



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DO
MARANHÃO



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO – UEMA
CENTRO DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIAS EXATAS E NATURAIS – CECEN
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA, NATUREZA E DINÂMICA
DO ESPAÇO - PPGeo

RICARDO GONÇALVES SANTANA

**FRAGILIDADE AMBIENTAL DO RELEVO À OCUPAÇÃO URBANA NA SUB-
BACIA HIDROGRÁFICA DO RIACHO DO ANGELIM, SÃO LUÍS – MA**

São Luís
2021

RICARDO GONÇALVES SANTANA

**FRAGILIDADE AMBIENTAL DO RELEVO À OCUPAÇÃO URBANA NA SUB-
BACIA HIDROGRÁFICA DO RIACHO DO ANGELIM, SÃO LUÍS – MA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação
em Geografia da Universidade Estadual do Maranhão,
como requisito para obtenção do título de Mestre em
Geografia.

Linha de pesquisa: Dinâmica da Natureza e Conservação

Orientador: Prof.^a Dr.^a. Quésia Duarte da Silva.

São Luís
2021

Santana, Ricardo Gonçalves.
Fragilidade ambiental do relevo à ocupação urbana na sub-bacia
hidrográfica do riacho do Angelim, São Luís - MA / Ricardo Gonçalves
Santana. – São Luís, 2021.

181 f

Dissertação (Mestrado) – Curso de Geografia, Natureza e Dinâmica do
Espaço, Universidade Estadual do Maranhão, 2021.

Orientador: Profa. Dra. Quésia Duarte da Silva.

1.Fragilidade ambiental do relevo. 2.Apropriação do relevo. 3.Processos
geomorfológicos. 4.Morfodinâmica.

CDU: 504.4:551.43(812.1)

RICARDO GONÇALVES SANTANA

**FRAGILIDADE AMBIENTAL DO RELEVO À OCUPAÇÃO URBANA NA SUB-
BACIA HIDROGRÁFICA DO RIACHO DO ANGELIM, SÃO LUÍS – MA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação
em Geografia da Universidade Estadual do Maranhão,
como requisito para obtenção do título de Mestre em
Geografia.

Linha de pesquisa: Dinâmica da Natureza e Conservação

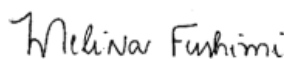
Orientador: Prof.^a Dr.^a. Quésia Duarte da Silva.

Aprovada em: 29 de Abril de 2021.

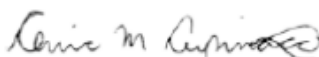
BANCA EXAMINADORA



Profa. Dra. Quésia Duarte da Silva
Universidade Estadual do Maranhão (UEMA)
(Orientadora)



Profa. Dra. Melina Fushimi
Universidade Estadual do Maranhão (UEMA)
(Avaliadora Interna)



Profa. Dra. Cenira Maria Lupinacci
Universidade Estadual Paulista (UNESP)
(Avaliadora Externa)

“Dedico esta pesquisa primeiramente a Deus, autor do meu destino, companheiro de todos os momentos. Ele alimentou a minha alma com calma e esperança durante toda a jornada; à minha mãe, família, amigos e querida orientadora Prof^a Dr^a Quésia.”

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, que me deu a vida e sabedoria. A minha mãe, Zilene, pelo amor, incentivo, e compreensão ao longo desses 27 anos. A minha querida vó “Maria Esperança”. Ao meu pai, José, pelo apoio e incentivo. Ao meu parceiro Jarlisson Bruno, pelo carinho e companheirismo, as minhas irmãs Emilly e Emanuelle, minha querida sobrinha Esther, ao meu irmão Mauro, e o meu cunhado Marcos.

À minha orientadora, Quésia Duarte, pela orientação, amizade, sábios conselhos e incentivo durante toda a pesquisa. Ao Profº Drº José Fernando Rodrigues Bezerra pelas dúvidas esclarecidas e pelo apoio.

À professora Cenira Maria Lupinacci pela participação na banca e pelas dicas valiosas que contribuíram para o êxito do trabalho.

À professora Melina Fushimi pelas conversas, pelo esclarecimento das dúvidas e participação na banca, com orientações indispensáveis para pesquisa.

Aos meus grandes amigos que a universidade me presenteou Danyella França, Dayanna Maciel, Cristiane Mouzinho, Marly e o Crystiã, pelos conselhos e por toda atenção dada. A minha turma 2019.1, pelas amizades, pelos momentos bons ao decorrer da pós-graduação. Aos moradores residentes da sub-bacia do riacho do Angelim, no médio curso da bacia hidrográfica do rio Anil, pela receptividade e credibilidade depositadas nesta pesquisa.

À Universidade Estadual do Maranhão, ao Curso de Geografia e ao Programa de Pós-graduação em Geografia, Natureza e Dinâmica do Espaço pelo acolhimento, apoio e incentivo à pesquisa; à querida secretária do PPGeo-Uema Nana Alves pelo incentivo e encorajamento.

À Fundação de Amparo à Pesquisa e Desenvolvimento Científico do Maranhão (FAPEMA), pelo apoio e incentivo, e por ter me proporcionado o primeiro contato com iniciação científica.

Ao grupo de pesquisa Geomorfologia e Mapeamento (GEOMAP), que me acolheu com muito carinho, e me proporciona aprender a cada dia. Aos meus queridos amigos Lindinalva, Ednalva, Jacilene, Edelson, Suenia, Jessiane, Estevania, Rafael, Gilberlene, Jefferson Viana e Paula Ramos pelo companheirismo e amizade durante toda esta jornada. A todos os professores que fizeram parte da minha formação no mestrado em geografia da Universidade Estadual do Maranhão. E a todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para esta pesquisa.

Obrigado!

RESUMO

A partir da atuação do ser humano de forma significativa e predatória na descaracterização das morfologias, tem-se como resultado a interferência na morfodinâmica, uma vez que o relevo é ocupado sem estudos prévios junto a fragilidade do ambiente. A fim de compreender esta dinâmica, selecionou-se a sub-bacia hidrográfica do riacho do Angelim, a qual possui 4,34 km² em sua dimensão areal, estando situada à noroeste da Ilha do Maranhão, no médio curso da bacia hidrográfica do rio Anil. Neste sentido, objetivou-se analisar a fragilidade ambiental do relevo à ocupação urbana da sub-bacia hidrográfica do riacho do Angelim, São Luís – MA. Para alcance do objetivo proposto, foi necessário a identificação dos parâmetros geoambientais que influenciam na fragilidade do relevo, dos padrões de ocupação do relevo e no entendimento das inter-relações dos aspectos naturais e sociais da área de estudo. Para sistematização da pesquisa foram realizados levantamentos bibliográficos e cartográficos, organização do ambiente de trabalho, trabalhos de campo e mapeamento temático (geologia, solos, hipsometria, declividade, curvatura, comparação da drenagem, classificação dos canais, unidades de relevo, uso e cobertura da terra, comparativo da impermeabilização, expansão urbana sobre o relevo, transgressões legais, caracterização socioeconômica da população residente e fragilidade ambiental do relevo à ocupação urbana). Considerando as propostas metodológicas selecionadas para este trabalho, com adaptações necessárias e utilizando os dados de declividade, curvatura horizontal e vertical, unidades de relevo e uso e cobertura da terra, foi gerado o mapa de fragilidade ambiental do relevo à ocupação urbana na escala de 1:10.000. A área em análise apresentou 45,6% com média fragilidade emergente e 54,4% com alta fragilidade emergente à ocupação. Em razão da escala de trabalho foram selecionados quatro setores distribuídos ao longo da sub-bacia hidrográfica do riacho do Angelim para realização de uma análise detalhada da fragilidade ambiental do relevo à ocupação urbana. Portanto, a partir da análise destes setores, observou-se a presença de moradias em áreas com declividade moderada, obstruindo as nascentes, ao longo dos cursos d'água e próximo a planície de maré. Em função da ocupação urbana, os canais de primeira ordem foram retificados e aterrados; os demais foram modificados, com redução drástica das planícies de inundação e fluvial. O que favorece o extravasamento do leito no período chuvoso, provocando as inundações. Há o direcionamento do esgotamento sanitário *in natura* para os canais fluviais e disposição irregular de resíduos sólidos ao longo da área de estudo. Estas características promovem a deflagração ou intensificação de fenômenos geomorfológicos distintos.

Palavras-chave: Fragilidade ambiental do relevo, Apropriação do relevo, Processos geomorfológicos, Morfodinâmica.

ABSTRACT

From the role of human beings in a significant and predatory way in the mischaracterization of morphologies, there is interference in morphodynamics, since the relief is occupied without previous studies along with the fragility of the environment. In order to understand this dynamic, the Angelim stream sub-basin was selected, which has 4.34 km² in its areal dimension, being located northwest of Maranhão Island, in the middle course of the Anil river hydrographic basin. In order to understand this dynamic, the Angelim stream sub-basin was selected, which has 4.34 km² in its areal dimension, being located northwest of Maranhão Island, in the middle course of the Anil river hydrographic basin . In this sense, the objective was to analyze the environmental fragility of the relief to the urban occupation of the sub-basin of the Angelim stream, São Luís – MA. To achieve the proposed objective, it was necessary to identify the geoenvironmental parameters that influence the fragility of the relief, the patterns of land cover occupation and the understanding of the interrelationships of the natural and social aspects of the study area. To systematize the research, bibliographic and cartographic surveys were carried out, organization of the work environment, fieldwork and thematic mapping (geology, soils, hypsometry, slope, curvature, drainage comparison, classification of channels, relief units, use and coverage of the land, comparison of waterproofing, urban expansion over the relief, legal transgressions, socioeconomic characterization of the resident population and environmental fragility of the relief to urban occupation). Considering the methodological proposals selected for this work, with necessary adaptations and using data on slope, horizontal and vertical curvature, relief units and land use and coverage, the environmental fragility map of relief to urban occupation was generated at a scale of 1:10.000. The area under analysis presented 45.6% with medium emergent fragility and 54.4% with high emergent fragility to occupation. Due to the scale of work, four sectors distributed along the sub-basin of the Angelim stream were selected to carry out a more detailed analysis of the environmental fragility of the relief to urban occupation. Therefore, from the analysis of these sectors, it was observed the presence of houses in areas with moderate slope, obstructing the springs, along the water courses and close to the tidal flat. Due to urban occupation, the first order canals were rectified and filled in; the others were altered, with a drastic reduction of the flood and river plains. This favors bed leakage in the rainy season, causing flooding. There is the directing of sanitary sewage in natura to river channels and irregular disposal of solid waste along the study area. These characteristics promote the deflagration or intensification of distinct geomorphological phenomena.

Keywords: Environmental fragility of the relief, Appropriation of the relief, Geomorphological processes, Morphodynamics.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01	Localização da sub-bacia hidrográfica do riacho do Angelim, São Luís-MA.....	15
Figura 02	Tipos de leitos fluviais.....	26
Figura 03	Representação dos fenômenos de enchentes, inundações e alagamentos no ambiente urbano.....	28
Figura 04	Classes de forma de terreno.....	57
Figura 05	Relação dos fluxos de água conforme as formas das vertentes.....	58
Figura 06	Níveis taxonômicos das unidades de relevo.....	60
Figura 07	Cores utilizadas no mapa de uso e cobertura da terra.....	62
Figura 08	Adaptação realizada para mapeamento da fragilidade ambiental.....	69
Figura 09	O clima e suas inter-relações.....	71
Figura 10	Comparativo das Normais Climatológicas.....	73
Figura 11	Comparação da precipitação acumulada mensal x normais climatológicas 61-9 e 81-2010 para o ano de 2017.....	74
Figura 12	Comparação da precipitação acumulada mensal x normais climatológicas 61-90 e 81-2010 para o ano de 2018.....	75
Figura 13	Comparação da precipitação acumulada mensal x normais climatológicas 61-90 e 81-2010 para o ano de 2019.....	75
Figura 14	Comparação da precipitação acumulada mensal x normais climatológicas 61-90 e 81-2010 para o ano de 2020.....	76
Figura 15	Comparação da precipitação acumulada entre os anos 2017, 2018, 2019 e 2020.....	76
Figura 16	Unidades Litoestratigráficas da sub-bacia hidrográfica do riacho do Angelim.....	78
Figura 17	Classes de Solos da sub-bacia hidrográfica do riacho do Angelim de acordo com Silva (2012).....	82
Figura 18	Classes de Solos da sub-bacia hidrográfica do riacho do Angelim de acordo com Shinzato, Dantas e Ferreira (2018).....	86
Figura 19	Mapa comparativo da hierarquia fluvial entre os anos 1980 e 2020 da sub-bacia hidrográfica do riacho do Angelim.....	88
Figura 20	Representação dos canais aterrados na área de estudo.....	89
Figura 21	Tipos de canais da sub-bacia hidrográfica do riacho do Angelim.....	90
Figura 22	Representação dos canais mistos.....	91
Figura 23	Representação dos canais abertos.....	91
Figura 24	Mapa de uso e cobertura da terra dos anos 1975 e 2019 da sub-bacia hidrográfica do riacho do Angelim.....	98
Figura 25	Expansão urbana sobre o relevo entre os anos de 1975 e 2020 da sub-bacia hidrográfica do riacho do Angelim.....	100
Figura 26	Mapa de impermeabilização do solo anos 1975 e 2019 da sub-bacia hidrográfica do riacho do Angelim.....	102
Figura 27	Uso e cobertura da terra da sub-bacia hidrográfica do riacho do Angelim.....	104
Figura 28	Padrões de uso e cobertura do riacho do Angelim.....	106
Figura 29	Mapa de transgressões legais da sub-bacia hidrográfica do riacho do Angelim.....	109
Figura 30	População estimada da sub-bacia hidrográfica do riacho do Angelim.....	112
Figura 31	Espacialização dos residentes alfabetizados por setor censitário na sub-bacia hidrográfica do riacho do Angelim.....	114

Figura 32	Comparativo da população considerando os parâmetros baixa e média/alta renda.....	115
Figura 33	Espacialização das residências com esgotamento sanitário a céu aberto por setor censitário na sub-bacia hidrográfica do riacho do Angelim.....	117
Figura 34	Espacialização das residências com esgotamento sanitário via canal fluvial por setor censitário.....	118
Figura 35	Esgotamento sanitário a céu aberto via canal fluvial.....	119
Figura 36	Espacialização das residências com descarte de resíduos sólidos nos canais fluviais por setor censitário na sub-bacia hidrográfica do riacho do Angelim.....	120
Figura 37	Espacialização das residências com descarte de resíduos sólidos em terrenos baldios ou logradouros por setor censitário na sub-bacia hidrográfica do riacho do Angelim.....	121
Figura 38	Descarte de resíduos sólidos no canal fluvial.....	122
Figura 39	Descarte de resíduos sólidos em terreno baldio nas proximidades do lago...	122
Figura 40	Hipsometria da sub-bacia hidrográfica do riacho do Angelim.....	124
Figura 41	Perfil topográfico A – B.....	126
Figura 42	Perfil topográfico C – D.....	127
Figura 43	Classes de declividade da sub-bacia hidrográfica do riacho do Angelim.....	130
Figura 44	Representação da orientação das vertentes e curvatura horizontal.....	131
Figura 45	Representação da curvatura vertical.....	132
Figura 46	Formas do terreno da sub-bacia hidrográfica do riacho do Angelim.....	134
Figura 47	Representação dos fluxos de águas pluviais nas classes de formas do terreno	136
Figura 48	Situação atual das unidades de relevo do riacho do Angelim.....	140
Figura 49	Unidades de relevo da sub-bacia hidrográfica do riacho do Angelim.....	142
Figura 50	Representação das unidades de relevo da sub-bacia hidrográfica do riacho do Angelim.....	143
Figura 51	Pontos de observação da sub-bacia hidrográfica do riacho do Angelim.....	145
Figura 52	Pontos de observação 1 – 2 – 3.....	146
Figura 53	Pontos de observação 4 – 5 – 6 – 7.....	148
Figura 54	Fragilidade Ambiental à ocupação urbana na sub-bacia hidrográfica do riacho do Angelim.....	151
Figura 55	Fragilidade ambiental à ocupação urbana na Rua Belo Horizonte – Novo Angelim.....	153
Figura 56	Síntese da fragilidade ambiental à ocupação urbana na Rua Belo Horizonte – Angelim.....	154
Figura 57	Fragilidade ambiental à ocupação urbana na Rua da Paz – Bequimão	156
Figura 58	Síntese fragilidade ambiental à ocupação urbana na Rua da Paz – Bequimão.....	157
Figura 59	Fragilidade ambiental à ocupação urbana na Avenida Jerônimo de Albuquerque – Angelim.....	160
Figura 60	Síntese da fragilidade ambiental à ocupação urbana na Avenida Jerônimo de Albuquerque – Angelim	161
Figura 61	Fragilidade ambiental à ocupação urbana na Rua Tarquínio Lopes – Angelim.....	162
Figura 62	Síntese da fragilidade ambiental à ocupação urbana na Rua Tarquínio Lopes – Angelim.....	163

LISTA DE TABELAS E QUADROS

Tabela 01	Definições da Fragilidade Ambiental, em estudos ambientais, encontrados na literatura científica.....	45
Tabela 02	Análise das classes declividade para composição da fragilidade ambiental em ambiente urbano.....	48
Tabela 03	Análise das classes declividade para composição da fragilidade ambiental em ambiente urbano.....	48
Tabela 04	Proposta para classes de fragilidade dos solos adaptada de Ross (1994).....	49
Tabela 05	Proposta elaborada para fragilidade quanto ao nível de urbanização.....	50
Tabela 06	Classes de declividades utilizadas na área objeto de estudo.....	56
Tabela 07	Classes de Solos da sub-bacia hidrográfica do riacho do Angelim de acordo com Silva (2012).....	83
Tabela 08	Classes de Solos da sub-bacia hidrográfica do riacho do Angelim de acordo com Shinzato, Dantas e Ferreira (2018).....	85
Tabela 09	Unidades de relevo da sub-bacia hidrográfica do riacho do Angelim.....	137
Quadro 01	Processos antropogênicos diretos e indiretos.....	20
Quadro 02	Diferenças entre os conceitos de enchentes, inundações, alagamentos e enxurradas.....	27
Quadro 03	Atividades antrópicas geram novos padrões de comportamento morfodinâmico.....	40
Quadro 04	Fluxos resultantes de acordo com as formas do terreno.....	58
Quadro 05	Classificação dos canais de drenagem após passar por modificações.....	59
Quadro 06	Classes de usos da terra.....	62
Quadro 07	Variáveis censitárias para a elaboração dos mapas dos aspectos sociais.....	65
Quadro 08	Pesos atribuídos para classes de declividade e morfologias.....	70
Quadro 09	Pesos atribuídos para classes formas do terreno e uso e cobertura da terra...	70
Quadro 10	Coluna estratigráfica da sub-bacia hidrográfica do riacho do Angelim.....	79
Quadro 11	Síntese de ocupação da bacia hidrográfica do rio Anil.....	94
Quadro 12	Formas do Terreno.....	133
Quadro 13	Formas do terreno da sub-bacia hidrográfica do riacho do Angelim.....	136

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	13
1 GEOMORFOLOGIA URBANA: o ser humano como agente modificador do relevo.....	17
1.1 Bacias Hidrográficas Urbanas.....	24
1.2 A Paisagem e a Fisiologia da Paisagem.....	32
2 A INFLUÊNCIA DA APROPRIAÇÃO DO RELEVO NA MORFODINÂMICA.....	35
2.1 Breves considerações sobre a Ecodinâmica.....	40
2.2 Fragilidade Ambiental.....	43
3 PROCEDIMENTOS TÉCNICOS-OPERACIONAIS.....	52
4 DINÂMICA GEOAMBIENTAL DA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIACHO DO ANGELIM.....	71
4.1 Propriedades fisiográficas da área.....	71
4.2 Uso e cobertura da terra.....	92
4.3 Características socioeconômicas da população residente na área objeto de estudo.....	110
5 A GEOMORFOLOGIA URBANA NO RIACHO DO ANGELIM.....	123
5.1 Aspectos hipsométricos.....	123
5.2 Características da declividade.....	128
5.3 Formas de terreno.....	131
5.4 Unidades de relevo.....	136
6 FRAGILIDADE AMBIENTAL DO RELEVO À OCUPAÇÃO URBANA NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIACHO DO ANGELIM.....	149
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	165
REFERÊNCIAS	

INTRODUÇÃO

A análise da fragilidade no contexto urbano é um tema fundamental para o planejamento ambiental, pois investiga as áreas frágeis, com intuito de diagnosticá-las em virtude da ocupação. Logo, a fragilidade ambiental considera a dinâmica e o funcionamento dos ambientes, tendo em vista as transformações promovidas pelas ações humanas. A forma de observação da paisagem, com o avanço da literatura especializada, tornou-se dinâmica, uma vez que, antes era baseada na descrição dos elementos, daquilo que se observava, e hoje, adicionou-se as interações entre os elementos naturais, artificiais, socioeconômicos e culturais.

Em analogia a outros processos naturais e antrópicos, as intervenções provocadas pelo uso urbano sobre o relevo podem promover excessivas transformações na paisagem. Assim, ambientes frágeis como planície fluvial e de inundação, leitos dos canais e fundos de vale, são ocupados alterando a forma natural do relevo.

Diante dos problemas ambientais decorrentes da ocupação urbana, Ross (1994) sinaliza que a fragilidade dos ambientes naturais face às intervenções humanas é maior ou menor em função de suas características genéticas. A identificação destes ambientes e suas fragilidades proporcionam uma melhor definição das diretrizes e ações a serem implementadas em uma determinada localidade (SPORL E ROSS, 2006).

Rodrigues (2004) complementa que as ações dos seres humanos no ambiente possuem um alto nível de transgressões, que podem ser executadas em um curto espaço de tempo, remetendo-se à um tempo histórico. Desta forma, torna-se necessária a discussão das ações antrópicas e suas derivações, considerando as alterações realizadas no ambiente.

Conforme Caseti (1991, p. 10), “a forma de apropriação e transformação da natureza responde pela existência dos problemas ambientais, cuja origem encontra-se determinada pelas próprias relações sociais”. Sendo assim, os estudos relacionados a ocupação do relevo e suas consequências são de extrema importância nas mais diversas localidades, sobretudo nas áreas de grande contingente populacional.

A falta ou políticas públicas ineficientes influenciam no processo de ocupação das áreas urbanas e rurais. A expansão urbana acelerada implica em problemas de ordem ambiental e social, uma vez que a crescente urbanização não planejada faz com que os menos favorecidos ocupem de forma inadequada áreas que deveriam ser protegidas segundo a legislação. Nas bacias hidrográficas, os problemas ambientais intensificam-se de acordo com a forma de ocupação em determinadas morfologias que apresentam dinâmicas distintas.

As bacias hidrográficas passam por grandes transformações para implantação das cidades, passando por modificações incisivas, muitas vezes sem levar em consideração suas características fisiográficas e do uso e cobertura da terra, sendo que um dos motivos que contribuem para que estas intervenções ocorram, é o crescimento populacional e o processo desigual de produção do espaço urbano.

No município de São Luís, na ilha do Maranhão, observa-se este aumento de habitantes, pois a cidade apresentou um grande crescimento populacional de 1960 a 2010, de 159.628 passando para 1.014,837 habitantes (IBGE, 2011). De acordo com o IBGE (2020), atualmente São Luís possui uma população estimada de 1.108.975 habitantes; com esse aumento populacional desde 1960 até o presente momento, ocorreram inúmeras ocupações, desconsiderando as características naturais dos ambientes, no que resulta na ocorrência e intensificação dos processos geomorfológicos. As populações tratadas nesta dissertação se referem aos diversos agentes sociais envolvidos no processo de produção do espaço urbano.

