segundo o modelo em tripé proposto por Bertrand (1972)



Fonte: Dantas *et al.* (2015)

Na literatura científica o termo geossistema tem sido usado para conceituar a formação natural; as funções terrestres complexas, que incluem a natureza, a população e a economia; qualquer sistema terrestre; e qualquer objeto estudado pelas Ciências da Terra (RODRIGUEZ; SILVA; CAVALCANTI, 2017). Desta forma, Alek-Sandrova e Preobrazhenkii (1982 *apud* Rodriguez *et al.*, 2017) classificam o geossistema em cinco categorias, tais como,

- a) Geossistemas naturais: que são a parte da superfície terrestre onde os componentes individuais da natureza se encontram em uma restrita relação uns com os outros, relacionando-se com as partes vizinhas da esfera cósmica e a sociedade;
- b) Geossistemas técnico-naturais: produzem-se na interação entre os objetos técnicos e os naturais, determinando a conjugação entre a coincidência territorial da estrutura técnica, ao sistema natural, a unidade das funções socioeconômicas e suas interações com a energia, a matéria e as informações que atrelam espacialmente;
- c) Geossistemas integrados: são formações territoriais complexas, que incluem a qualidade de subsistemas da natureza, população e economia em seus diferentes tipos de atividade;
- d) Geossistemas ramais: são caracterizados por apresentar um grau de complexidade menor, principalmente em qualidade de subsistemas;
- e) Geossistema antropoecológicos: O homem é o elemento central e os restantes dependem da lógica e funcionalmente dele. Esses elementos formam o meio ambiente do homem. Como elemento central, pode-se tomar qualquer de suas características (biológicas, social, produtiva, étnica) em conjunto ou independentemente em qualquer de seus níveis hierárquicos. (ALEK-SANDROVA; PREOBRAZHENLKI, 1982 *apud* RODRIGUEZ *et al.*, 2017)

De acordo com Sochtava (1978), entre os objetivos visados por meio da operacionalização metodológica dos geossistemas, estes são os principais: modelagens de geossistemas (regimes naturais e gênese antropodinâmica); busca de técnicas racionais de avaliação quantitativa dos geossistemas e as formadoras de processos da paisagem; análise de sistema de ligações espaciais na superfície geográfica no nível planetário e regional; compreensão das regularidades espaço-temporais e análise dos estados de geossistemas; criação de modelos gráficos de geossistemas; estudo da influência de fatores socioeconômicos no meio ambiente natural, previsão de geossistemas futuros, estudo das transformações antrópicas dos geossistemas, de acordo com as tendências de evolução que lhes são inerentes.

A técnica de mapeamento de paisagem é baseada nos princípios fundamentais da teoria dos geossistemas sugeridos por Sochtava (1977). Portanto, as paisagens agregam elementos e processos com diferentes naturezas, dimensões e durações que em uma determinada área da superfície terrestre proporciona a origem de uma unidade visível (SOUZA; CAVALCANTI, 2014).

Diversos autores abordam a importância do dimensionamento territorial de unidades de paisagem visando o planejamento e a classificação de paisagens em qualquer escala. Bertrand (2004) afirmou que estudar a paisagem implica delimitá-la e dividi-la em unidades homogêneas e hierarquizadas chegando-se a uma classificação em função da escala. Guerra e Marçal (2006) afirmam que o dimensionamento da paisagem pode variar conforme os objetivos de cada estudo.

Segundo Bertrand (1972), a paisagem deve ser compreendida como interação dinâmica e instável entre os elementos abióticos, bióticos e antrópicos, os quais apresentam contínua evolução. Desta forma, de acordo com Dantas *et al.* (2015), a vertente francesa buscou

não privilegiar a esfera natural em detrimento da esfera social. E Melo (2001), em sua biografia acadêmica sobre o Geógrafo Carlos Augusto de Figueiredo Monteiro que trouxe a ênfase sobre os Geossistemas, forjou o conceito de “Derivações Antropogênicas” para aproximar às análises do meio geobiofísico (relevo, rocha, solo, vegetação, clima, etc.), as implicações de natureza socioeconômica impostas à paisagem.

Sendo assim, mesmo que os geossistemas sejam ambientes naturais, configuram-se com a interferência humana através dos fatores culturais e econômicos. Desta forma, Silva (2008) afirma que na Geografia Física a perspectiva Geossistêmica é muito importante na evolução dos estudos geográficos, pois considera a interação dos elementos geobiofísicos e antrópicos.

3.2 Paisagem

A paisagem é uma categoria que colaborou para a institucionalização da geografia como ciência, corroborando para estudos de aspectos humanos e físicos. Desta forma, no âmbito científico, a primeira pessoa a introduzir o termo paisagem foi o geo-botânico Alexander Von Humboldt, no início do século XIX, abordando um ponto de vista da fisionomia e funcionalidade da paisagem (CHRISTOFOLETTI, 1999; METZGER, 2001; VITTE, 2007).

A noção de paisagem está relacionada às diferentes orientações teórico-metodológicas das várias ciências e escolas que vai de uma abordagem mais estético-descritiva até uma essencialmente científica (MENEZES, 2016).

A construção do conceito de paisagem na geografia brasileira foi influenciada pela escola francesa. Mais tarde, com as técnicas de geoprocessamento, é que a influência anglo-saxônica se fez presente como produto de estudos integrados na metodologia para o zoneamento ecológico-econômico – ZEE (MAXIMIANO, 2004).

Desta forma, Moraes (1995) afirma que no século XX muitos teóricos da ciência geográfica contribuíram para a construção do conceito, desenvolvendo, aplicando diferentes métodos e novas abordagens. Como o conceito de *landschaft* que considerava a unidade territorial, enquanto a valorização principal estava em focar nas paisagens morfológicas e cobertura vegetal. As pesquisas começaram a apresentar uma tendência para a descrição dos seus elementos físicos, destacando as formas topográficas em relação aos aspectos das atividades socioeconômicas (CHRISTOFOLETTI, 1999).

Ao longo do tempo, a paisagem foi adquirindo vários significados, passando das análises e descrição dos elementos físicos à anexação do homem como parte integrante e transformadora da sua realidade (MENEZES, 2016). Portanto, entre os geógrafos há um acordo

de que a paisagem, embora tenha sido estudada sob ênfases diferentes, resulta na relação dinâmica de elementos físicos, biológicos e antrópicos, não apresentando somente um fator natural, mas também incluindo a existência das ações humanas (MAXIMIANO, 2004).

Na atualidade, a paisagem apresenta um ponto de partida para o entendimento das complexas relações entre o homem e a natureza. Ou seja, pode-se dizer que a paisagem se constitui como resultado do estabelecimento de uma inter-relação entre a esfera natural e a humana, na medida em que a natureza é percebida e apropriada pelo homem, que historicamente constitui o reflexo dessa organização (SILVEIRA, 2009).

O conceito de paisagem como a relação homem-natureza aparece no cenário acadêmico no século XX, abrindo caminho para uma nova abordagem à categoria de estudo como ambiente ou como objeto, onde podem ser realizadas ações de intervenções científicas. Com a ocorrência da Segunda Guerra, surgiram trabalhos de caráter prático, diferente daqueles que detinham somente o domínio do discurso. Esses trabalhos tiveram o protagonismo, principalmente, na Alemanha e na antiga União Soviética, onde o cenário possibilitou que essa visão sistêmica tivesse uma maior reflexão sobre o conceito, levando à compreensão dos sistemas naturais a partir da sua estrutura de funcionamento (ROUGEIRIE; BEROUTCHACHVILI, 1991).

Desta forma, com o passar do tempo, em 1960, Sotchava apresentou o estudo dos geossistemas, o qual aponta que cada categoria deste situa-se num ponto do espaço terrestre e enfatiza que devem ser analisados como pertencentes a um determinado lugar sobre a superfície da Terra. Com a apresentação do geossistema, Sotchava marca um novo período de análise sobre a paisagem (SOTCHAVA, 1977). Deixando claro que a natureza não é compreendida somente pelos seus componentes, mas através da conexão entre eles, dando a preferência a análise da dinâmica, estrutura funcional e suas interações (MACIEL; LIMA, 2011).

Os estudos de Sothava obtiveram o grande mérito de propor que se estudasse a natureza de forma integrada, porém não esclarecia o método a ser adotado para se alcançar tal finalidade. Mas, o contemporâneo do geógrafo russo, o francês Georges Bertrand, apresentou estudos sobre geossistemas, como o texto *Paisagem e Geografia Física global: esboço metodológico*, que foi um marco para a Geografia Física, pois explicita a ligação direta entre os níveis global e local, de forma em que a paisagem deve ser compreendida dentro de um contexto global (holístico), relacionando as diversas escalas de espaço-tempo (DINIZ; OLIVEIRA; MEDEIROS, 2015).

De acordo Bertrand (1972), a paisagem não é a simples adição de elementos geográficos de forma despropositada, ela é o resultado de uma combinação dinâmica, portanto

instável, de elementos físicos, biológicos e antrópicos que reagem dialeticamente uns sobre os outros, fazendo da paisagem um conjunto único e indissociável em perpétua evolução.

Bolós (1981) define a paisagem como uma área geográfica, unidade espacial, a qual a morfologia agrega uma complexa inter-relação entre a litologia, estrutura, solo e fauna sob a ação antrópica. Sendo que o espaço geográfico é onde as intervenções da sociedade interfere no meio ao longo do tempo, e sua dinâmica e evolução são determinadas por processos históricos e naturais (MACIEL; LIMA, 2011).

Rodriguez (1994) afirma que a análise sistêmica da paisagem se baseia no conceito em que se combinam a natureza, a economia, a sociedade, e a cultura, ou seja, um “todo sistêmico”, onde inúmeras variáveis buscam representar a relação da natureza com o homem. Esses sistemas que estabelecem a formação da paisagem são complexos e exigem uma multiplicidade de classificações.

Rodriguez *et al.* (2017, p. 18) consideram seis fatores geocológicos para a formação da paisagem: geológicos, climáticos, geomorfológicos, hidrológicos, edáficos e bióticos. Este autor distingue quatro categorias de acordo com o papel das partes na formação da paisagem, são elas:

- a) Fatores diferenciadores: Que determinam as propriedades dos restantes componentes, ao aportar calor e umidade para o funcionamento do sistema. Sua composição substancial não reflete de maneira direta ou tem uma manifestação longa. Estes são mais resistentes aos impactos antropogênicos.
- b) Fatores de redistribuição: Encarregado de redistribuir o calor e umidade proveniente dos fatores diferenciadores, que controlam e determinam os padrões de formação e diferenciação dos componentes;
- c) Fatores diferenciadores indicadores: Tem um peso significativo na composição substancial do sistema, ao aportar a base hídrica e o material concreto. Podem ser transformados, não de maneira completa, pelos impactos antropogênicos;
- d) Fatores indicadores: Resultam das influencias combinadas dos fatores restantes, indicando as condições dos habitat, a origem e a evolução. São os mais móveis e transformáveis pela influência antropogênica.
- e) Desta forma, de acordo com Meirelles (1997) a formação da paisagem, ocorre a partir do desenvolvimento de seu perfil vertical completo e a formação de condições que vão a partir do ponto de partida até atingir o estado maduro. Ou seja, o estabelecimento de uma paisagem madura se conclui através da formação de sua organização estrutural e funcional. (RODRIGUEZ *et al.*, 2017, p. 18)

Segundo Mateo (1991 *apud* MEIRELLES, 1997), a paisagem já formada tem a sua própria “personalidade”. A origem da paisagem, desde o momento do surgimento da biota não se interrompe com o tempo, entretanto nos diferentes períodos se manifesta de forma distinta. Ela se acompanha para a formação dos solos, que se caracteriza pela periodicidade, a qual pode se manifestar na periodicidade anual e multianual dos fenômenos, ou até mesmo ser condiciona por fatores tectônicos e climáticos.

Por esse motivo é que as informações temáticas como a vegetação, relevo, aspectos edáficos e pedológicos, substrato geológico, estudados isoladamente não ajudam na compreensão das Unidades de Paisagem (AMORIM; OLIVEIRA, 2007), pois segundo Morin (1977) a configuração da paisagem depende dos elementos, de suas relações, espaço e tempo.

As Unidades de Paisagem apresentam fronteiras de complexa delimitação, que ocupam um determinado espaço e certo período de tempo, onde depende do funcionamento dos seus elementos (MELO, 2001). As Unidades de Paisagem se individualizam pelo relevo, clima, cobertura vegetal, solos ou até mesmo pelo arranjo estrutural desses elementos (ROSS, 1992).

De acordo com o exposto, entende-se que a delimitação das Unidades de Paisagem apresenta uma significativa complexidade, pois a interação de diversos atributos do sistema natural e antrópico permite a identificação dos elementos responsáveis pela dinâmica da paisagem, além de identificar as fragilidades ambientais de cada unidade, o que é essencial na gestão do território, que é um mecanismo disciplinador das ações antrópicas no meio ambiente (AMORIM; OLIVEIRA, 2008).

Dentro desse contexto, a paisagem é de grande relevância para estudos de análise e compreensão da organização do espaço geográfico, além de auxiliar a abordagem integrada para o planejamento ambiental, assegurando a qualidade ambiental e a prevenção de conflitos sociais relacionados ao uso da terra.

Métricas de Paisagem

As métricas de paisagem são uma ferramenta para quantificar a estrutura da paisagem, descrevendo o tamanho e a forma das paisagens, a abundância de cada tipo de mancha e sua distribuição espacial. Esta técnica é capaz de detectar mudanças no padrão das paisagens, facilitando o monitoramento da evolução de um determinado espaço geográfico (HUANG *et al.*, 2005; SAITO *et al.*, 2010).

Segundo Forman e Gordon (1986) e Haines-Young *et al.* (1993) essas medidas de estruturação da paisagem ou métricas de paisagem, como é comumente conhecida, foram criadas para caracterizar uma paisagem a partir da forma, tamanho, quantidade e dispersão geográfica dos elementos que compõem a paisagem de uma área. E desta forma, torna-se possível identificar quais padrões são desejáveis em uma paisagem, o que contribui para o monitoramento e planejamento.

Esta técnica é de grande importância para identificação de áreas prioritárias à conservação, pois pode mensurar e identificar os maiores fragmentos de vegetação e considerá-los os elementos propensos para a preservação. Ou, pode-se, também, através das métricas de paisagem, identificar e selecionar fragmentos de vegetação de menores áreas e propor medidas

de conexão entre esses elementos com a finalidade de criar um sistema de unidades de conservação ou corredores ecológicos (MAGALHÃES, 2013).

Por isso, é importante destacar que o trabalho de métricas de paisagem vai além dos cálculos de área e do perímetro dos fragmentos. A partir desses dados, é possível gerar outros resultados que avaliam a morfologia dos elementos que podem estar relacionados com os processos ecológicos. Como é o caso do cálculo da Área Núcleo, que pode ser explicada como uma região no interior do fragmento isenta da influência dos fatores externos. Além disso, também tem-se a Borda, que o contrário da Área do Núcleo, pode-se ser entendida como “a linha de contato entre as manchas distintas” (LANG; BLASCHKE, 2009).

As métricas de paisagem, atualmente, trazem diversos algoritmos que são capazes de investigar as peculiaridades das formas dos elementos, como: o grau de complexidade da forma, identificação da linearidade ou alongamento, estabilidade ou circunferência, grau de isolamento, proximidade, contiguidade; diversidade de tipologias; percentual de ocupação e entre outros (MAGALHÃES, 2013). Algumas dessas métricas são utilizadas neste trabalho e descritas em um momento oportuno do texto.

No que se pode entender sobre as métricas de paisagem, é que elas abriram novas possibilidades de diagnosticar e caracterizar as mais diversas paisagens e com isso contribuiu para prever impactos que as alterações na estrutura da paisagem pode causar. Esses resultados auxiliam no monitoramento das transformações ambientais causadas, principalmente, por origem antrópica. A utilização desses dados, levaria ao entendimento da dinâmica das paisagens, pois fornecem informações sobre o conjunto de fatores bióticos e abióticos (HAINES-YOUNG *et al.*, 1993; LANG; BLASCHKE, 2009).

Esta técnica é de significativa importância para este trabalho, pois auxilia na caracterização da paisagem da Bacia Hidrográfica do Rio Turiaçu, compreendendo o comportamento da dinâmica dos elementos durante os anos, sobretudo como as atividades de cunho antrópico está avançando nas áreas de proteção da bacia.

3.3 Geodiversidade

O termo “geodiversidade” foi elaborado com o objetivo de gerenciar áreas protegidas, apresentando como uma contraposição a “biodiversidade”, pois havia uma necessidade de abranger elementos abióticos do meio natural (CAÑADAS; FLAÑO, 2007). Desta forma, a geodiversidade refere-se à diversidade natural da geologia (rochas, minerais, fósseis, estruturas), geomorfologia (formas e processos) e solos. Essa variedade de ambientes

geológicos, fenômenos e processos fazem com que rochas, minerais e solos sirvam de substratos, ou seja, de sustentação para a biodiversidade (OWEN *et al.*, 2005).

Como um conceito aparentemente novo, a geodiversidade passou por diferentes definições até chegar a um processo de consolidação. Segundo Cañadas e Flaño (2007) o termo geodiversidade foi empregado pela primeira vez em 1993 na Conferência de Malvern (Reino Unido) com o objetivo de elaborar o gerenciamento de áreas protegidas. Mas no entanto, segundo Rojas (2005 *apud* CAÑADAS; FLAÑO, 2007) este termo já havia sido abordado em 1940 pelo geógrafo argentino Frederico Alberto Daus, para diferenciar áreas de superfície terrestre com conotação da Geografia Cultural.

Após isso, o conceito de geodiversidade foi se desenvolvendo, no Brasil e na esfera internacional, em direção ao planejamento territorial e estudos de geoconservação (SILVA *et al.*, 2008). Desta forma, diversos autores como Brilha (2005), Cañadas e Flaño (2007) e Petriso e Sarbu (2010), sob diferentes aspectos, aplicam a Geodiversidade aos estudos de planejamento territorial, ainda que com uma ênfase destinada a Geoconservação, além de abranger, em certa medida, a componente biótica, ou seja, a biodiversidade. No Brasil, a definição da CPRM, apresentado por Dantas (2006), considera a geodiversidade como,

A diversidade da natureza abiótica (meio físico) constituída por uma variedade de ambientes, composição, fenômenos e processos geológicos que dão origem as paisagens, rochas, minerais, águas, fósseis, clima e outros depósitos superficiais que propiciam o desenvolvimento da vida na Terra, tendo como valores intrínsecos a cultura, o estético, o econômico, o científico, o educativo e o turístico (DANTAS, 2006, p. 1)

O conhecimento da geodiversidade leva a identificar as restrições e as aptidões do uso do meio físico de uma área, a vulnerabilidade e os impactos advindos do uso inadequado desses ambientes. Além disso, pode-se ampliar o conhecimento das paisagens naturais de uma determinada região composta por tipos específicos de rochas, relevos, solos e clima. Portanto, o conhecimento e a compreensão das características geológicas como formadoras de substrato, ou até mesmo, da dinâmica ambiental dos recursos hídricos de uma região, podem auxiliar na prevenção dos recursos naturais (BANDEIRA, 2013).

Entretanto, a geodiversidade ainda é um assunto emergente e cresce a necessidade por busca do entendimento sobre seus elementos, processos e padrões de distribuição (COMER *et al.*, 2015), e ao contrário da avaliação da biodiversidade, segundo Jacková e Romportl (2008), as metodologias para avaliar a geodiversidade ainda não foram suficientemente estabelecidas. Para Kot (2014) não é possível propor um índice universal para a geodiversidade, pois é preferível examinar um conjunto de indicadores adequados, que podem ser diferenciados de acordo com o contexto paisagístico. Diante disso, diversos autores, como Hjort e Louto (2010),

Ruban (2010), Pellitero *et al.* (2011) e Pereira *et al.* (2013), vem trabalhando no desenvolvimento de metodologias de aplicação prática de conceitos, trazendo contribuições importantes para o estudo da geodiversidade em diferentes escalas.

O conhecimento dos elementos do meio abiótico é importante para a compreensão da determinação dos elementos bióticos, pois a biodiversidade é sustentada pela geodiversidade, já que diferentes organismos se encontram somente em condições de subsistência quando se reúne uma série de condições abióticas (BANDEIRA, 2013). Por isso, o estudo das relações entre o meio físico e o biológico é um tema abordado há décadas na biogeografia (HJORT; HEIKKINEN; LUOTO, 2012).

Trabalhos como o de Hjort e Luoto (2010) enfatizam, que do ponto de vista da conservação, a falta de conhecimento da distribuição da geodiversidade em relação a biodiversidade limita a proteção das áreas de conservação. Então, dessa forma, os autores propõem três etapas para estudos cujo o foco seja a geoconservação: 1. Quantificar os padrões espaciais da geodiversidade em diferentes regiões; 2. Determinar os fatores chaves que controlam a variabilidade da geodiversidade; e 3. Explorar a ligação entre a geodiversidade e biodiversidade.

No entanto, segundo Silva (2016), a integração dos componentes abiótico e biótico ainda é pouco desenvolvida no meio científico. Mas, trabalhos como o de Gordon *et al.* (2012) teve como objetivo realizar um estudo que tiveram como base, a abordagem geo-ecológica para avaliar a sensibilidade do terreno para auxiliar a gestão dos planaltos de montanha na Escócia. Esta análise teve como objetivo ajudar a prever áreas vulneráveis que podem exigir uma gestão, considerando a interação entre o clima, processos geomorfológicos, sensibilidade o terreno e processos ecológicos.

Enquanto isso, Jacková e Romportl (2008) desenvolveram uma metodologia para avaliar a heterogeneidade abiótica e a riqueza de habitat no nível da paisagem. Este estudo foi realizado em áreas protegidas da República Checa. Os autores realizaram camadas vetoriais que representavam a riqueza de habitat e os temas geologia, rugosidade por meio de um Modelo Digital de Terreno (MDE) e a hidrografia para determinar a heterogeneidade abiótica.

Parks e Mulligan (2010) apresentam discussões sobre as relações entre a geodiversidade e biodiversidade, mostrando ferramentas importantes para a realização de mapas que serviriam como base de seleção de áreas para a conservação.

O trabalho de Beier, Hunter e Anderson (2015) apresentou uma revisão demonstrando como a diversidade abiótica, como os elementos da geodiversidade com o clima, é capaz de impulsionar bem a distribuição da biodiversidade, como por exemplo, a vegetação

que são melhores distribuídas por estes elementos. Desta forma, Lawler (2015) destaca em seu estudo que nas dimensões continentais a regionais, o clima é fator principal para a distribuição das espécies. Enquanto a nível regional, a paisagem, solos e topografia, ou seja, os elementos da geodiversidade são mais influentes.

Contudo, entende-se que o uso da geodiversidade pode ser empregado como uma alternativa complementar e compatível para o planejamento ambiental. Pois a conservação da diversidade biológica, através dos estudos e análises dos elementos bióticos, proporciona, segundo Comer *et al.* (2015), a redução das taxas de perda de habitat e a meta onze em garantir suficiente representação ecológica por áreas e águas protegidas.

3.4 Bacia Hidrográfica

As bacias hidrográficas são consideradas sistemas abertos caracterizados pela entrada de material através da pluviosidade que ocorre em seus limites, e pelos sedimentos trazidos das suas vertentes por meio de processos de infiltração, escoamento superficial e basal, chegando aos canais fluviais, onde são transportados de forma mais eficiente até a foz, que é considerada a saída do sistema (SILVA, 2012). Ou seja, a bacia hidrográfica é definida como uma área drenada por um determinado rio ou sistema fluvial, que funciona como sistema aberto, em que os elementos, as matérias ou energias presentes no sistema apresentam função própria e estão estruturados e relacionados entre si. Desta forma, tudo o que ocorre na bacia repercute diretamente e indiretamente nos elementos que a integram, como rios e a qualidade e quantidade de água (CHRISTOFOLETTI, 1980; LEAL, 1995; DIBIESO, 2013).

Para Cunha e Guerra (2003) muitos dos desequilíbrios ambientais se originam da visão setORIZADA dentro de um conjunto de elementos que compõem a paisagem. Por esta razão, a importância de estudos com bacia hidrográfica dá-se por ela ser considerada uma unidade integradora dos elementos antrópicos e geobiofísicos, que deve ser administrada para que impactos sejam mitigados.