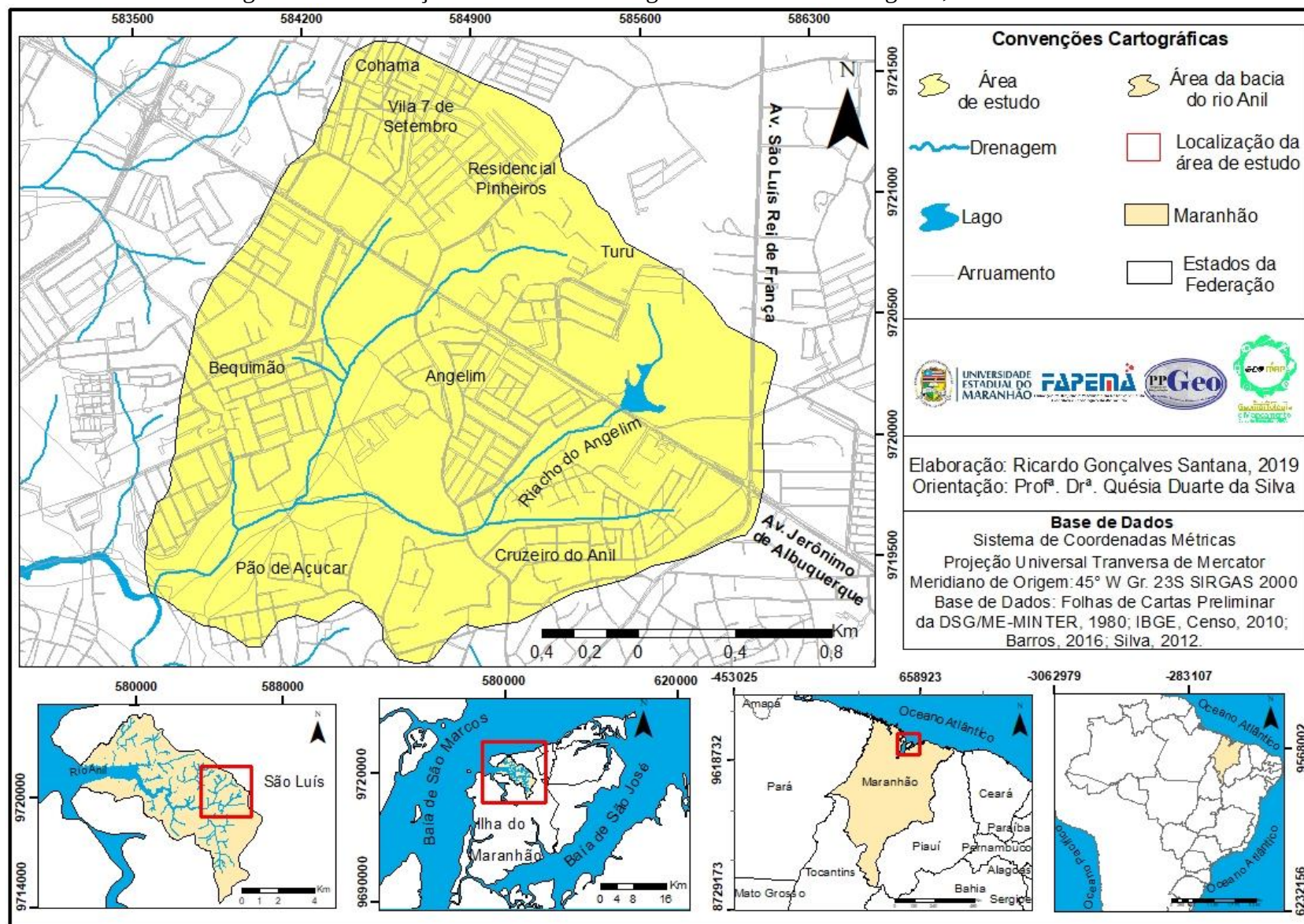
Em decorrência deste crescimento populacional, a população municipal se apropriou e ocupou compartimentos geomorfológicos específicos, efetuando alterações na paisagem que geraram consequências ambientais adversas. É válido ressaltar que as contradições sociais também não estão desvinculadas desse crescimento populacional. Um exemplo bastante claro é a formação de aglomerados subnormais¹ em áreas de morros, encostas, planície de maré, planície de inundação e áreas de nascentes, um problema recorrente em várias cidades brasileiras. Portanto, compreender e aprofundar os estudos calcados na relação entre o relevo e a sociedade faz-se importante e necessário para considerar a complexa gama estrutural que envolve a relação sociedade-natureza.

A partir desses pressupostos, propõe-se estudar a sub-bacia hidrográfica do riacho do Angelim, uma vez que após pesquisas, observou-se a carência de estudos em âmbito municipal e local com a temática “Fragilidade Ambiental em áreas urbanas”. Destaca-se também o fato de ser uma bacia hidrográfica intensamente urbanizada e com ocorrência de diversos processos geomorfológicos, com destaque para as inundações e alagamentos.

A área objeto de estudo encontra-se na Ilha do Maranhão, no município de São Luís, no médio curso da bacia hidrográfica do rio Anil, denominada sub-bacia hidrográfica do riacho do Angelim com uma área de 4,33 km² (Figura 1).

¹De acordo com o IBGE (2020) aglomerado subnormal é uma forma de ocupação irregular de terrenos de propriedade alheia – públicos ou privados – para fins de habitação em áreas urbanas e, em geral, caracterizados por um padrão urbanístico irregular, carência de serviços públicos essenciais e localização em áreas restritas à ocupação.

Figura 1 – Localização da sub-bacia hidrográfica do riacho do Angelim, São Luís - MA



Fonte: Própria pesquisa, 2019

A presente pesquisa tem como objetivo principal: “Analisar a fragilidade ambiental do relevo à ocupação urbana da sub-bacia hidrográfica do riacho do Angelim, São Luís – MA”.

Os objetivos específicos são:

- Analisar os parâmetros geoambientais que influenciam na fragilidade ambiental do relevo;
- Identificar os padrões de ocupação do relevo na área de estudo;
- Analisar as inter-relações dos aspectos naturais e sociais da sub-bacia hidrográfica do riacho do Angelim.

Para alcance dos objetivos e assim estabelecer os resultados da pesquisa foram realizados os seguintes procedimentos: levantamentos bibliográficos e cartográficos, organização do ambiente de trabalho, trabalhos de campo, mapeamento temático (unidades litoestratigráficas, solos, hipsometria, declividade, formas do terreno, drenagem, classificação dos canais, unidades de relevo, usos da terra, impermeabilização, expansão urbana sobre o relevo e transgressões legais), caracterização socioeconômica da população residente e fragilidade ambiental do relevo à ocupação urbana.

A dissertação está organizada em seis capítulos. O primeiro trata da geomorfologia como a ciência que estuda as formas de relevo, com ênfase na geomorfologia urbana. Foi escrito um texto sobre o ser humano como agente modificador do relevo; as bacias hidrográficas urbanas; a concepção da paisagem e por fim a compreensão da fisiologia da paisagem para o entendimento dos processos recentes que atuam sobre o relevo. O segundo capítulo trata dos seguintes temas: a influência da apropriação do relevo na morfodinâmica; a ecodinâmica; e a fragilidade ambiental. No terceiro capítulo foi realizada uma descrição dos procedimentos para o alcance dos objetivos.

O quarto capítulo apresenta as características físicas da área, considerando o clima, as características litológicas, comparação da drenagem, a classificação dos canais mediante as modificações realizadas pelos seres humanos. De acordo com o uso e cobertura da terra, tem-se a discussão das ações transgressivas à legislação. Realizou-se uma caracterização socioeconômica na área de estudo, afim de compreender a dinâmica de ocupação da área. No quinto capítulo tem-se a análise das características geomorfológicas urbanas da área, discutindo a hipsometria, declividade, formas do terreno e as unidades de relevo. No capítulo seis foi feita abordagem sobre a fragilidade ambiental do relevo à ocupação urbana na sub-bacia hidrográfica do riacho do Angelim e foram espacializadas quatro áreas para melhor discussão do tema.

1. GEOMORFOLOGIA URBANA: o ser humano como agente modificador do relevo

A partir da revolução industrial, no início do século XIX, as cidades que eram consideradas pequenas e médias passaram a receber um contingente populacional significativo. Este crescimento urbano acelerado é considerado um dos responsáveis pelas transformações dos ambientes naturais.

Guerra e Marçal (2006, p. 28) afirmam que “o rápido crescimento causa uma pressão significativa sobre o meio físico urbano, tendo as consequências mais variadas”, podendo provocar efeitos ambientais adversos.

Diante das intervenções do ser humano na natureza, destaca-se aqui a apropriação do relevo, pois a partir da ocupação de compartimentos geomorfológicos (tabuleiros, colinas, planícies, depósitos de mangue etc.) com processos dinâmicos específicos, são adicionadas novas características a estes componentes.

Partindo do pressuposto que o relevo é fruto da relação das forças endógenas e exógenas da Terra, ele é considerado por Ross (2000) como um componente do meio natural, onde apresenta uma diversidade enorme de tipos e formas.

O relevo decorre das ações das forças ativas e passivas dos processos endógenos e das forças ativas e passivas dos processos exógenos sendo, portanto, o palco onde os homens desenvolvem suas atividades e organizam seus territórios (GUERRA E CUNHA, 2000, p. 295).

É sobre o relevo que a população fixa moradia, independente se existe ou não um planejamento adequado para orientar à ocupação. Sendo assim, o relevo passa, portanto, pela compreensão de algo maior que é a paisagem (ROSS, 2000).

O relevo e seu modelado representam o fruto da dinamicidade entre os processos físicos e os agentes sociais atuantes, que ocorrem de modo contraditório e dialético a partir da análise integrada das relações processuais de uma escala de tempo geológica para a escala histórica ou humana (JORGE, 2011, p. 119).

Considerando as inter-relações entre o relevo e o ser humano, destaca-se a relevância da análise dessa dinamicidade; dentre as várias ciências que podem analisar o relevo, podemos evidenciar a Geomorfologia.

A respeito da importância do estudo do relevo, tem-se que

A análise do relevo é importante não só para a própria Geomorfologia, mas também para as outras ciências da terra que estudam os componentes da superfície terrestre (rochas, solos, vegetação e água), bem como na definição da fragilidade/vulnerabilidade do meio ambiente e no estabelecimento de legislação para sua ocupação e proteção (FLORENZANO, 2008, p. 11).

Através dessa linha de pensamento, pode-se afirmar que a ciência geomorfológica é de grande importância para o entendimento do relevo, sendo capaz de referir-se a ambientes naturais ou urbanos. Estando ou não estes sob as estruturas urbanas, surge a preocupação de estudá-los mediante uma nova ótica, a ação antrópica. Destarte, Guerra (2018, p. 271) complementa que

A Geomorfologia se preocupa com os processos atuantes na superfície terrestre. Dessa forma, qualquer atividade que modifique as formas de relevo, induzem movimentação de materiais, ou alteram a quantidade e qualidade de água e a rede de drenagem, onde estão situadas (GUERRA, 2018, p. 271).

O objeto de estudo da Geomorfologia pode ser descrito através das seguintes variáveis: a morfologia, que integra a morfografia, sendo a descrição qualitativa das formas de relevo; a morfometria, que seria a caracterização do relevo por meios de variáveis quantitativas, também denominadas índices morfométricos; a morfogênese, referindo-se a origem e desenvolvimento das formas de relevo; a morfodinâmica, estudo dos processos atuais (ativos), endógenos e exógenos que atuam nas formas de relevo; e a morfocronologia, que trata da idade absoluta e relativa, das formas de relevo, e aos processos a elas relacionadas (FLORENZANO, 2008).

A partir das modificações realizadas pelo ser humano para a implantação das cidades e dos problemas advindos destas atividades, tem-se uma subdivisão da Geomorfologia em várias subáreas de conhecimento. A Geomorfologia urbana trata da ação dos processos sobre o ambiente urbano.

A necessidade de se explorar essa nova subdivisão da Geomorfologia deve-se à preocupação com as diversas mudanças que o homem tem provocado no meio, já que grande parte dos problemas enfrentados pela sociedade refere-se a problemas visíveis nas cidades (JORGE, 2011, p. 117).

Para Jorge (2011), a Geomorfologia Urbana busca entender em que medida as transformações impostas pelo ser humano podem ser responsáveis pela aceleração de certos processos geomorfológicos.

De acordo com Goudie e Viles (1997) a Geomorfologia Urbana é uma área de conhecimento que analisa a correlação existente entre os problemas ambientais provenientes da ocupação humana e os elementos do meio físico. Guerra e Marçal (2006) evidenciam o trabalho desses autores, enfatizando que

A Geomorfologia Urbana procura compreender a relação existente entre a combinação dos fatores do meio físico (chuvas, solos, encostas, redes de drenagem, cobertura vegetal etc.) e os impactos provocados pela ocupação humana, que induzem e/ou causam a detonação e aceleração dos processos geomorfológicos,

muitas vezes assumindo um caráter catastrófico (GUERRA E MARÇAL, 2006, p. 30).

As modificações realizadas pelo ser humano para a implantação das cidades afetam diretamente o relevo, a dinâmica hidrológica, os solos e a cobertura vegetal. Segundo Barbosa (2015, p. 37) “a Geomorfologia Urbana é uma especialidade da Geomorfologia que vem para explicar as transformações provocadas pelo homem no meio físico, em sítios urbanos”.

A diferença fundamental para outras abordagens é a consideração da própria interferência antrópica como ação geomorfológica, ação essa que pode: modificar propriedades e localização dos materiais superficiais; interferir em vetores, taxas e balanços dos processos e gerar, de forma direta e indireta, outra morfologia[...] (RODRIGUES, 2005, p. 101).

Silva (2011) corrobora que além destes fatos, ressalta-se toda gama de problemas ambientais relacionados aos solos e ao relevo que ocorrem nas áreas urbanas motivados pela ocupação de encostas e fundos de vale.

Em comparação a outros fenômenos naturais e antrópicos, as intervenções provocadas pelo uso urbano sobre o relevo podem provocar intensas transformações na paisagem (NIR, 1983). Além disso, estas modificações possuem algumas características únicas, como concentração e densidade, a influência e disparidade dos fatores econômicos e de engenharia, os quais estão relacionados ao uso de técnicas e tecnologia na ocupação do relevo (CHENGTAI, 1996).

Drew (2010) acrescenta que é no ambiente urbano onde as mudanças induzidas pelo homem podem ser mensuráveis e nítidas. Dado que todos os aspectos do ambiente são alterados pela urbanização e industrialização, sendo eles: o relevo, o uso e cobertura da terra, a vegetação, a fauna, a hidrografia e o clima, estas mudanças feitas pelas atividades humanas são locais e intensivas.

A capacidade de alteração antrópica é tão significativa que, Peloggia (1998) relacionou os efeitos da ação humana ao quarto (tipos de forma de relevo), quinto (tipos de vertentes) e sexto táxon (formas de processos atuais), segundo a classificação taxonômica do relevo de Ross (1992).

A ação humana torna-se, portanto, fator chave na morfodinâmica dos ambientes naturais, à medida que o homem ocupa áreas impróprias ao assentamento urbano como, encostas íngremes, fundos de vale e, também, quando impermeabiliza o solo, modificando os padrões de infiltração, escoamento superficial e vazão das drenagens, além de interferir no ciclo hidrológico (THOMAZINI, 2013, p. 26).

A compreensão do homem como um agente geomorfológico tem evoluído ao longo do tempo. Vários campos da ciência têm contribuído com este avanço, como a Geografia, a Geologia e as Ciências da Terra (PELOGGIA, 2005).

Felds (1958) colocou em evidência que, quanto maior o conhecimento acerca das tecnologias, maior será a capacidade do ser humano em realizar intervenções no meio físico. Diante disso, torna-se necessário colocar a ação geomorfológica do ser humano sob o mesmo plano das mudanças realizadas pela natureza.

Brown (1971, p. 14) complementa que “como a população do mundo tem crescido e continua crescendo os efeitos geomorfológicos do homem tem aumentado e continuarão a aumentar proporcionalmente”. Logo, destaca-se a inserção do ser humano nos processos exógenos, pois a ação humana passa a operar na modelagem do relevo, o que altera formas de relevos já existentes que foram modelados ao longo de um tempo geológico e podem gerar novas formas no presente, evidenciando o tempo histórico relativo à vida humana.

Goudie (1993, 2004 e 2006) e Goudie e Viles (1997) destacam as consequências da ação humana sobre o meio natural, ação esta que resulta na criação de diversos problemas neste ambiente. Assim sendo, Goudie (1993) considera a ação humana como processos antropogênicos que se subdividem em diretos e indiretos (Quadro 1).

Quadro 1 - Processos antropogênicos diretos e indiretos

Processos Antropogênicos Diretos	Processos Antropogênicos Indiretos
A construção: com revolvimento do solo, moldagem, aragem e terraceamento.	Aceleração da erosão e sedimentação: devido à retirada de cobertura vegetal, atividade agrícola, obras de engenharia (especialmente com a construção de estradas e urbanização) e modificações acidentais no regime hidrológico.
A escavação: com cortes de encostas, mineração, explosão de material coeso ou não coeso e abertura de crateras.	Subsidência: resultante de atividades de mineração, bombeamento de água subterrânea e derretimento de áreas de permafrost.
A interferência hidrológica: com inundações, represamentos, construção de canais, drenagem artificial, alterações dos canais e proteção costeira.	Colapso de encosta: deslizamento, fluxo e rastejamento acelerado causado pela carga de material;
	Geração de tremores: provocados pela carga de reservatórios e lubrificação ao longo de planos de blocos.

Fonte: Adaptado de Franzin, 2018.

Souza e Pereira (2015, p. 33) reiteram que as “alterações provocadas pelo homem na superfície terrestre, planejadas ou não, têm se tornado objetos especiais de estudos da Geomorfologia, considerando o homem como agente geomorfológico”.

Observa-se a importância da cobertura vegetal, uma vez que, ao retirá-la, o ser humano inicia o processo de esculturação da paisagem de forma predatória, sem levar em consideração a dinâmica geomorfológica de uma determinada área, o que contribui para a

aceleração ou aparecimentos dos fenômenos geomorfológicos (erosão, enchentes, inundação e alagamentos).

Compreende-se, portanto, que a intensidade das modificações impostas pelo ser humano depende do esforço aplicado ao ambiente natural, que varia de acordo com as técnicas empregadas, com o contingente populacional e com a condição econômica (HAFF, 2001).

Rodrigues (2004), ao tratar da urbanização da cidade de São Paulo na perspectiva da Geomorfologia, afirma que, as atividades humanas proporcionam alterações nas características das formas, nas propriedades, na disposição dos materiais, magnitude, movimentos, relevância, periodicidade e posicionamento dos processos superficiais.

Pode-se considerar que a ação humana chegou a um estágio no qual os efeitos geológicos e geomorfológicos se acumulam em quantidade e se diversificam em qualidade, havendo a possibilidade de apontar um novo período geológico para caracterizar a época, o tecnógeno, período em que a atividade humana passa a ser qualitativamente diferenciada da atividade biológica, provocando o desencadeamento de processos, cujas intensidades ultrapassam os processos naturais (PELOGGIA, 2005).

O ambiente geomorfológico urbano, de acordo com Chengtai (1996), é constituído pelas formas físicas, formas artificiais e formas físicas e artificiais:

- As formas físicas são relevos modificados principalmente pelos agentes exógenos e endógenos, com pouco ou nenhuma influência humana.

- As formas artificiais são relevos resultantes das atividades humanas. Em geral, as formas de relevo artificiais são feitas de vários materiais de construção, em formas óbvias, e se tornam uma parte importante em um ambiente geomorfológico urbano. Estas formas causam um grande impacto nas características hidrológicas e geomorfológicas da Terra.

- As formas físicas e artificiais dizem respeito aos resultados de uma ação comum dos agentes exógenos e artificiais. São formas de relevo físicas alteradas pelo ser humano, como as áreas verdes urbanas, os gramados artificiais e os canais alterados. De forma geral, é uma coexistência das formas físicas e as formas artificiais em um mesmo ambiente.

Franzin (2018, p. 18) afirma que “o relevo como suporte físico para a urbanização é um elemento transformado da paisagem, devido aos vínculos estabelecidos pela sociedade no território, para atender as necessidades de moradia, alimentação, transporte, lazer, trabalho etc”.

O crescimento populacional rápido, espontâneo e desordenado, muito comum nas cidades brasileiras, principalmente nos centros urbanos de grande e médio porte, gera a

ocupação de áreas periféricas, por vezes impróprias à urbanização, desconsiderando os limites impostos pelas características do relevo (FRANZIN, 2018).

Ao apropriar e ocupar o relevo, a sociedade passa a interferir de forma direta e acelera os processos geomorfológicos atuantes. Assim, as diferentes morfologias do relevo passam por um intenso processo de esculturação, modificando suas formas iniciais e consequentemente alterando a paisagem.

As transformações sociais, econômicas e ambientais em consonância com o desenvolvimento tecnológico e científico evidentes no momento histórico atual, tem induzido as pesquisas geomorfológicas a realizar análises dos processos morfodinâmicos em vez de estudos direcionados aos processos morfogenéticos (SUERTEGARAY E NUNES, 2001).

Diante disso, na interpretação do relevo o fator tempo não pode ser esquecido, devendo-se lembrar que a escala de tempo – geológico e histórico/humano – implica diferentes percepções e formas do relevo.

[...]o tempo que produz o relevo é hoje um tempo que exige a compreensão do desenvolvimento social da humanidade, do momento atual de crescimento, implicado na estreita relação de ciência e tecnologia. Estas produzem objetos técnicos capazes de acelerar o tempo do que fazer e, acelerando o tempo, modificam processos qualitativa ou quantitativamente (SUERTEGARAY E NUNES, 2001 p.19).

A categoria tempo fragmenta-se em duas perspectivas que torna possível realizar uma análise detalhada do relevo e dos processos atuantes sobre este. A divisão consiste em: um tempo que escoia (prevalece a morfogênese) e um tempo que faz (predomina a morfodinâmica). Neste sentido, indica-se que a forma geomorfológica é o resultado de processos do passado e do presente (SUERTEGARAY E NUNES, 2001; SUERTEGARAY, 2009; SUERTEGARAY, 2018).

O tempo que escoia é considerado como um tempo longo (geológico). Neste tempo, torna-se necessário a compreensão da morfogênese, ou seja, entender a origem das formas (SUERTEGARAY, 2018).

O tempo que faz não é mais o tempo das regularidades, da uniformidade dos processos. O tempo que faz é o tempo das irregularidades, dos episódios catastróficos, dos eventos esporádicos, dos ritmos e das variabilidades. É também um tempo que introduz no que fazer da natureza a dimensão antropogênica, não levada em conta quando nos detemos a refletir na ótica do tempo que escoia (SUERTEGARAY, 2018 p.90).

O tempo que faz é visto como um tempo curto quando comparado ao tempo que escoia. Mediante estas concepções a análise do relevo pela ótica do tempo é de grande importância nesta pesquisa porque nos torna capazes de observar as alterações feitas pelo ser humano, o que resulta na intensificação de processos naturais.

Segundo Kohler (2001, p. 32) “um relevo, na maioria das vezes, foi elaborado por processos policíclicos, modelado por diferentes processos em diferentes escalas temporais”. Desta forma, as alterações das formas de relevo ocorrem através da ação simultânea dos processos endógenos e exógenos, sendo que nos exógenos destaca-se a ação do ser humano sobre ele, uma vez que a paisagem natural que existia em determinado ambiente (considerando um tempo longo) foi alterado de acordo com as perspectivas do ser humano (tempo curto), originando diversos transtornos ambientais.

Os problemas ambientais são procedentes da forma de apropriação e transformação da natureza, cuja origem encontra-se determinada pelas próprias relações sociais (CASSETI, 1991). Uma das consequências da interferência do ser humano no meio é a alteração dos processos de dinâmica superficial que modelam o relevo.

As alterações nas formas de relevo são bastante frequentes no ambiente urbano, isso decorre da dinâmica de produção do espaço urbano. Os agentes responsáveis pela produção desse espaço apropriam-se dos compartimentos geomorfológicos, sejam eles topos, vertentes ou fundos de vale, realizam a retirada da cobertura vegetal, fazem obras de terraplanagem que envolvem cortes e aterros nas vertentes. Essa dinâmica de ocupação remodela os compartimentos do relevo e aceleram os processos responsáveis pela sua esculturação, provoca também alterações nos fluxos, sejam eles de águas (pluviais, servidas, fluviais), ou de sedimentos (terra) (MIYAZAKI, 2014, p. 77).

Para Fujimoto (2008), as intervenções antrópicas são realizadas na maioria das vezes para se obter superfícies planas para posterior incremento topográfico por construções ou edificações.

A apropriação de diversos compartimentos (como espigões, fundos de vale, vertentes etc.) que se intensifica no tempo e no espaço, não simplesmente pela necessidade de ocupar, mas, sobretudo dentro de uma lógica determinada pelas relações de produção, podem provocar diversos problemas ambientais (CASSETI, 1991).

De acordo com Miyazaki (2014, p. 69) “a maneira como a sociedade se apropria dos elementos naturais, na maioria das vezes, ocorre de forma predatória”. Os fundos de vales em áreas urbanas geralmente passam por diversas transformações, uma vez que são retificados, canalizados, aterrados etc.

São as relações políticas e econômicas (relações homem-homem), que implicam diretamente na apropriação e ocupação do relevo (relação homem-natureza) e por meio destes é que teremos as mais diferentes manifestações de impactos (PEDRO, 2008).

Para Fujimoto (2008, p. 81) diversas interferências decorrentes do processo de urbanização são responsáveis pela mudança dos fluxos naturais:

[...] cortes, os aterros, as canalizações de águas que surgem em ambientes urbanos redirecionam os fluxos hídricos existentes e criam novos padrões de drenagem. Essas alterações proporcionam, por um lado, um aumento do escoamento superficial, pois não permitem a infiltração da água no solo e criam verdadeiros leitos pluviais nas ruas durante eventos chuvosos. Neste sentido, o funcionamento das vertentes a partir dos fluxos superficiais e subsuperficiais tende a sofrer alterações (FUJIMOTO, 2008, p. 80).

Miyazaki (2014) afirma que essas intervenções implicam basicamente em corte e/ou aterros desenvolvidos na morfologia original, portanto, os materiais superficiais ficam expostos às intemperes do tempo, que podem remanejar os materiais superficiais por meio das enxurradas provocadas pelas chuvas torrenciais de verão e o solo impermeabilizado.

A ação do ser humano sobre o relevo gera alterações em vários compartimentos, sejam eles, topos, vertentes, drenagens fluviais e depósitos de mangues etc. Desta forma, estes compartimentos possuem um grau de fragilidade diante da ocupação urbana e apresenta em sua morfodinâmica processos geomorfológicos específicos. Nesta perspectiva, ao dialogar com a geomorfologia urbana considerando o ser humano como um agente geomorfológico, destaca-se tal capacidade, pois será possível a compreensão das consequências geradas a partir da intensa atividade humana nas bacias hidrográficas.

1.1 Bacias Hidrográficas Urbanas

O ser humano transforma os ambientes naturais de acordo com as suas necessidades e tende a alterar de forma incisiva as drenagens, pois podem apresentar obstáculos naturais e fenômenos distintos. Christofletti (1980, p. 102) discorre que “a drenagem fluvial é composta por um conjunto de canais de escoamento inter-relacionados que forma a *bacia de drenagem*, definida como a área drenada por um determinado rio ou por um sistema fluvial”.

A noção da bacia hidrográfica obriga naturalmente a existência de características específicas, tais como, cabeceiras ou nascentes, divisores d’água, curso d’água principal, afluentes, subafluentes etc. As águas pluviais e fluviais possuem fundamental importância na evolução do relevo uma vez que os cursos d’água constituem importantes modeladores da paisagem. Neste sentido, a bacia hidrográfica possui um dinamismo próprio, onde os componentes naturais interagem entre si.

Na definição deste termo, tem-se a noção de dinamismo, por causa das modificações que ocorrem nas linhas divisoras de água devido aos agentes exógenos (água e o gelo, o vento, a ação da gravidade, as alterações da temperatura, os organismos – fauna e

flora – e o ser humano). Diante disso, Guerra (1993, p. 48) define bacia hidrográfica como “um conjunto de terras drenadas por um rio principal e seus afluentes”.

Cunha e Guerra (2000) complementam que

As bacias hidrográficas contíguas, de qualquer hierarquia, estão interligadas pelos divisores topográficos, formando uma rede onde cada uma delas drena água, material sólido e dissolvido para uma saída comum ou ponto terminal, que pode ser outro rio de hierarquia igual ou superior, lago, reservatório ou oceano (CUNHA e GUERRA, 2000, p. 353).

Quando há a inserção do ser humano, precisa-se adotar uma visão integradora (natural e social), devido à possibilidade de promover problemas ambientais relativos às alterações impostas pela sociedade. Assim sendo, Cunha e Guerra (2000, p. 354) afirmam que as “mudanças ocorridas no interior das bacias de drenagem podem ter causas naturais, entretanto, nos últimos anos, o homem tem participado como agente acelerador dos processos modificadores e de desequilíbrios da paisagem”.

A literatura especializada, defende que os seres humanos são atualmente os principais agentes geomorfológicos.

A maioria das bacias hidrográficas urbanas apresentam usos múltiplos que desrespeitam a legislação ambiental. Um grave problema da ocupação urbana é a impermeabilização do solo, não apenas por gerar e aumentar as proporções dos escoamentos superficiais, mas também por reduzir os níveis de percolação de água no solo, dificultando a recarga de corpos hídricos. Nota-se que, em zonas de alta densidade populacional e de repartição exacerbada do solo, os níveis de percolação são muito baixos, levando ao risco de abastecimento e de alagamentos (ALVES e FERREIRA, 2016, p. 332).

Quando se investiga as bacias hidrográficas no ambiente urbano torna-se necessária uma análise criteriosa da relação escoamento e infiltração, pois na área urbanizada há um declínio da infiltração do solo em virtude da impermeabilização o que resulta no aumento do escoamento superficial. Em função disso, Botelho (2011) comenta que,

Nas áreas urbanas toda a diversidade de caminhos do sistema natural é reduzida ao binômio escoamento e infiltração, com maior participação do primeiro. Em virtude da quase total ausência de uma cobertura vegetal, e consequentemente da serapilheira, nessas áreas as demais possibilidades de trajetórias da água são praticamente eliminadas. Nas áreas urbanas, novos elementos são adicionados pelo homem, como edificações, pavimentação, canalização e retificação de rios, entre outros, que acabam por reduzir drasticamente a infiltração e favorecem o escoamento das águas, que atingem seu exultório mais rapidamente e de forma mais concentrada, gerando o aumento da magnitude e da frequência das enchentes nessas áreas. As bacias hidrográficas urbanas são, portanto, marcadas pela diminuição do tempo de concentração de suas águas e pelo aumento dos picos de cheias, quando comparadas às condições anteriores à urbanização (BOTELHO, 2011, p. 72-73).

As modificações realizadas pelos seres humanos que alteram as características dos rios, alteram diversas morfologias presentes na bacia hidrográficas, com destaque para os leitos fluviais, pois são descaracterizados para implantação urbana. Segundo Christofolletti

(1980), os rios possuem o leito de vazante, o leito menor, o leito maior periódico ou sazonal e o leito maior excepcional. O leito de vazante está interligado ao leito menor, no período de seca e é por onde passa o escoamento, correspondente à linha de maior profundidade; o leito menor delimita-se entre as margens, possui frequência suficiente para impedir o crescimento da vegetação.

O leito maior periódico ou sazonal é regularmente ocupado pelas cheias, geralmente nos meses com maior intensidade pluviométrica. O leito maior excepcional é caracterizado por comportar as cheias mais elevadas (Figura 2).

Figura 2 – Tipos de leitos fluviais



Fonte: Christofolletti (1980).

Com a descaracterização destes aspectos, os processos geomorfológicos pluviais e fluviais tendem a ter uma aceleração e maximização no ambiente urbano. Destaca-se as enchentes e inundações, que são fenômenos relacionados aos canais fluviais, que ocorrem na bacia hidrográfica urbana com maior intensidade e magnitude.

Um outro fenômeno ocorrente nas áreas urbanas é o alagamento. Para o Ministério das Cidades/IPT (2007, p. 93), “define-se alagamento como o acúmulo momentâneo de águas em uma dada área por problemas no sistema de drenagem, podendo ter ou não relação com processos de natureza fluvial”. Logo, destaca-se a importância da eficiência do sistema de drenagem nas áreas urbanizadas, considerando a dinâmica das precipitações e as características do relevo.

Caldana *et al* (2018), além de considerar o acúmulo em determinados locais e a insuficiência da drenagem, correlaciona-os a ocorrência dos alagamentos em baixadas. Vestena, Almeida e Geffer (2020), afirmam que o alagamento é definido a partir do acúmulo de águas em determinadas áreas do ambiente urbano. Este fenômeno está vinculado, ou não, às redes de drenagem, que ao receber um volume inesperado, não drenam as águas pluviais e acabam ocasionando os alagamentos, ou muitas das vezes encontram-se obstruídos por resíduos sólidos.

Nas cidades, os fenômenos intensificam-se e atingem os seres humanos estabelecendo uma inter-relação entre as áreas que ocorrem e a população residente ou que

usam aquele local como trajeto diariamente; pode-se dizer que seriam efeitos adversos à urbanização. Neste sentido, França (2019, p. 60) constatou que

Uma vez iniciado o processo de urbanização de uma determinada bacia hidrográfica, fenômenos hidrológicos pertencentes a este sistema são potencializados e tendem a causar prejuízos de ordem material e imaterial à população residente, pois a ausência de planejamento do espaço urbano produz efeitos diretos na infraestrutura deste espaço. Fenômenos como enchentes, inundações, enxurradas e alagamentos são considerados comuns no meio urbano e nas últimas três décadas muito se tem produzido e debatido a respeito destes eventos no Brasil e no mundo. As enchentes e inundações são fenômenos naturais pertencentes à dinâmica das bacias hidrográficas, porém, nas cidades, têm tomado proporções desastrosas (FRANÇA, 2019, p. 60).

Estes conceitos muitas vezes são usados de forma incorreta, ocasionalmente sendo tratados com sentidos parecidos, o que causa uma ambiguidade nos seus respectivos conceitos. Desta forma, tem-se o Quadro 2 mostrando a definição de cada fenômeno e a Figura 3 mostrando a ocorrência no ambiente urbano.

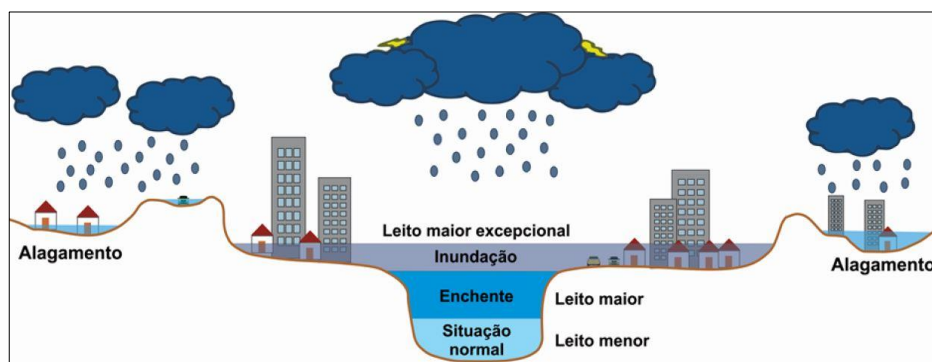
Destaca-se que é de grande relevância o entendimento e a diferenciação destes termos, pois as enchentes e as inundações estão relacionadas à dinâmica fluvial, as enxurradas e os alagamentos estão correlacionados a ineficiência da drenagem pluvial.

Quadro 2 - Diferenças entre os conceitos de enchentes, inundações, alagamentos e enxurradas.

Fenômeno	Conceito
Enchente	As enchentes ou cheias são definidas pela elevação do nível d'água do rio, devido ao aumento da vazão, atingindo a cota máxima do canal, porém, sem extravasar. Quando extravasam, as enchentes passam a ser chamadas de inundações e podem atingir as moradias construídas sobre as margens do rio e se transformar em um desastre natural.
Inundação	É o transbordamento das águas de um curso d'água, atingindo a planície de inundação, também conhecida como área de várzea. A inundação pode ser de apenas alguns centímetros, mas pode, também, cobrir o telhado de uma casa.
Alagamento	É o acúmulo momentâneo de águas em determinados locais, por deficiência no sistema de drenagem urbana, como bueiros entupidos ou cursos d'água com acúmulo de lixo e entulho.
Enxurrada	É o escoamento superficial concentrado e com alta energia de transporte, que pode ou não estar associado a cursos d'água. Nas áreas urbanas, a enxurrada pode ocorrer em avenidas com córregos canalizados, pois são, em sua origem, áreas de várzea que continuam recebendo água do entorno pela sua posição “mais baixa” no relevo.

Fonte: Amaral e Gutjahr (2011).

Figura 3 – Representação dos fenômenos de enchentes, inundações e alagamentos no ambiente urbano



Fonte: França (2019).

A ocorrência destes fenômenos nas cidades brasileiras são um processo gerado principalmente pela falta de disciplinamento da ocupação e má gestão da drenagem urbana (TUCCI, 1997).

Todos estes fenômenos possuem estreita relação com a intensidade das precipitações, uso e cobertura da terra, problemas no sistema de drenagem pluvial, características relacionadas à declividade, altimetria e formas de relevo da bacia hidrográfica urbana.

Além destes fenômenos, as cidades possuem diversos problemas de ordem ambiental, cabe aqui destacar as doenças de veiculação hídrica, pois ao fixar residências nas proximidades dos canais fluviais e direcionar o esgotamento sanitário para os canais, a população maximiza a possibilidade de aparição destas patologias.

Em decorrência disto, Castro e Carvalho (2018) discorrem que no ambiente urbano, quanto maior a proximidade das residências em relação aos canais fluviais, maior a probabilidade de doenças de veiculação hídrica (dengue, malária, disenteria, entre outros), o que torna estes ambientes frágeis à ocupação urbana.

Damame, Oliveira e Longo (2019) sinalizam que as áreas urbanas e as vegetadas vem apresentando maior fragilidade ambiental, do que as áreas agrícolas, sendo isto uma consequência da forma do uso e cobertura da terra de modo inadequado. Visto que, quando o ser humano fixa moradia próximo aos cursos fluviais ou áreas vegetadas, altera os processos de compactação, infiltração e percolação de água no solo.

No que se refere à ação dos seres humanos sobre o ambiente, tem-se a concepção que na busca por novos locais para ocupação, as sociedades alteram profundamente os rios, tornando-os “urbanos”.

Tucci (1999) acrescenta que, a partir do crescimento urbano, vários elementos antrópicos são adicionados na bacia hidrográfica que atuam sobre o ambiente. Desta forma, tem-se a ocorrência dos problemas gerados pela urbanização, com destaque para:

- Aumento da temperatura: absorção da energia solar pelas superfícies impermeáveis, ocasionando o aparecimento das ilhas de calor;

- Aumento de sedimentos e material sólido: ocorre devido às construções, limpeza de terreno para novos loteamentos, construção de ruas, avenidas, rodovias entre outras causas. Estas ações resultam no assoreamento da drenagem e no transporte de poluente agregado ao sedimento;

- Qualidade da água pluvial: depende da limpeza urbana e sua frequência, da intensidade da precipitação e sua distribuição temporal e espacial, da época do ano e do tipo de uso da área urbana;

- Contaminação dos aquíferos: presença de fossa séptica e a instalação de aterros controlados ou a presença de resíduos sólidos em terrenos na área urbana, que contaminam as águas subterrâneas pelo processo natural de precipitação e infiltração.

Botelho (2011) destaca que apesar das interferências humanas, os cursos d'água realizam três processos geomorfológicos básicos: remoção, transporte e deposição, construindo, dessa maneira, seu próprio perfil de equilíbrio. Consequentemente, qualquer alteração nos canais fluviais promove a ruptura desse equilíbrio dinâmico, o que pressiona o rio a buscar um novo ajuste.

Para estabelecer moradia, o ser humano retira a cobertura vegetal, deixando o solo desnudo, o que favorece o surgimento da erosão pluvial. As partículas do solo exposto são direcionadas para os rios, causando o assoreamento do canal, o que provoca uma desestabilização no funcionamento natural dos fenômenos.

A erosão no ambiente urbano é ocasionada pelo desnudamento do solo e a falta de um planejamento adequado, dado que a inexistência de estudos prévios gera a apropriação de áreas ambientalmente frágeis.

Cunha e Guerra (2007) consideram que a erosão dos solos é um processo que ocorre em duas fases: uma que constitui a remoção de partículas, e outra que é o transporte desse material feito pelos agentes erosivos, com destaque para água. A erosão acontece de forma natural ou acelerada pelo uso e exploração inadequada dos recursos.

Nesta perspectiva, entende-se que assim como as enchentes, inundações, alagamentos e enxurradas, a erosão é um fenômeno que pode ser intensificado de acordo com

o uso e cobertura da terra em áreas urbanas, pois a atividade humana impõe alterações que desconfiguram as *geoformas*² (ZINCK, 2013).

Os seres humanos modificam a camada superficial onde encontra-se os solos, através da impermeabilização e mobilização do material retirado; remodelam os taludes por meios de cortes; e ocupação de fundos de vales nas proximidades dos canais fluviais.

Assim como os solos, os rios passam por intensas modificações, pois a sociedade, em geral, não leva em consideração as leis ambientais, que preveem a preservação da área do entorno dos canais fluviais, assim como dos fundos de vale.

De acordo com o art. 3º, II, da Lei 12.651/2012 as faixas marginais dos canais fluviais são consideradas como Áreas de Preservação Permanente – APP, mesmo em ambientes urbanos, tem-se uma legislação a ser seguida para não ocupação dessas áreas. De acordo com o Código Florestal, a Lei Federal nº 12.651 de 2012 dispõe que Área de Proteção Permanente (APP):

Trata-se de área protegida, coberta ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade, facilitar o fluxo gênico da fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas (BRASIL, 2012).

Quando a vegetação no decorrer do canal fluvial é protegida, o solo também fica protegido dos processos erosivos e do assoreamento do canal. Nas áreas urbanas, o ser humano tem ocupado indevidamente as margens dos canais fluviais e em casos excepcionais fixam residência no leito do canal, o que intensifica a degradação ambiental e os fenômenos de enchentes e inundações no período chuvoso.

Em relação a essas áreas, a legislação brasileira, por meio da Lei nº 12.651 (BRASIL, 2012), em seu artigo 4º considera que devem ser protegidas:

I – As faixas marginais de qualquer curso d’água natural, desde a borda da calha do leito regular, em largura mínima de:
30 (trinta) metros, para os cursos d’água com menos de 10 (dez) metros de largura;
50 (cinquenta) metros, para os cursos d’água que tenham de 10 (dez) a 50 (cinquenta) metros de largura;
100 (cem) metros, para os cursos d’água que tenham de 50 (cinquenta) a 200 (duzentos) metros de largura;
200 (duzentos) metros, para os cursos d’água que tenham de 200 (duzentos) a 600 (seiscentos) metros de largura;
500 (quinhentos) metros, para os cursos d’água que tenham largura superior a 600 (seiscentos) metros (BRASIL, 2012).

² Para Zinck (2013) a *geoforma* define todos os tipos de formas de relevo. As *geoformas* possuem dois componentes: um interno, a “hipogel” (refere-se ao conteúdo, com informações genéticas e estratigráficas – cronológicas); e outro externo, “epígea” (a forma em si, que expressa uma combinação de características morfológicas e morfométricas).

A expansão urbana não considera as recomendações definidas pela legislação brasileira referente as áreas de APPs, portanto, assim como os canais fluviais, as morfologias do relevo, com destaque para os fundos de vale que são intensamente modificados e ocupados pela sociedade, possuem uma fragilidade ambiental diante à ocupação urbana.

Os fundos de vales são as áreas mais rebaixadas do relevo, pois é formado por um talvegue e duas vertentes. As águas precipitadas direcionam-se para estas áreas alimentando os canais fluviais (FLORENZANO, 2008).

Apesar da sua importância ambiental e paisagística, é comum a degradação dos fundos de vales nas intervenções urbanas, com o lançamento de esgoto sem tratamento, a retirada da vegetação, a movimentação de terra e a ocupação intensiva do solo. Estas intervenções aceleram o escoamento superficial e a erosão do solo, assoreando os cursos d'água e provocando enchentes. Os fundos de vale tornam-se áreas de risco para a população. As cheias, além dos prejuízos sociais e econômicos, são responsáveis por doenças infectocontagiosas de veiculação hídrica, pois o precário sistema de saneamento e coleta de lixo degrada os cursos d'água, transformando-os em escoadouros de esgotos domiciliares e industriais (CARDOSO, 2009, p. 03).

A Prefeitura de São Luís, por meio do Plano Diretor da Cidade, classificou as áreas de fundo de vale como APPs ou Unidades de Proteção Integral, assim como outros locais. Nesta perspectiva, de acordo com a Prefeitura de São Luís, a lei de nº 4669, de 11 de outubro de 2006 em seu artigo 28º determina que:

Áreas de Proteção Integral são áreas definidas pela legislação federal como Áreas de Preservação Permanente ou como Unidades de Proteção Integral.

§ 1º O objetivo das Áreas de Proteção Integral é preservar a natureza e os recursos hídricos permitindo apenas os usos voltados à pesquisa, ao eco turismo e à educação ambiental, quando previstos em lei específica.

§ 2º Compõem a Área de Proteção Integral:

I - Áreas de Proteção Permanente - APPs definidas nos termos da legislação federal e que incluem as dunas, mananciais e fundos de vales, incluindo as matas ciliares, e áreas de mangue (PREFEITURA DE SÃO LUÍS, 2006).

Desta forma, ao analisar o ambiente urbano tem-se a necessidade de realizar reflexões acerca das alterações provenientes da urbanização, a forma de ocupação, quais compartimentos geomorfológicos estão sendo utilizados sem estudos prévios, para conhecimento da fragilidade ambiental das áreas ocupadas.

Com as alterações impostas pelo ser humano sem análises prévias, há a possibilidade de gerar consequências ambientais adversas, como o aumento do escoamento superficial e a intensificação de fenômenos geomorfológicos no ambiente urbano.

Considerando o ser humano como agente escultor da paisagem, torna-se importante o estudo das bacias hidrográficas, especialmente no meio urbano, onde há modificação na fisiologia da paisagem, o que ocasiona alterações no relevo e nos cursos d'água.

1.2 A Paisagem e a Fisiologia da Paisagem

A paisagem constitui-se como uma categoria de caráter específico para a Geografia, sendo distinto daquele utilizado pelo senso comum. Desde a sistematização do conhecimento geográfico, foram vários os conceitos de paisagem. Giometti, Pitton e Ortigoza (2012, p. 36) apontam que “uma grande contribuição foi aquela dada por Paul Vidal de La Blache: paisagem é aquilo que “[...] o olho abarca com o olhar”.

A forma de interpretação da paisagem tornou-se dinâmica, pois antes se fundamentava apenas na descrição empírica dos seus elementos, e hoje, é acrescida de relações e associações de elementos naturais, artificiais, socioeconômicos e culturais.

Bertrand (2004, p. 141) afirma que “é necessário frisar que não se trata somente da paisagem “natural”, mas da paisagem total integrando todas as implicações da ação antrópica”. Trol (1950) sintetiza a paisagem como uma junção da dinâmica dos elementos físicos e das atividades humanas, concedendo à paisagem uma fisionomia própria, considerando seus distintos aspectos ou elementos tanto visíveis, quanto invisíveis.

A paisagem não é a simples adição de elementos geográficos disparatados. É, em uma determinada porção do espaço, o resultado da combinação dinâmica, portanto instável, de elementos físicos, biológicos e antrópicos que, reagindo dialeticamente uns sobre os outros, fazem da paisagem um conjunto único e indissociável, em perpétua evolução (BERTRAND, 2004, p. 141).

Para Cavalcanti e Viadana (2007), a paisagem é a fisionomia, a morfologia ou a expressão formal do espaço, refletindo a visão que a população tem sobre a área à sua volta, assim como as alterações provocadas pela ação do ser humano.

Por resultar da combinação de diferentes componentes da natureza, o relevo é um importante recurso para a delimitação das paisagens, ao mesmo tempo em que quase sempre condiciona a forma de uso e ocupação do solo (CASSETI, 2005).

Nesta perspectiva, Moraes (1998) leva em consideração a paisagem através dos aspectos morfológicos (enumeração das formas e discussão das formas) e fisiológicos (relação e dinâmica dos elementos; e o funcionamento da paisagem).

Santos (2002, p. 67) assegura que “a paisagem existe através de suas formas, criadas em momentos históricos diferentes, porém coexistindo no momento atual”, sendo estas resultado das relações homem-natureza.

Ao apropriar e ocupar o relevo, a sociedade passa a interferir de forma direta e acelera os processos geomorfológicos atuantes. Assim, as diferentes morfologias do relevo

sofrem um intenso processo de esculturação, modificando suas formas iniciais e consequentemente alterando a paisagem desse ambiente.

Desta forma, a alteração da paisagem e das formas de relevo, ocorrem através da interação entre os fatores endógenos, exógenos e a ação do ser humano sobre ele, uma vez que a paisagem natural que existia em determinado ambiente passa por intenso processo de transformação para atender as necessidades dos seres humanos, assim como do progresso econômico, seja por meio da implantação de moradias, ruas, pontes ou instalação de áreas industriais para fortalecimento econômico da sociedade.

Cassetti (2005) elenca três situações para justificar o significado do relevo na delimitação da paisagem, considerando: as relações de forças contrárias, onde o relevo é resultado de forças internas e externas, passando pela influência estrutural e morfoclimática; as características morfopedológicas, através da estreita relação entre a disposição do relevo e o solos resultantes; e as relações antropomorfológicas, por meio do processo de apropriação do relevo como suporte e recurso, vinculando-se ao comportamento da morfologia e as condições pedológicas.

Corrêa e Rosendahl (1998) reforçam que a paisagem tem uma dimensão morfológica, ou seja, um conjunto de formas criadas pela natureza e pela ação humana, e uma dimensão funcional (ou fisiológica). Porém, os autores avançam na dicotomia apresentada por Moraes (1998) ao postular que ao ser também produto da ação humana ao longo do tempo, a paisagem apresenta uma dimensão histórica.

Neves e Salinas (2017, p. 125) explicam que “a paisagem é uma representação de um período histórico (herança), sendo importante compreender suas múltiplas facetas, reestabelecendo a relação entre o espaço e a sociedade que nele habita”. Nesta acepção, tem-se explícito o enfoque integrador, existindo uma estreita relação entre o natural e o social, dotada de uma certa fisionomia.

Por meio do avanço da geomorfologia contemporânea e da geomorfologia climática, Ab'Saber (1969) estabeleceu três níveis para aplicações metodológicas, considerando a escala a ser utilizada e o tema escolhido. O primeiro nível é a compartimentação da topografia. Rodrigues (2018) com base em Kohler (2002) comenta que este nível se dedica aos estudos de escalas pequenas, ou seja, regionais.

No segundo nível, tem-se a busca pelas informações sistemáticas sobre a estrutura superficial das paisagens, com base na cronogeomorfologia, na procura pelas proposições interpretativas sobre a sequência dos processos paleoclimáticos e morfoclimáticos através das

observações dos depósitos geológicos e feições geomorfológicas antigas e recentes para análise da evolução da paisagem.

O terceiro nível busca compreender de forma geral a fisiologia da paisagem através da dinâmica climática e pedogênica recente. Propõe observar a funcionalidade atual, considerando que as formas de relevo, solo e subsolo estão sujeitas à atuação conjunta de fatores climáticos em sucessão efetiva na área selecionada para estudo.

Este terceiro nível, que é um dos pilares desta pesquisa, direciona os estudos para as alterações da paisagem gerada pelas ações antrópicas predatórias e os efeitos desta, levando em consideração o relevo.

Cassetti (1991) diz que este nível

tem por objetivo a compreensão dos processos morfogenéticos através da dinâmica climática atual, momento em que se insere o homem como sujeito que se apropria da interface e transforma-a modificando as relações entre as forças de ação (processos morfodinâmicos) e reação do substrato (comportamento das vertentes) (CASSETI, 1991, p. 27).

Para Ross (2003, p. 12), “o entendimento do relevo passa, portanto pela compreensão de uma coisa maior que é a Paisagem como um todo”. Ressalta-se aqui a importância da análise do relevo, sejam pesquisas acerca de sua origem ou dos processos que o modificam. Com o decorrer do tempo foi atribuído maior peso ao ser humano sobre a sua interferência na modelagem do relevo, pois sua participação neste processo se intensificou.