No Brasil, a bacia hidrográfica foi assumida como unidade territorial através da Lei Federal 9.433/97, onde diz que cabe ao Poder Público o papel de atuar como gestor no planejamento e intervir, se necessário, na área delimitada correspondente a área da bacia (BRASIL, 1997). Sobre esta questão, o conceito de bacia hidrográfica aplicada ao planejamento estende-se além das barreiras políticas tradicionais (Municípios, Estados e Países). Na verdade, o planejamento de bacias hidrográficas compreende para uma unidade física de gerenciamento econômico e social (TUNDISI, 2003).

Considerar uma bacia como unidade de planejamento, portanto, impõe abordar, de forma integrada, todos os seus elementos (água, geologia, geomorfologia, solos, geodiversidade, vegetação, clima e uso e ocupação) e compreendê-la como uma totalidade composta por elementos antrópicos e geobiofísicos (DIBIESO, 2013).

Mateo Rodriguez (2008, p. 57) define para estudos de bacia hidrográficas seis premissas básicas, as quais são,

- a) A bacia hidrográfica como uma totalidade sistêmica, formada pela interação de diversos sistemas ambientais (geossistemas e sociossistemas);
- b) Em uma bacia interagem componentes de caráter social, natural, econômico, cultural e político que formam os diversos sistemas ambientais;
- c) Estes sistemas se manifestam de maneira complexa na superfície do globo terrestre, formando sistemas espaciais, territoriais e paisagísticos de caráter individual. Permitindo analisar as unidades geoecológicas e as unidades espaciais como estruturas no interior das bacias;
- d) A bacia hidrográfica é formada fundamentalmente pela organização que impõe os fluxos de água superficial, manifestam-se sistemas de caráter espacial e territorial, paragenético e paradinâmico que não são completamente subordinados a essa dinâmica hídrica e que, portanto, tem sua própria organização e sua lógica;
- e) O projeto de um processo de planejamento e de gestão deve ter um caráter holístico, prospectivo, que responda a diferentes cenários e que deve partir não só das necessidades “objetivas”, mas das exigências e expectativas dos moradores locais;
- f) Considerar uma bacia sustentável, incorporando principalmente a sustentabilidade ambiental ao processo de desenvolvimento, ou seja, o uso ambientalmente correto dos recursos e espaços que nela se encontram, com o objetivo de satisfazer as necessidades da população e elevar a sua qualidade de vida. Para isso, é imprescindível não só conhecer como é formada e baseada a sustentabilidade dos sistemas ambientais naturais, mas também compreender como os outros sistemas (econômico, social e político) podem contribuir para esta sustentabilidade.

Desta forma, a bacia hidrográfica integra grande parte das relações causa-efeito que devem ser abordadas na gestão. Embora existam outras unidades de gestão a serem consideradas como países, regiões, estados e municípios, estes não apresentam um caráter integrador como o da bacia hidrográfica, que acabam tornando uma gestão parcial e ineficientes caso fossem adotadas medidas de planejamento (SETTI *et al.*, 2011).

Considerando essa perspectiva apresentada, a importância da compreensão do conceito sobre bacias hidrográficas é imprescindível para o estudo da avaliação da paisagem da Bacia Hidrográfica do Rio Turiaçu, pois a partir dessa de planejamento, é possível assimilar com os seus elementos (geobiofísicos e antrópicos) se relacionam entre si como uma totalidade sistêmica. Então, este instrumento de gestão pode auxiliar na organização territorial do uso e ocupação do solo, na contenção da fragmentação florestal e no reconhecimento da fragilidade dos ambientes para elevar a qualidade de vida da sociedade inserida na bacia.

4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

4.1 Levantamentos Cartográfico e Bibliográfico

O levantamento cartográfico e bibliográfico, foi realizado para os temas: ‘Caracterização Ambiental’, ‘Evolução do uso e cobertura da Terra nos anos de 1985 e 2019’, ‘Análise da estrutura da paisagem através do uso de métricas de paisagem’ e ‘Evolução da Área da Formação Florestal no Alto Curso da Bacia Hidrográfica do Rio Turiaçu, Área da TI Alto Turiaçu nos Anos 1985 e 2019’.

Primeiramente, para o levantamento cartográfico foi realizada uma abordagem multiescalar, justificando-se pelo fato da Bacia Hidrográfica do Rio Turiaçu apresentar uma grande dimensão espacial. Desta forma, para a ‘Caracterização Ambiental’, utilizou-se as seguintes escalas:

- ✓ A escala 1:750.000 para os dados de geologia, geomorfologia, solos e geodiversidade, que foram exportados da base de dados do CPRM (Serviço Geológico do Brasil);
- ✓ A escala 1:250.000 para o dado de vegetação que foi adquirido na plataforma de dados do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística);
- ✓ O dado de clima produzido pelos autores Alvares *et al.* (2013), apresenta uma resolução de 1ha da classificação climática do Brasil de Köppen;
- ✓ Para a delimitação automática da Bacia Hidrográfica do Rio Turiaçu, utilizou-se os dados SRTM do TOPODATA com resolução de 30m.

Por fim, cada mapa dessa etapa foi compatibilizado na escala de 1:800.000.

Para os temas ‘Evolução do uso e cobertura do solo nos anos de 1985 e 2019’ e ‘Evolução da Área da Formação Florestal no Alto Curso da Bacia Hidrográfica do Rio Turiaçu, Área da TI Alto Turiaçu nos Anos 1985 e 2019’, foram utilizados os dados do MapBiomas que possui uma escala de 1:250.000. Mas no final foram compatibilizados para as escalas 1:1.100.000 e 1:400.000, respectivamente.

Para o levantamento bibliográfico relativo a ‘Caracterização Ambiental’, focou-se na caracterização da área de estudo, buscando conhecer os atributos ambientais que abrangem a bacia. Nesta fase, baseou-se em pesquisa de relatórios técnicos, livros, periódicos, teses e dissertações, além do apoio do trabalho de campo.

No que se refere a pesquisa bibliográfica relativo aos temas de ‘Evolução do uso e cobertura’ e ‘Análise da estrutura da paisagem através do uso de métricas de paisagem’, buscou-se compreender os fatores da evolução, transformação e estrutura das paisagens da bacia, para

isso, foi necessário a aquisição de referências encontradas a partir dos anos 2000. As consultas nestas obras foram importantes, pois trazem dados que auxiliaram na compreensão da análise da pesquisa. Nesta etapa, também foi fundamental o trabalho de campo, pois auxiliou na averiguação e validação das classes mapeadas na área de estudo.

Esse levantamento foi importante para dar subsídio às futuras atividades relacionadas a área de estudo. Além de serem procedimentos metodológicos adequados para o planejamento ambiental, pois segundo Meirelles (1997) o estudo integrado dos fatores geobiofísicos e antrópicos privilegia a interligação espacial e a dinâmica de cada região, além de levar em consideração as ações, as características naturais e sociais.

4.2 Mapeamento Temático

Para o mapeamento temático foram utilizados os dados vetoriais de geologia, geomorfologia, solos, geodiversidade, vegetação, clima e os dados de elevação da *Shuttle Radar Topographic Mission* (SRTM) para a delimitação e o delineamento da drenagem da bacia do Turiaçu.

Os dados vetoriais de geologia, geomorfologia, solos e geodiversidade foram obtidos do Serviço Geológico do Brasil – CPRM (2012), com escala de 1:750.000 do estado do Maranhão. Na tabela de atributos para cada um dos dados foi escolhida uma coluna, a qual corresponde a legenda dos mapas deste trabalho, para geologia a coluna selecionada foi “NOME_UNIDA”, a correspondente para a geomorfologia “Relevo”, para os solos a coluna foi “Tipologia” e, por fim, selecionou-se a coluna geodiversidade “UNIGEO”.

Os dados de vegetação utilizados na pesquisa foram obtidos do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2018), com escala de 1:250.000 da Amazônia Legal. Definiu-se, na tabela de atributos, a coluna denominada de “Legenda”.

Para o Clima foram utilizados os dados produzido por Alvares et al. (2013), que traz um produto com resolução de 1ha da classificação climática de Köppen para o Brasil. Na tabela de atributos considerou-se a coluna “Clima_Kopp” para a classificação da legenda do produto final, o mapa.

Os dados SRTM foram obtidos do TOPODATA da plataforma do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), como uma resolução espacial de 30m. Neste trabalho, utilizou-se oito cenas que englobam a área de estudo. Para o processamento desses dados, primeiramente, criou-se, no software de geoprocessamento QGis 3.10, um mosaico com as imagens utilizando os comandos “Miscelânea” e “Mesclar”. Em seguida fez-se delimitação automática da bacia utilizando o pacote de algoritmos GRASS (os algoritmos: *watershed* e

water outlet). A partir deste insumo obteve-se o contorno (o limite) da bacia e o delineamento da sua drenagem.

Por fim, através do limite da bacia, os dados ambientais (geologia, geomorfologia, solos, geodiversidade, vegetação e clima) foram recortados, no programa de geoprocessamento ArcGis 10.2 para em seguida produzir mapas individuais da área de estudo, que foram compatibilizados na escala de 1:800.000.

4.3 Análise da temperatura média e precipitação das estações meteorológicas Turiaçu e Zé Doca Durante os anos 1985 a 2019

Nesta esta etapa, utilizou-se as variáveis climáticas de Temperatura média e Precipitação em um registro mensal no período de 1985 a 2019 das Estações Meteorológicas de Turiaçu e Zé Doca, que são as estações mais próximas da área de influência da Bacia Hidrográfica do Rio Turiaçu. Estes dados foram exportados em formato .csv da base de dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

Para este procedimento, foram feitos os cálculos de média dos valores mensais de Temperatura média e para a Precipitação realizou-se a somatória dos valores mensais para obter o acumulo de precipitação. Em seguida elaborou-se gráficos para cada estação mostrando a evolução da temperatura média e da precipitação acumulada das estações meteorológicas do Turiaçu e Zé Doca.

Ambas as estações, Turiaçu e Zé Doca, apresentaram falhas nos dados de temperatura média. Houve falhas na estação Turiaçu, durante os anos de 1985, 1990 e 1992 não houve resultados de temperatura média mensal. Enquanto que na estação Zé Doca, o ano que apresentou falhas nos resultados mensais foi 1985. Desta forma, para preencher tais falhas dos resultados anuais foi necessário calcular a média da temperatura média da série temporal 1985 a 2019 e em seguida o resultado da média da série serviu para o preenchimento dos resultados dos anos que apresentaram falhas.

4.4 Evolução do uso e cobertura da Terra

Esta análise foi realizada para duas etapas do trabalho: 1) Para evolução do uso e cobertura da terra da Bacia Hidrográfica do Rio Turiaçu nos anos 1985 e 2019; e 2) Para a evolução da classe Formação Florestal no alto curso da bacia, localizado no limite da TI Alto Turiaçu, nos anos 1985 e 2019.

Desta forma, ambas as análises foram realizadas a partir dos dados do MapBiomas dos anos 1985 e 2019 da coleção 5 com escala de 1:250.000.

Para o procedimento de aquisição das imagens, primeiramente, acessou-se o *Google Earth Engine*, que possibilita acessar os dados em nuvem. Utilizando o *script* Mapbiomas, disponibilizado pela plataforma, foi possível escolher as imagens de cobertura do estado do Maranhão dos anos 1985 e 2019 da coleção 5.

Após o download dos dados, realizou-se o recorte das imagens utilizando o limite da Bacia Hidrográfica do Rio Turiaçu e em seguida a classificação no *Software Qgis 3.10*. O mapa da evolução de uso e ocupação foi produzido no *ArcGis 10.2*.

Para a quantificação das áreas de cada classificação das respectivas imagens, foi realizada, no *QGis 10.3*, a vetorização dos dados (utilizando o comando “Converter *Raster* para Vetor (poligonizar)”) e em seguida fez-se o cálculo da área em km^2 para cada classe, através da fórmula (1) que se encontra na calculadora da tabela de atributos, este procedimento foi realizado para cada classe. No final, construiu-se uma tabela no *Excel 2013* com os resultados.

(1) **CASE: CASE WHEN "Classes" = "escolher a classe" THEN "Area" END**

Para a segunda etapa, a análise da classe Formação Florestal no alto curso da bacia, utilizou o dado do MapBiomias recortado a partir do limite da bacia para extrair apenas a classe a ser analisada e em seguida, fez-se o recorte da área a ser analisada, o limite da TI Alto Turiaçu que abrange o território da bacia do Turiaçu. E por fim, foi produzido o mapa do *ArcGis 10.2*. O Projeto de Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo do Brasil (MapBiomias) é uma iniciativa que envolve uma rede colaborativa com especialistas nos biomas brasileiros, usos da terra, sensoriamento remoto, SIG (Sistema da Informação Geográfica) e ciência da computação que utiliza processamento em nuvem e classificadores automatizados desenvolvidos e operados a partir da plataforma *Google Earth Engine* para gerar uma série histórica de mapas anuais de cobertura e uso da terra do Brasil (MAPBIOMAS, 2019).

A partir de 2016, o MapBiomias começou a divulgar mapas anuais de cobertura do solo para todo o território brasileiro, de forma econômica, ágil e atualizada, com a possibilidade de comparar dados históricos desde 1985. A principal inovação é o processamento de imagens de satélite tendo como base a plataforma *Google Earth Engine*. A tecnologia disponibiliza dados em nuvem para facilitar acesso de pesquisadores de diferentes regiões, eliminando barreiras que antes tornavam o trabalho inviável. O projeto une tecnologia e experiência de campo para retratar a dinâmica da cobertura do solo no País (ODEODATO, 2016).

4.5 Análise das métricas de paisagem

Esta análise foi realizada para duas etapas: 1) Para a análise da estrutura da paisagem através do uso de Métricas de Paisagem; e 2) Para avaliação da evolução da classe Formação Florestal no alto curso da bacia, localizada na área da TI Alto Turiaçu.

De acordo com o exposto, a estrutura da paisagem da bacia foi quantificada por meio dos índices de métrica da paisagem, para cada data (1985 e 2019) no *software* ArcGis 10.2, por meio da extensão gratuita *Patch Analyst*, uma extensão dos programas ESRI para o cálculo de métricas de paisagem (REMPEL *et al.*, 2012).

Esta análise foi realizada a partir das imagens de uso e cobertura da Terra, do MapBiomas, no formato vetorial (*shapefile*). Dentre as métricas de paisagem disponíveis no *Pacth Analist* foram utilizadas as variáveis que descrevem e quantificam o tamanho, a borda e a forma de cada uma das classes apresentadas neste trabalho (MCGARIGAL; MARKS, 1995).

As métricas utilizadas estão descritas a seguir:

- ✓ Área da Classe (ha) – CA: área total de todos os fragmentos pertencentes a uma classe (esta métrica foi utilizada apenas para a etapa ‘avaliação da evolução da classe Formação Florestal no alto curso da bacia, localizada na área da TI Alto Turiaçu’).
- ✓ Número de Fragmentos (n) – NumP: indica os números de fragmentos existentes na classe.
- ✓ Tamanho Médio dos Fragmentos (ha) – MPS: indica o tamanho médio dos fragmentos por tipo de classe.
- ✓ Desvio padrão do tamanho do fragmento – PSSD: calcula o desvio padrão do tamanho dos fragmentos, ou seja, a dispersão dos eventos sob uma distribuição normal.
- ✓ Coeficiente de variação do tamanho do fragmento – PSCoV: mede o coeficiente de variação dos fragmentos em porcentagem (%).
- ✓ Borda Total – TE: valor absoluto do perímetro dos fragmentos da classe em metros (m).
- ✓ Densidade de Borda – ED: total da borda em relação à área da paisagem. As informações são em metros/hectare (m/ha).
- ✓ Média da Relação Área-Perímetro – MPAR.
- ✓ Índice de Forma Média – MSI: apresenta a média dos fragmentos em função da razão média perímetro/área comparada com a forma. Se MSI é igual a 1, todos os fragmentos apresentam formas são circulares e, quando estão distantes de 1, indica que os fragmentos apresentam formas irregulares.

✓ Índice de forma média ponderada pela área – AWMSI: calcula a média ponderada de acordo com a área dos fragmentos.

Para a análise da estrutura da classe Formação Florestal do alto curso da bacia do Turiaçu, foi realizada individualmente, para uma melhor compreensão da dinâmica da cobertura vegetal na região, que abrange a nascente o rio principal da bacia, o Turiaçu.

4.6 Atividade de Campo

As atividades de campo foram imprescindíveis para a identificação das diferentes unidades da paisagem, além de entender como os processos naturais e antrópicos transformam e formam as paisagens da Bacia Hidrográfica do Rio Turiaçu.

Para a atividade de campo foi realizado observações pontuais e conversas com alguns moradores de cada cidade visitada, além de registos fotográficos por meio de câmera fotográfica, CANON EOS *Rebel T6* (Figura 2a), e dos drones DJI *Mavic Air 2* (Figura 2b) e DJI *Phantom 4 Advanced* (Figura 2c). Com o auxílio do GPS *Garmin Oregon 750* (Figura 2d) foi possível a demarcação de cada ponto visitado.

Figura 2 - (a) Câmera fotográfica CANON EOS *Rebel T6*; (b) Drone DJI *Mavic Air 2*; (c) Drone DJI *Phantom 4 Advanced*; (d) GPS *Garmin Oregon 750*



Fontes: (a) Enjoei, 2021; (b) Amazon, 2021; (c) Tio dos Descontos, 2019; (d) Nissei, 2019

Considerando a dimensão da bacia hidrográfica em questão, as atividades de campo tiveram a finalidade de investigar os diferentes uso e cobertura do solo, as diversas unidades de paisagem, as atividades que impactam diretamente e indiretamente na formação da paisagem e validar e verificar as classes mapeadas dos dados do MapBiomias. Os municípios selecionados

foram Presidente Sarney, Araguaã, Santa Luzia do Paruá, Turiaçu, Turilândia e Santa Helena, representando o alto, médio e baixo curso da Bacia do Turiaçu. Em relação ao alto curso da bacia, só foi possível ir até município de Araguaã, devido às limitações de acesso, decorrente da sua localização em área de reserva indígena, a TI (Terra Indígena) Alto Turiaçu.

O primeiro campo foi realizado entre os dias 19/02/2021 a 22/02/2021 (Tabela 1), período correspondente ao aumento da precipitação no Bioma Amazônico do estado do Maranhão chegando a volumes pluviométricos anuais superiores a 2.000mm (ZEE-MA, 2019). No último dia de campo, 22/02/2021, foi visitado o município de Santa Helena, mas não foi possível executar o sobrevoo do drone na região por conta da chuva. Entretanto, moradores do município forneceram algumas fotos recentes do curso do rio Turiaçu que correspondem ao período de grande quantidade de chuvas, o que facilitou a observação da área nesse período.

A realização do segundo campo ocorreu no período de estiagem, entre os dias 07/11/2021 a 09/11/2021 (Tabela 1). Nesta segunda etapa de atividade de campo foram acrescentados mais três pontos distribuídos nas cidades de Santa Luzia do Paruá e Turiaçu (Tabela 2). Os pontos P10 e P11 foram para verificação e validação da classe Soja presente nos dados do MapBiomias.

Tabela 1 - Localização dos pontos visitados na atividade de campo

Pontos	Local	Data		Coordenadas	
		1° Campo	2° Campo	Latitude	Longitude
P1	Povoado Galiza (Presidente Sarney)	19/02/2021	07/11/2021	2° 35.428'S	45° 16.545'O
P2	Presidente Sarney (Sede)	19/02/2021	07/11/2021	2° 35.710'S	45° 21.682'O
P3	Povoado Três-Furos (Presidente Sarney)	19/02/2021	07/11/2021	2° 35.938'S	45° 26.422'O
P4	Araguaã	20/02/2021	07/11/2021	2° 56.696'S	45° 40.075'O
P5	Santa Luzia do Paruá (Formações Geológicas)	21/02/2021	08/11/2021	2° 33.715'S	45° 46.251'O
P6	Rio Paruá (Santa Luzia do Paruá)	21/02/2021	08/11/2021	2° 30.281'S	45° 47.176'O
P7	Turiaçu (Rio São João)	21/02/2021	08/11/2021	1° 40.344'S	45° 22.189'O
P8	Turilândia (Ponte 1)	21/02/2021	09/11/2021	2° 12.491'S	45° 19.504'O
P9	Turilândia (Ponte 2)	21/02/2021	09/11/2021	2° 12.671'S	45° 18.886'O
P10	Santa Helena	22/02/2021	09/11/2021	2° 13.798'S	45° 18.203'O

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 2 - Localização dos pontos acrescentados na segunda atividade de campo

Local	Data	atitude	Longitude
Bairro Lacerda (Santa Luzia do Paruá)	08/11/2021	2° 32.212'S	47.369'O
Área de loteamento imobiliário (Santa Luzia do Paruá)	08/11/2021	2° 31.075'S	47.208'O
Rio Caxias (Turiaçu)	08/11/2021	2° 1.367'S	26.796'O

Fonte: Elaborado pelo autor

5 AVALIAÇÃO DOS ATRIBUTOS GEOBIFÍSICOS E ANTRÓPICOS PARA A FORMAÇÃO DAS PAISAGENS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO TURIUAÇU, MARANHÃO

5.1 Caracterização da área de estudo

Área de Estudo

A Bacia Hidrográfica do Rio Turiaçu localiza-se no Bioma Amazônico maranhense, inserido em quatro microrregiões: Litoral Ocidental Maranhense, Baixada Maranhense, Gurupi e Pindaré. Possuindo uma área de 14.131,00 km² e ocupando 4,31% do território estadual. Fazem parte dessa bacia 16 municípios, desses, oito possuem sedes localizadas dentro dela e somente dois estão totalmente inseridos nela. Na área de estudo possui aproximadamente 179.212 habitantes, o que equivale 2,7% da população maranhense. Os municípios mais populosos são: Nova Olinda do Maranhão, Santa Helena, Santa Luzia do Paruá, Turiaçu e Turilândia (NUGEO, 2016).

A bacia engloba uma Terra Indígena (TI) Alto Turiaçu e duas Unidades de Conservação (UC) de uso sustentável, as APAs (Área de Preservação Ambiental) da Baixada Maranhense e Reentrâncias Maranhenses (COSTA; PEREIRA, 2018). Segundo Santos e Cezar Ilear (2013) as principais atividades econômicas desenvolvidas na bacia são a pesca, a agricultura de subsistência, a pecuária e a atividade salineira. Tais práticas acabam impactando a região, além da ocorrência dos resíduos sólidos, constituídos por lixões e esgotos expostos nas ruas. Em relação da demanda hídrica da bacia, seu uso é destinado, principalmente, para a irrigação (38%), seguida ao consumo urbano (30%) e animal (19%) (ZEE-MA, 2019).

A nascente da Bacia do Turiaçu está localizada nas vertentes da Serra do Tiracambu, no município de Nova Olinda do Maranhão, estendendo-se até a Baía do Turiaçu, entre os municípios Turiaçu e Bacuri, percorrendo cerca de 230 km (MMA, 2006; ZEE-MA, 2019) (Figura 3).

No Alto curso do rio Turiaçu predominam as maiores altitudes, que corresponde às escarpas de parte do divisor hidrográfico que bordejam as cabeceiras (ZEE-MA, 2019). Este território tem por ocupação a Terra Indígena (TI) Alto Turiaçu, que foi demarcada em 1978 e reconhecida oficialmente em 1982. Segundo o IBGE (2010), são em torno de 1.584 indígenas que habitam a Terra Indígena Alto Turiaçu, a maior parte destes se identificam como *Ka'apor*. Os municípios da bacia que fazem parte da Terra Indígena são: Araguanã, Centro Novo do Maranhão, Maranhãozinho, Nova Olinda do Maranhão, Santa Luzia do Paruá e Zé Doca (GARCÉS *et al.*, 2015; GARCÉS, 2016).

Desde o século XIX, a região do alto curso do Turiaçu é maracada por conflitos ocasionados por processos de invasão dos territórios indígenas por parte de atores sociais não indígenas, vinculados a intensificação econômica extrativista, como a exploração de minério, madeira, além do posterior avanço da pecuária (BALÉE, 1993; GARCÉS, 2016). No início do século XX, nesta região, houve enfrentamentos entre os *Ka'apor* e a população não indígena que exploravam seringa, óleo de copaíba, madeira, e também com fazendeiros e construtores de linhas telegráficas (RIBEIRO, 2006, *apud* GARCÉS, 2016).