Logo, as formas de relevo estão presentes na paisagem, sendo elemento fundamental (*locus*) para o desenvolvimento de variadas civilizações, desde o surgimento do homem no planeta até a contemporaneidade (CRESTANI-MAGALHÃES *et al*, 2015).

Dentro dessa perspectiva, fica evidente a importância do entendimento da dinâmica das paisagens onde as formas do relevo se inserem como um importante componente e torna-se necessário entender o significado da aplicação dos conhecimentos geomorfológicos ao se implantar qualquer atividade antrópica sobre a superfície terrestre (ROSS, 2003).

Para Souza e Oliveira (2017)

A fisiologia da paisagem, terceiro nível de abordagem, tem por objetivo compreender a ação dos processos morfodinâmicos atuais, inserindo-se na análise o homem como sujeito modificador. Nesse nível, uma série de atividades ligadas a Geomorfologia Ambiental podem ser aplicadas e utilizadas, tais como a identificação em campo ou em fotografias aéreas de desequilíbrios morfológicos ou impactos ambientais como os movimentos de massa, voçorocamento, assoreamento, inundações, dentre outros. Assim como a proposição de alternativas para o planejamento do uso e ocupação destas áreas, evitando e/ou administrando impactos ambientais negativos a vida humana (SOUZA E OLIVEIRA, 2017, pág. 3489).

Rodrigues (2018) discorre que a fisiologia da paisagem objetiva entender a dinâmica dos processos atuantes na paisagem, sempre considerando a funcionalidade atual e global da paisagem. Neste nível torna-se, crucial o entendimento da dinâmica dos processos atuantes na paisagem.

Niemann e Vitte (2009) corroboram que a fisiologia da paisagem corresponde aos processos recentes que atuam na modelagem do relevo. Caseti (2005) destaca a relevância deste estudo, uma vez que reveste-se de grande importância na análise do relevo por incorporar conhecimentos envolvendo fatos de interesses atuais e por inserir o ser humano na investigação dos processos.

Por conseguinte, tem-se a variável relevo como importante subsídio para o estudo da paisagem. Caseti (2005, p. 132) contribui que o estudo da fisiologia da paisagem

Refere-se, portanto, ao estudo da situação do relevo atual, fruto das relações morfodinâmicas resultantes da consonância entre os fatores intrínsecos, ou seja, inerentes ao próprio relevo, e os fatores extrínsecos, dando ênfase ao uso e ocupação do modelado enquanto interface das forças antagônicas. Partindo do princípio de que praticamente toda superfície tenha sido apropriada de alguma forma pelo homem, o referido nível necessariamente incorpora as transformações produzidas e consequentes intervenções nos mecanismos morfodinâmicos, como a alteração na intensidade do fluxo por terra, refletindo diretamente no comportamento do relevo (CASSETI, 2005, p. 132).

Segundo Nunes (2019, p. 129) essa “abordagem é um avanço nas pesquisas geomorfológicas em que o pesquisador tem a possibilidade de, conforme o nível de detalhamento da pesquisa, chegar à funcionalidade dos processos atuantes, incluindo a ação humana”. Ao estudar o relevo no ambiente urbano, deparamos com uma paisagem construída e marcada por dinâmicas envolvendo a sociedade e a natureza ao longo de um tempo histórico.

Os estudos da morfogênese e da morfodinâmica ganham um novo ritmo em um tempo histórico, a apropriação do relevo exerce forte influência na morfodinâmica atual, na qual os processos são acelerados dando origem a novos compartimentos ou feições geomorfológicas.

Assim sendo, através da fisiologia da paisagem é possível a compreensão da morfodinâmica atual, aqui entendida como um conjunto de processos naturais atuantes no presente, momento em que o ser humano ganha destaque como agente modificador.

2. A INFLUÊNCIA DA APROPRIAÇÃO DO RELEVO NA MORFODINÂMICA

Os seres humanos se apropriam e ocupam diversas formas de relevo, sem considerar suas fragilidades, limitações e possíveis consequências destas ações. A apropriação

e ocupação do relevo de forma desigual e espontânea sem um planejamento ambiental adequado é capaz de gerar inúmeros problemas ambientais para a sociedade.

É no ambiente urbano que estes problemas são mais visíveis, intensos e prejudiciais, pois o ser humano interfere e altera a dinâmica natural pré-existente provocando a degradação dos recursos naturais, a concentração populacional em locais ambientalmente inadequados, o que gera a falta de estrutura e de saneamento básico.

Christofolletti (1997) enfatiza que o fenômeno da urbanização na região tropical do planeta pode ser classificado como espontâneo, a exceção de alguns casos de urbanização planejada. Essa concentração populacional cada vez mais densa e não planejada intensificou as transformações do uso dos recursos naturais.

Com o progresso tecnológico do sistema socioeconômico, houve a possibilidade de mudanças graduais e intensas (em diferentes escalas e extensões espaciais) nos elementos físico-ambientais que se encontram em contato direto com as atividades humanas como a cobertura vegetal, as formas do relevo e a rede hidrográfica (CASSETI, 1994).

Pensando no ambiente urbano construído sobre um substrato com característica geomorfológica própria e considerando que o ser humano alcançou a capacidade técnica de intervenção na topografia, Nir (1983) estabeleceu três estágios para abordar as modificações impostas pela sociedade.

O período pré-urbano, que consiste na remoção da cobertura vegetal primária com consequente aceleração da erosão nas vertentes e deposição de sedimentos nos cursos d'água. O período de construção, onde as grandes áreas são expostas a agentes climáticos, alteração na topografia e impermeabilização do solo, o que gera o aumento do escoamento superficial e redução da infiltração. Por fim, o período urbano consolidado, no qual a malha urbana encontra-se fixa e adensada, com nova topografia (relevo tecnogênico), aumento do pico de cheias e drenagem total ou parcialmente artificial (NIR, 1983; JORGE, 2011; THOMAZINI, 2013; FRANZIN, 2018).

Com esta crescente alteração ambiental das áreas urbanas, as relações sociedade e natureza tornam-se conflituosas, pois estas podem proporcionar significativas alterações aos compartimentos geomorfológicos.

Pedro (2008) discorrendo sobre a compartimentação do relevo, afirma que o ser humano ao se instalar sobre o mesmo, inicia a aceleração dos processos geomorfológicos, que por sua vez, causam alterações no equilíbrio natural que desencadeia impactos diversos.

Como resultado desta dinâmica, tem-se a manifestação de diferentes problemas ambientais, além da origem de novos terrenos tecnogênicos³. Para Drew (1994, p. 177)

As áreas urbano-industriais representam a mais profunda modificação humana da superfície da Terra, da atmosfera e do ecossistema terrestre. Ao contrário dos efeitos das atividades agrícolas, os efeitos urbanos são altamente intensivos e localizados. Nas zonas urbanas os fluxos de energia e de massa estão concentrados, sendo a maior parte da energia importada. [...] Virtualmente, todos os aspectos do ambiente são alterados pela urbanização e a industrialização, inclusive o relevo, o uso e cobertura da terra, a vegetação, a fauna, a hidrologia e o clima. Regra geral, a intensidade da mudança está ligada à densidade da área edificada e à extensão da industrialização (DREW, 1994, p. 177).

Entre os aspectos do ambiente que são alterados pela urbanização, destaca-se nesta pesquisa o relevo, pois, a partir da sua alteração, são criados os terrenos artificiais ou os relevos tecnogênicos. Dentre as formas de agradação têm-se os terrenos tecnogênicos.

De acordo com Silva (2017), os depósitos tecnogênicos são formados como resultado da ação humana e são categorizados de acordo com a tipologia do seu material constituinte, sendo diretamente relacionado aos materiais mobilizados (terraplanagem e vertentes ravinadas) e os processos tecnogênicos agradativos, resultantes da acumulação de material geológico.

Peloggia *et al* (2014) destaca que atividade humana gera quatro categorias de terrenos artificiais: os terrenos de agradação (depósito tecnogênico sobre terreno natural ou escavado); de degradação (terreno natural ou tecnogênico alterado em sua morfologia por perda de volume de material); modificados (terrenos *in situ* modificados com horizontes alterados); e os mistos (terreno resultante da superposição de ações antrópicas).

Silva (2012a, p. 38), afirma que “as transformações ocasionadas pelo ser humano na crosta terrestre ocorrem de diferentes formas, nas quais se inclui a formação dos depósitos tecnogênicos”.

Logo, a inclusão da formação dos depósitos tecnogênicos está inter-relacionada à urbanização, uma vez que, o ser humano estabelece uma conexão com o ambiente natural e conforme avança a capacidade técnica, aumenta a probabilidade de alterações.

A relação da urbanização com o ambiente natural é desigual, conturbada, com desconsideração das características e dos ritmos dos processos físicos, com profundas implicações na vulnerabilidade das pessoas e fragilidade dos lugares (NUNES, 2015).

³ São terrenos resultantes da atividade humana com características específicas no que diz respeito a sua gênese e criação (PELLOGIA, 2019).

Desta forma, a transformação inicial da cobertura vegetal propicia o início de outros fenômenos verificados principalmente sobre as formas do relevo e sobre a hidrografia, alterando, conseqüentemente, a morfodinâmica e a dinâmica fluvial (NIR, 1983; DREW, 1986; CASSETI, 1994). À vista disso, entende-se por morfodinâmica “os processos atuais (ativos), endógenos e exógenos que atuam nas formas de relevo” (FLORENZANO, 2008, p. 23).

É natural que a apropriação do relevo pelo homem, como recurso ou suporte, implique em transformações substanciais, tanto na “modificação” dos processos morfodinâmicos, a exemplo da impermeabilização de superfícies, como na aceleração destes, considerando o próprio desmatamento, produzindo modificações em curto espaço de tempo. Por processo morfodinâmico, Cassetti (2005, p. 133) fala que

as transformações evidenciadas no relevo, considerando a intensidade e frequência dos mecanismos morfogenéticos no momento atual ou subatual, associadas ou não às derivações antropogênicas.[...] a “morfodinâmica” reporta às relações processuais numa perspectiva histórica em que o homem se constitui no principal agente das alterações. As derivações antropogênicas provocam alterações rápidas com respostas muitas vezes diversas em relação àquelas evidenciadas em condições naturais (CASSETI, 2005, p. 133).

A morfodinâmica está diretamente ligada à noção de tempo, pois em tempos pretéritos, quando a geomorfologia se pautava em compreender os processos responsáveis pela formação dos grandes compartimentos geomorfológicos, utilizava-se uma escala temporal geológica, no qual prevalecia o tempo da morfogênese (o tempo que escoou).

Nos dias atuais, com a inserção do ser humano nas análises, tem-se uma mudança nesta escala, redirecionando-se para escala temporal histórica (o tempo que faz). Com relação a isto, Pedro Miyazaki (2014, p. 64) comenta que

Atualmente, passou-se a inserir nas análises das formas de relevo, principalmente na escala do local, uma concepção temporal que considera o ser humano como um dos agentes modeladores do relevo. Ponderando assim uma escala temporal histórica (tempo histórico), mudando a concepção de morfodinâmica do relevo, já que no tempo da morfodinâmica, o ser humano é considerado como um agente modelador (PEDRO MIYAZAKI, 2014, p. 64).

Pedro (2011) destaca que muitos pesquisadores buscam explicações e soluções para compreender, resolver ou minimizar os problemas ambientais (enchentes, inundações, deslizamento em encostas, erosões, poluição etc.) que afetam o equilíbrio dinâmico da natureza com impactos sobre a sociedade.

De acordo com Peloggia (1997), a ação humana sobre a natureza tem conseqüências referíveis a três níveis de abordagem, em termos de formas, processos,

formações e depósitos superficiais. O primeiro refere-se à modificação do relevo e alterações fisiográficas da paisagem (por exemplo, retificações de canais fluviais, terraplanagem, voçorocas, áreas mineradas etc.).

O segundo reporta-se às alterações na fisiologia das paisagens (os processos geomórficos, pedogênicos e sedimentares atuais): criação, indução, intensificação ou modificação do comportamento de processos da dinâmica externa. E o terceiro, na criação de depósitos superficiais correlativos⁴.

As cidades possuem formas diversas e quase sempre não planejadas, sendo que suas infraestruturas de edificações, arruamentos, pontes, sistemas de drenagem pluvial e fluvial artificiais, atendem uma lógica socioeconômica e por vezes desconsideram as características naturais do sítio urbano (FRANZIN, 2018, p. 15).

Neste sentido, Fujimoto (2005, p. 78) comenta que “a modificação do relevo promove a criação, indução, intensificação ou modificação dos processos geomorfológicos. De acordo com a tipologia e o estágio de alteração, pode-se descrever algumas atividades antrópicas que geram novos padrões de comportamento morfodinâmico”.

Assim sendo, os seres humanos podem ser considerados os agentes geomorfológicos mais ativos para moldar e remodelar a superfície terrestre, alterando a paisagem física. Neste seguimento, Fushimi e Pedro Miyazaki (2019) mencionam que

Tanto nos meios urbanos quanto rurais, o uso e a ocupação dos compartimentos de relevo – topos, vertentes e fundos de vales – em interação com os elementos do clima, sobretudo a precipitação em grande parte do território brasileiro, proporcionam fenômenos degradacionais, cuja ocorrência e intensidade variam em conformidade com as características naturais, sociais e suas inter-relações (FUSHIMI E PEDRO MIYAZAKI, 2019, p. 2).

Haldar e Satpati (2018) comentam que o processo dominante que opera no ambiente urbano é atividade humana. Este mesmo autor, utiliza o termo “*geoformas*” urbanas para referir-se a qualquer superfície urbana que não foram intencionalmente construídas de maneira planejada, mas é o resultado de alterações humanas na superfície terrestre.

Logo, podemos considerar as alterações das encostas, o uso e cobertura da terra, erosão, mudança da geometria dos canais, movimentos de massas e outras características desenvolvidas devido às modificações impostas pela sociedade.

Assim, a principal força motriz no desenvolvimento de “*geoformas*” urbanas é a atividade dos seres humanos. O quadro 3 mostra algumas atividades humanas que interferem e geram novos processos morfodinâmicos e suas consequências.

⁴ São sequências sedimentares resultantes dos processos de aggradação ocorrendo simultaneamente com fenômenos de degradação (BIGARELLA, MOUSINHO E SILVA, 2016.)

Quadro 3 – Atividades antrópicas geram novos padrões de comportamento morfodinâmico

Atividades Antrópicas
A eliminação da cobertura vegetal e as modificações através de cortes e/ou aterros elaborados para a execução dos arruamentos e moradias alteram a geometria das vertentes, aumentando a declividade e expondo o material anteriormente protegido da ação direta dos agentes climáticos
Os arruamentos, mesmo respeitando a topografia cortam e direcionam os fluxos hídricos, gerando padrões de drenagem não existentes. As ruas transformam-se em verdadeiros leitos pluviais durante os eventos chuvosos, canalizando e direcionando os fluxos para setores que anteriormente possuíam um sistema de drenagem diferente
A impermeabilização modifica o fluxo da água, tanto na superfície quanto em profundidade. As superfícies impermeabilizadas não permitem a infiltração da água no solo, assim como a circulação de ar e água
As canalizações de águas pluviais existentes nas moradias alteram a direção do fluxo natural das águas das chuvas ou das águas servidas
Os aterros recobrem a vegetação original e os materiais de cobertura superficial de formação natural, criando áreas de discontinuidades entre materiais heterogêneos, além de elevarem altimetricamente a superfície original, alterando sua declividade

Fonte: Fujimoto, 2005.

Então, um dos aspectos mais significativos, e certamente o mais evidente, da ação do ser humano sobre a superfície terrestre é a modificação do relevo (PELOGGIA, 2005).

A ação humana torna-se, portanto, fator chave na morfodinâmica dos ambientes naturais, à medida que o homem ocupa áreas impróprias ao assentamento urbano como, encostas íngremes, fundos de vale e, também, quando impermeabiliza o solo (THOMAZINI, 2013, p. 26).

Mediante a compreensão da influência da apropriação e ocupação do relevo na morfodinâmica será possível analisar as alterações realizadas pelos seres humanos e entender como estas ações desencadeiam a intensificação de processos geomorfológicos específicos.

Desse modo, Francisco (2016, p. 57) explana que “o relevo, bem como os demais componentes ambientais, possui uma fragilidade diante das intervenções antrópicas”. Para compreensão da fragilidade ambiental, torna-se necessário o entendimento das unidades ecodinâmicas preconizadas por Jean Tricart.

2.1 Breves considerações sobre a Ecodinâmica

A Ecodinâmica foi fundamentada a partir das concepções da teoria geral dos sistemas e da teoria bio-resistásica. De acordo com Silva (2014) quem primeiro citou e desenvolveu a teoria geral dos sistemas foi o biólogo Ludwig Von Bertalanffy, em 1950, sendo aplicada posteriormente no âmbito da Geografia pelo francês Jean Tricart.

Ribeiro (2009), apoiado na idealização de Bertalanffy (1975), argumenta que a teoria geral dos sistemas tem como objetivo o arranjo dos componentes geográficos como o relevo, solos e vegetação entre outros constituintes de modo simultâneo buscando relacionar esses componentes como um todo e não de forma separada.

As relações existentes na superfície terrestre envolvendo a Natureza e o Homem, buscam a reciprocidade nas trocas de matéria e energia, ressaltando a contribuição de cada setor do ambiente, sendo ele geológico, geomorfológico, climático, hidrológico, pedológico, fitoecológico e socioeconômicos. Estes setores correspondem a uma ciência ou ramo especializado de uma ciência comum, que integram os estudos setoriais do ambiente, que conectados formam parte das paisagens (LIMA, 2013, p. 39).

Neste sentido, Tricart (1977) aponta que o ambiente é analisado sob a perspectiva da Teoria geral de sistemas, que parte do conceito de que na natureza, as trocas de energia e matéria se processam através da conexão com o equilíbrio dinâmico, que muitas vezes é alterado pela atuação do ser humano.

A teoria da bio-resistasia de Erhart (1966) tem como destaque o desenvolvimento da vegetação como fator preponderante para o desenvolvimento do meio. Pereira Neto (2013, p. 30) comenta que este crescimento se dá “especialmente na evolução geológica e geoquímica da Biosfera, através dos períodos de Biostasia (meios estáveis) ou Resistasia (meios instáveis) então identificados no sistema”.

A biostasia inter-relaciona-se com as características dos meios estáveis, associando-se a um período de equilíbrio, sendo considerado fator preeminente para evolução do meio. A definição de resistasia se dá pela ocorrência de uma provável interrupção do equilíbrio, caracterizando os meios instáveis (ERHART, 1966).

Estas teorias tornaram-se contribuições basilares de grande importância para o progresso da Ecodinâmica, proposta por Tricart (1977). Assim sendo, a Ecodinâmica é o estudo da dinâmica dos *ecótopos*⁵ (TRICART, 1977). Este processo foi considerado pelo autor tão significativo quanto a própria biocenose⁶.

Alves *et. al* (2017, p. 655) comentam que a ecodinâmica “propõe uma taxonomia que permite avaliar o estado das unidades de paisagem, de acordo com o balanço morfogênese-pedogênese, classificando de acordo com o grau de estabilidade ou instabilidade”.

Para a classificação da ecodinâmica dos meios, Tricart (1977) alicerçou-se nos conceitos de ecologia e ecossistema. De acordo com o autor supracitado, o primeiro refere-se

⁵ De acordo com Tricart (1977) *ecótopo* é o meio ambiente de um ecossistema.

⁶ Conjunto de seres vivos de um ecossistema (TRICART, 1977).

ao estudo dos vários seres vivos em suas relações mútuas com o ambiente. Já o segundo é definido a partir de um conjunto de seres vivos mutuamente dependentes uns dos outros e do meio no qual eles vivem.

Ressalta-se que o termo meio ambiente já foi amplamente utilizado na literatura, mas, atualmente o termo “ambiente” ganhou destaque. Por este ângulo, o ambiente pode ser interpretado por meio da correlação entre o ser humano e a natureza, dado que, na geografia este termo inclui o ser humano como um ser social produto e produtor de várias tensões ambientais (SUERTEGARAY, 2001).

Para Suertegaray (2001), é notória a relação sociedade/natureza e vice-versa, pois ao mesmo tempo que transforma a natureza, altera, também, a natureza humana. Franzin (2018, p. 21) corrobora que “a abordagem geográfica integrada proposta por Tricart (1977), denominada de ecodinâmica, visa analisar a natureza, com ênfase no ecossistema e nas interferências ambientais provocadas pela sociedade”. Ao elaborar esta relação, Tricart (1977) fundamentou-se no conceito de ecossistema.

Para a sua proposta da Ecodinâmica, Jean Tricart se apoiou na tríade – vegetação, relevo, e solos – para a identificação das unidades ecodinâmicas, sendo este tripé responsável pelo balanço da morfodinâmica (pedogênese-morfogênese) da paisagem (SILVA, 2016, p. 68).

Mezzomo e Nobrega (2008, p. 160) assinalam que as análises alicerçadas na ecodinâmica “visualizam a paisagem a partir de uma perspectiva evolucionista, baseada na interação entre os elementos bióticos e abióticos em conjunto com os aspectos da sociedade”.

À vista disso, torna-se necessário

[...]adotar uma atitude dialética, entre a necessidade da análise – que resulta do próprio progresso da ciência e das técnicas de investigação – e a necessidade, contrária, de uma visão de conjunto, capaz de ensejar uma atuação eficaz sobre esse meio ambiente (TRICART, 1977, p. 19).

Ao considerar a intensidade dos processos atuais, Tricart (1977) classifica as unidades ecodinâmicas do ambiente em três níveis: os meios estáveis, os meios *intergrades* e os meios fortemente instáveis. Oliveira (2003, p. 5) caracteriza uma unidade ecodinâmica como a “... interação entre os fatores naturais e a sociedade humana”.

Os meios estáveis são caracterizados por ter uma evolução lenta do modelado considerando a interface atmosfera-litosfera, cobertura vegetal densa e dissecação moderada com as vertentes em lenta evolução. Remete-se ao princípio da conservação, onde tem-se a cobertura vegetal preservada que corresponde a uma vegetação de um momento anterior a presença do ser humano.

Nos meios estáveis a cobertura vegetal é densa ou fechada a ponto de impedir a ação mecânica da morfogênese. Nesse ambiente os solos são maduros e espessos, portanto, o sistema como um todo permanece num estado de equilíbrio natural. Assim, a estabilidade ambiental é dada principalmente pela cobertura vegetal, que interfere na ação mecânica dos processos erosivos, além de fornecer matéria orgânica a pedogênese (SILVA, 2016, p. 68).

Os meios *intergrades* são descritos como ambientes de transição do estável para o instável; é definido por meio da interferência permanente da morfogênese e pedogênese, ambas agindo simultaneamente. Guirra (2017, p. 69) afirma que nesse meio “as interações entre processos morfogenéticos e pedogenéticos desempenham importante papel, podendo ser facilmente alterado por intervenções e práticas de uso e cobertura da terra”.

Nos meios fortemente instáveis há uma predominância da morfogênese sobre a pedogênese, tem-se os ambientes de acumulação em evidência e os processos atuais como o escoamento difuso, erosão, inundações e movimentos de massa. À estas características soma-se a degradação causada pela atuação do ser humano, o que gera a brusca ativação da morfodinâmica e acaba por destruir os solos pré-existentes.

Características como condições bioclimáticas agressivas, ocorrendo grandes e irregulares variações de ventos e chuvas, com alto teor pluviométrico, relevo com forte dissecação, solos rasos, falta de cobertura vegetal densa, planícies e fundos de vales sujeitos a inundações e presença de intensa atividade socioeconômica, marcam a prevalência desse meio (LIMA, 2013, p. 42).

A compreensão da ecodinâmica é fundamental para o entendimento da fragilidade ambiental, uma vez que Ross (1994) apoia-se neste embasamento teórico e amplia os conceitos das unidades ecodinâmicas, categorizando em unidades ecodinâmicas de instabilidade potencial (apesar de estarem em equilíbrio dinâmico apresentam instabilidade face às suas características naturais e possível inserção antrópica) e unidades ecodinâmicas de instabilidade emergente (presença do ser humano realizando intervenções).

Portanto, a proposta de Tricart (1977) e Ross (1994) encontram-se integradas, pois a segunda é um aperfeiçoamento da anterior; ambas sistematizam a classificação dos ambientes justificando-se no grau de estabilidade/instabilidade da morfodinâmica atual.

2.2 Fragilidade Ambiental

De acordo com o Ferreira (2001), o termo fragilidade é proveniente da palavra “frágil” que significa apresentar baixa resistência com pouca durabilidade. No que diz respeito ao termo ambiental, provém da palavra ambiente, é definido como aquilo que cerca ou envolve os seres vivos, tornando-se um conjunto de características (FERREIRA, 2001).

A fragilidade ambiental é um conceito muito utilizado nos estudos geomorfológicos que procuram avaliar o estado do equilíbrio dinâmico dos processos naturais, sendo importantes para realização do planejamento, seja ele com enfoque ambiental ou urbano, além de contribuir com o ordenamento territorial, com intenção de solucionar, mitigar e prevenir problemas ambientais que são decorrentes das atividades da sociedade (PEDRO MIYAZAKI, 2014).

A fragilidade ambiental, é constituída pela análise das características de cada sistema ambiental, que apresentam particularidades próprias na sua dinâmica, com diferentes níveis de fragilidade que podem ser avaliados de acordo com seu equilíbrio dinâmico e tendência a intervenções com o passar dos anos. A avaliação da fragilidade como metodologia dentro dos sistemas é feita através de indicadores, como relevo, condições climáticas, solo, uso e cobertura e em alguns casos intervenções urbanas (SALES E NASCIMENTO, 2020, p. 249).

Trombeta (2014, p. 162) afirma que “o diagnóstico da fragilidade ambiental é um tema fundamental para o planejamento ambiental, pois indica as reações de um determinado ambiente e subsidia a escolha de ações para a preservação ou melhoria ambiental da área em foco”. Por outro lado, para compreensão da fragilidade ambiental é necessário o estudo integrado de sua estabilidade referente aos processos morfodinâmicos.

Para análise da fragilidade, entretanto exige-se que esses conhecimentos setorializados sejam avaliados de forma integrada, calcada sempre no princípio de que a natureza apresenta funcionalidades intrínsecas entre as suas componentes físicas e bióticas (ROSS, 1994, p. 65).

Ross (1994) baseado nos conceitos da Ecodinâmica de Tricart (1977), incluiu novos critérios para definir as Unidades Ecodinâmicas Estáveis e as Unidades Ecodinâmicas Instáveis. Estes critérios foram explicitados de forma detalhada por Ross (1992).

As Unidades Ecodinâmicas Instáveis foram definidas como sendo aquelas cujas intervenções antrópicas modificaram intensamente os ambientes naturais através dos desmatamentos e práticas de atividades econômicas diversas, enquanto as Unidades Ecodinâmicas Estáveis são as que estão em equilíbrio dinâmico e foram poupadas da ação humana, encontrando-se, portanto, em seu estado natural, como por exemplo um bosque de vegetação natural. Para que esses conceitos pudessem ser utilizados como subsídio ao planejamento ambiental, Ross (1990), ampliou o uso do conceito, estabelecendo as Unidades Ecodinâmicas Instáveis ou de Instabilidade Emergente em vários graus, desde Instabilidade Muito Fraca a Muito Forte. Aplicou o mesmo para as Unidades Ecodinâmicas Estáveis, que apesar de estarem em equilíbrio dinâmico, apresentam Instabilidade Potencial qualitativamente previsível face as suas características naturais e a sempre possível inserção antrópica. Deste modo as Unidades Ecodinâmicas Estáveis, apresentam-se como Unidades Ecodinâmicas de Instabilidade Potencial em diferentes graus, tais como as de Instabilidade Emergente, ou seja, de Muito Fraca a Muito Forte (ROSS, 1994, p. 66).

Referindo-se ao termo “fragilidade ambiental”, remete-se a proposta metodológica, que foi utilizada em diversas análises de cunho ambiental. À vista disso, as

fragilidades dos ambientes naturais face às interposições dos seres humanos podem ser maiores ou menores diante dos seus distintos aspectos genéticos.

Logo, a concepção do termo Fragilidade Ambiental está alicerçada na proposta de Ross (1994), que iniciou o uso desta metodologia para análise do ambiente, referindo-se às características naturais e antrópicas. Ao longo dos anos, o termo fragilidade ambiental foi amplamente utilizado em diversos estudos e recebeu diferentes definições (Tabela 01).

Tabela 01 – Definições da Fragilidade Ambiental em estudos ambientais encontrados na literatura científica

Termo	Autor	Definição
Fragilidade Potencial ou Unidades Ecodinâmicas Estáveis	Ross (1994)	São as que estão em equilíbrio dinâmico e foram poupadas da ação humana, encontrando-se, portanto, em seu estado natural.
Fragilidade Emergente ou Unidades Ecodinâmicas Instáveis		Foram definidas como sendo aquelas cujas intervenções antrópicas modificaram intensamente os ambientes naturais.
Fragilidade Ambiental	Ghezzi (2003)	Diz respeito à susceptibilidade de dano que o meio ambiente pode sofrer, sendo, a poluição também um atributo para a fragilidade. Sendo assim, a fragilidade ambiental refere-se a áreas sensíveis a impactos ambientais, tendo baixa capacidade de recuperação.
Fragilidade Ambiental	Sporl (2007)	É a susceptibilidade do ambiente de sofrer intervenções, ou de ser alterado. Quando é quebrado o estado de equilíbrio dinâmico, o sistema pode entrar em colapso, passando para uma situação de risco. A desestabilização do sistema pode ter como indutores, tanto processos naturais, quanto antrópicos.
Fragilidade Ambiental	Fierz (2008)	Facilidade do relevo, em seu momento de equilíbrio, de ser alterado em decorrência de fatores naturais ou antrópicos.
Fragilidade Ambiental	Tamanini (2008)	É a susceptibilidade do ambiente em sofrer qualquer tipo de dano. Relaciona-se com fatores de desequilíbrio de ordem tanto natural (expresso pela própria dinâmica do ambiente), quanto em situações de elevadas declividades e alta susceptibilidade erosiva dos solos, quanto antropogênica (uso inadequado da terra e de intervenções em regimes fluviais).
Fragilidade Ambiental	Gayoso (2014)	É a propensão ao “desmantelamento” de um sistema que se encontra em equilíbrio dinâmico.

Fonte: Organizado por Santana (2020).

Ghezzi (2003) ao estabelecer a noção da fragilidade ambiental, considera que o ambiente possui uma predisposição natural ao dano, considerando seus aspectos genéticos e as poluições, o que os torna frágeis quanto à degradação imposta pelos seres humanos.

Sporl (2007), ao propor a metodologia para elaboração de modelos de fragilidade ambiental utilizando redes neurais, considerou que as condições de estabilidade/equilíbrio do

ambiente podem ser rompidas através das modificações realizadas em qualquer um dos componentes da natureza, gerando uma instabilidade.

Fierz (2008) fundamentado no ponto de vista de Thorn e Welford (1994), conceituou a fragilidade ambiental através do limiar entre o equilíbrio dinâmico e o não-equilíbrio. Logo, qualquer intervenção nessa dinâmica produz mudanças nos componentes ambientais, gerando assim uma quebra na interação entre os elementos.

Tamanini (2008, p. 8) assegura que “entender os ambientes com essa dinâmica significa possibilitar o entendimento sobre seus elementos constituintes e com isso pode intervir em seus níveis de fragilidade ambiental o mais próximo da realidade”. Para Gayoso (2014), o entendimento da fragilidade ambiental inicia-se com a compreensão do equilíbrio dinâmico, pois qualquer intervenção neste equilíbrio muda a dinâmica dos elementos.

Diante do exposto, observa-se que a fragilidade ambiental possui estreita relação com a capacidade de alteração imposta pela sociedade, pois ao apropriar e ocupar determinadas áreas, os seres humanos interferem no equilíbrio dinâmico destas, gerando uma desestabilização dos componentes que resulta em problemas ambientais adversos. Neste sentido, tem-se a subdivisão da fragilidade ambiental, a fragilidade potencial, que considera as características naturais; e a fragilidade emergente que relaciona-se ao uso e cobertura da terra.

Essa subdivisão é definida por Sporl (2001) e Sala (2005) em: potencial (que integra os elementos físicos e naturais) e emergente (que compreende a fragilidade potencial e os usos da terra). Em concordância com os autores anteriormente citados, Fierz (2009) destaca que as Unidades Ecodinâmicas de Instabilidade Potencial podem ser denominadas também como fragilidade potencial, referindo-se as áreas sem atuação antrópica e Unidades Ecodinâmicas de Instabilidade Emergentes como Fragilidade Emergente, sendo equivalente as áreas onde a atuação antrópica se faz presente.

Sales e Nascimento (2020) comentam que

As unidades de fragilidade potencial correspondem aos ambientes estáveis que se encontram em condições de equilíbrio dinâmico, ou seja, sofreram com menor intensidade o impacto das atividades humanas. Apesar de apresentarem características ambientais estáveis denotam instabilidade potencial qualitativamente previsível em virtude de suas características naturais e ao desenvolvimento das atividades socioprodutivas. As unidades de fragilidade emergente são relacionadas aos ambientes fortemente instáveis, em desequilíbrio dinâmico, onde as intervenções antropogênicas transformaram intensamente o ambiente. A fragilidade emergente também pode ser classificada nos ambientes naturais onde possuem características de maior fragilidade naturais em face às possíveis intervenções humanas (SALES E NASCIMENTO, 2020, pág. 251).

Considerando a questão urbana, é notável a utilização da variável uso e cobertura da terra, o que torna evidente a atividade dos seres humanos sobre os ambientes naturais e a capacidade de modificá-los, o que gera a intensificação de processos geomorfológicos específicos.

Santos e Ross (2012), Thomazini (2013), Gayoso (2014), Silva (2016), Guirra (2017), Stoqui (2018), Franzin (2018) e Pimenta (2019) e outros demonstram a aplicabilidade da metodologia elaborada por Ross (1994 e 2000) para o planejamento ambiental, seja em ambientes naturais (rurais) ou em ambientes com intensa atividade/modificação do ser humano (urbano). Rodrigues (2000) em seu trabalho intitulado “Análise da fragilidade do relevo. Abordagem empírico-experimental” comenta que:

Através dos tempos o homem vem atuando sobre o relevo, alterando, em maior ou menor parte de seus elementos, como por exemplo, a alteração dos canais dos rios, a formação de lagos artificiais, a escavação de minas a céu aberto, a criação de terraços artificiais para aproveitamento agrícola e a apropriação do terreno para o uso urbano. Estas alterações modificam sensivelmente a paisagem, contribuindo para a alteração da dinâmica ambiental e suas diversas situações de equilíbrio, gerando em muitos casos novas paisagens e novos comportamentos morfodinâmicos (RODRIGUES, 2000, p. 172).

De acordo com Ross (2012), Santos e Ross (2012), Thomazini (2013), Guirra (2017) e Franzin (2018), a fragilidade ambiental no contexto urbano é analisada através das interações (natureza-sociedade), modificações (aterros, cortes de talude, impermeabilização, retificação de canais fluviais) e consequências (impulsioneamento de fenômenos geomorfológicos).

Ressalta-se aqui, que o entendimento da relação natureza-sociedade é de fundamental importância para os estudos geomorfológicos, no entanto, na presente pesquisa adotou-se a categoria paisagem, por ser um meio de análise que proporciona a leitura geomorfológica das múltiplas realidades que nos cercam, sejam naturais ou antrópicas, ou mesmo, as suas inter-relações.

Partindo do princípio da intensa atividade humana sobre os ambientes, Santos e Ross (2012) e Ross (2012) realizaram adaptações nas variáveis declividade e solos; e fizeram a inserção de mais um parâmetro, referente ao nível de urbanização. No que diz respeito a declividade, Santos e Ross (2012) abordam que

Em ambientes urbanos, onde as alterações de ordem antropogênica são bastante acentuadas devem ser utilizadas classes de declividade que considerem as especificidades do sítio urbano em investigação, permitindo assim, auxiliar na fragilidade ambiental (SANTOS E ROSS, 2012, p. 134).

Neste sentido, Santos e Ross (2012) elaboraram uma adaptação relacionada às classes de declividades apresentadas na proposta de Ross (1994), ajustando-a para ambientes urbanos. Ross (2012) apresenta uma classificação de declividade diferenciando as áreas alagáveis das áreas relativamente planas (Tabela 2).

Tabela 02 – Análise das classes declividade para composição da fragilidade ambiental em ambiente urbano

Classes de Declividade	Declividade em %		
	Ross (1994)	Santos e Ross (2012)	Ross (2012)
Muito fraca	0 a 6%	0 a 3%	zero a 2% - planos e altos relevos, ou 1° (grau)
Fraca	6 a 12%	3 a 8%	3% a 15% ou 8°
Média	12 a 20%	8 a 13%	16% a 30% ou 17°
Forte	20 a 30%	13 a 20%	31% a 50% ou 25°
Muito Forte	maior que 30%	maior que 20%	50% ou acima de 25°
			2% ou menos 1° - relevo das planícies alagadas.

Fonte: Ross (1994); Santos e Ross (2012); Ross (2012). Organizado por Santana (2020).

A declividade é uma variável de grande importância na discussão sobre a fragilidade ambiental, pois a partir de sua análise é possível diagnosticar, por exemplo, áreas propensas a inundações (fundos de vale e planície de inundação), que em virtude de suas características apresentam restrição ao uso urbano. Nesta perspectiva, Silveira (2013) ao propor uma metodologia para avaliação dos níveis de restrição do relevo ao uso urbano, realizou adaptações com base na proposta de Ross (1994), tornando possível, a integração desta proposta em áreas com baixas declividades (Tabela 3).

Tabela 03 – Análise das classes declividade para composição da fragilidade ambiental em ambiente urbano

Classes de Declividade	Declividade em %		
	Silveira (2013)	Mendes (2015)	Bernardelli (2019)
Muito fraca	< 3%	< 2%	< 2%
Fraca	3 ┤ 6%	2 ┤ 5%	2 ┤ 5%
Média	6 ┤ 12%	5 ┤ 15%	5 ┤ 12%
Forte	Medianamente Forte: 12 ┤ 20%	15% ┤ 30%	12% ┤ 30%
	Forte: 20 ┤ 30%		
Muito Forte	≥ 30%	≥ 30%	30% ┤ 45%
			≥ 45%

Fonte: Silveira (2013); Mendes (2015); Bernardelli (2019).

Já Mendes (2015), realizou ajustes nas classes de declividades, considerando a classe de <2%, pois são áreas de declive que possuem um escoamento superficial incipiente, com concentração de águas pluviais. Bernadelli (2019) parte do mesmo princípio do autor anterior, no entanto, inclui as classes de 30% a 45% muito forte, pois a área de estudo do autor apresentava esses valores. Com base no que foi exposto, observa-se a importância da realização de adaptações das classes de declividade, considerando o ambiente urbano, o relevo e as particularidades de cada área em análise.

Em relação aos tipos de solos, segundo a literatura, para as classes de fragilidade dos solos é necessário observar algumas características físicas (textura, estrutura, plasticidade, pegajosidade, entre outros) que possuem uma estreita relação com o relevo, litologia e o clima (SANTOS E ROSS, 2012). Todavia, no ambiente urbano os solos encontram-se densamente modificados, com a formação de terrenos tecnogênicos, o que promove uma reflexão quanto ao uso desta variável para elaboração do mapeamento da fragilidade ambiental em áreas urbanas.

Neste sentido, para a hierarquização da fragilidade dos solos, Ross (1994) levou em consideração estudos relacionados à erodibilidade dos solos de diversos autores, enfatizando a possibilidade de realizar adaptações necessárias visto que, há uma extensa variedade de classes de solos nas diferentes regiões do Brasil. Em relação a isto, Santos e Ross (2012) complementam que

Em ambientes urbanizados faz-se necessário considerar como os diferentes estágios de urbanização interferem na classificação da fragilidade dos solos. Tal preocupação se faz premente, visto que nas áreas metropolitanas os solos em sua grande maioria foram alterados por aterros e compactações e/ou encontram-se sobrepostos por impermeabilização asfáltica, o que altera o comportamento do solo em face a ação da chuva/erosão e seu suporte às construções (SANTOS E ROSS, 2012, p. 135).

Nesta perspectiva, Santos e Ross (2012) inseriram adaptações nas classes de fragilidades dos solos com características relacionadas ao tipo de urbanização (Tabela 3).

Tabela 04 – Proposta para classes de fragilidade dos solos adaptada de Ross (1994)

Classes de Fragilidade	Tipos de Solos e Urbanização
Muito baixa	Latossolos de estrutura argilosa e média/argilosa (conforme classes 1 e 2 da proposta original); Nitossolo, Latossolo vermelho-amarelo em áreas dotadas de infraestrutura urbana.
Baixa	Argissolos vermelho-amarelo com textura média/argilosa em áreas urbanas dotadas de boas condições de infraestrutura.
Média	Argissolos de textura média/arenosa em áreas urbanas dotadas de boas condições de infraestrutura.

Forte	Argissolos vermelho-amarelos de textura média/arenosa; Neossolos Quartzarênicos em áreas com infraestrutura urbana.
Muito Forte	Argissolos com cascalhos; Gleissolos; Neossolos flúvicos; e Neossolos Quartzarênicos.

Fonte: Santos e Ross (2012).

O grau de proteção da vegetação e dos solos aos efeitos da urbanização foi considerado como fator significativo para determinação da fragilidade em áreas urbanas, pois a vegetação exerce papel importantíssimo no solo, com maior proteção da ação direta das gotas de chuvas. De acordo com proposta de Ross (1994) não há a contemplação dos efeitos da urbanização assim, Santos e Ross (2012) consideraram os graus de fragilidade quanto à urbanização, adaptando-a. Sobre este ajuste, Santos e Ross (2012, p. 136) afirmam que

A elaboração das categorias de fragilidade quanto à urbanização, partiu do entendimento de que a fragilidade em áreas urbanizadas está relacionada à intensidade do escoamento superficial, possibilidade de infiltração e drenagem após a incidência das chuvas, seja pelas intervenções estruturantes ou pelas condições naturais, susceptibilidade natural à inundação das áreas mais rebaixadas e possibilidade de movimentos de massa (SANTOS e ROSS, 2012, p. 2012).

Assim sendo, Santos e Ross (2012) elaboraram uma proposta de análise da fragilidade ambiental quanto ao nível de urbanização baseados em Ross (1994), Araújo *et al.* (2005) e Santos (2006). Foram levados em consideração os diferentes tipos de uso e cobertura da terra associados às condições infraestruturais e do ambiente natural (Tabela 5).

Tabela 05 – Proposta elaborada para fragilidade quanto ao nível de urbanização

Graus de Fragilidade	Nível de Urbanização
Muito baixa	Predomínio de condições naturais com um estrato vegetal bem desenvolvido e/ou em estágio avançado de regeneração que favorece a infiltração, minimizando o escoamento pluvial. Setores de média urbanização situados em áreas mais elevadas que apresentam baixa declividade e contam com medidas estruturais e não estruturais para controle de cheias, como caixas de sumidouro, canteiros permeáveis, obstáculos para redução da velocidade do escoamento, reservatórios para coleta e reuso de água de chuva.
Baixa	Área urbanizada com drenagem eficiente, baixa declividade, presença de ações para controle de cheias, infiltração e redução do escoamento nas vias de circulação, nos lotes e nas construções.
Média	Área urbanizada predominantemente impermeável com problemas de drenagem e constantes alagamentos e inundações. Ambientes com declividade praticamente nula precariamente incorporados à drenagem, susceptíveis a inundações sazonais, que podem ter constituído antigas planícies de inundação de corpos hídricos e lacustres afetados ou não por atividades antropogênicas.
Alta	Locais urbanizados e/ou semiurbanizados com precariedade nas construções e na infraestrutura para eventos pluviométricos de

	média/baixa intensidade. Áreas de inundação natural, como planícies lacustres, e setores mais abrigados das planícies fluviais e fluvio-marinhas.
Muito alta	Áreas críticas que deveriam ser destinadas a manutenção de sua funcionalidade sistêmica original. Ausência de infraestrutura e total precariedade dos constructos humanos, fruto do uso e ocupação desordenados do solo. Ambientes naturalmente favoráveis à inundação, tais como corpos hídricos e planícies de inundação. Setores com grande declividade susceptíveis a movimentos de massa.

Fonte: Santos e Ross (2012).

O uso desta metodologia na classificação da fragilidade ambiental foi considerado imprescindível, pois permite a análise dessas variáveis, tanto de forma qualitativa, quanto quantitativa, uma vez que gera a possibilidade de um mapeamento sucinto com o indicativo de polígonos com diferentes graus de fragilidade, que podem ser representados pelas unidades de fragilidade potencial e unidades de fragilidade emergente (SANTOS E ROSS, 2012).

Embora esteja pautada numa perspectiva de indissociabilidade entre os componentes ambientais e suas interações com a sociedade, a classificação ora apresentada utiliza o relevo como elemento fundamental de definição da fragilidade ambiental. Não se trata simplesmente de uma compartimentação do relevo ou uma análise das formas por si, mas sim da interconexão estabelecida entre o relevo com as demais componentes da natureza, os processos atuantes e as intervenções da sociedade (SANTOS; ROSS, 2012, p. 136 e 137).

Neste trabalho, estas variáveis subsidiaram a avaliação da fragilidade ambiental do relevo à ocupação urbana, pois permitiu a análise das inter-relações entre a paisagem, os aspectos naturais (relevo e os demais componentes ambientais) e sociais (quem se apropria e a forma de ocupação).

Posto isto, tendo respaldo na metodologia já apresentada de Santos e Ross (2012), considerando a variável relevo e as características da área em análise, foi necessário realizar adaptações na metodologia da fragilidade ambiental.

Diante do exposto, entende-se que a metodologia da fragilidade ambiental possui uma extensa gama de adeptos com resultados satisfatórios, levando sempre em consideração o foco da pesquisa, e mostra-se também flexível para adaptações quando necessário, de acordo com a singularidade de cada local.

As bacias hidrográficas são consideradas relevantes para as pesquisas, pois através desta unidade de análise é possível realizar as correlações necessárias para o entendimento da relação sociedade e natureza, uma vez que é nos ambientes urbanos que estas interações tornam-se mais evidentes.

3. PROCEDIMENTOS TÉCNICOS-OPERACIONAIS

A pesquisa é descritiva quanto aos objetivos. Neste sentido, torna-se necessária a revisão bibliográfica para o entendimento dos aspectos teóricos e metodológicos, referindo-se à geomorfologia como ciência capaz de estudar os processos atuais sobre o relevo.

Considerou-se a variável relevo como ponto de partida para análise nesta pesquisa, em razão da ocupação e transformação intensa da sub-bacia hidrográfica do riacho do Angelim sem considerar a fragilidade ambiental das morfologias. Neste sentido, para entendimento da fragilidade ambiental em área urbana, foi realizada uma adaptação das propostas metodológicas de Ross (1994), Santos e Ross (2012), Ross (2012) e Moroz-Caccia e Ross (2019).

Para verificação e possível discussão dos aspectos físicos, do uso e cobertura da terra e transgressões legais, o mapeamento contribuiu de forma significativa para validação e análise dos produtos. Assim, os procedimentos técnicos-operacionais para alcance dos resultados estão descritos a seguir:

a) Levantamento bibliográfico e cartográfico

Foram realizadas revisões bibliográficas baseando-se nos autores pretéritos tidos como referências na literatura especializada, assim como os contemporâneos. A pesquisa bibliográfica está relacionada com temas da geomorfologia; ecodinâmica; apropriação do relevo; morfodinâmica; e a fragilidade ambiental.

Para aquisição dos dados mencionados, foram realizadas consultas nos acervos físicos e digitais da Universidade Estadual do Maranhão - UEMA, periódicos, teses, dissertações e livros que abordassem a temática aqui analisada.

A pesquisa teve como principais autores as seguintes referências: Felds (1958), Ab'Saber (1969), Bertrand (1969), Brown (1971), Tricart (1977), Christofletti (1980), Nir (1983), Casseti (1991, 1994 e 2005), Ross (1992, 1994, 2000 e 2012), Goudie (1993, 2004 e 2006), Ayoad (1996), Chengtai (1996), Sporn (2001 e 2007), Suertegaray (2001, 2009 e 2018), Guezzi (2003), Rodrigues (2004), Rodrigues (2005), Drew (2005), Guerra e Marçal (2006), Santos (2006 e 2012), Fierz (2008), Florenzano (2008), Valeriano (2008), Botelho (2011), Jorge (2011), Silva (2012), Thomazini (2013), Pedro Miyazaki (2014), Moroz-Caccia Gouveia e Rodrigues (2017), Guirra (2017), Franzin (2018), Stoqui (2018), Pimenta (2019), Moroz-Caccia e Ross (2019), Nunes (2019), França (2019), Fushimi e Pedro Miyazaki (2019), Vestena, Almeida e Geffer (2020), Sales e Nascimento (2020).

O levantamento cartográfico, por sua vez, foi realizado a partir da aquisição dos dados da bacia hidrográfica do rio Anil por meio dos relatórios de pesquisa do grupo Geomorfologia e Mapeamento – GEOMAP do curso de Geografia da UEMA e do banco de dados de Santana (2018).

Para obtenção dos dados pluviométricos efetuou-se consultas no Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa – BDMEP do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET e no site do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. Após o levantamento destes dados vetoriais, foi possível a organização do banco de dados, para atualização e validação das informações da área de estudo para posterior elaboração do mapeamento temático.

b) Organização do ambiente de trabalho

A organização deu-se a partir da criação de banco de dados no ambiente de Sistema de Informação Geográfica – SIG mais especificamente no *software* ArcGis® *for Desktop Advanced*, versão 10.2, licença EFL999703439 pertencente ao GEOMAP. Este programa foi usado devido à sua fácil assimilação e sua estrutura em três subaplicações, capaz de executar tarefas simples ou complexas, incluindo a gestão de dados geográficos, construção de mapas, análise espacial, edição avançada de dados ou ligação à base de dados externos.

c) Trabalhos de campo

Os trabalhos de campo possuem grande relevância na pesquisa geográfica, pois é possível realizar as devidas avaliações e validações do que é gerado nos levantamentos bibliográficos e cartográficos, tornando possível estabelecer relações entre a área de pesquisa e os resultados obtidos.

Durante os trabalhos de campo utilizaram-se os seguintes equipamentos: máquina fotográfica, GPS - *Global Positioning System*, trena e caderneta de campo. Em decorrência do cenário atual promovido pela Covid-19, foi possível realizar quatro trabalhos de campo e três visitas individualmente, totalizando sete vivências, que serão descritas a seguir.