Devido a constantes ataques violentos por partes dos madeiros, a maioria das aldeias do povo *Ka'apor* estão espalhadas no contorno do território e nestas áreas destacam-se a abertura de novas roças, sendo a horticultura uma das principais práticas de subsistência desses povos. O último caso de conflito violento foi em 2015 na aldeia Turuzinho (GARCÉS, 2016).

O Médio Turiaçu destaca-se por apresentar uma área com terrenos baixos e planos que acomodam uma grande massa d'água, constituída por um sistema de vários lagos, como o da Capivara, Seis Horas, Botas, Cabeludo e Joaquim Manoel, demarcando a grande zona inundável (ZEE-MA, 2019). Estas bacias lacustres sofrem a ação da sazonalidade, ocorrendo inundações no período decorrente de precipitações pluviométricas concentradas (janeiro a junho), enquanto na estiagem (julho a dezembro) estes lagos secam (TEIXEIRA; SOUZA FILHO, 2009). A maior afluente do rio Turiaçu, o rio Paruá, deságua no médio curso, apresentado uma vazão média de $19,1\text{m}^3/\text{s}$, indicando pouca energia para o transpote sedimentar. A grande quantidade de água na região é corroborada pelo transbordamento dos rios Pindaré e Pericumã, além do Turiaçu (FRANCO, 2012).

Esta região apresenta um dos menores índices de IDH do estado, segundo o censo de 2016 do IBGE. A população vive da agricultura tradicional, criação de animais e exploração de recursos vegetais, como o coco babaçu. Por ser uma região lacustre, o rio apresenta-se como uma das principais utilidades para atividades, como a pesca, navegação e o abastecimento de água (FERREIRA-CORREIA; SILVA ALMEIDA; SANTOS DOURADO, 2004; NAVARRO, 2018).

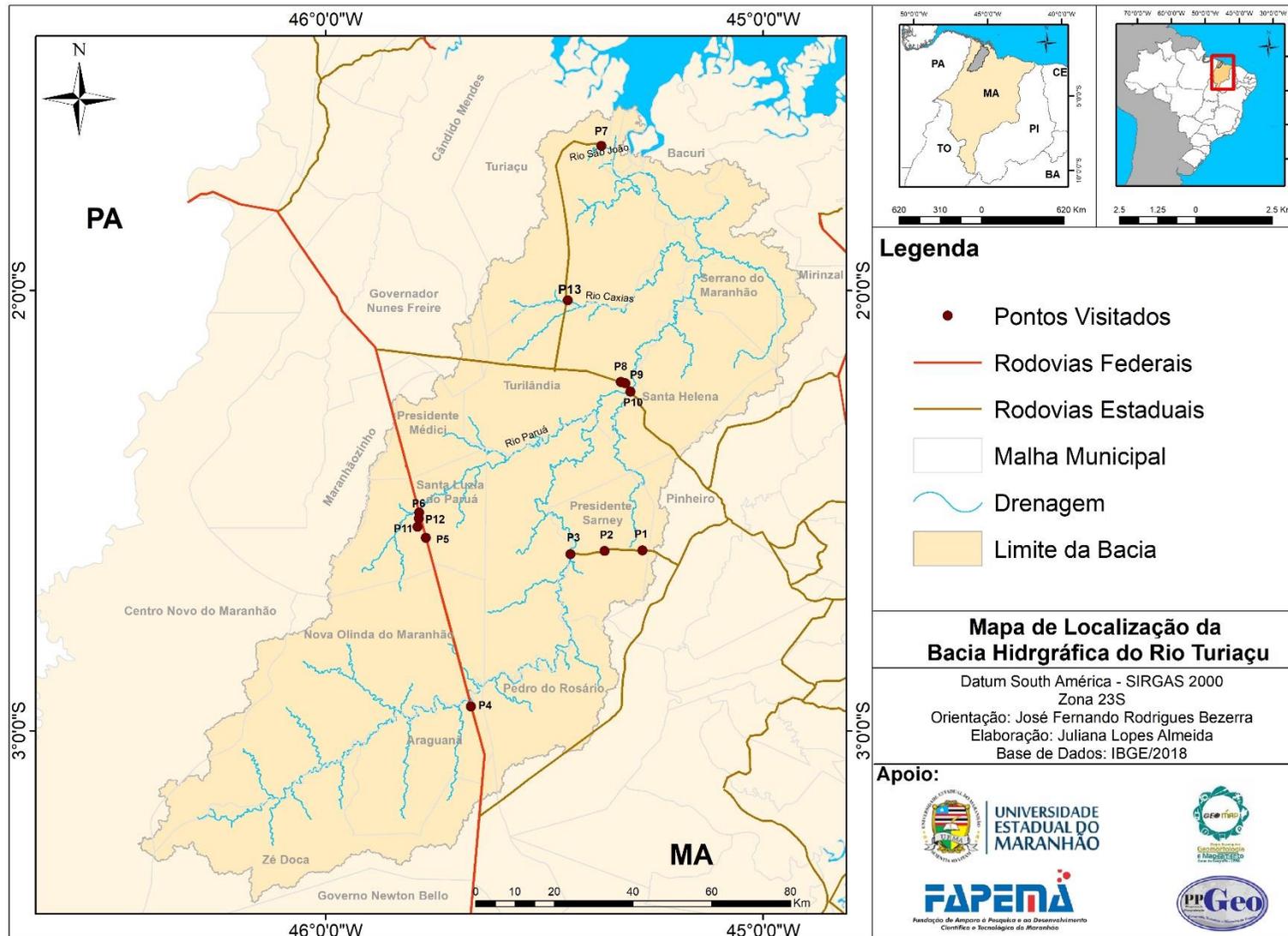
O Baixo Turiaçu faz parte das reentrâncias maranhenses e é o maior desague fluvial do oeste do estado do Maranhão, formando um complexo estuarino na costa norte do estado (NAVARRO, 2018). Souza Filho (2005) caracteriza a foz como “a Costa de Manguezais Macromaré Amazônica” por causa da predominância de manguezais que se estende da Ilha de Marajó (Pará) à Baía de São José (Maranhão), consistindo a planície de maré contínua mais extensa do mundo. Além disso, esta região apresenta um baixo relevo (0 a 80m), sendo

extremamente irregular. A foz é sujeita a um regime de macromarés semidiurnas, com variações em torno de 4m, podendo chegar a 7m. Segundo Neto *et al.* (2010) o baixo Turiaçu apresenta pequenos estuários ao longo da costa.

O clima predominante na Bacia Hidrográfica do Rio Turiaçu é o Equatorial, com precipitações médias entre 1.800 e 2.500 mm anuais, apresentando 26 °C de temperatura média anual com variação de 2 a 3 °C (BARBOSA; NOVAES PINTO, 1973). Sendo marcada por duas estações bem definidas: a chuvosa, de janeiro a junho e a seca, ou estiagem, de julho a dezembro (AB'SABER, 2006; NAVARRO, 2018).

Considerando a dimensão da bacia hidrográfica em questão, foram selecionados seis municípios para a ida à campo, os quais são: Presidente Sarney, Araguaã, Santa Luzia do Paruá, Turiaçu, Turilândia e Santa Helena. Esta escolha teve a finalidade de visitar os locais que representem o alto, médio e baixo curso da Bacia do Turiaçu. Não foi possível definir um município mais ao alto do curso da bacia (próximo a nascente do rio Turiaçu) devido às limitações de acesso em relação a sua localização em área de reserva indígena, a TI (Terra Indígena) Alto Turiaçu (Figura 3).

Figura 3 - Mapa de Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Turiçu



Fonte: Elaborado pelo autor

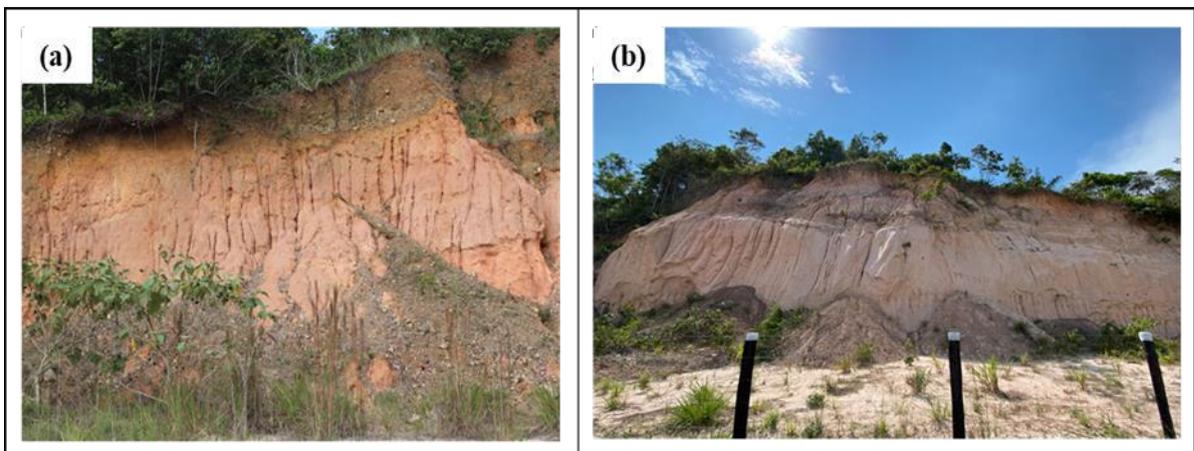
Geologia

O mapeamento da geologia da área de estudo baseou-se na classificação do CPRM (2012) com escala 1:750.000.

Desta forma, o mapa de geologia da Bacia do Turiaçu constatou uma alta heterogeneidade de rochas, totalizando em sete unidades geológicas, são elas: Barreiras, Coberturas lateríticas maduras, Depósitos aluviais, eólicos e lateríticos, Depósitos aluvionares, Depósitos de pantanos e mangues, Itapecuru e Tromai (Figura 7).

O rio principal da Bacia Hidrográfica do Turiaçu nasce na Serra do Tiracambu (BANDEIRA, 2013), a qual predomina a unidade geológica Itapecuru, a qual segundo Gonçalves e Carvalho (1996) e Rossetti *et al.* (2001) é composto por uma variedade de tipos de rochas, como arenitos, argilitos, siltitos, folhelhos intercalados com arenitos depositados em vários ambientes, como lagunar, fluvial e deltaico. Esta feição foi observada em campo, principalmete nos municípios Santa Luzia do Paruá (Figura 4a) e Pedro do Rosário (Figura 4b).

Figura 4 - Áreas que indicam a formação geológica Itapecuru. (a) Município de Santa Luzia do Paruá, Ponto 5; (b) Município de Pedro do Rosário



Fonte: Acervo da pesquisa

O afluente rio Paruá drena para a unidade Depósitos aluviais, eólicos e lateríticos que de acordo com Rossetti *et al.* (2001) são constituídos por areias inconsolidadas, com pouca argila e seixos, são encontrados em ambientes eólico, mangue e fluvial (Figura 5).

Figura 5 - Presença da unidade Depósitos aluviais no rio Paruá, afluente do rio Turiaçu, no município Santa Luzia do Paruá, Ponto 6



Fonte: Acervo da pesquisa

O baixo Turiaçu é modelado pelas unidades Barreiras, Depósitos Aluvionares, Depósitos de pântanos e mangues e Tromai. Segundo Bandeira (2013) a Formação Barreiras é constituído por clástico fino a grosseiro, heterogêneos, pouco consolidados, representados por arenitos médios a conglomerados, além de siltitos e argilas de cores variegadas. Os Depósitos Aluvionares são constituídos por material inconsolidado, de espessura variável, formado por intercalação de camadas e lentes de diversas granulometrias que podem variar de sedimentos arenosos a lamosos, isso dependendo da energia da corrente do rio. Os Depósitos de pântanos e mangues, esta unidade foi identificada na sede do município de Turiaçu, a qual delinea o rio São João, afluente do Turiaçu (Figura 6). Para Rodrigues *et al.* (1994), os Depósitos de pântanos e mangues são constituídos, a maioria, por sedimentos lamosos de coloração cinza, não adensados, maciços e bioturbados.

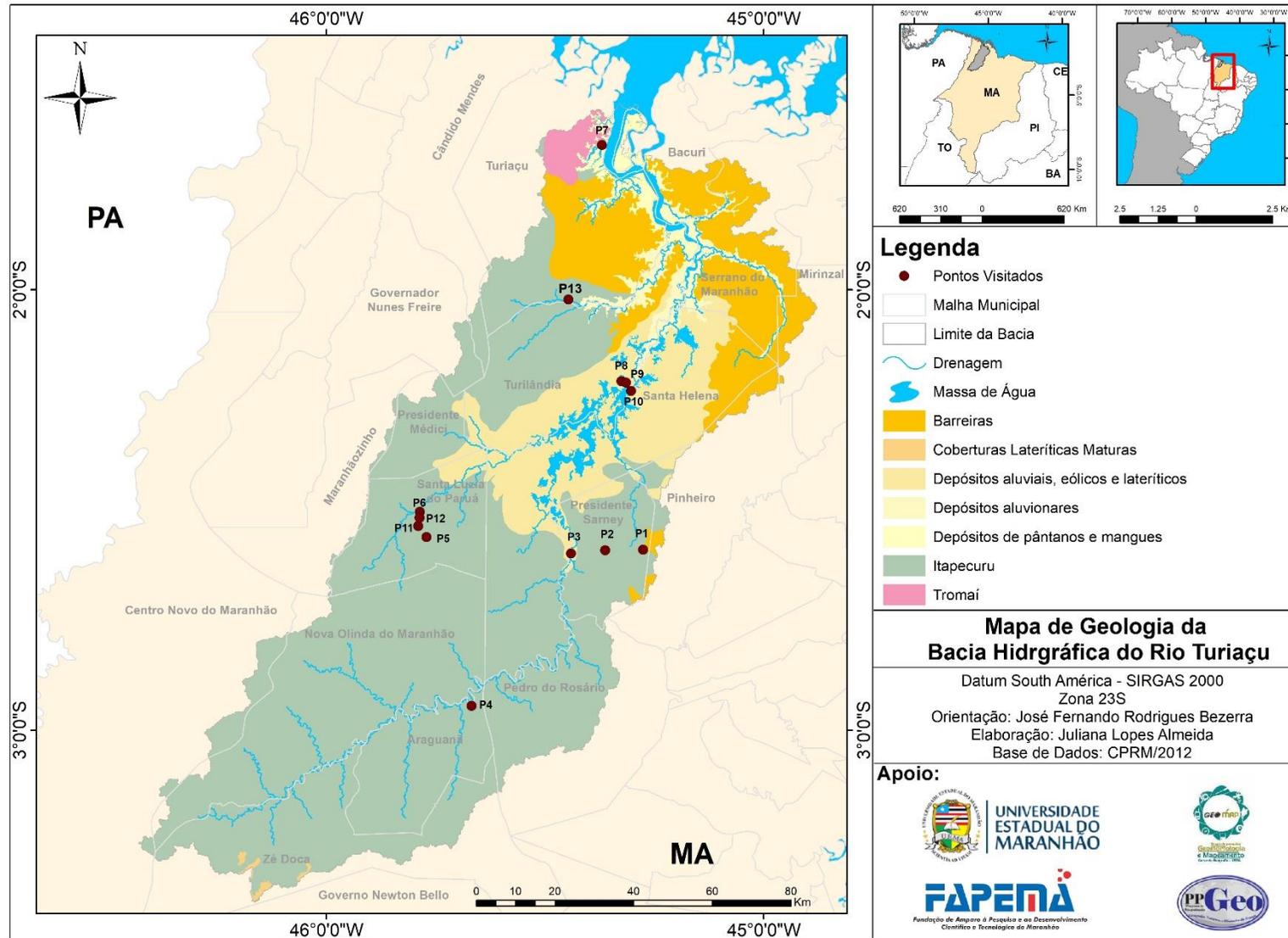
Figura 6 - Presença da unidade Depósitos de pântanos e mangues no rio São João, afluente do rio Turiagu, no município Turiagu, Ponto 7



Fonte: Acervo da pesquisa

E por fim, a unidade geológica Tromaí é constituída por tonalitos, granodioritos, granitos, quartzoandezitos, riolitos e dacito relacionados a arcos vulcânicos e zonas de subducção e ambientes pós-colisionais de orogêneses fanerozóicas (KLEIN; MOURA, 2003).

Figura 7 - Mapa de Geologia



Fonte: Elaborado pelo autor

Geomorfologia

O mapa geomorfológico foi produzido utilizando as informações do CPRM (2012) que apresenta uma escala de 1:750.000.

Sendo assim, o mapa geomorfológico da Bacia do rio Turiaçu apresenta oito unidades de formas e litologias: Domínio de morros e de serras baixas, Domínio de Colinas Amplas e Suaves, Inselbergs, Planícies Fluviais ou Fluviolacustres, Planícies Fluviomarinhas, Planaltos, Superfícies Aplainadas Degradadas e Tabuleiros (Figura 8).

As unidades geomorfológicas que se destacam no alto Turiaçu, são Superfícies Aplainadas Degradadas, Domínio de Colinas Amplas e Suaves e Domínios de Serras e de Morros Baixos.

As Superfícies Aplainadas Degradadas apresentam superfícies suavemente onduladas, promovidas pelo arrasamento geral dos terrenos e posterior retomada erosiva proporcionada pela incisão suave de uma rede de drenagem incipiente (CASSETI, 2005; CPRM, 2010). Elas possuem declividades entre 0° a 5° com amplitude de relevo com cotas de até 30m (BANDEIRA, 2013). A unidade Domínio de Colinas Amplas e Suaves (Figura 9), possuem relevo de colinas pouco dissecadas, com vertentes convexas e topos amplos de morfologia tabular ou alongada (SILVA, 2008), estes apresentam uma amplitude de relevo entre 20° a 50° com declividade de 3° a 10°. E Domínio de Serras e de Morros Baixos, possuem características de um relevo de morros convexo-côncavos dissecados e topos arredondados ou aguçados, nesta unidade está inserida também o relevo de morros de topo tabular, característico das chapadas intensamente dissecadas e desfeitas em conjunto de morros de topo plano, apresentam amplitude de relevo acima de 300m, mas em alguns lugares podem ocorrer desenvolvimentos inferiores a 200m (BANDEIRA, 2013).

Figura 8 - Colinas suaves no município de Santa Luzia do Paruá, ponto 6, indicando a presença da unidade Domínio de Colinas Amplas e Suaves

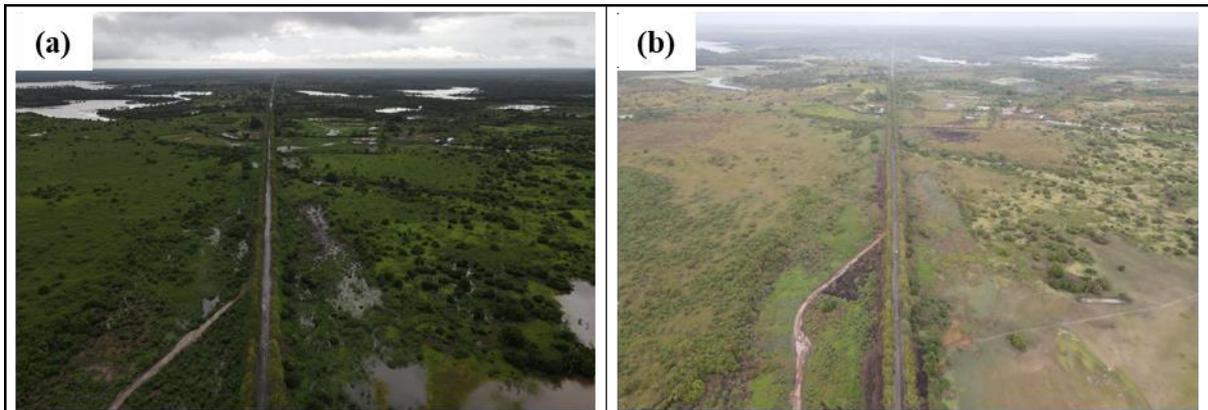


Fonte: Acervo da pesquisa

Na região do baixo e partes do médio curso da bacia do Turiaçu, pode-se identificar a presença das unidades Planícies Fluviais ou Flúvio-lacustres, Planícies Flúviomarinhas e Tabuleiros.

As Planícies Flúvias ou Flúvio-lacustres são superfícies sub-horizontais, constituídas de depósitos arenoargilosos a argiloarenosos, apresentando gradientes extremamente suaves e convergentes em direção aos cursos d'água principais. Apresentam terrenos imperfeitamente drenados nas planícies de inundação, sendo periodicamente inundáveis. Sua declividade varia de 0° a 3° (LIMA, 2005; IBGE, 2009), como é observado na Figura 10 do município de Turilândia, estas imagens foram adquiridas nas visitas a campo nos períodos de elevada precipitação (Figura 10a) e de estiagem (Figura 10b), localizado na Baixada Maranhense, que apresenta como uma das principais características: terrenos mal drenados e propensos a inundação no período chuvoso (janeiro a junho).

Figura 9 - Áreas propensas a inundações periódicas no município de Turilândia, ponto 8. (a) Período chuvoso, data: 21/02/2021; (b) Período de estiagem, data: 08/11/2021



Fonte: Acervo da pesquisa.

Enquanto as Planícies Fluviomarinhas são superfícies planas, de interface com sistemas deposicionais continentais e marinhos, constituídas de depósitos argiloarenosos a argilosos. Seus terrenos são muito maldrenados, prolongadamente inundáveis, com padrão de canais bastante meandrantos sob influência de refluxo de marés. Sua declividade é plana apresentando 0° .

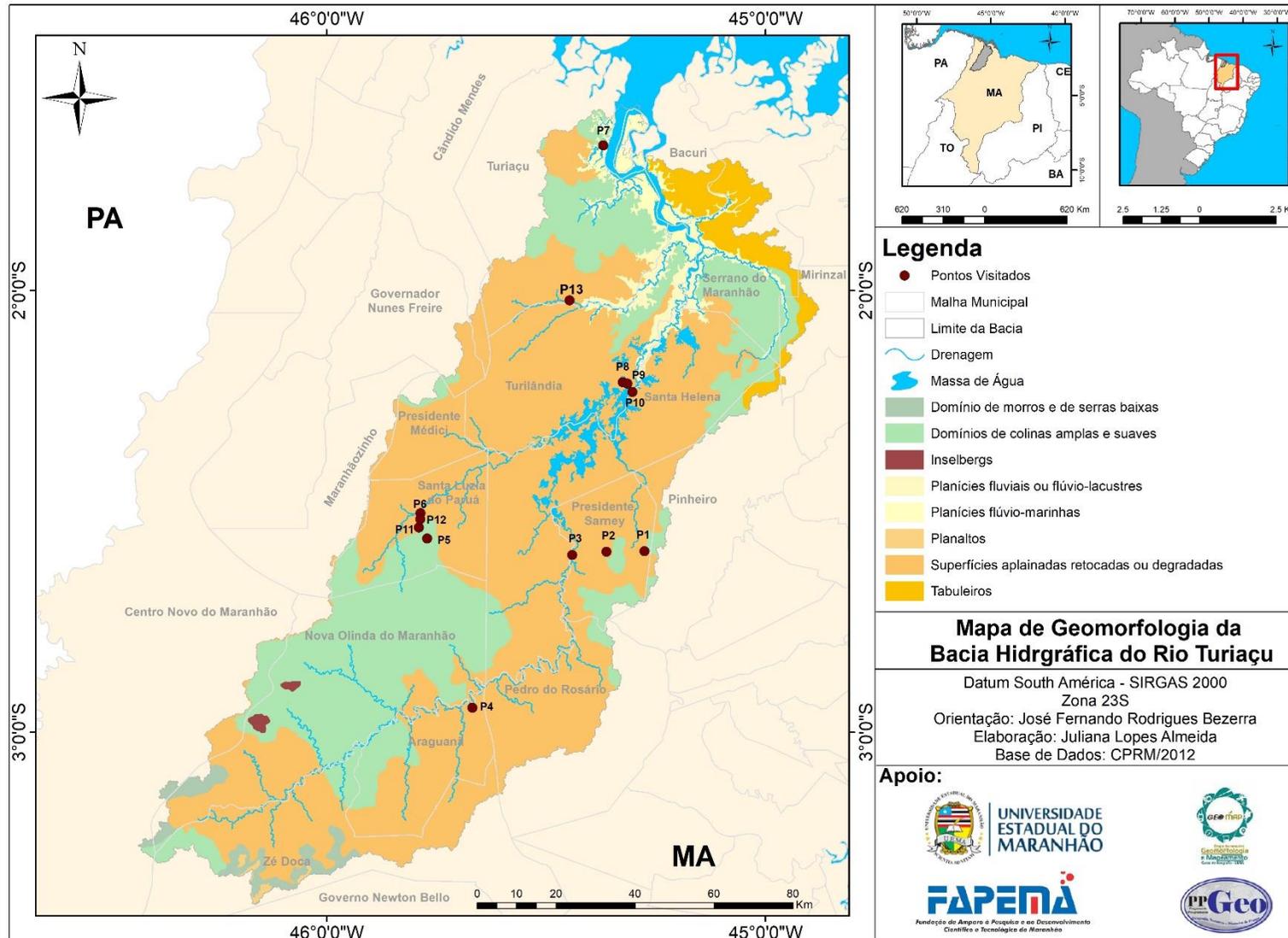
Na visita ao campo, esta unidade foi identificada no município de Turiaçu conforme mostra a Figura 11. Assim como a anterior (Planícies Fluvial ou Fluvio-lacustres), esta unidade apresenta uma amplitude de relevo igual a 0 (BANDEIRA, 2013). Os Tabuleiros são formas de relevo suavemente dissecadas com extensas superfícies de gradientes extremamente suaves, com topos planos e alongados e vertentes retilíneas nos vales encaixados em forma de “U”, resultantes de dissecação fluvial recente. A amplitude do relevo varia de 20 a 50m e declividade de 0° a 3° e em alguns lugares pode apresentar vertentes acentuadas com 10° a 25° (SILVA, 2008).