Os campos foram realizados entre janeiro/2020 e janeiro/2021, nas seguintes datas: 13/01; 26/03; 20/05, 23/06 e 04/12/2020 e 15 e 19/01/2021. No dia 13/01/2020 realizou-se o primeiro campo com intuito de diagnosticar e observar as morfologias, atentando-se às margens dos canais e às alterações impostas pela sociedade, assim como às implicações da ocupação na área de estudo. Destaca-se que os campos foram realizados no período chuvoso, de janeiro a junho.

No dia 26/03/2020, ocorreu o segundo campo após um evento chuvoso, com a intenção de observar a disposição do escoamento superficial, tendo em vista o grau de impermeabilização da área e como os canais de drenagem reagem ao receber um grande volume d'água proveniente das vertentes impermeabilizadas.

Nos dias 20/05 e 23/06/2020 foram realizadas visitas para registros fotográficos com base no mapeamento elaborado, desta forma, foi possível estabelecer inter-relações entre a literatura, os aspectos geoambientais da área e os resultados alcançados.

Para a validação e obtenção dos dados de uso e cobertura da terra, identificação dos padrões de uso e construção do perfil topográfico morfodinâmico da área, foi realizado um campo no dia 04/12/2020, com o intuito de percorrer toda área e efetuar registros fotográficos das classes.

Após o mapeamento da fragilidade ambiental do relevo à ocupação urbana, foi necessário a ida a campo no dia 15/01 e 19/01/2020 para validação das áreas com média e alta fragilidade, desta forma foi possível atribuir os pesos necessários, considerando a importância de cada atributo. Assim, os trabalhos de campos tornam-se imprescindíveis na pesquisa, uma vez que permite analisar e ponderar os resultados alcançados.

d) Mapeamento temático

Nesta etapa utilizou-se o banco de dados de Santana (2018) que estava baseado nas cartas planialtimétricas do Diretório do Serviço Geográfico do Exército – Ministério do Exército / Ministério do Interior - DSG/MINTER (1980) com escala de 1:10.000, sendo as folhas 14,15, 23 e 24 referentes à sub-bacia hidrográfica do riacho do Angelim.

- Atualização e adaptação dos mapas de geologia e solos

Os mapas de geologia e solos da área de estudo foram extraídos do mapeamento geomorfológico da Ilha do Maranhão na escala de 1:60.000 de Silva (2012). Para caracterização geológica, a autora em questão utilizou os seguintes documentos: mapa de geologia, escala de 1:100.000, produzido por Maranhão (1998a); carta geológica da Companhia dos Recursos Minerais - CPRM, escala de 1:250.000, elaborada por Rodrigues *et al* (1994); e carta geológica da CPRM, escala 1:500.000, folha SA.23-X/Z São Luís NE/SE, elaborada por Veiga Júnior (2000).

Em relação ao mapa de solos, a autora supracitada utilizou como base a classificação elaborada por Maranhão (1998b) na escala de 1:100.000 que foi desenvolvido a partir das normas estabelecidas pelo Centro Nacional de Pesquisa de Solos - CNPS (EMBRAPA, 1996). No entanto, para alcance do resultado final na escala de 1:60.000, Silva

(2012) realizou adequações das classes de solos considerando os trabalhos de campo e o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, publicado pela Embrapa (1999).

Durante o desenvolvimento desta pesquisa, houve a necessidade de se fazer atualização dos *shapefiles* referentes aos limites de cada classificação geológica e pedológica. Foram recortados do mapeamento de solos e geológico realizados por Silva (2012) para a Ilha do Maranhão através da ferramenta *Arctoolbox – Analysis Tools – Extract – Clip*. Após esta etapa, foi realizada a associação das classes⁷ correspondentes à área de estudo e realizou-se a atualização dessas classificações baseando-se em imagens do Google Earth® e trabalhos de campo. Assim, o mapeamento alcançou o resultado esperado para a escala de trabalho. Uma vez atualizados, os *shapefiles*, foi possível alcançar a escala de 1:10.000, seguindo o novo limite das classificações. A partir da atualização de todos os *shapes*, os mapas foram finalizados, incluindo novas colorações das classes e legendas apropriadas como resultado final de cada mapa.

- Mapas de hipsometria e declividade

O mapa hipsométrico foi elaborado a partir das curvas de nível com equidistância de cinco metros. Gerou-se um Modelo Digital de Elevação – MDE, que foi criado no ArcGis®, seguindo o caminho: *ArcToolbox – Data Management – TIN – Creat Tin*. Após a criação do *TIN* foi feito uma classificação na ferramenta *Symbology*, neste sentido foram obtidas nove classes para melhor representação da elevação da sub-bacia hidrográfica do riacho do Angelim.

Os perfis topográficos foram traçados sobre o MDE da seguinte maneira: selecionou-se o botão *customize – Toolbars – 3D Analyst – Interpolate line* – logo depois traçou-se os perfis A-B e C-D, após estas etapas foi gerado os gráficos na ferramenta *Profile Graph* do *3D Analyst*.

O mapa de declividade foi gerado a partir da cópia do MDE de hipsometria. O MDE foi convertido em *raster* através da ferramenta *Tin to raster* do *3D Analyst Tools* do ArcGis®. Após esta etapa, foi realizada a extração da declividade do *raster* na operação do *3D Analyst Tools – Raster Surface – Slope*.

Em relação às classes de declividade foram realizadas adaptações, levando em consideração Ross (1996), Santos e Ross (2012), Ross (2012), Silveira (2013), Mendes (2015)

⁷ As associações foram realizadas da seguinte maneira: após o recorte da base de Silva (2012), foi necessário à ida a campo para validar os dados extraídos e realizar a adequação para escala de 1:10.000. No que se refere à geologia e pedologia, foi identificado o limite entre a área de mangue (depósitos de mangue/gleissolos tiomórficos) e a área associada aos depósitos aluvionares e coluvionares (gleissolos). Após a análise e adequação dos limites à realidade atual destas inter-relações, chegou-se ao resultado desejado.

e Bernardelli (2019). Nos trabalhos de campo, foi observado baixas declividades, salvo algumas áreas; em virtude disto, percebeu-se a necessidade de realizar ajustes para melhor representar e espacializar a declividade da área em análise (Tabela 6). Ressalta-se que após ensaios para analisar a declividade não foram encontradas classes $\geq 30\%$.

Tabela 06 – Classes de declividades utilizadas na área objeto de estudo

Classes de Declividade	Parâmetros de Análise
0 ┊ 3%	Áreas inundáveis (uso urbano restrito) / Áreas planas (tabuleiros)
3,1 ┊ 5%	Uso urbano com baixa restrição em relação às áreas inundáveis
5,1 ┊ 10%	Uso urbano sem restrição, considerando as características locais
10,1 ┊ 20%	Uso urbano com restrição, e de acordo com Mendes (2015), o traçado urbano deve seguir as curvas de nível e os arruamentos devem ser descontínuos
≥ 25	

Fonte: Própria pesquisa, 2021.

- Mapa de formas do terreno

De acordo com Valeriano (2008), as formas do terreno resultam da combinação entre as curvaturas vertical e horizontal, como produto final da associação da curvatura vertical (côncavo, retilíneo e convexo) e curvatura horizontal (convergente, planar e divergente). Logo, considera-se de fundamental importância no que diz respeito aos estudos em ambientes urbanos, pois a partir da forma do terreno é possível entender a direção do fluxo das águas pluviais. No entanto, a elaboração deste mapa requer muita atenção; assim, as etapas realizadas estão descritas a seguir.

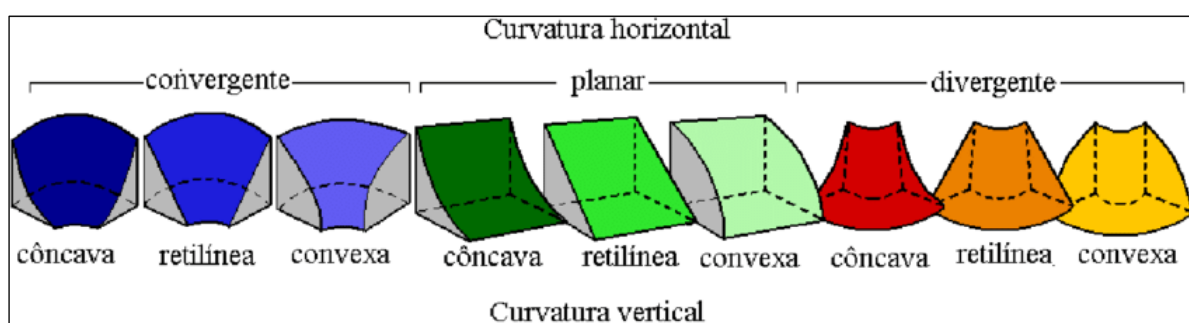
Após a criação do *TIN*, o qual foi elaborado anteriormente para a geração dos mapas hipsométrico e clinográfico, foi transformado para o formato *raster* da seguinte maneira: em *Arctoolbox - 3D Analyst Tools – Conversions – From tin*. Na opção *Samplig distance* selecionou-se a opção *CELLSIZE* 10, pois este representa a resolução da área, ou seja, quanto menor o valor do *cellsize* maior será a resolução.

Após a transformação do *TIN* para o formato *raster*, este último foi transformado para um formato estatístico da seguinte maneira: *Arctoolbox – Spatial Analyst Tools - Neighborhood - Focal statistcs*. Na opção *neighborhood* marcou-se a alternativa *circle* e em *radius* coloca-se o número 5. O nome do arquivo deve ser *CIR5ELEV* que representa a forma, o número do *radius* e a elevação. Em seguida, criou-se a curvatura em perfil e em plano, conforme descrito a seguir: *Arctoolbox – Spatial Analyst Tools – Surface – Curvature*. Vale ressaltar que este procedimento gera três arquivos, o de curvatura, curvatura em plano e curvatura em perfil. Através do cruzamento destes três arquivos, obtêm-se como resultado os nove tipos de formas de vertentes.

Após a criação destes arquivos, os mesmos passam por um processo de reclassificação, descrito a seguir: *Arctoolbox – Spatial Analyst Tools – Reclass – Reclassify*. Este procedimento foi realizado para os arquivos de curvatura plana e curvatura em perfil. Depois de todos os procedimentos anteriormente realizados, foi feita a soma dos dois arquivos últimos arquivos gerados, o de curvatura em plano e curvatura em perfil, somou-se da seguinte forma: *Arctoolbox – Spatial Analyst tools – Map Algebra – Raster Calculator*.

Após este somatório, realizou-se o processo de classificação das vertentes. Em *Open Attribute Table* – adicionou-se um *field* e começou-se a classificação das vertentes, com base em Valeriano (2008), no qual tem-se os tipos de vertentes que representam as curvaturas horizontal e vertical do terreno associadas, com nove classes (Figura 04).

Figura 04 - Classes de forma de terreno



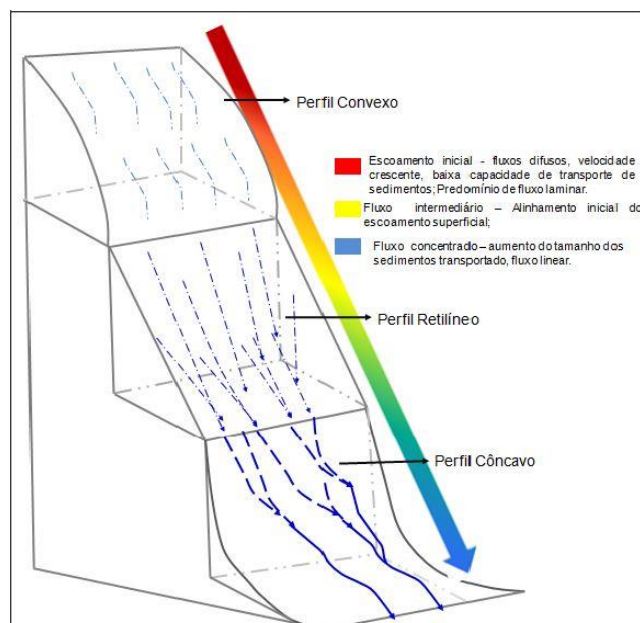
Fonte: Fonte: Valeriano, 2008.

Após esta classificação, o formato raster foi convertido em polígono, objetivando calcular a área das vertentes e foi feito um *dissolve* onde apareceram os tipos de vertentes presentes na área.

A curvatura horizontal enfatiza a representação da dispersão ou convergência do escoamento superficial sobre o terreno (divergente, planar ou convergente), em projeção horizontal. As áreas convergentes coletam fluxos com maior energia, enquanto as áreas divergentes facilitam a distribuição do mesmo (SILVA NETO, 2013).

A curvatura vertical está relacionada às formas convexas, retilíneas ou côncavas do terreno, quando analisados em perfil e relaciona-se aos processos de migração ou acúmulo de água. Neste sentido, a figura 05 e o quadro 04 mostram o comportamento hidrológico na superfície, relativo às nove formas do terreno que foram classificados com base em Colângelo (1996), Silva Neto (2013) e Guirra (2017).

Figura 05 – Relação dos fluxos de água conforme as formas das vertentes



Fonte: Silva Neto (2013).

Quadro 04 – Fluxos resultantes de acordo com as formas do terreno

Formas do Terreno		Fluxo Resultante	Domínio
Convergente	Côncava	Hiperconcentrador	Concentração
	Retilínea	Mesoconcentrador	
	Convexa	Hiporconcentrador	
Planar	Côncava	Mesoconcentrador	Transição
	Retilínea	Transição	
	Convexa	Mesodispersor	
Divergente	Côncava	Hipodispersor	Dispersão
	Retilínea	Mesodispersor	
	Convexa	Hiperdispersor	

Fonte: Colângelo (1996); Guirra (2017).

- Mapas comparativos de drenagem e classificação dos canais

Devido às modificações realizadas pela sociedade na sub-bacia hidrográfica do riacho do Angelim, a drenagem registrada nas cartas planialtimétricas datadas do ano de 1980 já não é a mesma, pois a área passou por intenso processo de urbanização e a expansão urbana é constante, o que pressiona as áreas remanescentes de vegetação.

Após a realização dos trabalhos de campo, observou-se a necessidade de realizar a classificação e atualização da drenagem, pois a partir das interferências antrópicas, alguns

canais foram aterrados ou descaracterizados, o que evidencia a capacidade do ser humano como agente geomorfológico, ou seja, com a intensa atividade sobre o relevo, suas modificações exercem influência direta sobre os canais fluviais.

A partir desta premissa, foi gerado um mapa comparativo entre as drenagens de 1980 e 2020 e posteriormente realizou-se a hierarquização dos canais de acordo com Strahler (1952) para fins de análise.

A drenagem dos anos 1980 foi gerada a partir da vetorização das cartas topográficas por meio do banco de dados já existente, associados aos trabalhos de campo. A partir dos trabalhos de campo e auxílio das imagens do Google Earth® foi possível o diagnóstico da situação atual dos canais fluviais.

Assim sendo, foi utilizada a proposta de Oliveira *et. al.* (2004), em que os canais são classificados de acordo com suas características atuais, tendo em vista a capacidade do ser humano de alterá-los, em um curto espaço de tempo, o tempo do ser humano (Quadro 05).

Quadro 05 – Classificação dos canais de drenagem após passar por modificações

Tipos de Canais	Definição
Canais abertos	São aqueles canais que percorrem a área urbana, onde há predomínio de trechos abertos, sem grandes intervenções nas margens e no leito
Canais fechados	São canais que percorrem a área urbana, onde há predomínio de trechos onde o canal encontra-se completamente fechado por galeria
Canais mistos	São canais em que alguns trechos encontram-se completamente abertos, outros com algum tipo de proteção nas margens, e em alguns casos, encontram-se trechos completamente fechados por galerias setorizadas
Canal retificado	São os trechos dos canais onde a intervenção ocorreu modificando-se a morfologia do canal e o seu percurso, mas o canal continua aberto
Barramentos	São todas aquelas obras realizadas nos canais de drenagem que formam pequenos barramentos do canal. Os barramentos estão associados as vias perpendiculares ao canal e as suas respectivas tubulações

Fonte: Oliveira *et. al.* (2004); Adaptado de França (2019).

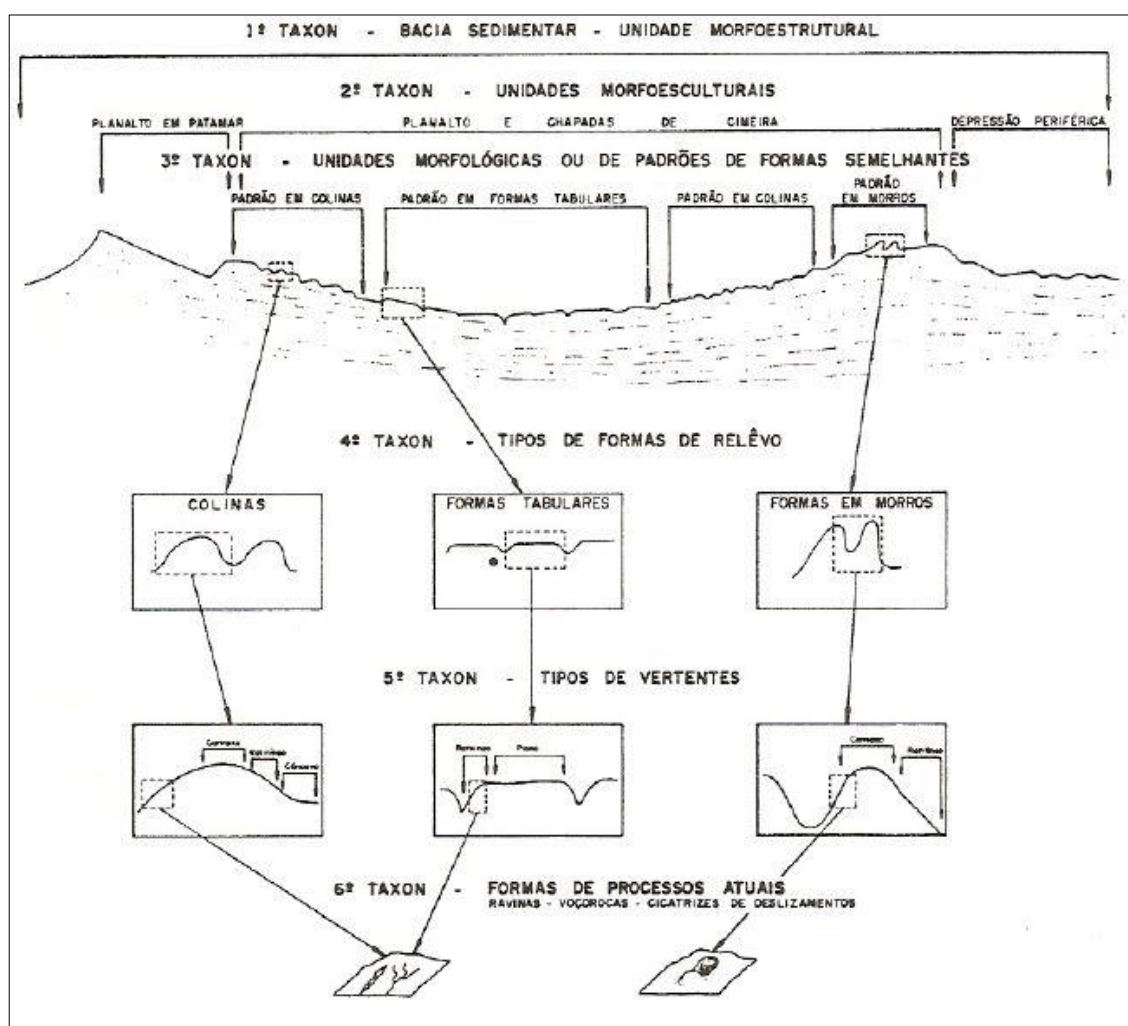
- Mapa de unidades de relevo

O mapeamento das unidades de relevo da sub-bacia hidrográfica foi extraído do mapeamento geomorfológico de Silva (2012) para a Ilha do Maranhão na escala de 1:60.000. Esta operação ocorreu no programa ArcGis® na ferramenta *Arctoolbox – Analysis Tools – Extract – Clip*. Com a base de dados em mãos, realizou-se a identificação e posterior atualização das morfologias com base nas imagens do Google Earth®, seguida da validação em campo. Assim sendo, o mapeamento das unidades de relevo teve como resultado final um mapa na escala de 1:10.000.

O mapeamento foi realizado com base em Ross (1992, 1993, 1995, 1997), levando em consideração os níveis taxonômicos do relevo. Este autor fundamentou-se nos conceitos de Morfoestrutura e Morfoescultura propostos pelos russos Guerasimov e Mescherikov (1968); e Mecerjacov (1968) sendo utilizados amplamente pela literatura especializada (Figura 06). Desta forma, na presente pesquisa foram caracterizados os níveis 4, 5 e 6 no mapeamento realizado. Para o nível 4 foi utilizada a base de dados de Silva (2012); o nível 5 foi gerado a partir das curvas de nível com equidistância de cinco metros e informações das classes de formas do terreno, fundamentado em Valeriano (2008).

Em relação ao 6º táxon, foi caracterizado e representado a partir da simbologia linear proposto por Vestappen & Zuidam (1975), utilizado por Cunha, Mendes e Sanchez (2003); Machado e Cunha (2013); e Zanatta, Lupinacci e Boin (2017). Destaca-se que foi inserido no mapa de unidades de relevo manchas de inundação e alagamento para validação da ocorrência de processos geomorfológicos na sub-bacia hidrográfica do riacho do Angelim.

Figura 06 – Níveis taxonômicos das unidades de relevo



Fonte: Ross (1992).

Ressalta-se que foi identificado em algumas áreas com drenagem mista (aberto/fechado), estreita planície de inundação. Mas, não foi espacializado em virtude da escala do trabalho, uma vez que ficariam imperceptíveis no mapeamento. Isto ocorreu em virtude da intensa atividade humana na área de estudo que resultou na descaracterização das morfologias.

- e) Mapeamento do uso e cobertura da terra, comparativo da impermeabilização, expansão urbana sobre o relevo e transgressões legais

Uso e cobertura da terra e identificação dos padrões de uso

De acordo com o IBGE (2013), o levantamento do uso e cobertura da terra indica a espacialização da tipologia de uso, analisada por meio de padrões homogêneos da cobertura terrestre. Abrange pesquisas de gabinete e campo, direcionadas para o registro, análise e interpretação de observações da paisagem, visando a identificação das classes.

Sendo assim, utilizou-se a nomenclatura uso e cobertura da terra com base no IBGE (2013), pois esta análise é de grande utilidade, constituindo importante ferramenta para o planejamento e orientação à tomada de decisão.

Utiliza-se nesta pesquisa as terminologias áreas urbanizadas e vegetação secundária mista, para o mapa de uso e cobertura da terra dos anos 1975 e 2019 da sub-bacia hidrográfica do riacho do Angelim.

As áreas urbanizadas estão relacionadas às áreas antrópicas não agrícolas, com densa malha urbana; e solo exposto. A vegetação secundária mista refere-se às áreas com presença de vegetação remanescente no ambiente urbano mais a vegetação de mangue, que está relacionada à área da planície de maré.

A espacialização do uso e cobertura da terra, relacionada a comparação entre os anos 1975 e 2019, foi realizada através da técnica Máxima Verosimilhança (MAXVER) que classifica por pixel. É feito por meio da coleta de amostras e logo após cria-se uma assinatura digital para posterior classificação dos tipos de uso (IBGE, 2013).

As cores empregadas no mapeamento estão de acordo com proposta do IBGE (2013); para área urbanizada aplicou-se a cor rosa e a vegetação, verde – RGB (Figura 07).

Figura 07 – Cores utilizadas no mapa de uso e cobertura da terra

Uso e cobertura da terra					
Área urbanizada			Vegetação		
C = 0	M = 344	R = 255	C = 55	M = 79	R = 115
M = 34	S = 34	G = 168	M = 34	S = 100	G = 168
Y = 25	V = 100	B = 192	Y = 100	V = 66	B = 0
K = 0			K = 0		

Fonte: IBGE (2013).

Nesta técnica, uma imagem é classificada usando assinaturas espectrais, ou seja, valores de reflectância dos alvos, obtidos a partir de amostras de treinamento, que correspondem aos polígonos que representam áreas de amostra distintas dos diferentes tipos de cobertura de terra a serem classificados de acordo com as necessidades do analista (FOREST-GIS, 2017). Para elaboração deste mapeamento, referente ao ano de 1975, foram utilizadas as imagens do satélite Landsat 5, com resolução de 30 m, do instrumento imageador Operacional Terra Imager (OLI), de 14 de julho de 1975, obtida pelo portal earthexplorer.usgs.gov.

Para o ano de 2019 uma imagem Landsat83 (30 metros) de 17 de outubro de 2019 e para o ano de 2020 foi usado imagem do satélite Sentinel-2 (12 metros), todas adquiridas pelo portal earthexplorer.usgs.gov site da *Science for a Changing World* – USGS. Considerando do ano de 2020, foi necessário a elaboração de um mapeamento detalhado, tendo em vista a sua utilização na metodologia da fragilidade ambiental, logo utilizou-se a imagem do satélite Sentinel-2 e realizou-se a categorização das classes, considerando a reflectância dos alvos, de acordo com a literatura especializada (Quadro 06).

Quadro 06 – Classes de uso e cobertura da terra

Uso e cobertura da terra		
Classificação	Amostras	Autores
Vegetação de mangue		Rodrigues (2014)
Vegetação arbórea		
Vegetação rasteira		

Conjuntos habitacionais horizontais		Martins e Matias (2019)
Conjuntos habitacionais verticais		
Comercial + serviços		
Aglomerados subnormais		IBGE (2020) e observações de campo
Solos expostos		Análise das imagens de satélite e observações de campo
Corpos d'água		Análise das imagens de satélite e observações de campo
Terreno tecnogênico		Observações de campo

Fonte: Própria pesquisa, 2020.

À amostra da área de terreno tecnogênico foi adicionada no quadro posterior na horizontal, devido as amostras verticais confundirem-se com o solo exposto, logo foi necessária a validação, nos trabalhos de campo.

Mapa comparativo da impermeabilização

Para este trabalho, o mapa de impermeabilização do solo tem por finalidade contribuir na análise da fragilidade da área de estudo, uma vez que, a partir dele pode-se entender as alterações que foram sendo realizadas ao longo do tempo na bacia em questão.

Este mapa é comparativo, onde utilizou-se o ano de 1975 como base e 2019 como o ano fim, tendo-se assim uma diferença de 44 anos para análise. Optou-se por utilizar o ano de 1975 como base, pois ao analisar as imagens dos anos posteriores não era nítido a diferenciação dos alvos, o que dificultou no processo de elaboração de um mapa desta natureza.

As imagens encontradas com resolução mais adequadas possuíam uma diferença de aproximadamente 28 anos, o que não era interessante para a elaboração deste mapa, uma vez que muitas áreas já encontravam-se modificadas neste período.

Desta forma, levando em consideração a qualidade das imagens disponíveis e do objetivo do trabalho optou-se por iniciar o trabalho de mapeamento e comparação a partir de 1975.

Para o mapeamento relativo ao ano supracitado foi utilizada uma imagem de satélite Landsat5, do instrumento imageador *Operacional Terra Imager* (OLI) de 14 de julho de 1975, e para o ano de 2019 uma imagem Landsat8, de 17 de outubro de 2019, ambas adquiridas pelo portal earthexplorer.usgs.gov site da *Science for a Changing World* – USGS.

Uma vez organizadas no banco de dados, estas imagens foram classificadas através do procedimento de classificação supervisionada, separando as amostragens em áreas pavimentadas e áreas não pavimentadas conforme a reflectância dos alvos.

Tal classificação foi organizada na tabela de atributos do vetor gerado onde criou-se uma assinatura no ArcGis® em *Arctoolbox - Spatial Analyst Tools – Multivariate – Creat Signatures*. Uma vez criada, gerou-se a carta com as áreas permeáveis e impermeáveis em *Arctoolbox - Spatial Analyst Tools – Multivariate – Maximum Likelihood Classification*.

Mapa de expansão urbana sobre o relevo

O mapa de expansão urbana sobre o relevo foi elaborado primeiramente a partir dos dados de unidades de relevo desta pesquisa, já descritos no item mapa de unidades de relevo, e em segundo plano, com os dados do arquivo vetorial da expansão da malha urbana sobre os compartimentos.

Este arquivo vetorial foi elaborado a partir do levantamento bibliográfico relacionado à história de ocupação da área de estudo associado com as informações coletadas nos trabalhos de campo, entrevistas e das imagens de satélite utilizadas (Landsat 5, 8 e Sentinel-2), relacionado aos anos 1975, 1990, 2005, e 2020. De posse destas informações e da análise de imagens de anos posteriores foi possível gerar o shapefile correspondente à expansão da malha urbana. Este dado foi gerado no ArcGis® 10.2.

Para identificação dos padrões de uso, foram utilizados os dados do mapeamento do uso e cobertura da terra detalhado; com estas informações em mãos foram realizados trabalhos de campo para validação dos dados levantados em gabinete, com registro fotográfico de cada classe e posterior associação ao padrão de uso, de acordo com os aspectos locais.

Mapa de transgressões legais

Para o mapeamento das transgressões legais da sub-bacia hidrográfica do riacho do Angelim, foi utilizada a proposta de Moroz, Canil e Ross (1994). Foi necessária a utilização dos dados de uso e cobertura da terra e elaboração de *buffers*, de acordo com a legislação pertinente. Mapeou-se as Áreas de Proteção Permanente - APP conforme o disposto nas seguintes leis: Leis municipais nº 3.253/1992 e 4.669/2009; Lei estadual nº 5.405/1992; e Lei federal nº 12.651/2012 – Novo Código Florestal, que determinam as áreas marginais para proteção de acordo com as características ambientais. Na área de estudo, os canais fluviais possuem largura inferior a 10 metros, por esta razão adotou-se no mapeamento um *buffer* de 30 metros em todos os canais, para análise das áreas de influência, em virtude da ocupação. Para o lago, foi utilizado um *buffer* de 100 metros, considerando as áreas marginais. A partir das áreas marginais dos vetores das áreas de nascentes (pontos) e da planície de maré (polígono), gerou-se um *buffer* com raio de 50 metros.

f) Caracterização socioeconômica da população residente

Para a elaboração dos mapas de caracterização social foram utilizadas nesta pesquisa os dados dos setores censitários do IBGE - Censo Demográfico 2010. Adquiriu-se junto ao portal do IBGE o documento “Base de Informações do Censo Demográfico 2010: Resultados do Universo por setor censitário” juntamente com as planilhas de agregados por setores censitários em formato .xls referentes ao estado do Maranhão (Quadro 07).

Quadro 07 - Variáveis censitárias para a elaboração dos mapas dos aspectos sociais

MAPA	Variáveis censitárias	Arquivo de onde foi extraído
População total por setor censitário	V002 – Moradores em domicílios particulares permanentes ou população residente em domicílios particulares permanentes	Arquivo Básico (Planilha Básico_MA.xls)
Responsável com rendimento mensal de até 2 salários mínimos	V001 Pessoas responsáveis com rendimento nominal mensal de até 1/2 salário mínimo V002 Pessoas responsáveis com rendimento nominal mensal de mais de 1/2 a 1 salário mínimo V003 Pessoas responsáveis com rendimento nominal mensal de mais de 1 a 2 salários mínimos V010 Pessoas responsáveis sem rendimento nominal mensal	Arquivo Renda da Pessoa Responsável (Planilha Responsável Renda_UF.xls)
Responsável com rendimento mensal de 2 a 5 salários mínimos	V004 Pessoas responsáveis com rendimento nominal mensal de mais de 2 a 3 salários mínimos V005 Pessoas responsáveis com rendimento nominal mensal de mais de 3 a 5 salários mínimos	Arquivo Renda da Pessoa Responsável (Planilha Responsável Renda_UF.xls)
Pessoas alfabetizadas por setor censitário	V009 Pessoas alfabetizadas com 12 anos de idade V017 Pessoas alfabetizadas com 20 anos de idade V032 Pessoas alfabetizadas com 35 anos de idade V047 Pessoas alfabetizadas com 50 anos de idade	Arquivo Alfabetização Total (Planilha Pessoa01_UF.xls)

Domicílios com esgoto a céu aberto	V050 Domicílios particulares permanentes próprios – Existe esgoto a céu aberto V052 Domicílios particulares permanentes alugados – Existe esgoto a céu aberto V054 Domicílios particulares permanentes cedidos – Existe esgoto a céu aberto	Arquivo Entorno 01 (Planilha Entorno01_UF.xls)
Domicílios com esgoto lançados rios, lagos ou mares,	V021 Domicílios particulares permanentes, com banheiro de uso exclusivo dos moradores ou sanitário e esgotamento sanitário via rio, lago ou mar V115 Domicílios particulares permanentes do tipo casa com banheiro de uso exclusivo dos moradores ou sanitário e esgotamento sanitário via rio, lago ou mar V154 Domicílios particulares permanentes do tipo casa de vila ou em condomínio com banheiro de uso exclusivo dos moradores ou sanitário e esgotamento sanitário via rio, lago ou mar V193 Domicílios particulares permanentes do tipo apartamento com banheiro de uso exclusivo dos moradores ou sanitário e esgotamento sanitário via rio, lago ou mar	Arquivo Domicílio 01 (Planilha Entorno01_UF.xls)
Domicílios que descartam o lixo nos recursos hídricos	V041 Domicílios particulares permanentes com lixo jogado em rio, lago ou mar V130 Domicílios particulares permanentes do tipo casa com lixo jogado em rio, lago ou mar V169 Domicílios particulares permanentes do tipo casa de vila ou em condomínio com lixo jogado em rio, lago ou mar V208 Domicílios particulares permanentes do tipo apartamento com lixo jogado em rio, lago ou mar	Arquivo Domicílio 01 (Planilha Entorno01_UF.xls)
Domicílios que descartam o lixo nos terrenos baldios ou logradouros	V040 Domicílios particulares permanentes com lixo jogado em terreno baldio ou logradouro V129 Domicílios particulares permanentes do tipo casa com lixo jogado em terreno baldio ou logradouro V168 Domicílios particulares permanentes do tipo casa de vila ou em condomínio com lixo jogado em terreno baldio ou logradouro V207 Domicílios particulares permanentes do tipo apartamento com lixo jogado em terreno baldio ou logradouro	Arquivo Domicílio 01 (Planilha Entorno01_UF.xls)

Fonte: IBGE (2011), organização Santana (2020).

Para este trabalho especificamente, a partir das análises de campo e observações da realidade populacional e ambiental da área, entendeu-se que os dados referentes ao saneamento básico, alfabetização e renda seriam importantes para a análise da população residente.

Para espacializar estes dados fez-se necessário realizar a compilação das informações do Censo 2010, de oito variáveis, sendo elas: População por setor censitário; Responsável com rendimento mensal de até 2 salários mínimos; Responsável com rendimento mensal de 2 a 5 salários mínimos; Pessoas alfabetizadas por setor censitário; Domicílios com esgoto a céu aberto; Domicílios com esgoto lançados rios, lagos ou mares; Domicílios que descartam o lixo nos recursos hídricos; e Domicílios que descartam o lixo nos terrenos baldios ou logradouros⁸.

⁸ Foi necessário a realização de testes com três e quatro classes com dados absolutos e em porcentagens para uma melhor espacialização dos dados na área de estudo.

Para cada mapeamento utilizou-se cálculos simples baseados na computação realizada por França (2019). Algumas expressões matemáticas foram admitidas para fins desta pesquisa baseadas na autora supracitada e outras foram adaptadas a partir das que foram elaboradas por ela. As expressões utilizadas para cada mapeamento estão demonstradas a seguir:

- Responsável com rendimento mensal de até 2 salários mínimos

$$\text{Equação 1: } RCF = CF \times \Sigma SM / 100$$

RCF – Renda dos chefes de família;

CF – Total de chefes de família por setor censitário;

ΣSM – Chefes de família com rendimento mensal até um salário mínimo;

100 – Para fins de porcentagem utilizado em todas as expressões.

- Responsável com rendimento mensal de 2 a 5 salários mínimos

$$\text{Equação 2: } RCF = CF \times \Sigma SM / 100$$

RCF – Renda dos chefes de família;

CF – Total de chefes de família por setor censitário;

ΣSM – Chefes de família com rendimento mensal de 2 a 5 salários mínimo;

100 – Para fins de porcentagem utilizado em todas as expressões.

- Pessoas alfabetizadas por setor censitário

$$\text{Equação 3: } PAFE = \Sigma PAF \times CF / 100$$

PAFE – Pessoas alfabetizadas por faixa etária por setor censitário;

CF – Total de chefes de família por setor censitário;

ΣPAF – Somatório de Pessoas alfabetizadas.

- Domicílios com esgoto a céu aberto

$$\text{Equação 4: } DECA = \Sigma DPAC \times TD / 100$$

DECA – Domicílios com esgoto a céu aberto;

TD – Total de domicílios por setor censitário;

$\Sigma DPAC$ – Somatório de domicílios particulares, alugados e cedidos com esgoto a céu aberto.

- Domicílios com esgotos lançados rios, lagos ou mares

$$\text{Equação 5: } DERLM = \Sigma DPERLM \times 100 / TD$$

DERLM – Domicílios com esgoto lançados rios, lagos ou mares

TD – Total de domicílios por setor censitário;

$\Sigma DPERLM$ – Somatório dos domicílios com esgoto lançados rios, lagos ou mares

- Domicílios que descartam o lixo nos recursos hídricos

$$\text{Equação 6: } DPLRLM = \Sigma DPLRLM \times 100 / TD$$

$DPLRLM$ – Domicílios particulares permanentes com lixo jogado em rio, lago ou mar

TD – Total de domicílios por setor censitário;

$\Sigma DPLRLM$ – Somatório dos domicílios particulares permanentes com lixo jogado em rio, lago ou mar.

- Domicílios que descartam o lixo nos terrenos baldios ou logradouros

$$\text{Equação 7: } DLTL = \Sigma DLTL \times 100 / TD$$

- $DLTL$ – Domicílios que descartam o lixo nos terrenos baldios ou logradouros

TD – Total de domicílios por setor censitário;

$\Sigma DLTL$ – Somatório dos domicílios que descartam o lixo nos terrenos baldios ou logradouros

Uma vez realizada as compilações e cálculos necessários, estas informações que estavam em formato xls foram agrupadas na tabela de atributos do *shapefile* de setores censitários da área em estudo, através da ferramenta *Join* no programa ArcGis®, procedimento este que possibilitou a elaboração dos mapas de caracterização social.

g) Fragilidade ambiental do relevo à ocupação urbana

Para o mapeamento da fragilidade ambiental, foram analisadas e utilizadas as propostas dos seguintes autores: Ross (1994), Santos e Ross (2012), Ross (2012) e Moroz-Caccia e Ross (2019).

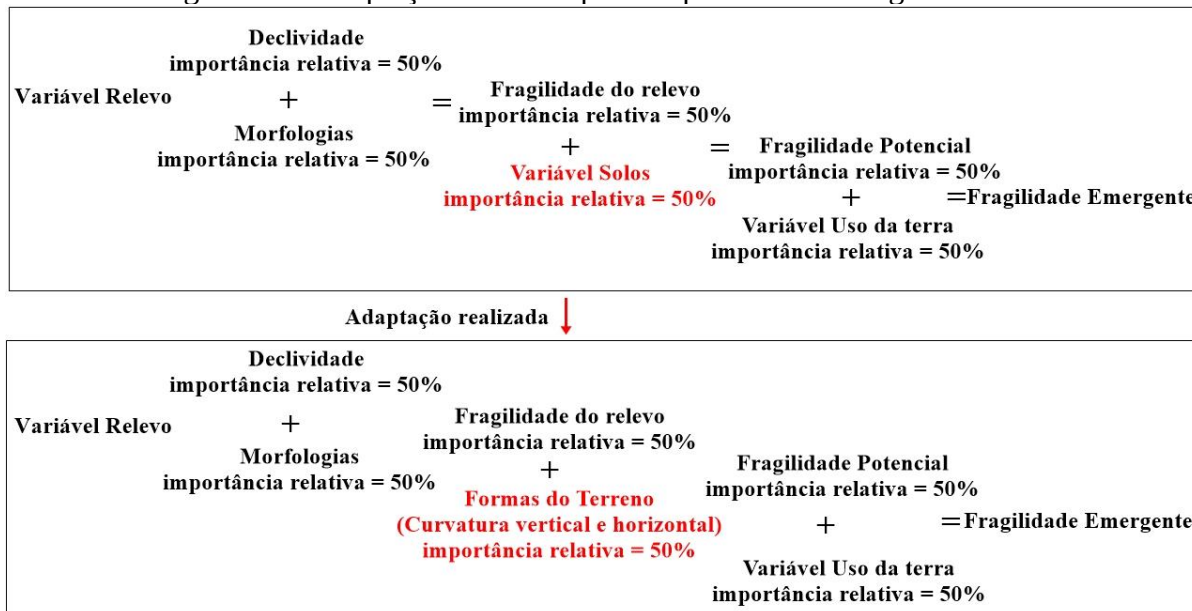
Após análises e reflexões acerca da aplicação desta metodologia em área urbana, considerando as características da sub-bacia hidrográfica do riacho do Angelim e uma das metodologias utilizada por Moroz-Caccia e Ross (2019), foi necessária a modificação da variável solos, uma vez que a área encontra-se intensamente urbanizada com as características pedológicas alteradas em virtude do capeamento asfáltico, aterros e remobilização dos materiais (Figura 8).

Neste sentido, após ponderações da situação pedológica da área de estudo e considerando que Ross (1994) argumenta que, quando a análise é de maior detalhe, torna-se

necessário o uso das formas de vertentes. Logo, considerou-se a variável formas do terreno (curvatura vertical e horizontal das vertentes) para substituição da variável solos.

As sobreposições ponderadas foram realizadas através da ferramenta *Weighted overlay* (*Spatial Analyst tools*) do ArcGIS10.3.

Figura 08 – Adaptação realizada para mapeamento da fragilidade ambiental



Fonte: Adaptado de Moroz-Caccia e Ross (2019) .

Para cada atributo de uma determinada variável foram atribuídos pesos, considerando as características locais. Nesta etapa, foi necessário o auxílio da proposta de Santos e Ross (2012) para avaliação da fragilidade ambiental em ambiente urbano. Logo, nas tabelas de atributos foram atribuídos os pesos de 1 – baixa, 2 – média e 3 – alta fragilidade, em cada variável.

É importante ressaltar que foi necessário efetuar ensaios e idas à campo para validação do mapeamento da fragilidade ambiental. Foi realizado a espacialização de quatro áreas com aspectos locais representativos em função da ocupação urbana para análise.

Cada peso foi dado de acordo com a importância de cada classe, assim em todas as variáveis foram feitas análises e ponderações acerca de cada característica. Desta forma, foram ponderadas as seguintes classes: declividade, morfologias, formas do terreno e o uso e cobertura da terra.

A declividade foi subdividida em cinco classes, a partir das características locais do terreno. Sendo assim, aplicou-se o peso 3 (alta fragilidade) para a classe 0 – 3%, pois esta classe abrange os fundos de vale e as planícies fluvial e de maré. A classe 10,1 – 20% recebeu o peso 2 (média fragilidade), em virtude das características do terreno, que apresentam uma

certa ondulação, necessitando assim de uma atenção maior para a implantação urbana. As classes 3,1 ┆ 5% e 5,1 ┆ 10% receberam o peso 1 (baixa fragilidade), em razão das áreas planas ou ligeiramente planas, sem grandes declives e distantes dos depósitos de mangue, aluvionares e coluvionares.

Em relação as morfologias, foram feitas inter-relações com a declividade e a legislação brasileira, quanto as áreas de preservação permanente. Assim, foram consideradas a presença de drenagem, declives, suas formas e seu material constituinte, com destaque para as planícies fluvial e de maré (Quadro 08).

Quadro 08 – Pesos atribuídos para classes de declividade e morfologias

Declividade	Pesos	Morfologias	Pesos
0 ┆ 3%	3	Tabuleiros	1
3,1 ┆ 5%	1	Colinas	2
5,1 ┆ 10%	1	Planície fluvial	3
10,1 ┆ 20%	2	Planície de maré	3
≥ 25	3		

Fonte: Própria pesquisa, 2020.

Em relação as formas do terreno (curvatura vertical e horizontal das vertentes), considerou-se a direção do fluxo, com base em Colângelo (1996) e Guirra (2017). Sendo assim, foi considerado os fluxos dominantes, que são classificados em concentração, transição e dispersão.

O uso e cobertura da terra foi analisado classe por classe a partir da disposição sobre o relevo e as áreas de app, assim como a observação dos modelados gerados pela ação do ser humano sobre o ambiente (Quadro 09).

Quadro 09 – Pesos atribuídos para classes formas do terreno e uso e cobertura da terra

Formas do terreno	Pesos	Uso e cobertura da terra	Pesos
Convergente côncava	3	Vegetação de mangue	3
Convergente retilínea	3	Vegetação arbórea	3
Convergente convexa	2	Vegetação rasteira	3
Planar retilínea	1	Solo exposto	3
Planar côncava	2	Comercial + Serviços	2
Planar convexa	2	Conjuntos habitacionais horizontais	1
Divergente côncava	1	Conjuntos habitacionais verticais	1
Divergente retilínea	3	Aglomerados subnormais	3
		Terreno tecnogênico	3

Fonte: Própria pesquisa, 2020.

4. DINÂMICA GEOAMBIENTAL DA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIACHO DO ANGELIM

Neste capítulo serão discutidas algumas características físicas da área em questão, referindo-se ao clima, aspectos litológicos, solos, drenagem, classificação dos canais mediante as modificações realizadas pelos seres humanos, uso e cobertura da terra, transgressões legais e características socioeconômicas da área.

4.1 Propriedades fisiográficas da área

Ao analisar o clima de uma determinada área, torna-se possível a compreensão da dinâmica climática e as ocorrências pluviométricas. O clima exerce influência na litologia, relevo, solos e drenagem. A partir das características das precipitações de um determinado local é possível o entendimento de fenômenos hidrogeomorfológicos que ocorrem sobre o relevo (enchentes, inundações, alagamentos, enxurradas e processos erosivos).

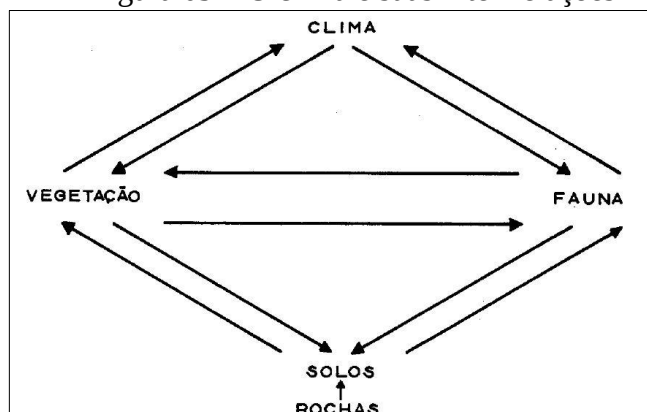
O conhecimento do tipo climático de uma região é um importante subsídio para o planejamento de diversas atividades humanas. O clima é um dos elementos mais importantes dentro do grupo dos fatores de ordem física, pois este exerce “influência direta nas plantas, nos animais (incluindo o ser humano) e no solo. Ele influencia as rochas através do intemperismo (AYOADE, 1996).

Desta forma, é possível afirmar que o clima é um fator importante dentro da dinâmica espacial de distribuição dos seres vivos, inclusive os seres humanos.

Dentre todas as características geoambientais existentes no planeta Terra, o estudo do clima pode ser considerado como central e norteador para o entendimento dos demais aspectos, uma vez que este influencia os processos atuantes na biosfera, hidrosfera e litosfera” (FRANÇA, 2019, p. 100).

Ayoade (1996) destaca que o clima faz parte das inter-relações entre vegetação, fauna, solo e rocha (Figura 09).

Figura 09 – O clima e suas inter-relações



Fonte: Ayoade (1996).

Neste sentido, o clima exerce influência nos aspectos físicos, uma vez que participa de forma direta e indireta na esculturação das morfologias. Sobre isso, Ayoad (1996, p. 2) comenta que “os processos geomorfológicos, pedológicos e ecológicos, e as formas que eles originam, só podem ser devidamente compreendidos com referência ao clima predominante na atualidade e no passado”.

Ayoad (1996) define o clima como a síntese do tempo, em um determinado lugar, durante um período de aproximadamente 30 a 35 anos, e o tempo é um estado médio da atmosfera em determinado lugar com curta duração. Depreende-se que o clima pode ser caracterizado através de observações contínuas por um longo período.

Costa (2018, p. 80) afirma que “nas áreas urbanas, os efeitos das atividades humanas interferem no clima das cidades e geram impactos diretos nas precipitações”. Nesta perspectiva foi realizada uma análise das precipitações do município de São Luís, pois a bacia hidrográfica do rio Anil encontra-se totalmente inserida neste município, que por sua vez comporta a sub-bacia hidrográfica do riacho do Angelim, objeto de estudo desta pesquisa.

Foi considerada a uniformidade da espacialização dos eventos pluviométricos e a inexistência de pluviômetros na área de estudo. Destaca-se que a estação pluviométrica utilizada para coleta de dados pelo Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, encontra-se a 2 km à nordeste da sub-bacia hidrográfica do riacho do Angelim, localizado na Área de Proteção Integral do Itapiracó.

No estado do Maranhão predomina o clima tropical com temperaturas médias anuais superiores a 26 °C e índices pluviométricos anuais que variam desde aproximadamente 700 mm na região central a superiores a 2200 mm na região norte (UEMA, 2019).

O clima do estado do Maranhão possui influência de vários fenômenos meteorológicos, a destacar a Zona de Convergência Intertropical - ZCIT⁹. Ao norte do estado, na Ilha do Maranhão, a ZCIT é o principal mecanismo climático na geração de chuvas (PINHEIRO, 2017).

Pinheiro (2018, p. 96) destaca que “a ZCIT em suas mais diversas formas de influência e atuação representa para a região e para o município de São Luís, o mais importante mecanismo zonal de influência na configuração de seu clima”.

⁹ De acordo com a Fuceme (2002) a Zona de Convergência Intertropical é uma banda de nuvens que circunda a faixa equatorial do globo terrestre, formada principalmente pela confluência dos ventos alísios do hemisfério norte com os ventos alísios do hemisfério sul. De maneira simplista, pode-se dizer, que a convergência dos ventos faz com que o ar, quente e úmido ascenda, carregando umidade do oceano para os altos níveis da atmosfera ocorrendo a formação das nuvens.