Figura 10 - Presença da unidade Planícies Fluvio-marinhas às margens do rio São João, afluente do rio Turiaçu, no município Turiaçu, ponto 7



Fonte: Acervo da pesquisa

Figura 11 - Mapa de Geomorfologia



Fonte: Elaborado pelo autor

Solos

A classificação da tipologia de solos da Bacia do Turiaçu foi realizada a partir do dado produzido pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM, 2012) com escala de 1:750.000.

Desta forma, através do mapa de solos foi possível a identificação de uma considerável diversidade de solos, apresentando cinco tipologias: Argissolo Vermelho Amarelo, Gleissolo, Latossolo Amarelo, Plintossolo e Solos de Mangue (Figura 14).

A nascente do rio principal da bacia do Turiaçu apresenta dois tipos de solos, o Plintossolo e o Argissolo Vermelho Amarelo. Dos Santos (2018) classifica os Plintossolos como solos minerais formados sob condições de restrição à percolação da água sujeitos ao efeito temporário de excesso de umidade, são imperfeitamente ou mal drenados e tem por característica principal a plintitização expressiva com ou sem petroplintita. Os Argissolos são constituídos por material mineral que tem por características diferenciais a presença do horizonte B textural de argila de atividade baixa, ou atividade alta desde que conjugada com saturação por bases baixa ou com caráter alumínico. Os vermelho-amarelados apresentam esta classificação por conta da cor do horizonte B (ANJOS; DA SILVA; LOPES, 2001) (Figura 12).

Figura 12 - Presença de Argissolo vermelho no município de Santa Luzia do Paruá, ponto 11



Fonte: Acervo da pesquisa

O afluente rio Paruá e conseqüentemente o médio até a foz do curso do rio principal, o Turiaçu, são drenados pela tipologia Gleissolo, o qual é característico de áreas alagadas ou sujeitas a alagamentos, como às margens de rios, ilhas, lagos ou grandes planícies. Estes solos apresentam uma coloração acinzentada, azulada ou esverdeada, podem ser da alta ou baixa fertilidade natural e tem nas suas condições de má drenagem a sua maior limitação de uso (OLIVEIRA, 2007).

Além dos Gleissolos, a foz do rio Turiaçu apresenta o Latossolo Amarelo e o Solo Indiscriminado de mangue. Para Santos (2018), os Latossolos Amarelo são constituídos por material mineral, apresentando horizonte B latossólico precedido de qualquer tipo de horizonte. A dentro 200cm a partir da superfície do solo. São solos profundos de coloração amarelada, apresentando um perfil muito homogêneo com boa drenagem e, na maioria, baixa fertilidade natural. Enquanto os Solos de Mangue é um solo halomórfico de áreas alagadas, formado sob influência das marés e com vegetação característica de mangue (OLIVEIRA, 2007), conforme identificado na visita de capo no município de Turiaçu, no rio São João (Figura 13).

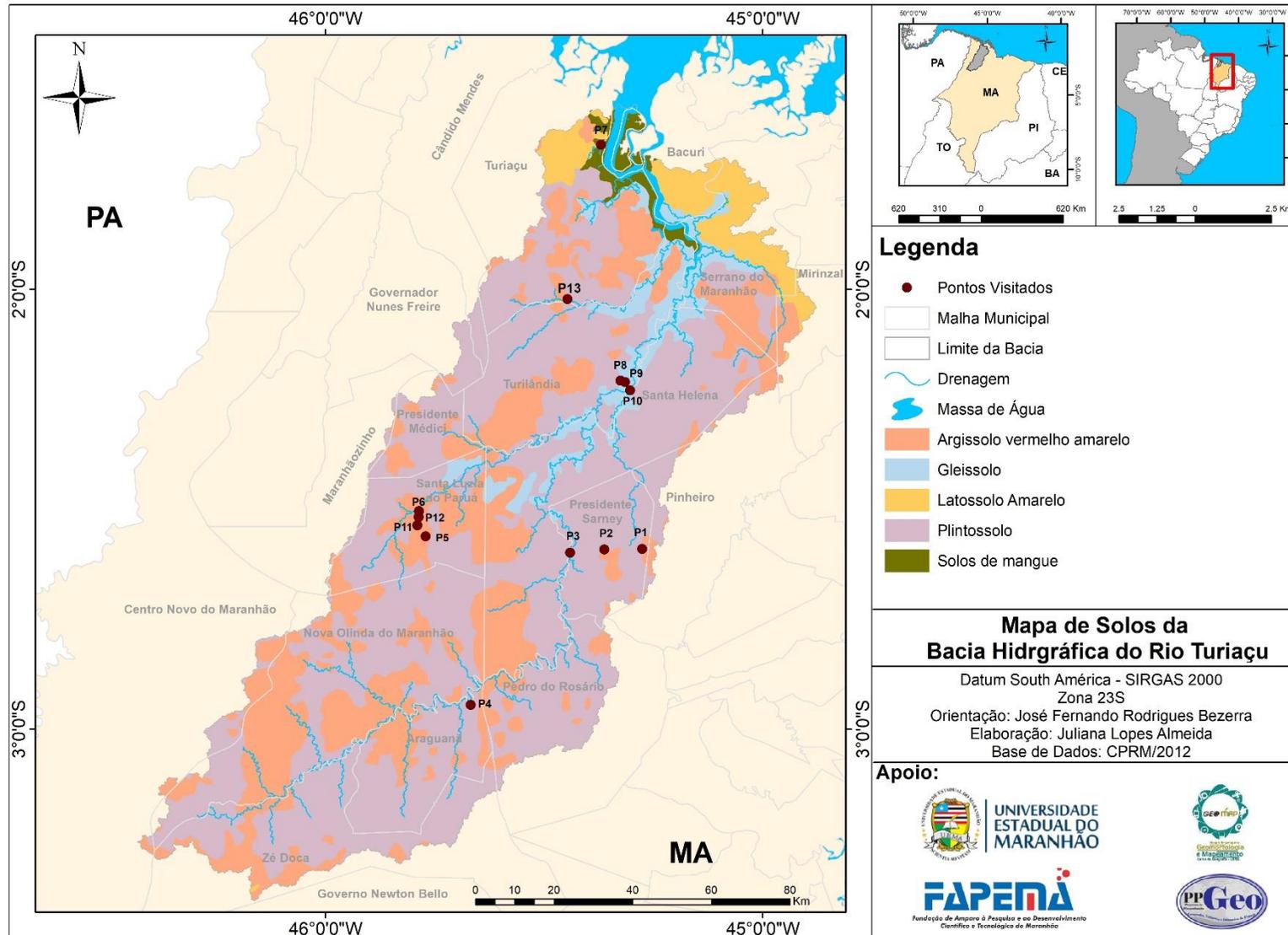
Figura 13 - Presença de Gleissolos no município de Turiaçu, às margens do rio São João, ponto

7



Fonte: Acervo da pesquisa

Figura 14 - Mapa de Solos



Fonte: Elaborado pelo autor

Geodiversidade

A classificação da geodiversidade foi baseada no dado produzido pelo CPRM (2012), que apresenta uma escala de 1:750.000.

A partir da geodiversidade é possível conhecer os recursos minerais, a geologia, a geomorfologia e as paisagens naturais inerentes às determinadas regiões compostas por tipos específicos de rochas, relevo, solos e clima (ALMEIDA *et al.*, 2020). De acordo com esta classificação, indentificou-se sete unidades geoambientais na região da Bacia Hidrográfica do Rio Turiaçu: Alternância Irregular entre Camadas de Sedimentos de Composição Diversa (arenito, siltito, argilito e cascalho); Ambiente de Planícies Aluvionares Recentes; Ambiente Fluviolacustre; Ambiente Misto (marinho/continental); Horizonte Laterítico in Situ, proveniente de processos de laterização em rochas de composições diversas, formando crosta; Intercalações de Sedimentos Arenosos, Siltico-argilosos e Folheios; e Séries Graníticas Subalcalina Calcialcalinas (baixo, médio e alto K) e Toleíticas (Figura 15).

No alto até parte do médio curso da bacia do Turiaçu identifica-se a presença da unidade geoambiental Intercalações de Sedimentos Arenosos, Siltico-argilosos e Folheios, composta por rochas semiconsolidadas, pouco a moderadamente fraturada, com grande diversificação litológica na horizontal e na vertical, como arenitos, siltitos, argilitos e calcários. As áreas que apresentam esta unidade, mais ao norte do Maranhão, contém maior proporção de material siltoargiloso, enquanto a área próxima ao litoral registra-se a presença de calcário, na porção centro-sul do estado caracterizam-se por serem mais arenosas, mas ainda com presença de material argiloso e caulínico (BANDEIRA, 2013).

Na região do médio curso da bacia, observa-se a predominância da unidade geoambiental Ambiente Fluviolacustre (Figura 16), a qual também drena o rio Paruá. Segundo Rocha (2019) é constituída por areias e lamas com restos orgânicos vegetais, de origem lagunar, interdigitados com cascalhos de areias grossas e finas, relacionados a sedimentação fluvial. Geologicamente, associa-se aos depósitos fluviolagunares recentes e antigos denominados de pós-Barreiras. Esse ambiente, assim como parte das planícies aluvionares e mangues, está inserido na Baixada Maranhense, que é uma feição geomorfológica formada por extensos lagos interligados por um sistema de drenagem com canais divagantes (BANDEIRA, 2013).

Figura 15 - Presença da unidade geoambiental Ambiente Fluvioacustre no município de Turilândia, ponto 9



Fonte: Acervo da pesquisa

O baixo curso da bacia encontra-se as unidades Ambientes de Planícies Aluvionares Recentes, Ambiente Misto (marinho/continental), Alternância Irregular entre Camadas de Sedimentos de Composição Diversa (arenito, siltito, argilito e cascalho) e Séries Graníticas Subalcalina Calcialcalinas (baixo, médio e alto K) e Toleíticas.

A unidade geoambiental Ambientes de Planícies Aluvionares Recentes associa-se ao relevo de planícies fluviais ou fluvioacustres que apresentam superfícies sub-horizontalizadas, pouco elevadas, acima do nível médio dos aquíferos, periodicamente inundadas em épocas de cheias (GUERRA; GUERRA, 2006). Geologicamente, esta área, corresponde às zonas de acumulação atuais, como os depósitos aluvionares constituídos por materiais inconsolidados, de espessura variável, formados por intercalações de camadas e lentes de diversas granulometrias, que podem variar de sedimentos arenosos ou lamosos a eventualmente depósitos de cascalho, dependendo da fonte do material transportado e da energia da corrente do rio (BANDEIRA, 2013).

A unidade Ambiente Misto (marinho/continental) (Figura 17) forma-se em regiões de topografia plana na faixa costeira sob constante influência do mar, formando extensas croas de lamas que atuam como contêsores da erosão provocadas pelas ações das marés. Por estarem em ambientes de baixa energia, depositam sedimentos com predomínio de frações mais finas, como argila e silte. Além disso, nesta unidade existe o risco de intrusão da cunha salina, caso os poços sejam super explorados. Apresentam alta vulnerabilidade ambiental, por serem

constituídos, predominantemente, por areias friáveis, sem camada argilosa que possa reter possíveis contaminantes (BANDEIRA, 2013; CPRM, 2017).

Figura 16 - Presença da unidade geoambiental Ambiente Misto (marinho/continental) às margens do rio São João que sofre influência da maré, ponto 7

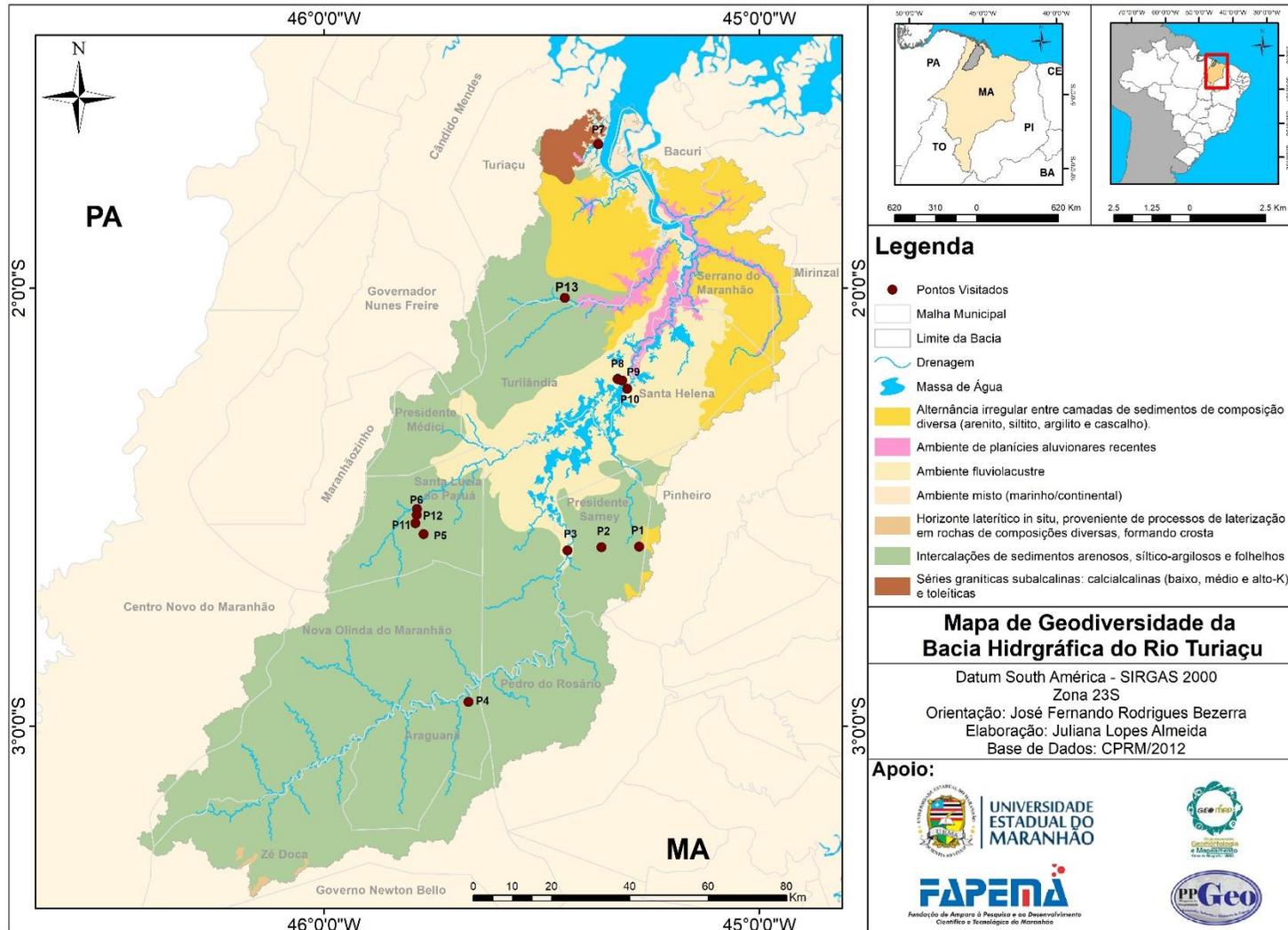


Fonte: Acervo da pesquisa

A Alternância Irregular entre Camadas de Sedimentos de Composição Diversa (arenito, silito, argilito e cascalho), é a unidade, seguindo Bandeira (2013), caracterizada por depósitos arenoargilosos e argiloarenosos, ocasionalmente conglomerados, intemperizados, com alguns locais ferruginizados/laterizados, correspondendo geologicamente aos sedimentos siliciclásticos do Grupo Barreiras. Associam-se a relevo de tabuleiros, tabuleiros dissecados, platôs, superfícies aplainadas, relevos residuais, colinas, morros e serras baixas com cotas que variam de 30 a 220m.

A unidade Séries Graníticas Subalcalina Calcialcalinas (baixo, médio e alto K) e Toleíticas, geologicamente, está associada às rochas isotrópicas, que não apresentam grandes feições deformacionais; mas, por vezes, podem conter orientação mineral de fluxo magmático, como a Suíte Tromai, granitos Moça e Negra Velha e o Granófiro Piaba. Além disso, o complexo de rochas e solos residuais desta unidade sustenta dois principais tipos de relevo: colinas amplas e superfícies aplainadas degradadas. Mas, em escala de maior detalhe, será possível identificar relevos com declividades e amplitudes um pouco mais acentuadas, como colinas dissecadas (BANDEIRA, 2013).

Figura 17 - Mapa de Geodiversidade



Fonte: Elaborado pelo autor

Vegetação

Segundo a classificação da vegetação produzida pelo IBGE (2018) a partir de uma escala de 1:250.000, foi possível produzir o mapa de tipologia vegetativa da região da Bacia do rio Turiaçu, que, desta forma, apresentou oito categorias de formações, são elas: Pastagem, Floresta Ombrófila Densa Aluvial, Floresta Ombrófila Densa Terras Baixas, Floresta Ombrófila Densa Submontana, Formações Pioneiras com influência fluvial e/ou fluvioacustre, Formações Pioneiras com influência fluvio-marinha, Savana Parque com floresta-de-galeria e vegetação Secundária (Figura 21).

O alto da bacia do Turiaçu apresenta as formações de Floresta Ombrófila Densa Terras Baixas e Vegetação Secundária, além da presença de atividades antrópicas como Pastagens (Figura 18). A terminologia Floresta Ombrófila Densa já havia recebido por nome “Floresta Tropical Pluvial” dos autores Schimper (1903) e Richards (1953), mas como as duas fisionomias ecológicas ocorrem tanto na Amazônia como nas áreas costeiras, aceitou-se a designação de Ellenberg e Mueller-Dombois (1967), ou seja, a mais recente. A formação de Terras Baixas geralmente ocupa as planícies costeiras capeadas por tabuleiros plioleustocênicos do Grupo Barreiras.

Ocorre desde a Amazônia, estendendo-se por toda a Região Nordeste. Enquanto a Vegetação Secundária são áreas onde houve intervenção humana para o uso da terra para diversas finalidades, como pecuária, agrícola ou até mineradora, e assim descaracterizando a vegetação primária. Desta forma, quando estas áreas são abandonadas reagem diferentemente de acordo com o tempo e a forma de uso. Porém, a Vegetação Secundária que surge reflete sempre, e de maneira bastante uniforme, os parâmetros ecológicos do ambiente (IBGE, 2012).

Figura 18 - Presença de fragmentos de Vegetação Secundária. (a) Município de Presidente Sarney, povoado Três-Furos, ponto 3; (b) Município de Araguaianã, ponto 4; (c) Município de Santa Luzia do Paruá, ponto 12; (d) Município de Turiaçu, às margens do rio Caxias, ponto 13



Fonte: Acervo da pesquisa

No médio curso da bacia, além da presença de atividades antrópicas e da vegetação secundária, percebe-se fragmentos de Savana Parque com floresta-de-galeria (Figura 19) e Floresta Ombrófila Densa Aluvial. Gomes e Santos (2000) afirmam que a Savana parque com floresta-de-galeria representa áreas de Savanas Parque onde Formações Ripárias estão presentes. Além disso, estas formações ripárias formam faixas ao longo das margens dos rios e córregos onde ocorrem espécies como ingás (*Inga sp*), por exemplo. Ao lado destas essenciais típicas ripárias, ocorrem ainda elementos estacionais junto às regiões marginais menos atingidas pela presença da água. Por constituírem faixas contínuas que se destacam na paisagem de formações abertas, recebem a denominação de Florestas de Galeria ou Florestas Ciliares.

A vegetação Ombrófila Densa Aluvial é a formação floresta ciliar ou “ribeirinha” que ocorre às margens dos rios, ocupando os terraços antigos das planícies quaternárias. É constituída por macro, meso e microfanerófitos de rápido crescimento, em geral de casca lisa, tronco cônico, por vezes com a forma característica de botija e raízes tabulares. Apresenta com

frequência um dossel emergente uniforme, porém, devido à exploração madeireira, a sua fisionomia torna-se bastante aberta (IBGE, 2012).

Figura 19 - Presença de fragmentos de Savana parque com floresta-de-galeria às margens do rio Paruá, no município de Santa Luzia do Paruá, ponto 6



Fonte: Acervo da pesquisa

A foz do rio principal da bacia, o Turiaçu, é contornado pelas Formações Pioneiras com Influência fluvial e/ou lacustre e a com Influência fluviomarinha. A primeira trata-se de comunidades vegetais das planícies aluviais que refletem os efeitos das cheias dos rios nas épocas chuvosas, ou, então, das depressões alagáveis todos os anos. Nestes terrenos aluviais, conforme a quantidade de água empoçada e ainda o tempo que ela permanece na área, as comunidades vegetais vão desde a pantanosa criptofítica (hidrófitos) até os terraços alagáveis temporariamente de terófitos, geófitos e caméfitos, onde, em muitas áreas, as *Arecaceae* dos gêneros *Euterpe* e *Mauritia* se agregam, constituindo o açazal e o buritizal da Região Norte do Brasil.

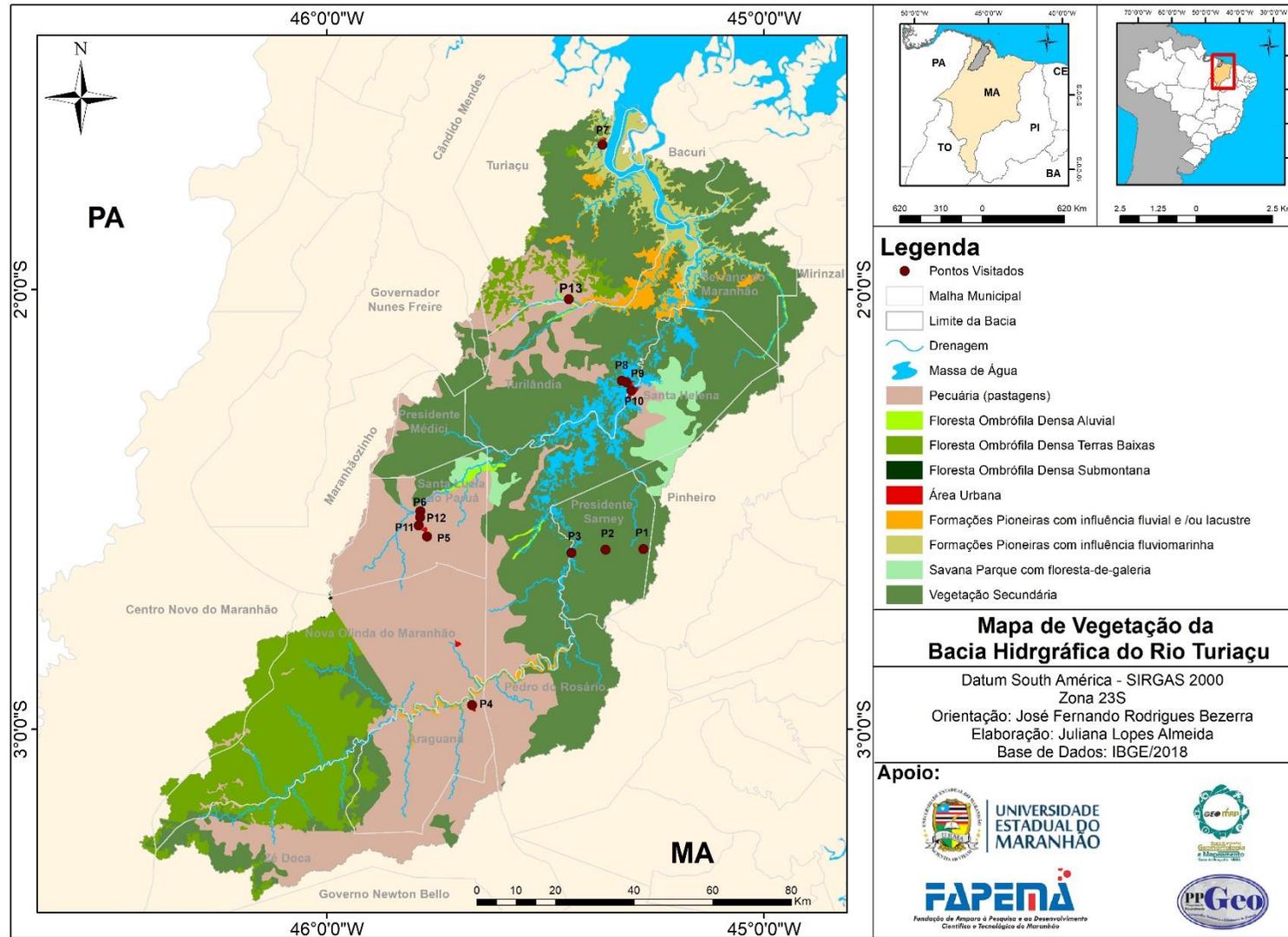
A Formação Pioneira com Influência fluviomarinha, também denominados de manguezais (Figura 20), é a comunidade de ambiente salobro, situada na desembocadura de rios e regatos no mar, onde os solos são limosos, cresce uma vegetação especializada, adaptada à salinidade das águas, com a seguinte sequência: *Rhizophora mangle* L., *Avicennia* sp., cujas espécies variam conforme a latitude, e *Laguncularia racemosa* (L.) C. F. Gaertn., que cresce nos locais mais altos, só atingidos pela preamar (IBGE, 2012).

Figura 20 - Presença da Formação Pioneira com influência fluviomarinha ou manguezais às margens do rio São João no município de Turiaçu, ponto 7



Fonte: Acervo da pesquisa

Figura 21 - Mapa de Vegetação



Fonte: Elaborado pelo autor

Clima

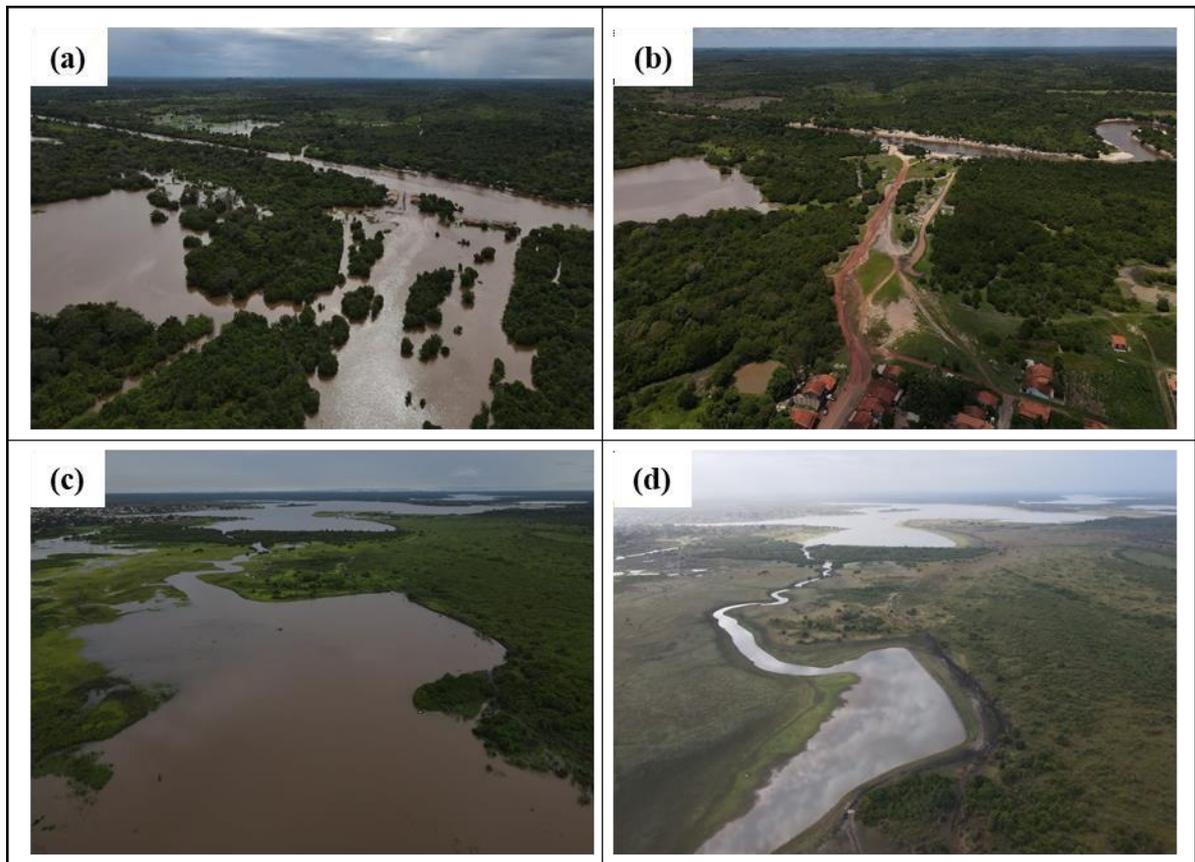
De acordo com o produto climático produzido pelos autores Alvares *et al.* (2013), foi possível criar um mapa de Clima da Bacia do Turiaçu de acordo com a classificação climática do Brasil de Köppen que apresenta resolução de 1ha. E sendo assim, encontrou-se na região dois tipos de climas: Am - Tropical monçônico e Aw – Tropical com estação seca de inverno (Figura 23).

O tipo Am, apresenta forte precipitação anual que se interpõe ao um curto período seco, que permite a formação de uma vegetação densa e pujante, a floresta amazônica (GALVÃO, 1967). O total de precipitação anual atinge até 2184,3 mm, apresentando um regime de chuvas que se iniciam em dezembro perdurando até julho, tendo março como o mês mais chuvoso. O período de estiagem atinge o seu máximo em setembro e outubro (ALVARES *et al.*, 2013; ROCHA; ROCHA, 2014).

O tipo Aw é o clima de maior expressão na área de estudo, marcado por períodos bem definidos, um chuvoso de janeiro a junho com médias mensais superiores a 268,8 mm (CORREIA FILHO, 2011), e o outro de estiagem, entre os meses de julho a dezembro, com o predomínio de inverno seco e verão úmido (ARAUJO, 2013; COSTA, 2018).

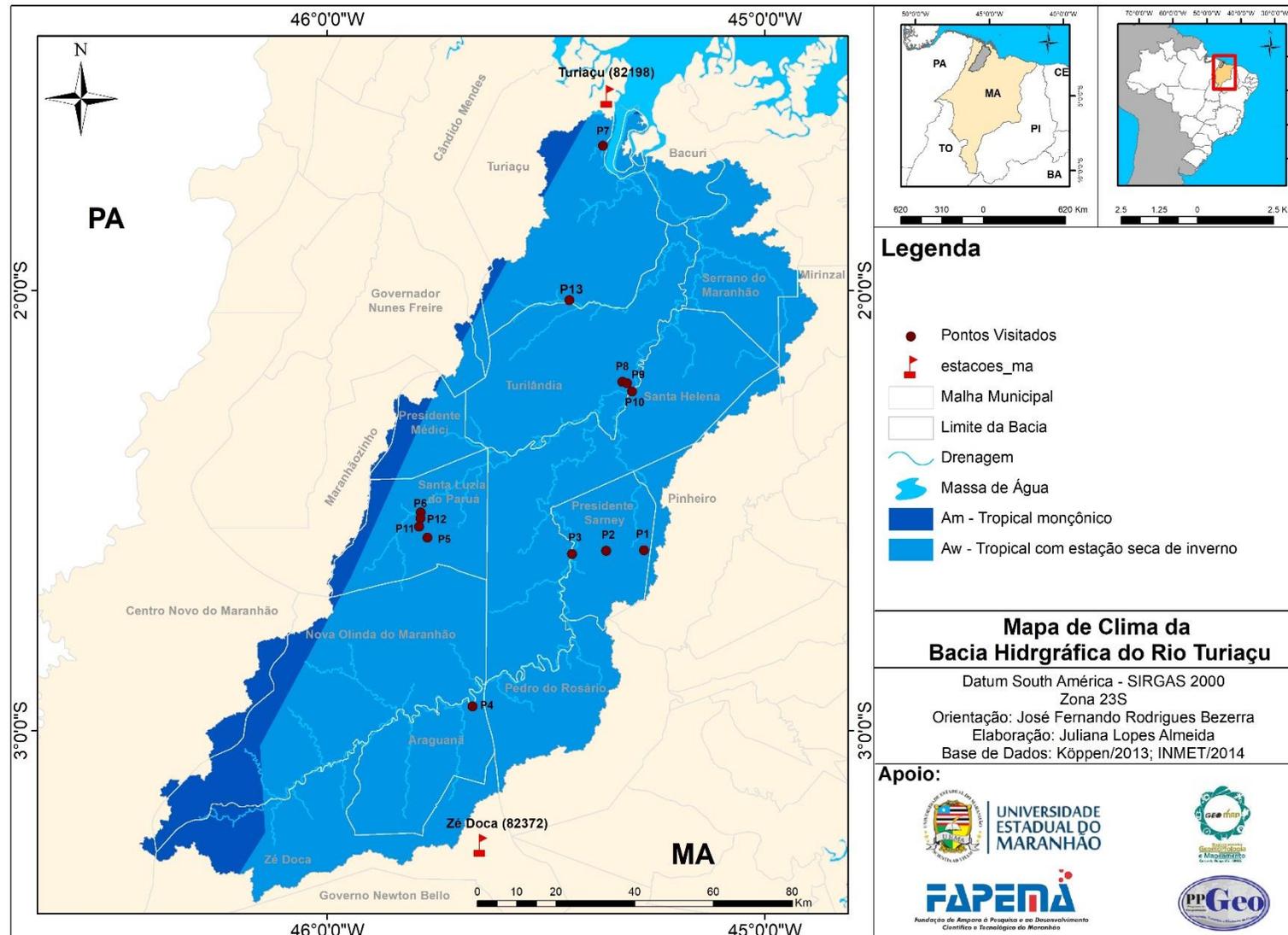
Desta forma, percebe-se que o clima é um dos fatores que contribuem para a constante modificação da paisagem, pois influenciam na dinâmica da sazonalidade dos ambientes, como foi identificado em campo. No período chuvoso (janeiro a junho) as margens dos rios transbordam para as planícies de inundação desses sistemas aquíferos, enquanto que no período de estiagem, a água regressa ocupando apenas o leito principal do rio, como é o caso do rio Turiaçu no trecho que se localiza no povoado de Três-Furos, Presidente Sarney (Figuras 22a, 22b). Além dos rios, também é possível identificar essa dinâmica nos lagos localizados no município de Turilândia (Figuras 22c, 22d).

Figura 22 - Influência do clima na sazonalidade em alguns ambientes da Bacia Hidrográfica do Rio Turiaçu. (a) rio Turiaçu localizado no povoado Três-Furos, no município de Presidente Sarney, ponto 3, período chuvoso, data: 19/02/2021; (b) rio Turiaçu localizado no povoado Três-Furos, no município de Presidente Sarney, ponto 3, período de estiagem, data: 07/11/2021; (c) Lagos no município de Turilândia, ponto 9, período chuvoso, data: 21/02/2021; (d) Lago com baixo volume de água no município de Turilândia, ponto 9, período de estiagem, data: 09/11/2021



Fonte: Acervo da pesquisa

Figura 23 - Mapa de Clima

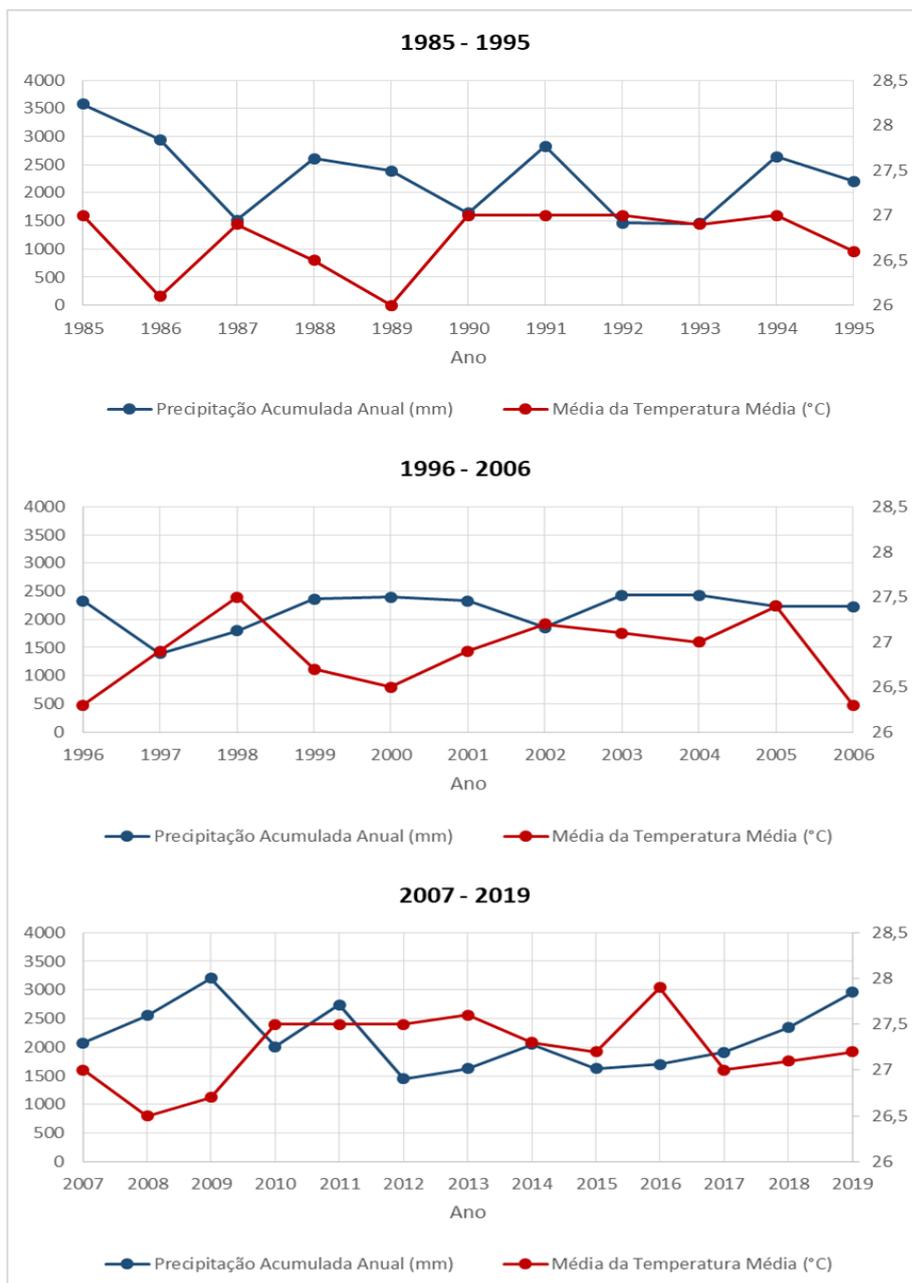


Fonte: Elaborado pelo autor

Análise da Temperatura e Precipitação das Estações meteorológicas Turiaçu e Zé Doca Durante os Anos 1985 a 2019

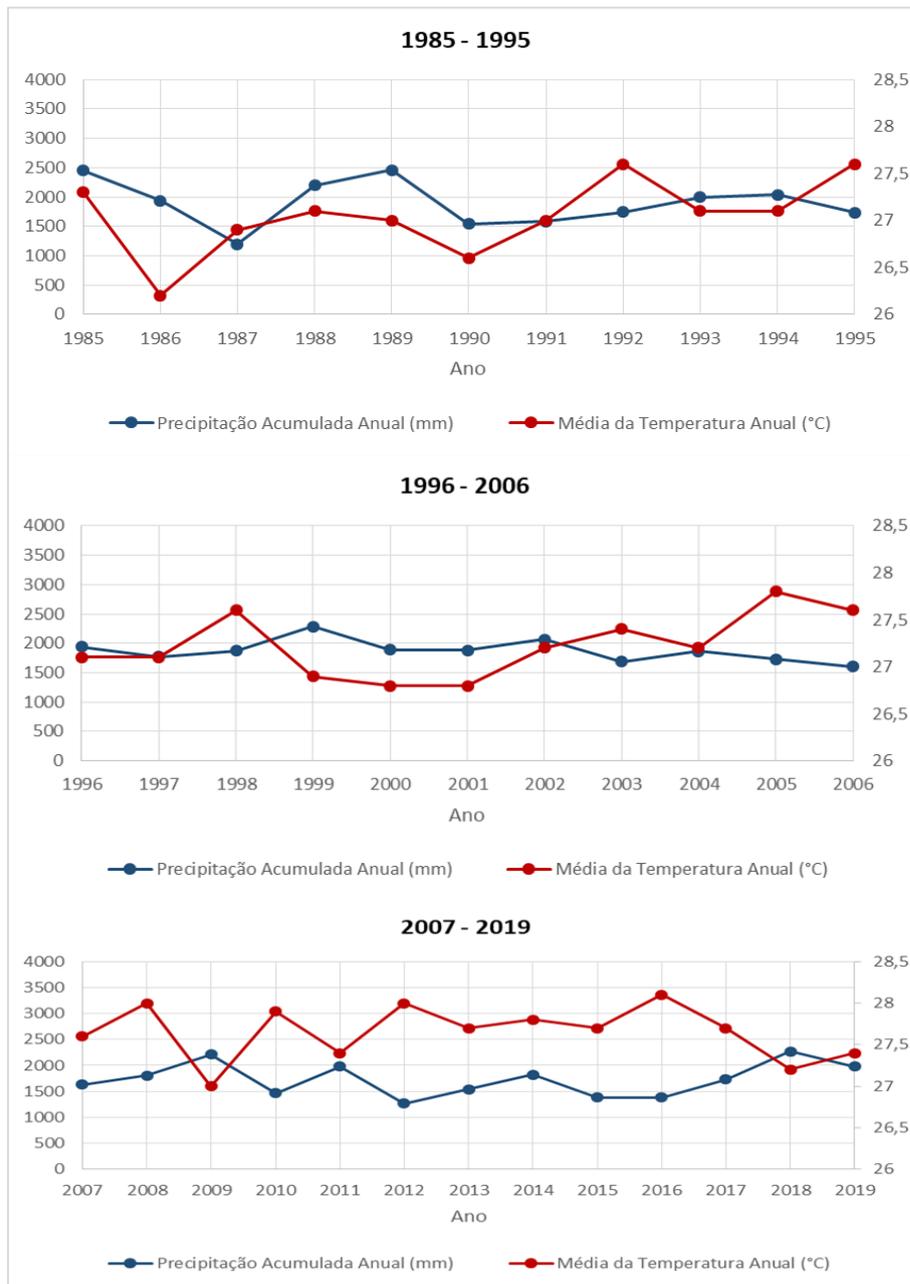
Nesta etapa, utilizou-se as variáveis Precipitação e Temperatura das estações meteorológicas Turiaçu e Zé Doca, pois são as mais próximas a área de influência da bacia do Turiaçu. Sendo que a estação Turiaçu localiza-se Latitude $1^{\circ} 39.683'S$ e Longitude $45^{\circ} 22.317'O$ e a de Zé Doca encontra-se nas coordenadas Latitude $3^{\circ} 16.153'S$ e Longitude $45^{\circ} 39.060'O$.

Figura 24 - Médias da Precipitação e Temperatura da Estação Meteorológica Turiaçu dos Anos 1985 a 2019.



Fonte: Dados exportados do INMET e organizados pelo autor, 2021

Figura 25 - Médias da Precipitação e Temperatura da Estação Meteorológica Zé Doca dos Anos 1985 a 2019.



Fonte: Dados exportados do INMET e organizado pelo autor, 2021

Desta forma, de acordo com os gráficos dos dados do INMET (2021) de Temperatura e Precipitação das estações meteorológicas Turiaçu (Figura 24) e Zé Doca (Figura 25) pode-se analisar, a partir dessas duas variáveis, o comportamento climático da bacia durante os anos 1985 a 2019.

Na estação meteorológica Turiaçu (Figura 24), percebe-se que houve uma variação considerável na média da temperatura durante a série temporal 1985 a 2019, ficando entre 26 °C no ano de 1989 a 27,9 °C em 2016. Em relação a precipitação acumulada, a sua variação revelou

ser bastante significativa ao longo do período estudado, apresentando a menor precipitação em 1997 com 1.391 mm e a maior em 1985 com a média de 3.579 mm, assim como os trabalhos de Passos *et al.* (2017) e Passos e Mendes (2018) que também mostraram que em 1985 marcou um aumento na precipitação, registrando um acumulo pluviométrico anual de 3.579,2 mm.

Durante os anos de 1985, 1990 e 1992 não houve resultados de temperatura média mensal e para preencher as falhas dos resultados anuais foi necessário calcular a média da temperatura média da série temporal 1985 a 2019.

Quanto a estação de Zé Doca (Figura 25), a média temperatura média, também, sofreu uma variação significativa, pois apresentou o menor valor em 1986 com a média de 26,1 °C e a maior média da temperatura média em 2016 com 28,1 °C. A variabilidade da precipitação acumulada ficou entre 1.200,8 mm no ano de 1987 e 2.284,6 mm em 1999, apresentado uma significativa variação ao longo da série temporal.

Nesta estação, o ano de 1985 não houve resultados para a temperatura média mensal e para o preenchimento desta falha foi realizado o mesmo procedimento da estação do Turiaçu, o cálculo da média mensal da temperatura média da série temporal desta pesquisa (1985 a 2019).

De acordo com as duas estações, pode-se perceber que a precipitação, em alguns anos, acompanha a variação da temperatura média, por exemplo, entre os anos 1985 a 1995 da estação meteorológica de Zé Doca.

Abreu Junior *et al.* (2020) afirmam que boa parte das chuvas na região da estação do Turiaçu deve-se a condição da Temperatura da Superfície do Mar (TSM) nos Oceanos Pacífico e Atlântico Tropical que modula a posição da Zona de Convergência Intertropical (ZCTI)

Segundo o estudo de Santos *et al.* (2020) sobre tendências climáticas no estado Maranhão, apresentou em seus resultados que a estação de Zé Doca no ano de 2016, que foi o ano mais quente na série temporal (1985 a 2019), houveram mais dias acima da média de precipitação diária em relação aos anos de 1987 e 2012, porém a série de análise mostrou uma tendência de diminuição no número de dias com precipitação acima de 28 mm, mostrando um aumento no período de estiagem. Pois, de acordo com Aragão *et al.* (2018) constataram que houve grandes eventos de seca na Amazônia nos anos 2005, 2010 e 2015, devido a anomalias oceânicas interferindo na precipitação.

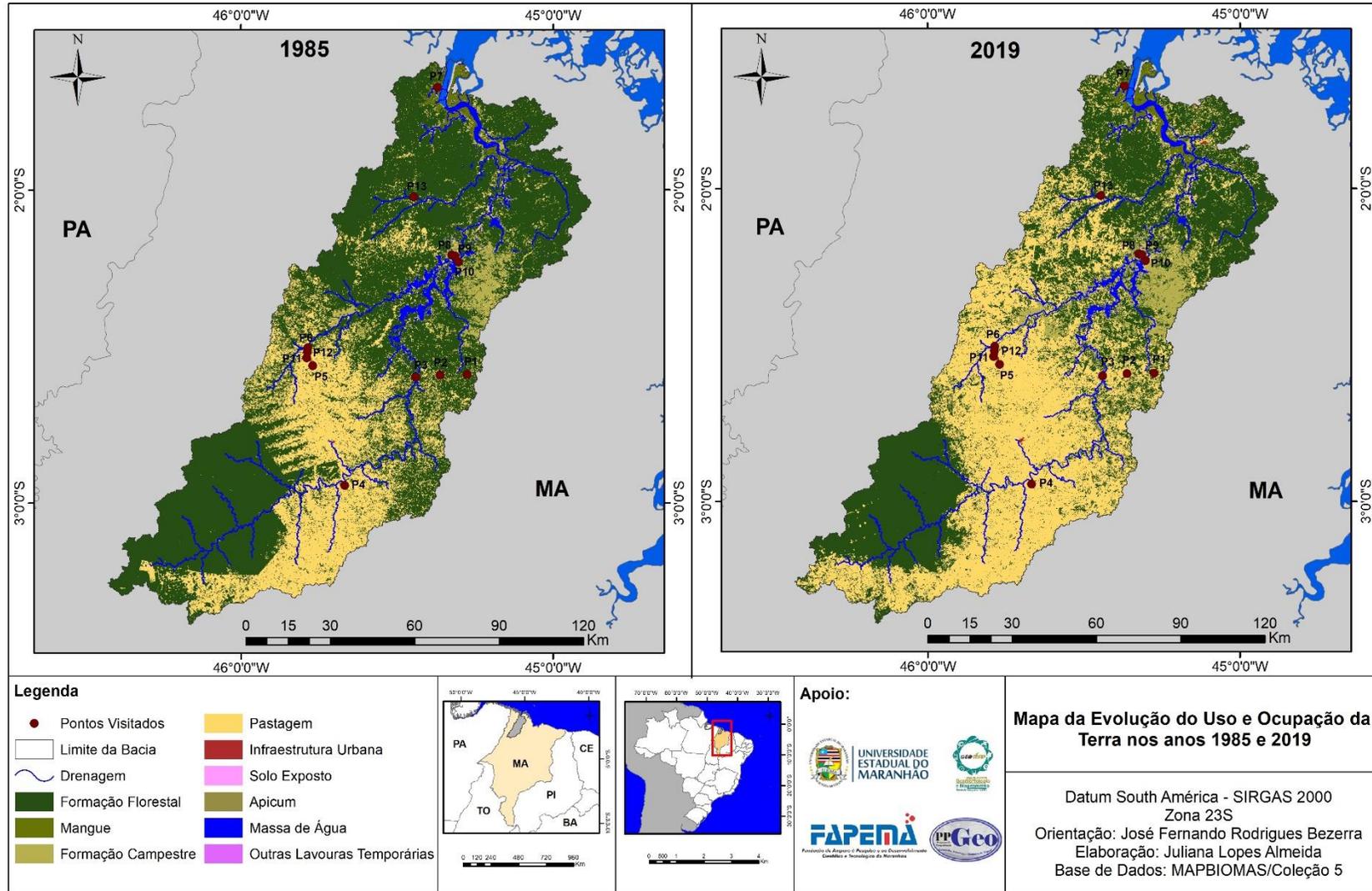
Com base nisso, observa-se que durante esses anos (2005, 2010 e 2015) nas duas estações, Turiaçu e Zé Doca, apresentou uma diminuição da média da precipitação (Figuras 24 e 25).

5.2 Evolução do Uso e Cobertura do Solo nos Anos de 1985 e 2020

Nesta etapa, para a análise da evolução do uso e cobertura do Terra utilizou-se os dados correspondentes da base do Mapbiomas, coleção 5 com escala de 1:250.00.

A partir da análise dos mapas de uso da terra (Figura 27), constatou-se nove classificações: Formação Florestal, Mangue, Formação Campestre, Pastagem, Infraestrutura Urbana, Solo Exposto, Apicum, Massa de Água e Outras Lavouras Temporárias. Os valores da área em km² de cada classe da bacia nos respectivos anos (1985 e 2019) encontram-se na Tabela 3.

Figura 26 - Mapa da Evolução do Uso e Ocupação da Terra nos anos 1985 e 2019



Fonte: Elaborado pelo autor

De acordo com a imagem (Figura 2) observou-se que a Bacia Hidrográfica do Rio Turiaçu passou por notáveis alterações. Principalmente, em relação a Formação Florestal que em 1985 apresentava uma área de 9.282,87 km², sendo a classificação dominante da bacia. Em 2019, esta classe diminuiu para 6.336 km², ultrapassada pela Pastagem que no primeiro ano apresentava uma área de 3.759,54 km², valor este que em 2019 teve um acréscimo de 20% (6.518,65 km²) da cobertura da bacia (Tabela 3).

A Tabela 3 mostra que Solo Exposto e Outras Lavouras Temporárias, são classes que não ocupavam a Bacia em 1985, mas que em 2019 apresentaram áreas de, respectivamente, 1,47 km² e 5,85 km².

Os dados do MapBiomas a princípio apresentou duas áreas Soja, localizadas no município de Santa Luzia do Paruá, com ocupação do território da bacia de 0,02 km². Mas, em campo verificou-se que estas áreas, na verdade, são solo exposto, áreas de loteamento imobiliários (Figura 27). Desta forma, as áreas em os dados do MapBiomas identificou como “Soja” foi adaptada pelos autores como classe “Solo Exposto”, apresentando agora 1,47 km² (Tabela 3).

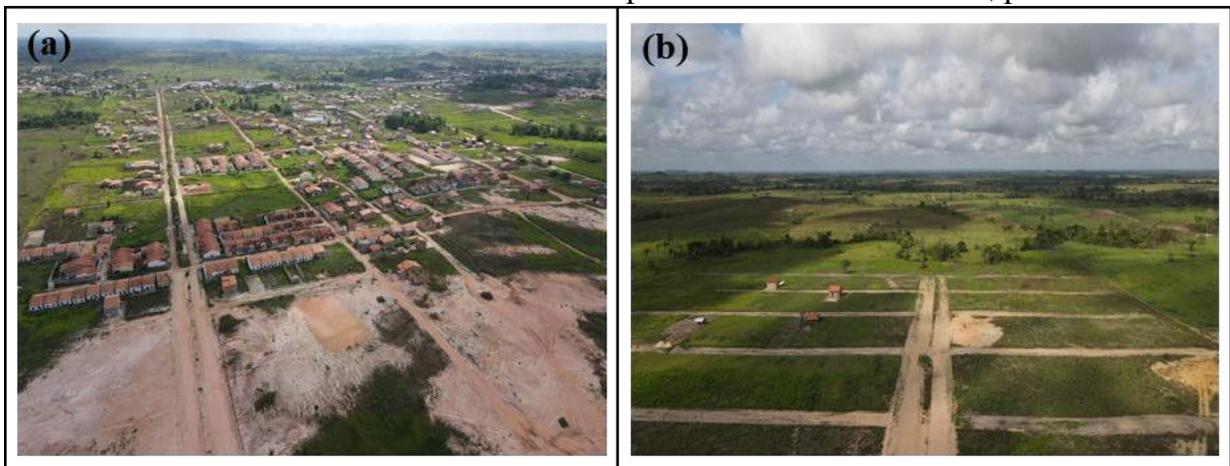
Tabela 3 - Valores de área das classes de uso e ocupação da terra na Bacia Hidrográfica do Rio Turiaçu nos anos 1985 e 2019

Classe/ano	1985		2019		Mudança (2019 - 1985)	
	Área (km ²)	(%)	Área (km ²)	(%)	Área (km ²)	(%)
Formação Florestal	9282,87	66	6336	45	-2946,87	-21
Mangue	162,19	1	173,33	1	11,14	0
Formação Campestre	490,04	4	673,92	5	183,88	1
Pastagem	3759,54	27	6518,65	47	2759,11	20
Infraestrutura Urbana	2,09	0,01	16,4	0,1	14,31	0,10
Solo Exposto	0	0	1,47	0,01	1,47	0,01
Apicum	0,3	0,00	3,33	0,02	3,03	0,022
Massa de Água	277,06	2	218,14	2	-58,92	0
Outras Lavouras Temporárias	0	0	5,85	0,04	5,85	0,04
Total	13974,09	100	13947,00	100	-	-

Fonte: Dados exportados do Produto do MapBiomas e organizado pelo autor

De acordo com os dados expostos, percebe-se que a redução da classe Formação Florestal coincide com o aumento e surgimento de outras, como as classes Pastagem, Solo Exposto e Outras Lavouras Temporárias, respectivamente. Além disso, conforme a Figura 26, é possível perceber visivelmente, as áreas de floresta que sofreram menos alterações, a que mais se destaca é a região do Alto Turiaçu, que possivelmente está relacionada com o fato da TI Alto Turiaçu, que segundo Celentano *et al.*, (2018), apresenta o segundo menor desmatamento proporcional da região amazônica maranhense.

Figura 27 - Áreas averiguadas sobre a existência de plantação de soja (a) área de loteamento imobiliário do bairro Lacerda no município Santa Luzia do Paruá, ponto 11; (b) Área de loteamento imobiliário no município de Santa Luzia do Paruá, ponto 12 .



Fonte: Acervo da pesquisa

5.3 Análise da estrutura da paisagem através do uso de Métricas de Paisagem

A análise quantitativa da paisagem da bacia do Turiaçu mostrou significativas mudanças na distribuição das classes entre os anos 1985 (Tabela 4) e 2019 (Tabela 5), sendo que no primeiro ano encontrou-se sete classes, enquanto em 2019 foi identificado a presença de mais duas classes, como Solo Exposto e Outras Lavouras Temporárias.

Depois de realizada a análise da paisagem como um todo, nas tabelas 4 e 5, pode-se identificar a mudança ocorrida com cada índice de métricas de paisagem para cada classe mapeada. Esses resultados mostram que a bacia está passando por um processo de fragmentação, que é evidenciado pelo aumento do número de bordas e da irregularidade do formato dos fragmentos.

Tabela 4 - Valores das métricas referentes às classes de uso e ocupação da terra na paisagem da Bacia Hidrográfica do Rio Turiaçu no ano de 1985

Classes	Tamanho*				Borda*		Forma*		
	NumP (n)	MPS (ha)	PSSD (ha)	PSCoV (%)	TE (m)	ED (m/ha)	MPAR	MSI	AWMSI
Formação Florestal	42.630	21,8	4.129	18.915	57.832.421	41,2	949	1,41	95,73
Mangue	1.686	9,7	130	1.334	1.860.321	1,33	1.010	1,44	6,38
Formação Campestre	10.738	4,6	155	3.353	9.078.308	6,47	939	1,43	14,90
Pastagem	53.895	7	1.045	14.864	50.903.813	36,3	902	1,43	55,34
Infr. Urbana	17	12,4	21,19	172	33.991	0,02	503	1,78	2,51
Apicum	64	0,5	0,89	164	20.991	0,01	946	1,34	1,69
Massa de Água	3.425	8,1	214	2.624	3.095.177	2,20	870	1,47	8,20
Total	112.455	64,1	5.695,08	-	122.825.022	87,53	-	-	-

*NumP (Número de Fragmentos); MPS (Tamanho Médio dos Fragmentos); PSSD (Desvio Padrão do Tamanho dos Fragmentos); PSCoV (Coeficiente de Variação do Tamanho dos Fragmentos); TE (Borda Total); ED (Densidade de Borda); MPAR (Média da Relação Área-Perímetro); MSI (Índice de Forma Média); AWMSI (Índice de Forma Média Ponderada Pela Área).

Fonte: Dados obtidos através do produto MapBiomias e organizado pelo autor, 2021

Tabela 5 - Valores das métricas referentes às classes de uso e ocupação da terra na paisagem da Bacia Hidrográfica do Rio Turiçu no ano de 2019

Classes	Tamanho*				Borda*		Forma*		
	NumP (n)	MPS (ha)	PSSD (ha)	PSCoV (%)	TE (m)	ED (m/ha)	MPAR	MSI	AWMSI
Formação Florestal	65.629	5,9	1.225	12.610	66.552.158	47,41	933	1,45	40,62
Mangue	950	18,3	188	1.025	1.493.323	1,06	981	1,46	5,99
Formação Campestre	12.681	5,4	241	4.479	11.167.780	7,96	987	1,41	18,85
Pastagem	57.021	11,5	2.286	19.879	61.739.379	43,98	964	1,40	95,03
Infraestrutura Urbana	40	41	62,16	152	168.701	0,12	333	2,05	2,68
Solo Exposto	277	1,5	1,08	188	95.114	0,07	935	1,36	1,86
Apicum	327	1,08	2,93	270	162.261	0,12	858	1,45	2,18
Massa de Água	3.749	5,9	169	2.889	2.962.316	2,11	882	1,45	9,87
Outras Lavouras Temp.	1.013	0,6	0,95	152	376.223	0,27	888	1,39	1,75
Total	141.687	91,18	4.176,12	-	134.514.423	103,1	-	-	-

*NumP (Número de Fragmentos); MPS (Tamanho Médio dos Fragmentos); PSSD (Desvio Padrão do Tamanho dos Fragmentos); PSCoV (Coeficiente de Variação do Tamanho dos Fragmentos); TE (Borda Total); ED (Densidade de Borda); MPAR (Média da Relação Área-Perímetro); MSI (Índice de Forma Média); AWMSI (Índice de Forma Média Ponderada Pela Área).

Fonte: Dados obtidos através do produto MapBiomas e organizado pelo autor, 2021

Métricas de Tamanho

As variáveis Número de Fragmentos (NumP), Tamanho Médio dos Fragmentos (MPS), Desvio Padrão do Tamanho dos Fragmentos (PSSD) e Coeficiente de Variação do Tamanho dos Fragmentos (PSCoV) são referentes as métricas de tamanho da paisagem que foi estabelecido para cada classe mapeada na área de estudo, conforme descritos nas Tabelas 3 e 4.

Ao analisar o tamanho das métricas, observa-se que a fragmentação é mais evidente em razão do aumento do número de fragmentos na paisagem (NumP), onde em 1985 obteve-se um total de 112.455 fragmentos e em 2019 esse número saltou para 141.687 fragmentos. A somatória do tamanho médio dos fragmentos (MPS), também, demonstrou um aumento significativo, pois além de haver o aparecimento de mais três classes, apenas Formação Florestal e Massa de Água diminuíram em comparação as outras, que sofreram aumento no tamanho. Desta forma, o total do tamanho médio dos fragmentos passou de 64,1 ha em 1985 para 91,18 ha em 2019.

Em relação aos resultados individuais (Tabelas 4 e 5), pode-se identificar significativas mudanças, principalmente, nas classes de Formação florestal, Pastagem e Infraestrutura Urbana.

Quanto ao Número de Fragmentos (NumP), a classe Formação Florestal apresentou um aumento, onde em 1985 obteve-se 42.630 fragmentos (Tabela 4) e em 2019 identificou 65.629 fragmentos (Tabela 5). Em relação ao Tamanho Médio dos Fragmentos (MPS), houve um decréscimo, obtendo em 1985 um tamanho de 21,8 ha (Tabela 4), enquanto em 2019 o valor diminuiu para 5,9 ha (Tabela 5). Estes resultados mostram que está havendo a supressão das áreas de florestas por outras classes de usos da Terra, assim como o trabalho de Pirovani *et al.* (2015) que demonstrou que o processo da fragmentação florestal se deu ao aumento da área de pastagens e outras atividades antrópicas.

De acordo com a variabilidade do MPS, os valores do Desvio Padrão do Tamanho dos Fragmentos (PSSD) é afetado diretamente. Pode-se perceber nos resultados correspondentes aos anos de 1985 e 2019 em relação a classe de Formação Florestal (Tabelas 4 e 5), onde ocorreu uma redução. No ano de 1985 o PSSD foi de 4.129 ha e em 2019 esse valor reduziu para 1.225 ha.

As classes de Pastagem e Infraestrutura Urbana, houve aumento tanto no Número de Fragmentos (NumP) como no Tamanho Médio dos Fragmentos (MPS), demonstrando o avanço dessas classes na área de estudo. A pastagem apresentou em 1985 um total de 53.895 fragmentos e o MPS de 7 ha (Tabela 4), no ano de 2019 esses valores subiram para 57.021

fragmentos e 11,5 ha (Tabela 5), respectivamente. Enquanto a Infraestrutura Urbana em 1985 obteve um resultado de 17 fragmentos e um MPS de 12,4 ha, em 2019 esses resultados subiram para 40 fragmentos e um MPS de 41 ha.

De acordo com esses resultados, o PSSD dessas classes apresentou um aumento. A Pastagem, em 1985, apresentava um Desvio Padrão do Tamanho dos Fragmentos de 1.045 ha e este valor saltou para 2.286 em 2019. Em relação a Infraestrutura Urbana, em 1985 obteve um valor de 21,19 ha e em 2019 o resultado foi de 62,16 ha.

Métricas de Borda

Para as métricas de borda da paisagem, tem-se as variáveis Borda Total (TE) e Densidade de Borda (ED) (Tabelas 4 e 5). De acordo com Oliveira (2021), quanto menor forem os fragmentos, maior será a proporção perímetro-área em relação a borda dos fragmentos, causando o efeito de borda. Além disso, os valores de Densidade de Borda podem ser comparados com as Métricas de Forma, pois o Índice de Forma Média Ponderada Pela Área (AWMSI) influencia na densidade das bordas dos fragmentos. Ou seja, quanto maior a irregularidade dos fragmentos, maior é a densidade de borda.

Desta forma, as classes que mais se destacaram foram a Formação Florestal e Pastagem, que apresentaram altos valores no perímetro total das bordas (TE) dos fragmentos. Em 1985, a Formação Florestal apresentou um TE de 57.832.421 metros (Tabela 4), enquanto que em 2019 obteve-se um valor de 66.552.158 metros (Tabela 5). Os resultados de Borda Total da classe Pastagem, em 1985, adquiriu um resultado de 50.903.813 metros (Tabela 4) e em 2019 este valor subiu para 61.739.379 metros (Tabela 5).

Em relação a ED (Densidade de Borda), a Formação Florestal a apresentou 41,2 m/ha em 1985 (Tabela 4) e em 2019 obteve um valor de 47,41 m/ha (Tabela 5). Entretanto, o ED da classe Pastagem em 1985 foi de 36,3 m/ha (Tabela 4) e subiu para 43,98 m/ha em 2019 (Tabela 5).

Métricas de Forma

As métricas de forma são avaliadas, neste trabalho, através das variáveis Média da Relação Área-Perímetro (MPAR), Índice de Forma Média (MSI) e Índice de Forma Média Ponderada Pela Área (AWMSI) (Tabelas 4 e 5).

O cálculo referente ao MSI e AWMSI dos fragmentos toma referência a forma de um círculo representando o valor padrão 1. Desta forma, quanto mais próximo o fragmento estiver do valor 1, mais próximo ao formato de um círculo ele apresenta e quanto mais distante

do valor 1, mais irregular é a forma do fragmento (MCGARIGAL; MARKS, 1995; OLIVEIRA, 2021).

Desta forma, percebe-se que os fragmentos apresentaram uma tendência a formas irregulares. Como é o caso da Formação Florestal e Pastagem, que são as classes que mais se destacam em relação as variáveis MSI e AWMSI.

A classe Formação Florestal apresenta, no ano de 1985, o MSI de 1,41 e o AWMSI de 95,75 (Tabela 4), em 2019 esses valores variaram, respectivamente, para 1,45 e 40,62 (Tabela 5). Para Pastagem, percebe-se que em 1985 o MSI era 1,43 (Tabela 4) e variou para 1,40 em 2019 (Tabela 5). O Índice de Forma Média Ponderada Pela Área (AWMSI) da Pastagem em 1985 era de 55,34 (Tabela 4) e em 2019, as formas tornaram-se mais irregulares possuindo um índice de 95,03 (Tabela 5).

Para ambas as classes, nota-se que há uma significativa diferença nos valores entre as variáveis MSI e AWMSI, pois segundo Oliveira (2021) esta diferença se deve ao fato de que o Índice de Forma Média Ponderada Pela Área levar em consideração a contribuição dos fragmentos de tamanhos maiores que apresentam valores mais irregulares (maiores que 1).

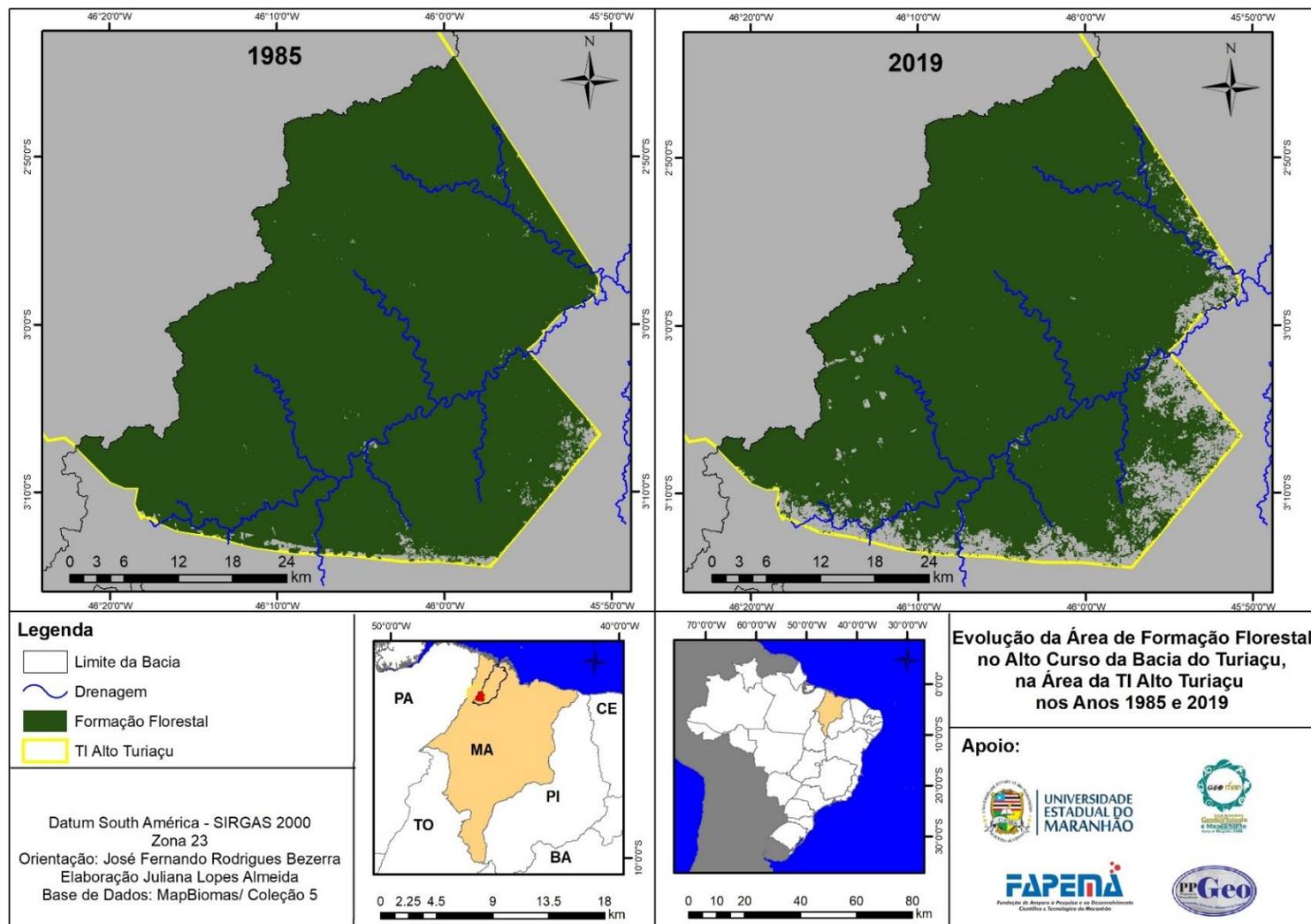
De acordo com os trabalhos de Valente e Vettorazzi (2005) e Rodrigues e Nascimento (2006), os fragmentos com forma irregular estão mais propensos ao efeito de borda, principalmente os de menor área, em função da sua maior interação com a matriz. Além disso, eles afirmam que com o aumento do efeito de borda, tem-se a diminuição da área central desses fragmentos, que influencia na qualidade estrutural dos ecossistemas. A borda é um limite sujeito a impactos advindos da matriz antrópica que causa constante degradação, alteração na composição de espécies e na estrutura da vegetação.

5.4 Evolução da Área da Formação Florestal no Alto Curso da Bacia Hidrográfica do Rio Turiaçu, Área da TI Alto Turiaçu nos Anos 1985 e 2019

Sabe-se que a vegetação exerce funções hidrológicas e ecológicas de proteção aos solos e aos recursos hídricos. Quando ocorre tais alterações nas nascentes por conta de ações de origem antrópicas, estes locais acabam perdendo a capacidade quantitativa e qualitativa da água, comprometendo assim a produção de água na bacia hidrográfica (RODRIGUES, 2004; MARMONTEL; RODRIGUES, 2015). Partindo desta informação, obteve-se a necessidade de se analisar a evolução das áreas de vegetação, ou seja, da classe de Formação Florestal na região do alto curso da Bacia Hidrográfica do Rio Turiaçu, localizado no limite da TI Alto Turiaçu nos anos 1985 e 2019.

A partir da análise do mapa de evolução da Formação Florestal (Figura 29), pode-se observar que ocorreu uma alteração significativa nesta classe, apresentando uma intensa remoção da vegetação nas bordas do limite da TI Alto Turiacu. Estas modificações são provocadas pelo avanço das áreas de Pastagens na região, conforme identifica-se na Figura 28.

Figura 28 - Evolução da classe Formação Florestal no alto curso da Bacia Hidrográfica do Rio Turiiaçu, localizado no TI Alto Turiiaçu nos anos 1985 e 2019



Fonte: Elaborado pelo autor

Os resultados obtidos a partir das métricas de paisagem para a classe Formação Florestal na área do alto curso da bacia, localizado na TI Alto Turiaçu permitiu verificar que no ano de 1985 a vegetação cobria 188.933,72 ha da área analisada, enquanto que em 2019 essa área caiu para 173.728,16 ha (Tabela 6).

Tabela 6 - Valores das métricas referentes a classe de Formação Florestal do alto curso da bacia do Turiaçu, localizado no limite da TI Alto Turiaçu.

Métricas	1985	2019
CA (ha)*	188.933,72	173.728,16
Tamanho*		
NumP (n)	381	1.369
MPS (ha)	495,89	126,90
PSSD (ha)	9.652	4.629,84
PSCoV (%)	1.946,40	3.648,37
Borda*		
TE (m)	869.257,44	2.600.077,26
ED (m/ha)	4,60	14,97
Forma*		
MPAR	1.152,23	994,20
MSI	1,30	1,45
AWMSI	4,87	12,13

*CA (Área da Classe); NumP (Número de Fragmentos); MPS (Tamanho Médio dos Fragmentos); PSSD (Desvio Padrão do Tamanho dos Fragmentos); PSCoV (Coeficiente de Variação de Tamanho dos Fragmentos); TE (Borda Total); ED (Densidade de Borda); MPAR (Média da Relação Área-Perímetro); MSI (Índice de Forma Média); AWMSI (Forma Média Ponderada Pela Área).

Fonte: Dados obtidos através do produto MapBiomas e organizado pelo autor

Em 1985 a Formação Florestal apresentou 381 fragmentos, com o MPS de 495,89 ha, com o desvio padrão de 9.652 ha e um coeficiente de variação que chega a 1.946,40%. O Total de Bordas foi de 869.257,44 m e a Densidade de Bordas obteve um resultado de 4,60m/ha. O MSI evidenciou que os fragmentos apresentaram formas complexas, com um valor de 1,30 e um índice ponderado (AWMSI) de 4,87, demonstrando a irregularidade nas formas dos fragmentos.

No ano de 2019, os resultados demonstraram que houve significativas alterações na estrutura da paisagem em relação a classe Formação Florestal, pois o número de fragmentos saltou para 1.369 e o tamanho médio dos fragmentos obteve uma redução para 126,90 ha, indicando que além de haver o aumento da fragmentação da vegetação, esses fragmentos tiveram seus tamanhos reduzidos por conta do avanço das atividades antrópicas, como a Pastagem, como pode ser observado nas Figuras 26 e 28, que está avançando para o território indígena.

O Tamanho de Bordas dos fragmentos, em 2019, resultou em 2.600.077,26 m e a densidade (ED) em 14,97 m/ha. As métricas de forma, demonstraram que além da classe apresentar um elevado nível de fragmentação, mostraram que suas formas tornaram-se complexas e irregulares, resultando em um índice de forma de 1,45 e o AWMSI de 12,3.

5.5 Alteração da Paisagem da Bacia Hidrográfica do Rio Turiaçu

A paisagem pode ser caracterizada pela sua dinâmica geomorfológica, pedológica, vegetal e de uso e ocupação da Terra, além dos elementos socioculturais e econômicos que possibilitam a sua modificação (RODRIGUES *et al.*, 2016).

Desta forma, a partir da análise das categorias apresentadas através dos dados do MapBiomas, foi possível identificar os elementos que contribuiriam para a transformação da paisagem na bacia do Turiaçu, mostrando que um dos fatores condicionantes para esta transformação foi a derrubada da floresta para a introdução da Pastagem e de outras atividades antrópicas, como a extração mineral para construção civil (Figura 29).

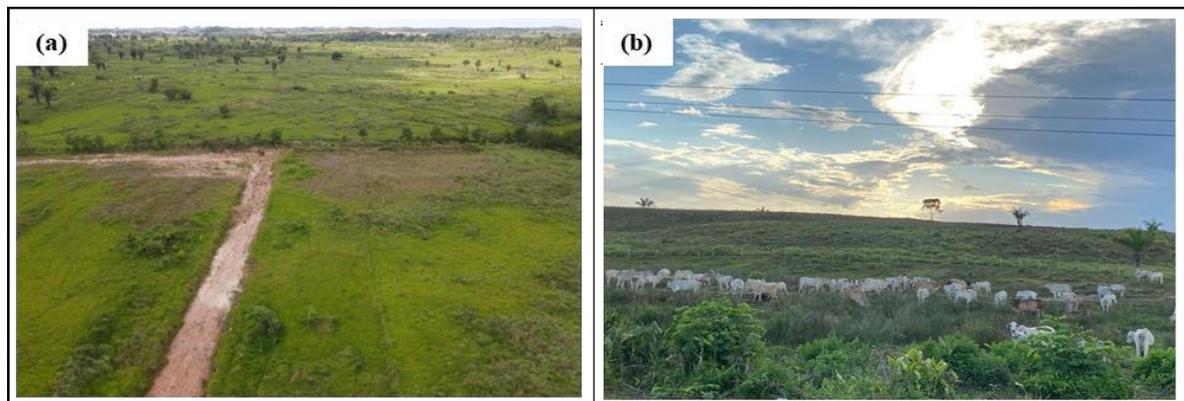
Figura 29 - Área de extração mineral para construção civil, localizada no município de Santa Luzia do Paruá, ponto 5



Fonte: Acervo da pesquisa

Segundo Araújo *et al.* (2011), a economia da região amazônica maranhense é pautada, em grande parte, no sistema agropecuário tradicional, tendo a criação de bovinos como uma das principais atividades. Afirmado que em 2003 o Maranhão possuía 5.514.000 cabeças de gado, em um ano (2004) este número subiu para 6,5 milhões. Já em 2017, segundo o IBGE (2017), registrou-se um rebanho de mais de sete milhões de bovinos, desse total 27,2% encontra-se na região amazônica do Maranhão. No trabalho de campo foi identificada em grande parte da bacia, principalmente na região mais próxima ao alto curso, áreas de pastagem, de acordo com a Figura 30.

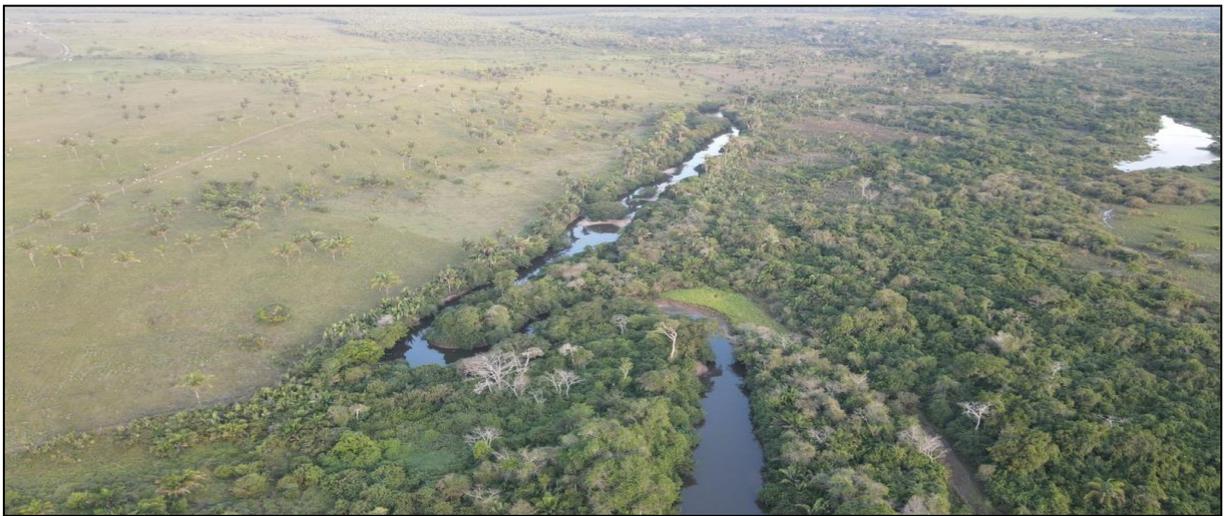
Figura 30 - Áreas de pastagem (a) Município de Santa Luzia do Paruá, ponto 11; (b) Município de Turiaçu, ponto 13



Fonte: Acervo da pesquisa.

Com o crescimento da pecuária na região amazônica maranhense, foi necessário abrir áreas florestadas para a criação de pastos. Entretanto, estas mudanças têm sido responsáveis por problemas significantes, como a desertificação e, conseqüentemente, a perda da biodiversidade (SOUSA *et al.*, 2012), conforme a Figura 32, onde mostra a área de vegetação ciliar da margem esquerda do rio Caxias, afluente do rio Turiaçu, que está sendo invadida para a expansão da área de Pastagem.

Figura 31 - Área de vegetação ciliar à margem esquerda do rio Caxias sendo ocupada pela pastagem, no município de Turiaçu, ponto 13



Fonte: Acervo da pesquisa

Outro fator que contribui para a transformação da paisagem florestal na região, é a extração de madeira. Celentano *et al.* (2018) afirmam que o extrativismo madeireiro na região amazônica maranhense representa uma importante atividade econômica. De acordo com Carneiro (2012), no ano de 1980, com a implantação do Projeto Carajás de mineração de ferro da Companhia do Vale do Rio Doce (atual Vale S. A.), muitas indústrias siderúrgicas surgiram nas proximidades da região que liga a mina em Parauapebas-PA ao Porto do Itaqui em São Luís-MA. A indústria de ferro gusa requer uma enorme quantidade de carvão vegetal, o que aumentou ainda mais a demanda pelos recursos florestais na região.

Desta forma, com a redução da cobertura florestal na região amazônica maranhense, aumentou a pressão em áreas protegidas (TI – Terras Indígenas e UC – Unidade de Conservação) através das frequentes invasões para a extração ilegal de madeira (GREENPACE, 2012). Celentano *et al.* (2018) dizem que em 2016 aproximadamente 3,1 mil km² de floresta de área protegida do “Mosaico Gurupi”, que abrange o Alto curso do Turiaçu, já haviam sido desmatadas.

O estudo de Pinheiro (2019) que avaliou a dinâmica do uso da terra (1984 a 2017) das áreas protegidas: Reserva Biológica (REBIO) do Gurupí, e as Terras Indígenas *Áwa-Guajás*, Caru e Alto Turiaçu, demonstrou que teve baixas alterações nas Terras Indígenas, sobretudo na região do Alto Turiaçu. Demonstrando como é fundamental a importância das Unidades de Conservação e das Terras Indígenas como estratégia de manutenção dos recursos naturais. Entretanto, Celentano *et al.* (2018) mostraram que o incremento do desmatamento entre 2010 e 2014 foi de aproximadamente 3% da área, demonstrando a intensa pressão antrópica sofrida nos últimos anos, pela atividade madeireira ilegal, o que também está associado ao aumento de casos de violência contra os índios da etnia *Ka'apor*. A extração de madeira resulta no empobrecimento e degradação da floresta, tornando-a mais suscetível ao fogo e à conversão de pastagens (VERÍSSIMO *et al.*, 1992).

Nos últimos anos a região da Bacia Hidrográfica do Rio Turiaçu vem apresentando mudanças significativas quanto ao uso da terra, onde a Formação florestal vem sendo fragmentada por outras atividades de cunho antrópico. Segundo alguns moradores da região da bacia do Turiaçu, no município de Presidente Sarney, relatam que a retirada da vegetação ciliar altera a quantidade de espécies de peixes, dispondo apenas das espécies *Anodus spp* (Tapiaca ou Branquinha), *Leporinus* (Piau) e *Pseudoplatystoma curuscans* (Surubim). Além disso, essas áreas que apresentam a ocorrência desses aspectos ambientais sofrem com a elevação da sensação térmica e assoreamento das margens dos rios, como mostra a Figura 32.

Figura 32 - Rio Turiaçu, povoado Três-Furos no município de Presidente Sarney, ponto 3. A margem direita está bastante assoreada por conta da retirada da vegetação e espaço de recreação.



Fonte: Acervo da pesquisa

Entretanto, observa-se que as áreas de proteção, como a TI Alto Turiaçu, são importantes para a contenção da degradação florestal para a conservação da nascente do rio principal da bacia. Pois a intensificação da agricultura e da pecuária associado à extração de madeira vem provocando modificações na paisagem amazônica (ARAÚJO *et al.*, 2011). Essas mudanças aumentam o risco de degradação ambiental em função da exploração abusiva dos recursos naturais. Como a pecuária, que causa danos ambientais que vão além das extensas áreas desflorestadas e a consequente perda da biodiversidade (CELENTANO *et al.*, 2018).

6 CONCLUSÃO

Os procedimentos utilizados neste trabalho possibilitaram uma visão holística da área de estudo, pois foram capazes de fazer um estudo integrado dos fatores geobiofísicos e antrópicos interligando espacialmente as dinâmicas da paisagem da Bacia Hidrográfica do Rio Turiaçu.

Portanto, devido à dimensão espacial da área de estudo ocorreu a dificuldade de se encontrar dados com a mesma escala, o que acabou optando a utilização de fontes de dados que apresentaram escalas variadas. Além disso, a visita próxima a nascente da bacia, não foi possível por conta das limitações de acesso, decorrente da sua localização em área de reserva indígena, a TI (Terra Indígena) Alto Turiaçu.

Desta forma, pode-se concluir parcialmente que a bacia do Turiaçu expõe uma grande diversidade em seus atributos ambientais. Apresentando sete formações geológicas, predominando as unidades *Itapecuru*, *Sedimentos Pós-Barreiras* e *Barreiras*; oito unidades geomorfológicas, destacando-se a *Superfícies aplainadas retocadas ou degradadas* e *Domínios de colinas amplas e suaves*; cinco tipologias de solos, sendo os mais abrangentes *Plintossolo* e o *Argissolo vermelho amarelo*; sete classes geoambientais, predominando as unidades *Intercalações de sedimentos arenosos, siltico-argilosos e folheios*, *Ambiente fluviolacustre* e *Alternância irregular entre camadas de sedimentos de composição diversa (arenito, siltito, argilito e cascalho)*; oito classes de vegetação, apresentando como as mais dominantes a *Vegetação secundária* e *Pastagens*; a região, também, apresenta dois tipos de clima, mas a mais abrangente é *Aw - Tropical com estação seca de inverno*.

De acordo com os dados de uso e ocupação da terra, percebeu-se que a bacia sofreu tais modificações. Onde em 1985 a classe de Formação Florestal apresentava uma área de 9.282,87 km² e em 2019 caiu para 6.336 km². Enquanto a classe Pastagem, em 1985 indicava uma área de 3.759,54 km², esse número, em 2019, teve um acréscimo de 20%, apresentando uma área de 6.518,65 km², tornando-se assim, a classe mais dominante na região.

Além do estudo da evolução do uso e ocupação da bacia, foi necessário uma análise mais detalhada sobre as modificações da estrutura da paisagem, pois a partir das métricas de paisagem é possível identificar de forma mais minuciosa a dinâmica dos elementos da paisagem da bacia. Desta forma, observou-se que entre os anos de 1985 a 2019 a classe de Formação Florestal sofreu um aumento do processo de fragmentação, além da diminuição das bordas destes, indicando o avanço de outras classes como Pastagem e outras atividades antrópicas. Em relação a área da nascente localizada na delimitação da TI Alto Turiaçu, identificou-se que este

território também passa por modificações acentuadas, onde as áreas de florestas vem sendo derrubadas para fins de atividades antrópicas.

De ante do exposto, percebe-se que apesar da Bacia Hidrográfica do Rio Turiagu ainda ser, em grande parte, protegida por Unidades de Conservação e Terra Indígena, a bacia sofre graves pressões antrópicas ocasionadas, principalmente, pela transformação de florestas em áreas de pastagem, o que pode causar graves impactos, como modificação na ciclagem de nutrientes, na disponibilidade de água, na estrutura do solo e do clima.

REFERÊNCIAS

- ABREU JUNIOR, A. M.; FREIRE, GVBS; SILVA, JFS. Avaliação da influência de variáveis climáticas nas produções agrícolas de Abacaxi e Mandioca no município de Turiaçu–MA. **Simpósio de Ciências Agrárias e Ambientais**, 2020.
- AB'SÁBER, Aziz Nacib. **Brasil, paisagens de exceção: o litoral e o Pantanal mato-grossense**, patrimônios básicos. Ateliê editorial, 2006.
- ALEKSANDROVA, T. D.; PREOBRAJENSKI, V.S. *Protección de los paisajes*. Dicionário comentado. Moscou: Editorial Progreso, 1982. 272p.
- ALVARES, Clayton Alcarde *et al.* Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.
- AMORIM, Raul Reis; OLIVEIRA, Regina Célia de. Análise Geoambiental dos setores de encosta da área urbana de São Vicente-SP. **Sociedade & Natureza**, v. 19, p. 123-138, 2007.
- ANTONELI, Valdemir; THOMAZ, Edivaldo Lopes. Caracterização do meio físico da bacia do arroio, Boa Vista-Guaramiranga (PR). **Caminhos de Geografia**, v. 8, n. 21, 2007.
- ARAGÃO, Luiz EOC et al. 21st Century drought-related fires counteract the decline of Amazon deforestation carbon emissions. **Nature communications**, v. 9, n. 1, p. 1-12, 2018.
- ARAÚJO, Ronaldo Rodrigues. O conforto térmico e as implicações na saúde: uma abordagem preliminar sobre os seus efeitos na população urbana de São Luís-Maranhão. **Cadernos de Pesquisa**, v. 19, n. 3, 2013.
- ARAÚJO, E.P. de; LOPES, J. R.; CARVALHO FILHO, R. **Aspectos socioeconômicos e de evolução do desmatamento na Amazônia maranhense: diversidade e conservação**. Belém: Museu Paraense Emílio Goeldi, p. 35-46, 2011.
- BANDEIRA, Iris Celeste Nascimento Org. **Geodiversidade do estado do Maranhão**. 2013.
- BARBOSA, Getúlio Vargas; PINTO, Maria Novaes. **Brasil**. Projeto RADAM BRASIL. Folha SA- 23 (São Luiz) e parte da folha SA-24, Fortaleza, p. 3-37, 1973.
- BALÉE, William. **Footprints of the Forest: Ka'apor Ethnobotany - the historical ecology of plant utilization by an Amazonian people**. New York: Columbia University Press, 1993.
- BERTRAND, Georges. Paisagem e Geografia Física Global: esboço metodológico. Cruz, Olga (trad.) **Cadernos de Ciências da Terra**. São Paulo, USP-IGEOG, n. 43, 1972.
- _____. Paisagem e geografia física global: esboço metodológico. Tradução: Olga Cruz. **Revista RA' E GA**. Editora UFPR, Curitiba, n. 8, p. 141-152. 2004.
- _____. Paisagem e geografia física global. Esboço metodológico. **Raega-O Espaço Geográfico em Análise**, v. 8, 2004.

BEIER, Paul; HUNTER, Malcolm L.; ANDERSON, Mark. Conserving nature's stage. **Conservation biology: the journal of the Society for Conservation Biology**, v. 29, n. 3, p. 613-617, 2015.

BOLÓS, M.I.C. Problemática actual de los estudios de paisaje integrado. **Revista de Geografía**. Barcelona, v. 15, n. 1-2. 1981.

BORUAH, Sanchita *et al.* Quantifying channel planform and physical habitat dynamics on a large braided river using satellite data—The Brahmaputra, India. **River research and applications**, v. 24, n. 5, p. 650-660, 2008.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal. **Lei n. 9.433**: Política Nacional de Recursos Hídricos. Brasília: Secretaria de Recursos Hídricos, 1997. 72p.

BRILHA, J. B. **Patrimônio geológico e geoconservação**: a conservação da natureza na sua vertente geológica. Palimage, 2005.

CALDERANO FILHO, Braz *et al.* Estudo geoambiental do município de Bom Jardim- RJ, com suporte de geotecnologias: subsídios ao planejamento de paisagens rurais montanhosas. **Embrapa Solos-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 2010.

CANADAS, Enriqe Serrano; FLAÑO, Purificación Ruiz. Geodiversidad: concepto, evaluación y aplicación territorial. El caso de Tiermes Caracena (Soria). **Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles**, n. 45, 2007.

CARNEIRO, Marcelo Domingos Sampaio. Entre o Estado, a sociedade e o mercado: análise dos dispositivos de governança da indústria florestal na Amazônia. **Caderno CRH**, v. 25, n. 64, p. 73-86, 2012.

CARRÃO, Hugo; CAETANO, Mário; NEVES, Nuno. LANDIC: cálculo de indicadores de paisagem em ambiente SIG. **Proceedings of Encontro de Utilizadores de Informação Geográfica—ESIG**, 2001.

CASSETI, V. **Geomorfologia**. Disponível em: <http://www.funape.org.br/geomorfologia>. Acesso em 28 abr. 2021.

CAVALCANTI, Lucas Costa de Souza. **Da descrição de áreas à teoria dos geossistemas**: uma abordagem epistemológica sobre sínteses naturalistas. 2013.

CELENTANO, Danielle *et al.* Towards zero deforestation and forest restoration in the Amazon region of Maranhão state, Brazil. **Land use policy**, v. 68, p. 692-698, 2017.

_____. Desmatamento, degradação e violência no "Mosaico Gurupi"-A região mais ameaçada da Amazônia. **Estudos Avançados**, v. 32, n. 92, p. 315-339, 2018.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. 2. ed. São Paulo: Ed. Edgard Blücher Ltda. 187p, 1980.

_____. **Modelagem de sistemas ambientais**. [s.l.]: Editora Blucher, 1999.

COMER, Patrick J. *et al.* Incorporating geodiversity into conservation decisions. **Conservation Biology**, v. 29, n. 3, p. 692-701, 2015.

CORREIA FILHO, F. L. **Projeto Cadastro de Fontes de Abastecimento por Água Subterrânea, estado do Maranhão**: relatório diagnóstico do município de Bequimão. Teresina: CPRM - Serviço Geológico do Brasil, 2011.

COSTA, Francisco Wendell Dias; PEREIRA, Paulo Roberto Mendes. Gestão Socioambiental nas unidades de conservação do Maranhão: Características, conflitos e perspectivas. **Geografia em Atos (Online)**, v. 1, n. 6, p. 1-24, 2018.

COSTA, Marinalva. **Estiagens e secas na porção sul do município de Bequimão – MA e sua relação com a construção de barragens no rio Aurá**. 2018. 93fls. Dissertação (Mestrado), São Luís, 2018.

CPRM. 2006. Mapa geodiversidade do Brasil. Escala 1:2.500.000. Legenda expandida. Brasília: CPRM/Serviço Geológico do Brasil, 68 p.

CPRM, SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. Mapa dos Domínios Geomorfológicos do estado de Minas Gerais. In: MACHADO, M.F; SILVA, S.F. (Org). Geodiversidade do estado de Minas Gerais. Belo Horizonte: CPRM, 2010.

CPRM- SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Rede Integrada de Monitoramento das Águas Subterrâneas RIMAS**. Rio de Janeiro, 2017. Disponível em: <http://rimasweb.cprm.gov.br/layout/index.php>. Acesso em: 26 abr. 2021.

CUNHA, S.B. e GUERRA, A.J.T. Degradação ambiental. In: GUERRA, A.J.T. e CUNHA, S. B. (org). **Geomorfologia e meio ambiente**. 4. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003, p. 337-376.

DANTAS, Marcelo Eduardo *et al.* Geodiversidade e análise da paisagem: uma abordagem teórico-metodológica. **Terræ Didática**, v. 11, n. 1, p. 4-13, 2015.

DIBIESO, Eduardo Pizzolim. **Planejamento ambiental e gestão dos recursos hídricos**: estudo aplicado à bacia hidrográfica do manancial do alto curso do Rio Santo Anastácio-SP. 2013. 283 f. Tese (Doutorado). Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente. 2013

DINIZ, M. T. M.; OLIVEIRA, G. P.; MEDEIROS, D. B. S. Proposta de classificação das paisagens integradas. **Revista de Geociências do Nordeste**, v. 1, n. 1, p. 50-65, 2015.

ANJOS, José Barbosa; SILVA, M. S. L.; LOPES, PRC. Efeito da adição de hidroretentores de água em Argissolo Amarelo Eutrofico. In: SIMPOSIO BRASILEIRO DE CAPTACAO DE AGUA DE CHUVA NO SEMI-ARIDO, 3., 2001. Campina Grande: Embrapa Algodão; Petrolina: Embrapa Semi-Arido, 2001.

SANTOS, Luiz Carlos Araújo; CEZAR ILEA, Antonio. Gerenciamento de recursos hídricos no estado do Maranhão-Brasil. **Observatorium: Revista Eletrônica de Geografia**, v. 5, n. 13, 2013.

ELLENBERG, Heinz. A key to Raunkiaer plant life forms with revised subdivision. **Berlin Geobotanical Institute ETH, Stiftung**, v. 37, p. 56-73, 1967.

FERREIRA, Ana Rosa. **Geomorfologia, geodiversidade e análise da fragilidade ambiental das paisagens do parque estadual Serra Ricardo Franco, MT-Brasil**. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, 2014.

FERREIRA-CORREIA, Maria Marlúcia; ALMEIDA, Izabel Cristina da Silva; DOURADO, Elãine Christine dos Santos. Microalgas da baía de Turiaçu, APA das reentrâncias maranhenses—uma abordagem qualitativa. **Boletim do Laboratório de Hidrobiologia**, v. 17, n. 1, 2004.

FORMAN, Richard. T. T.; GODRON, Michael. **Landscape ecology**. New York: John Wiley & Sons, 1986. 619 p.

FRANCO, José Raimundo Campelo. **Segredos do rio Maracu: a hidrogeografia dos lagos de reentrâncias da baixada maranhense, sítio Ramsar, Brasil**. [s.l.]: Lithograf, 2012.

FURLAN, Sueli Angelo. Áreas naturais tombadas e a proteção da paisagem. **Revista CPC**, v. 13, n. 26esp, p. 63-93, 2018.

GALOPIM DE CARVALHO, A. M. **Como Bola Colorida, a Terra, Património da Humanidade**. Lisboa: Âncora Editora, 2007.

GALVÃO, Marília Velloso. Regiões bioclimáticas do Brasil. **Revista Brasileira de Geografia**, v. 29, n. 1, p. 3-36, 1967.

GARCÉS, Claudia Leonor López et al. Objetos indígenas para o mercado: produção, intercâmbio, comércio e suas transformações. Experiências Ka'apor e Mebêngôkre- Kayapó. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Humanas**, 2015.

GARCÉS, Claudia Leonor López. O mundo da horticultura Ka'apor: práticas, representações e as suas transformações. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Humanas**, v. 11, n. 1, p. 133-158, 2016.

GONÇALVES, R. A.; CARVALHO, I. S. Contribuição ao estudo da sedimentação da Formação Itapecuru-região de Itapecuru-Mirim, Bacia do Parnaíba (Cretáceo Inferior)-Maranhão-Brasil. **Revista de Geologia**, v. 9, p. 75-81, 1996.

GORDON, John E. *et al.* Engaging with geodiversity-why it matters. **Proceedings of the Geologists' Association**, v. 123, n. 1, p. 1-6, 2012.

GREENPEACE. **Carvoaria na Amazônia: como a indústria de aço e ferro gusa está destruindo a floresta com a participação de governos**. São Paulo: Greenpeace, 2012.

Disponível em:

http://www.greenpeace.org/brasil/Global/brasil/documentos/2012/423%20%20Pig%20Iron%20D3_portugues.pdf. Acesso em: 19 maio 2021.

GUERRA, A.T.; GUERRA, A.J.T. **Novo dicionário geológico-geomorfológico**. 5. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2006.

HAINES-YOUNG, Roy; GREEN, David R.; COUSIN, Steven H. (Ed). **Landscape Ecology and GIS**. London: Taylor & Francis, 1993. 288 p

HJORT, Jan; LUOTO, Miska. Geodiversity of high-latitude landscapes in northern Finland. **Geomorphology**, v. 115, n. 1-2, p. 109-116, 2010.

HJORT, Jan; HEIKKINEN, Risto K.; LUOTO, Miska. Inclusion of explicit measures of geodiversity improve biodiversity models in a boreal landscape. **Biodiversity and Conservation**, v. 21, n. 13, p. 3487-3506, 2012.

HUANG, C.; GEIGER, E. L.; KUPFER, J. A. Sensitivity of landscape metrics to classification scheme. **International Journal of Remote Sensing**, v. 27, n. 14, p. 2927-2948, 2006.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo 2010: População Indígena é de 896,9 mil, tem 305 etnias e fala 274 idiomas**. Disponível em: [INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual Técnico de geomorfologia**. Rio de Janeiro, RJ: IBGE, 2009](http://censo2010.ibge.gov.br/noticiascenso?busca=1&id=3&idnoticia=2194&t=censo-2010poblacao-indigena-896-9-mil-tem-305-etnias-fala-274&view=noticia#:~:text=Em%202010%2C%20293%2C9%20mil%20indígenas%20falavam%2074%20idiomas&text=Dos%20786%2C7%20mil%20indígenas,terras%20(96%2C5%25)Acesso em: 21 jun. 2021.</p>
</div>
<div data-bbox=)

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual técnico da vegetação brasileira**. 2012.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção da Pecuária no Maranhão**: base de dados online do IBGE. Rio de Janeiro, 2017. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ma/pesquisa/18/0>. Acesso em: 19 maio 2021.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Estação Meteorológica de Observação de Superfície Automática**, Brasília. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/inmet?r=estacoes/mapaEstacoes>. Acesso em: 07 set. 2021.

JÁČKOVÁ, Kateřina; ROMPORTL, Dušan. The relationship between geodiversity and habitat richness in Šumava National Park and Křivoklátsko PLA (Czech Republic): a quantitative analysis approach. **Journal of Landscape Ecology**, v. 1, n. 1, p. 23-38, 2008.

JANSEN, Louisa JM; DI GREGORIO, Antonio. Parametric land cover and land-use classifications as tools for environmental change detection. **Agriculture, ecosystems & environment**, v. 91, n. 1-3, p. 89-100, 2002.

KLEIN, Evandro Luiz; MOURA, Candido Augusto Veloso. Síntese geológica e geocronológica do Craton São Luís e do Cinturão Gurupi na região do rio Gurupi (NE-Para/NW-Maranhão). **Geologia USP. Série Científica**, v. 3, p. 97-112, 2003.

KOT, Rafał. Zastosowanie modelowania GIS w ocenie georóżnorodności. **Problemy Ekologii Krajobrazu**, v. 38, 2014.

LANG, Stefan; BLASCHKE, Thomas. **Análise da Paisagem com SIG**, [Brazil version]. 2009.

LAWLER, Joshua J. et al. A teoria por trás e os desafios de conservar o estágio da natureza em uma época de mudanças rápidas. **Conservation Biology**, v. 29, n. 3, pág. 618-629, 2015.

LAWRENCE, Deborah; VANDECAR, Karen. Effects of tropical deforestation on climate and agriculture. **Nature climate change**, v. 5, n. 1, p. 27, 2015.

LEAL, A.C. **Meio ambiente e urbanização na microbacia do Areia Branca Campinas/SP**. 1995. 85fls. Dissertação (Mestrado), Rio Claro. 1995.

LIMA, F.C.S. **Condicionantes Geoambientais e Alternativas de Sustentabilidade - Macapá/Luis Correia - PI**. 2005. 74 fls. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2005.

MACIEL, Ana Beatriz Câmara; LIMA, Zuleide Maria Carvalho. **O conceito de paisagem: diversidade de olhares**. Sociedade e Território, p. 159-177, 2011.

MAGALHÃES, Danilo Marques. **Análise dos espaços verdes remanescentes na mancha urbana conurbada de Belo Horizonte-MG apoiada por métricas de paisagem**. 2013.

MARMONTEL, Caio Vinicius Ferreira; RODRIGUES, Valdemir Antonio. Parâmetros indicativos para qualidade da água em nascentes com diferentes coberturas de terra e conservação da vegetação ciliar. **Floresta e ambiente**, v. 22, p. 171-181, 2015.

MATEO RODRÍGUEZ, JOSÉ M. Planificación ambiental. **La Habana, Editorial Félix Varela**, 2008.

MAXIMIANO, Liz Abad. Considerações sobre o conceito de paisagem. **Raega - O Espaço Geográfico em Análise**, v. 8, 2004.

MCGARIGAL, Kevin; MARKS, Barbara J. **Spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure**. Gen. Tech. Rep. PNW-GTR-351. US Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station, p. 1-122, 1995.

MEIRELLES, Margareth Simões Penello. **Análise integrada do ambiente através de geoprocessamento: uma proposta metodológica para elaboração de zoneamentos**. Rio de Janeiro: UFRJ, 1997.

MELO, Vera Lúcia Mayrinck de Oliveira. **Geossistemas: a história de uma procura**. São Paulo: Contexto, 2001.

MENEZES, Lucidalva Andrade. Caracterização da Paisagem do Baixo curso do Rio Itapicuru, Bahia, **Sitientibus**, n. 53, 2019.

METZGER, J. P. O que é ecologia de paisagens? **Biota Neotropica**, Campinas, SP. v.1, n.1-2, 2001.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Caderno da Região Hidrográfica Atlântico Nordeste Ocidental**. Secretaria de Recursos Hídricos. Brasília: MMA, 2006. 128 p.

MONTEIRO, C. A. de F. **Geossistemas: a história de uma procura**. 2. ed. São Paulo: Contexto, 2001.

MORAES, A. C. R. **A gênese da Geografia Moderna**. São Paulo: Hucitec, EDUSP, 1989.

MORIN, Edgar; MÉTODO, O. **1: a natureza da natureza**. Lisboa: Publicações Europa-América, 1977.

NASCIMENTO, F. R.; SAMPAIO, J. L. F. Geografia Física, Geossistemas e Estudos Integrados da Paisagem. **Revista da Casa da Geografia de Sobral**, v. 6/7, n. 1, p. 167-179, 2005.

NAVARRO, Alexandre Guida. Morando no meio dos rios e lagos: mapeamento e análise cerâmica de quatro estearias do Maranhão. **Revista de Arqueologia**, v. 31, n. 1, p. 73-103, 2018.

NETO, PEDRO B. LEITE et al. Viabilidade de Pequenos Aproveitamentos para Geração de Energia Eletromotriz. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE AUTOMÁTICA, 18., 2010. **Anais do CBA[...]** 2010.

ODEODATO, Sérgio. A arte de redesenhar a paisagem perdida. **Página 22**, n. 101, p. 10-12, 2016.

OLIVEIRA, Breno Vasconcelos de. **Análise espacial dos remanescentes florestais da região do Pontal do Paranapanema-SP (UGRHI-22) sob a perspectiva da ecologia da paisagem**. 2021.

OLIVEIRA, Cristina Silva. **Estudo dos Geossistemas das Cristas quartzíticas da mantiqueira meridional: a paisagem em perspectiva multiescalar**. 2016a.

OLIVEIRA, Cristina Silva. Estrutura e distribuição espacial dos geoambientes na paisagem entre a Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN) Fazenda Serra Negra e o Parque Estadual do Ibitipoca. **Boletim Goiano de Geografia**, v. 36, n. 3, p. 521-538, 2016b.

OLIVEIRA, VA de. **Manual técnico de pedologia**. Rio de Janeiro: IBGE, 2007.

OWEN, David Thomas; PRICE, Bill; REID, Claire. **Gloucestershire Cotswolds: Geodiversity Audit & Local Geodiversity Action Plan (LGAP)**. Gloucestershire Geoconservation Trust, 2005.

PASSOS, Mádilo Lages Vieira; MENDES, Telmo José. Precipitação pluviométrica mensal e anual provável para o município de Turiaçu-MA. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 12, n. 1, p. 2283, 2018

PASSOS, M.L.V.; RAPOSO, A.B.; MENDES, T.J. Estimativa da distribuição da precipitação pluviométrica provável em diferentes níveis de probabilidade de ocorrência. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.11, n.1, p.1106-1115, 2017.

PARKS, K. E.; MULLIGAN, M. On the relationship between a resource based measure of geodiversity and broad scale biodiversity patterns. **Biodiversity and Conservation**, v. 19, n. 9, p. 2751-2766, 2010.

PEREIRA, Diamantino Insua *et al.* Geodiversity assessment of Paraná State (Brazil): an innovative approach. **Environmental management**, v. 52, n. 3, p. 541-552, 2013.

PELLITERO, Ramón *et al.* Geodiversity and geomorphosite assessment applied to a natural protected area: the Ebro and Rudron Gorges Natural Park (Spain). **Geoheritage**, v. 3, n. 3, p. 163-174, 2011.

PELLITERO, Ramón; MANOSSO, Fernando C.; SERRANO, Enrique. Mid-and large-scale geodiversity calculation in fuentes carrionas (nw Spain) and Serra do Cadeado (Paraná, Brazil): methodology and application for land management. **Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography**, v. 97, n. 2, p. 219-235, 2015.

PETRIȘOR, Alexandru-Ionut; SÂRBU, Cătălin Niculae. DYNAMICS OF GEODIVERSITY AND ECO-DIVERSITY IN TERRITORIAL SYSTEMS. **Journal of Urban & Regional Analysis**, v. 2, n. 1, 2010.

PINHEIRO, Paula Fernanda Viegas. **Fragmentação florestal em áreas protegidas na Amazônia maranhense e conservação da biodiversidade**. 2019. 59fls. Tese (Doutorado). UFRA, 2019.

PIROVANI, Daiani Bernardo; SILVA, Aderbal Gomes da; SANTOS, Alexandre Rosa dos. Análise da paisagem e mudanças no uso da terra no entorno da RPPN Cafundó, ES, **Cerne**, v. 21, p. 27-35, 2015.

PROJETO MAPBIOMAS – Coleção v.3.0 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil. Disponível em: <https://mapbiomas.org/o-projeto>. Acesso em: 05 maio 2021.

REMPEL, Robert S.; KAUKINEN, Daniel; CARR, Angus P. Patch analyst and patch grid. **Ontario Ministry of Natural Resources. Centre for Northern Forest Ecosystem Research, Thunder Bay, Ontario**, 2012.

RICHARDS, Paul Westmacott; FRANKHAM, Richard; WALSH, R. P. D. **The tropical rain forest: an ecological study**. Cambridge university press, 1996.

ROCHA, Denise Oliveira Souza. Influências das flutuações do nível do mar e mudanças climáticas na dinâmica dos manguezais do litoral Sul de Santa Catarina durante o Holoceno. 2019.

ROCHA, João Henrique; ROCHA, Sheila Mangoli. **Ambiente**. 2014.

RODRIGUES, Telmo Luiz das Neves *et al.* São Luís, Folha SA. 23-ZA, Cururupu, Folha SA. 23-XC. 1994.

RODRIGUES, V. A. Morfometria e mata ciliar da microbacia hidrográfica. *In: Workshop em manejo de bacias hidrográficas*. Botucatu: FEPAF: FCA: DRN. 2004.

RODRIGUES, Pablo José Francisco Pena; NASCIMENTO, Marcelo Trindade. Fragmentação Florestal: Breves Considerações Teóricas Sobre Efeitos de Borda. **Rodriguésia**, v. 57, p. 67-74, 2006.

RODRIGUES, Ivete; REIS, Janete Teresinha; COSTA, José Mário Leal Martins. Análise da transformação da paisagem na vertente Oeste do Alto Curso do Arroio Guabiroba/Sananduva-RS, de 1996 a 2015. **Ciência e Natura**, v. 38, n. 3, p. 1276-1284, 2016.

RODRIGUEZ, José Manuel Mateo. Análise e síntese da abordagem geográfica da pesquisa para o planejamento ambiental. **Revista do Departamento de Geografia de FFLCH/USP**. São Paulo, v. 9, 1994.

_____; SILVA, EV da; CAVALCANTI, **Agostinho Paula Brito**. **Geocologia das Paisagens**: uma visão geossistêmica da análise ambiental. Fortaleza: Editora UFC, 2017.

ROUGEIRE, G.; BEROUTCHACHVILI, N. **Geosystemes et Paysages**: Bilian et Méthodos. Paris: Armand Colin, 1991.

ROSS, Jurandy Luciano Sanches. O registro cartográfico dos fatos geomorfológicos e a questão da taxonomia do relevo. **Revista do departamento de Geografia**, v. 6, p. 17-29, 1992.

ROSSETTI, Dilce F.; GÓES, Ana M.; SOUZA, Lena SB. Estratigrafia da sucessão sedimentar Pós-Barreiras (Zona Bragantina, Pará) com base em radar de penetração no solo. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 19, n. 2, p. 113-130, 2001.

RUBAN, Dmitry A. Quantification of geodiversity and its loss. **Proceedings of the Geologists' Association**, v. 121, n. 3, p. 326-333, 2010.

SAITO, E. et al. Mineração em dados espaciais de desmatamento do prodes utilizando métricas da paisagem caso de estudo município de Novo Progresso-PA. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS E TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO, 3., 2010, Recife: [s.n.], 2010.

SANTOS, Humberto Gonçalves et al. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, DF: Embrapa, 2018.

SANTOS, Jessflan Rafael Nascimento et al. Tendências de extremos climáticos na região de transição Amazônia-Cerrado no Estado do Maranhão. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 26, 2020.

SCHIER, Raul Alfredo. Trajetórias do conceito de paisagem na geografia. **Raega - O Espaço Geográfico em Análise**, v. 7, 2003.

SCHIMPER, Andreas Franz Wilhelm. **Plant-geography Upon a Physiological Basis**. Clarendon Press, 1903.

SELBY, M.J. **Earth's changing surfasse**. Oxford: Clarendon Press, 1985.

SETTI, Arnaldo Augusto et al. Introdução ao gerenciamento de recursos hídricos. **Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica**, v. 328, 2001.

SILVA, Cassio Roberto da. **Geodiversidade do Brasil**: conhecer o passado, para entender o presente e prever o futuro. [s.l.]: CPRM, 2008.

SILVA, Juliana de Paula. **Avaliação da diversidade de padrões de canais fluviais e da geodiversidade na Amazônia-aplicação e discussão na bacia hidrográfica do Rio Xingu**. 2012. 73fls. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo. 2012

SILVA, M. L. Paisagem e geossistema: contexto histórico e abordagem teórico-metodológica. **Geoambiente On-line**, n. 11, p. 01-23, 2008.

SILVA, Matheus Lisboa Nobre da. **Geodiversidade da cidade do Natal (RN)**: valores, classificações e ameaças. 2016. 69fls. Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Federal do Rio Grande do Norte. 2016

SILVEIRA, E.L.D. **Paisagem**: um conceito chave na Geografia. EGAL-12 o Encontro. 2009.

SOTCHAVA, V. B. **Estudos dos Geossistemas**: Método em Questão. São Paulo: IGEO/USP 1977.

SOTCHAVA, Viktor Borisovich. Por uma teoria de classificação de geossistemas de vida terrestre. **Biogeografia**. São Paulo, n. 14, p. 1-24, 1978.

SOUSA, F. P. et al. Carbon and nitrogen in degraded Brazilian semi-arid soils undergoing desertification. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 148, p. 11-21, 2012.

SOUZA CAVALCANTI, Lucas Costa. **Cartografia de paisagens**: fundamentos. Oficina de Textos, 2018.

SOUZA FILHO, Pedro Walfir Martins. Costa de manguezais de macromaré da Amazônia: cenários morfológicos, mapeamento e quantificação de áreas usando dados de sensores remotos. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 23, n. 4, p. 427-435, 2005.

SUMÁRIO EXECUTIVO DO ZONEAMENTO ECOLÓGICO ECONÔMICO DO ESTADO DO MARANHÃO. **Etapa bioma amazônico**. Paulo Henrique de Aragão Catunda, Luiz Jorge Bezerra da Silva Dias (orgs.). São Luís: IMESC, 2019. 493 p.

TAMBOSI, Leandro Reverberi. **Análise da paisagem no entorno de três unidades de conservação**: subsídios para a criação da zona de amortecimento. 2008. 99fls. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo. 2008

TEIXEIRA, Sheila Gatinho; SOUZA FILHO, Pedro Walfir Martins. Mapeamento de ambientes costeiros tropicais (Golfão Maranhense, Brasil) utilizando imagens de sensores remotos orbitais. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 27, p. 69-82, 2009.

TUNDISI, José Galizia. **Água no século XXI**: enfrentando a escassez. 2003. p. 248-248.

TROPMAIR, H. **Sistemas, Geossistemas, Geossistemas Paulistas, Ecologia da Paisagem**. Rio Claro: Edição do Autor, 2004.

_____.; GALINA, M. H. Geossistemas. **Mercator, Revista de Geografia da UFC**, Fortaleza, v. 5, n. 10, 2006.

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO. Centro de Ciências Agrárias. Núcleo **Geoambiental. Bacias hidrográficas e climatologia no Maranhão**, São Luís:UEMA, 2016. 165 p.

VALENTE, Roberta de Oliveira Aversa; VETTORAZZI, Carlos Alberto. Análise da estrutura da paisagem na Bacia do Rio Corumbataí, SP Landscape structure analysis of the Corumbataí River Basin, SP, **Análise**, n. 62, p. 114-129, 2002.

VERÍSSIMO, Adalberto et al. Impactos da exploração madeireira e perspectivas para o manejo florestal sustentável em uma antiga fronteira amazônica: o caso de Paragominas. **Ecologia e manejo florestal**. v. 55, n. 1-4, pág. 169-199, 1992.

VIDOLIN, Gisley Paula; BIONDI, Daniela; WANDEMBRUCK, Adilson. Análise da estrutura da paisagem de um remanescente de floresta com Araucária, Paraná, Brasil. **Revista Árvore**, v. 35, n. 3, p. 515-525, 2011.

VITTE, A. C. O desenvolvimento do conceito de paisagem e a sua inserção na Geografia Física. **Mercator - Revista de Geografia da UFC**, v. 6, n. 11, 2007.

WHITTAKER, Robert J. *et al.* Conservation biogeography: assessment and prospect. **Diversity and distributions**, v. 11, n. 1, p. 3-23, 2005.