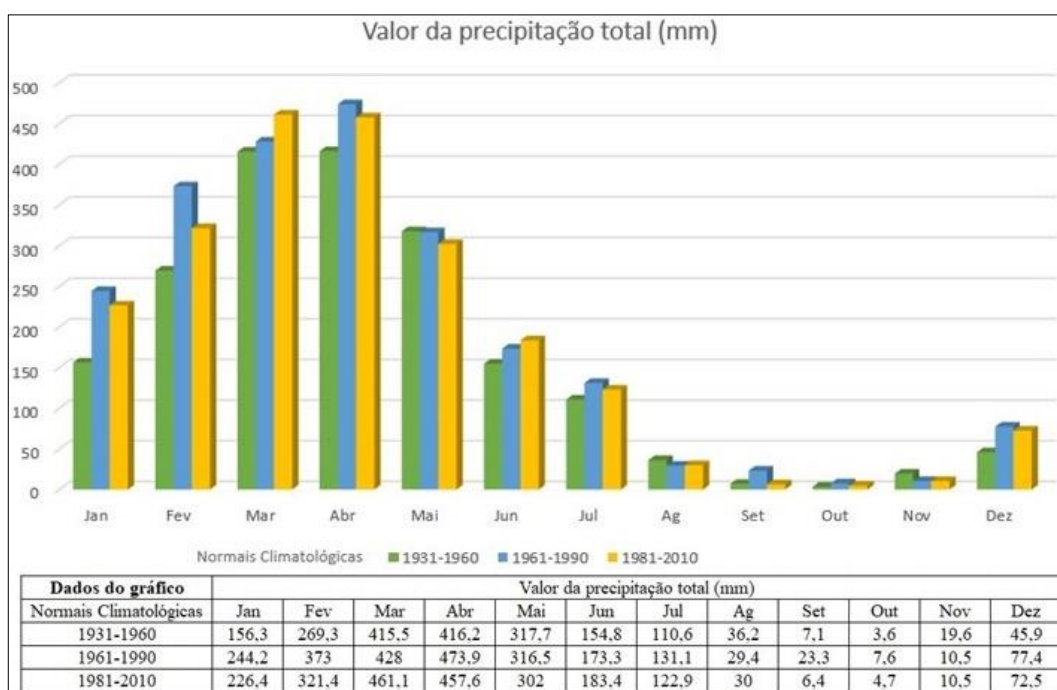
Assim, o referido autor, baseado em Koppen (1936), classifica o clima de São Luís como sendo do tipo Tropical Típico Aw', tropical com chuvas de verão e outono.

Segundo Sousa (2009), o clima da Ilha do Maranhão, possui um período chuvoso (janeiro a junho) e um período seco (julho a dezembro). Partindo disto e da literatura especializada, o clima da Ilha do Maranhão e entorno é definido como tropical chuvoso, com períodos secos no inverno; quente com chuvas de verão, sendo do tipo Aw; e quente e úmido, com características equatoriais (SILVA, 2012).

Pinheiro (2017) evidencia que dos elementos atmosféricos, a pluviosidade é aquela com maior disposição a causar conturbação na organização espacial dos seres humanos, ou pela escassez ou por intensidade. Assim sendo, torna-se necessária uma análise das normais climatológicas e das precipitações acumuladas mensal e diariamente da Ilha do Maranhão, onde encontra-se inserida a área em análise.

As normais climatológicas referentes aos anos 1931-1960 e 1961-1990 indicam um aumento de 20,5 mm de precipitação para o mês de julho. Em comparação a normal climatológica 1981-2010 tem-se 122,9 mm em média de precipitação acumulada para o mês em questão (Figura 10). Portanto, destaca-se que a intensa atividade e alterações dos seres humanos exercem influência no microclima que por sua vez interage com o clima da Ilha (PINHEIRO, 2017).

Figura 10 – Comparativo das Normais Climatológicas



Fonte: Adaptado de Costa (2018).

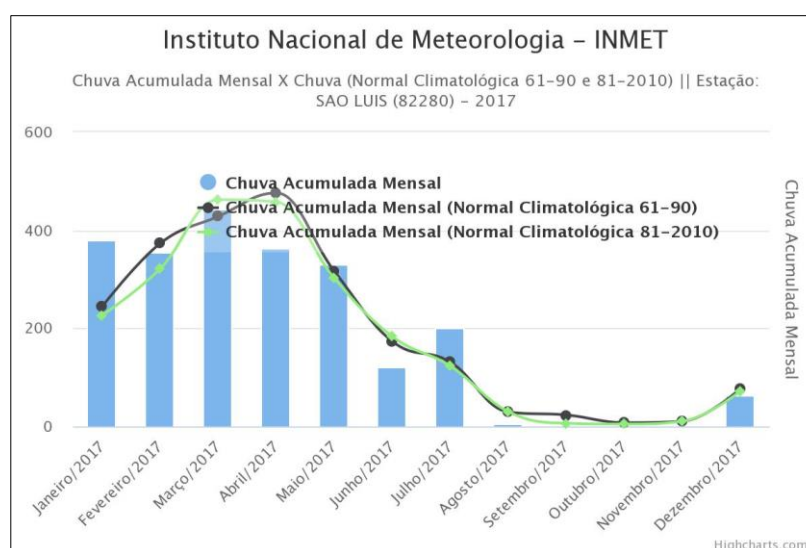
Considerando as normais climatológicas em análise, nota-se ainda uma significativa concentração de precipitações entre os meses de janeiro a maio, chegando a marca de 473,9 mm em abril na normal climatológica 1961-1990.

A normal climatológica 1981-2010 destaca-se por apresentar uniformidade entre os meses de janeiro a julho, onde todos estes passam de 100mm de precipitação acumulada. Desta forma, para melhor compreensão da dinâmica climática da área de estudo utilizou-se nesta pesquisa os dados de precipitação mensal de 2017 a 2020 em comparação à normal climatológica de 61 – 90 e 81 - 2010 de São Luís-MA.

No ambiente urbano, o entendimento do comportamento pluviométrico é de grande importância, pois a partir das alterações e da impermeabilização do solo há um aumento significativo do escoamento superficial, característica de destaque para compreensão da fragilidade ambiental em área urbana.

Para o ano de 2017 notou-se um aumento de aproximadamente 135,6 mm (61 – 90) e 153,9 mm (81 – 2010) para o mês de janeiro; já no mês de abril ocorreu uma redução do valor de precipitação no referido ano em comparação as normais climatológicas 61 – 90 e 81 - 2010. Sugere-se observar o aumento da ocorrência de precipitações no mês de julho, o que valida a possível mudança no que diz respeito ao período chuvoso e seco (Figura 11).

Figura 11 – Comparação da precipitação acumulada mensal x normais climatológicas 61 – 90 e 81 - 2010 para o ano de 2017

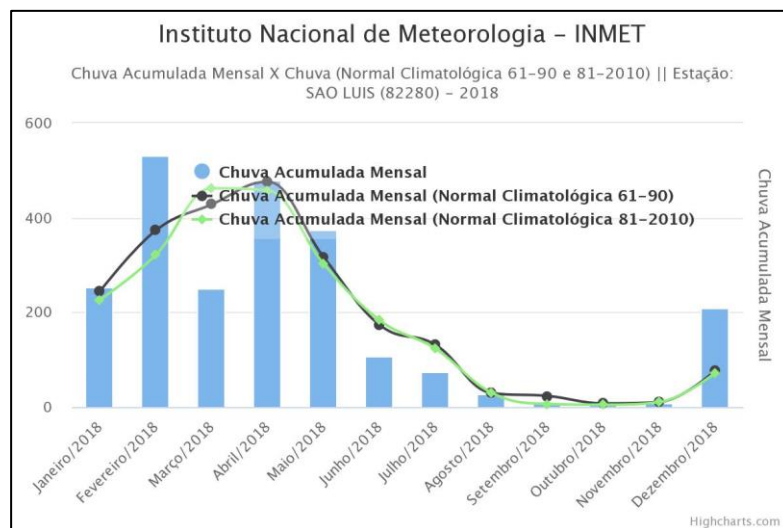


Fonte: INMET, 2020.

Com relação ao ano de 2018, constata-se uma diminuição das precipitações entre os meses de janeiro a junho (período chuvoso), onde apenas os meses de fevereiro e abril tiveram intensos eventos pluviométricos variando de 400 a 500 mm por mês. Já os meses de

julho a dezembro houve uma redução das precipitações, entretanto no mês de dezembro ultrapassou os 200mm, sendo este mês marcado pela transição entre período seco e chuvoso (Figura 12).

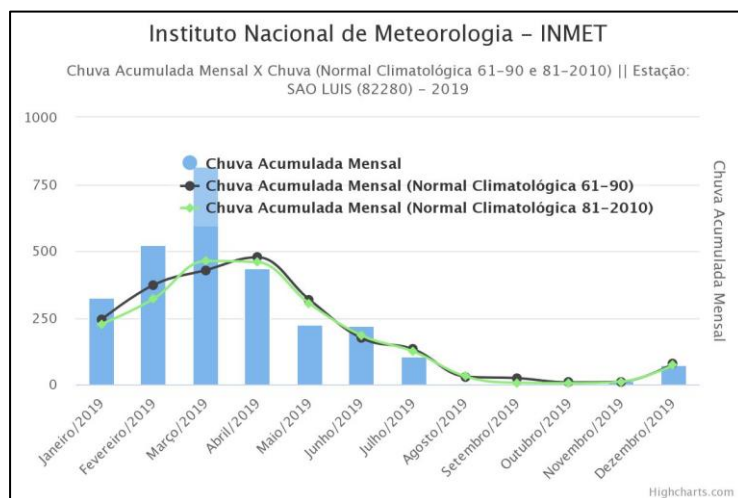
Figura 12 – Comparação da precipitação acumulada mensal x normais climatológicas 61 – 90 e 81 - 2010 para o ano de 2018



Fonte: INMET, 2020.

O ano de 2019 tem-se como destaque o mês de março, sendo o mês que mais choveu, com precipitações de 700 a 800 mm aproximadamente. No entanto foi um ano com poucos eventos pluviométricos, apenas os meses de fevereiro, março e abril tiveram precipitações acumuladas com valores significativos (Figura 13).

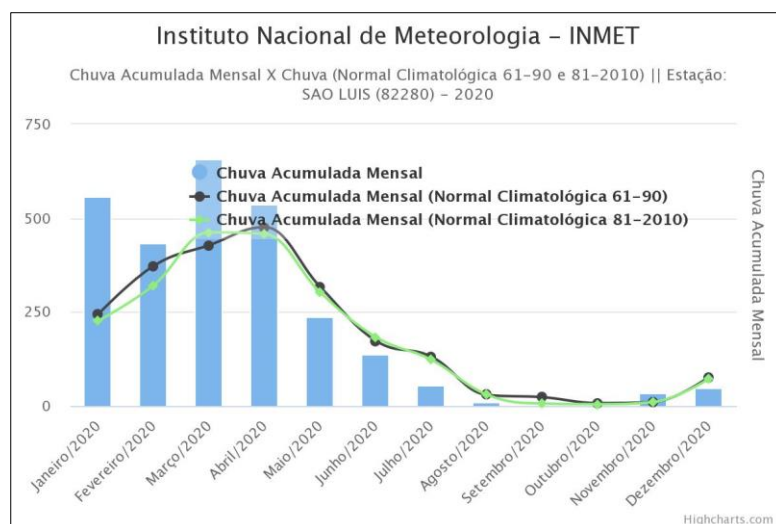
Figura 13 – Comparação da precipitação acumulada mensal x normais climatológicas 61 - 90 e 81 – 2010 para o ano de 2019



Fonte: INMET, 2020.

No que se refere ao ano de 2020, os meses de janeiro a abril destacaram-se com a quantidade de mm nas precipitações acumuladas. O mês de março foi marcado por intensas chuvas, eventos estes que afetam diretamente a vida do ser humano, com destaque para aquelas famílias que residem em áreas ambientalmente frágeis (Figura 14).

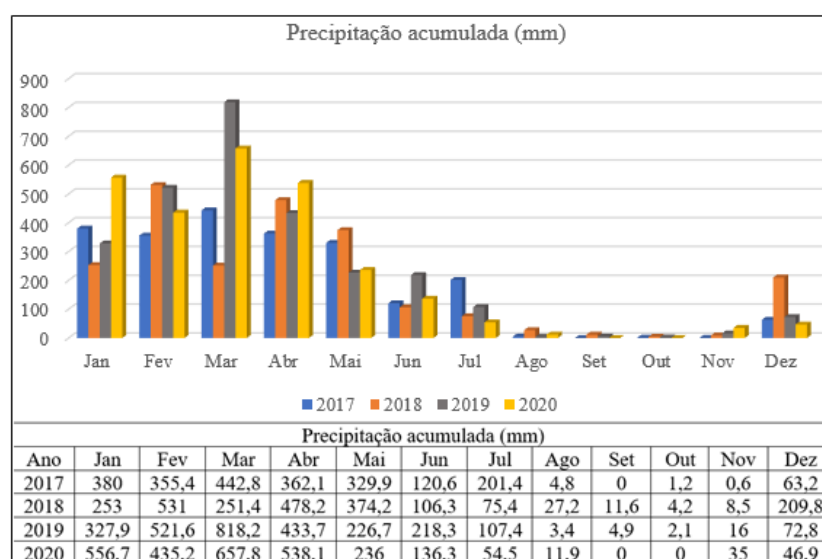
Figura 14 – Comparação da precipitação acumulada mensal x normal climatológica 61 – 90 e 81 - 2010 para o ano de 2020



Fonte: INMET, 2020.

Ao observarmos as ocorrências pluviométricas acumuladas mensais dos anos 2017, 2018, 2019 e 2020 foi possível identificar que os meses de janeiro a maio possuem altos valores em mm precipitados, com destaque para o mês de março (Figura 15). Em março de 2019 as chuvas acumuladas contabilizaram 818,2 mm, o que mostra que nos últimos quatro anos este mês foi o que mais houve precipitações.

Figura 15 – Comparação da precipitação acumulada entre os anos 2017, 2018, 2019 e 2020



Fonte: INMET, 2020.

Ao ponderarmos os dados, observa-se um acúmulo de precipitações na Ilha do Maranhão, mais especificamente, no município São Luís, nos anos de 2017 a 2020. O mês mais chuvoso na área em questão foi março, uma vez que os dados apontam elevados índices pluviométricos para o ano de 2017 com 442,8 mm; 2018 com 241,4 mm; 2019 com 818,2 mm; e 2020 com 657,8 mm.

Assim sendo, torna-se evidente e bem definidos os dois períodos, seco e chuvoso na Ilha do Maranhão, o que implica dizer que a sub-bacia hidrográfica do riacho do Angelim recebe altos valores em mm de precipitações nos meses de janeiro a maio, com um pequeno decréscimo no mês de junho.

Tal característica eleva a dinâmica superficial das águas pluviais no ambiente urbano, gerando ou intensificando processos geomorfológicos específicos com ocorrências inundações, alagamentos e erosão.

Com relação aos aspectos geológicos, a Ilha do Maranhão encontra-se na bacia costeira de São Luís, sendo limitada ao norte pela plataforma continental, ao sul pelos Altos Estruturais Arco – Ferrer Urbano Santos, dispostos aproximadamente E-W, a leste pelo Horst de Rosário e a oeste pelo Arco de Tocantins (ALMEIDA, 2000).

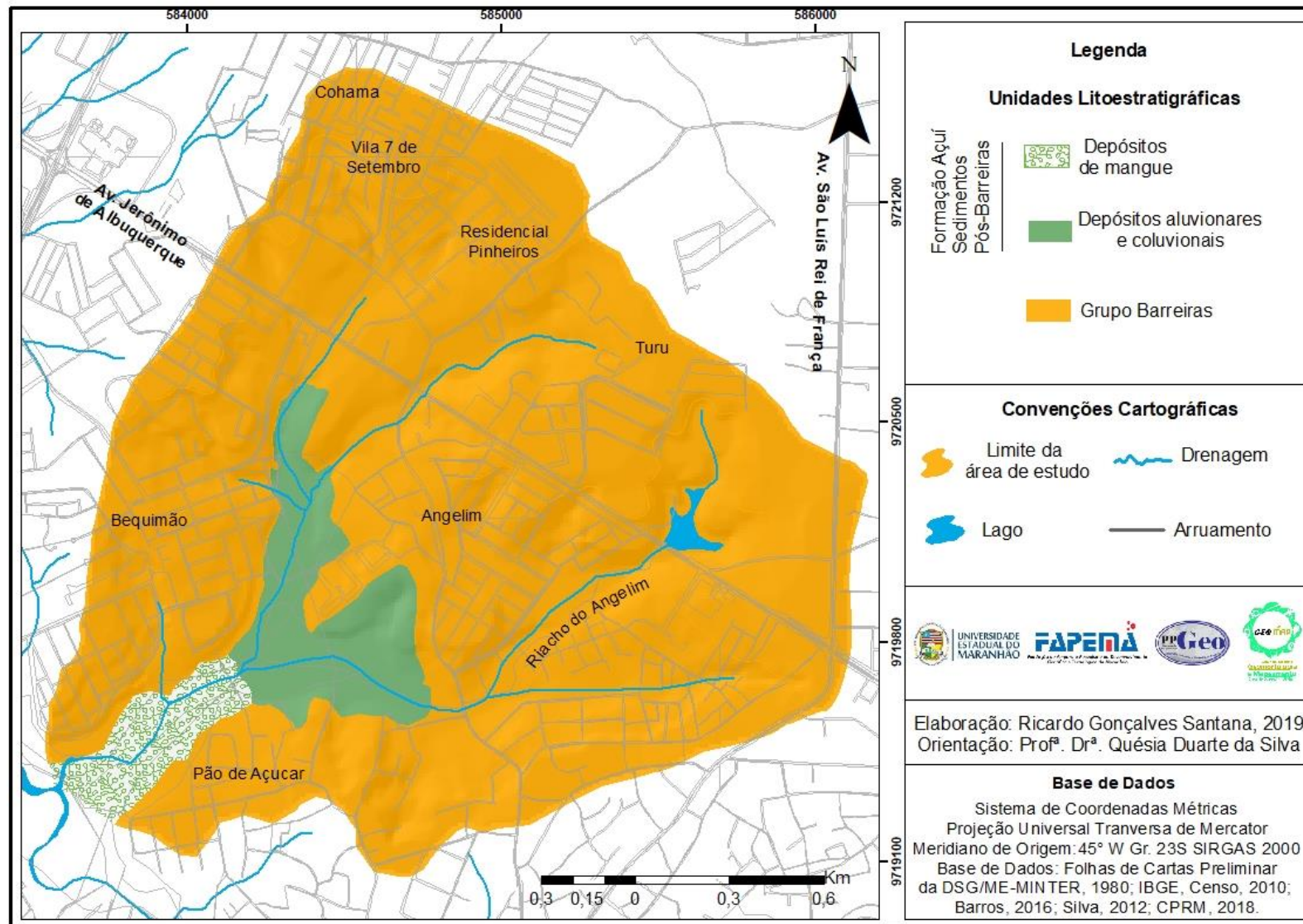
De acordo com Pereira (2006, p. 65) “a sedimentação na Bacia de São Luís iniciou-se com os sedimentos do Cretáceo da Formação Itapecuru, Formação Terciário-Paleogeno, Formação Barreiras e, finalmente, pelos sedimentos recentes da Formação Açuí”.

Na área objeto de estudo foram mapeadas as seguintes unidades litoestratigráficas, Grupo Barreiras, Depósitos Aluvionais e Coluvionais e os Depósitos de Mangue - Formação Açuí (Figura 16; Quadro 10).

Destaca-se que o mapeamento realizado foi baseado em Silva (2012), pois a classificação utilizada pela autora foi amplamente aceita pela comunidade científica local, embora a Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – CPRM tenha realizado mapeamento recente para Ilha do Maranhão, que não foi utilizada nesta pesquisa, já que divulgaram apenas os dados vetoriais, sem previsão para lançamento do relatório final.

O Grupo Barreiras (Bigarella e Andrade, 1964; Amador e Dias, 1978; Saadi, 1995; Valadão, 1998) tem sido referenciado na literatura geológica como uma sequência deposicional continental, de gênese fluvial e idade mio-pliocênica, que apresenta ampla distribuição geográfica ao longo da fachada sublitorânea e litorânea brasileira, abrangendo áreas que se estendem desde a desembocadura do Rio Amazonas – Estado do Pará – até a região costeira do Estado do Rio de Janeiro (IBGE, 1987).

Figura 16 – Unidades litoestratigráficas da sub-bacia hidrográfica do riacho do Angelim



Fonte: Adaptado de Silva (2012); organizado por Santana (2019).

Quadro 10 – Coluna estratigráfica da sub-bacia hidrográfica do riacho do Angelim

Era	Período		Unidades Litoestratigráficas	Litologia	Formações Superficiais	Área (Km ²)	%
Cenozóico	Quaternário	Pleistoceno	Formação Açuí	Areia fina a média madura a submatura, com estratificação cruzada. Argila arenosa, maciça bioturbada.	QHa-Depósitos aluvionares e coluvionares	0,32	7,3
					QHm-Depósitos de Mangue	0,13	3
	Terciário	Meso-Mioceno	Grupo Barreiras	Areia fina a média, com concentrações ferruginosas, imatura, intercalações argilosas caulíníticas.	ENb – Grupo Barreiras	3,89	89,7
						Total	
						4,34	100

Fonte: Rodrigues *et al.* (1994); Pereira (2006); Silva (2012) com adaptações.

O Grupo Barreiras caracteriza-se por areias finas a médias e concentrações ferruginosas, com intercalações argilosas caulíníticas. O Grupo Barreiras encontra-se acamada sobre unidades do Terciário Paleógeno e o Grupo Itapecuru, sendo recoberta de maneira diferente por sedimentos quaternários, pleistocênicos e holocênicos (KLEIN, *et al.*, 2012).

Sobre a origem desta unidade litológica tem-se que

O termo “Barreiras” tem sido utilizado pela literatura geológica ora como “Formação”, ora como “Grupo” e dantes, como “Série”, a qual foi considerada imprópria, por representar unidades cronoestratigráficas, não coerente para o caso, pois se desconhecem os limites de sua sedimentação no tempo geológico (NUNES, 2011, p. 11).

Ferraz e Valadão (2005) apreciou esta questão e deu parecer favorável ao uso do termo Grupo Barreiras. Segundo Bigarella *et al.* (2007) a denominação Formação Barreiras é usada de forma indevida, pois há presença de inconformidades erosivas e grande variação litológica. Desta forma, o referido autor elege esta litologia como Grupo Barreiras, nomenclatura utilizada nesta pesquisa.

Caracteriza-se o Grupo Barreiras por apresentar um perfil pouco evoluído, com sedimentos inconsolidados, argilosos, arenosos e com nódulos e blocos de concreções ferruginosas. Segundo Pereira (2006), esses sedimentos afloram nas falésias, nas colinas, nas encostas e nos topos dos tabuleiros, com espessura máxima de 30 metros.

Com presença de areia fina a média, com estratificação cruzada e argila arenosa maciça apresenta-se a Formação Açuí, que por sua vez é superficial, sendo diretamente relacionada aos depósitos de mangues, aluvionares e coluvionares.

A Formação Açuí que data do Quaternário é bastante presente na Ilha do Maranhão e tem como características sedimentos argilo-arenosos com origem aproximada entre o Pleistoceno superior e o Holoceno (SILVA; DIAS e FARIAS FILHO, 2015).

Esta formação compõe-se de sedimentos arenosos inconsolidados e argilosos relacionados a diversos tipos de depósitos superficiais ocorrentes na Ilha do Maranhão. Ela apresenta uma idade pleistocênica tardia e holocênica (RODRIGUES *et al*, 1994; ALMEIDA, 2000; VEIGA JÚNIOR, 2000).

De acordo com Almeida (2000) e Veiga Júnior (2000) essas formações superficiais estão relacionadas aos depósitos de argilas adensadas com areias, aos depósitos fluviomarinhos, de mangues, marinhos litorâneos, eólicos litorâneos, aluvionares e coluvionares e fluviolacustres.

Na área de estudo tem-se os depósitos de mangues e os depósitos aluvionais e coluvionais. Os depósitos de mangue originam-se por processos de tração/suspensão subaquosa, sendo encontrados nas áreas sob influência das marés, nas fácies de intermaré/submaré rasa, e são constituídas por lamas, arenosas, plásticas, não adensadas, maciças e bioturbadas, recobertas por mangues (ALMEIDA, 2000).

Rossi e Mattos (2002) comentam que estes ambientes “tornam-se locais com elo de ligação entre os ambientes marinho, terrestre e de água doce, caracterizando-se por uma constante conquista de novas áreas pelo acúmulo de grandes massas de sedimentos e detritos trazidos pelos rios e pelo mar.

Os depósitos de mangue são constituídos majoritariamente por sedimentos lamosos (argila e silte) com coloração cinza, plásticos, não adensados, maciços e bioturbados. Fazem parte de extensas planícies lamosas e ficam situados entre os limites de maré alta e baixa (KLEIN, *et al.*, 2012).

Os depósitos aluvionares e coluvionares são sedimentos presentes ao longo dos vales dos rios. Pereira (2006, p.83) afirma que os depósitos aluvionares são compostos “... por sedimentos arenosos e argilosos, esbranquiçados, com seixos e grânulos dispersos de lateritas, mal selecionados, com espessura inferior a 5 metros...”.

Os sedimentos coluvionares são constituídos de material conglomerático oriundos de processos viscosos de detritos, sendo fáceis de leques aluviais de enxurradas (ALMEIDA, 2000; VEIGA JUNIOR, 2000). Já os depósitos aluvionares são caracterizadas pelas

...areias médias, mal selecionadas, quartzosas, submaturas a maduras, apresentando intercalações de pelitos, formando os depósitos de canal, de barras de canal e da planície de inundação dos rios. Originam-se por processos de tração subaquosa; compreendendo fáceis de canal e barras de canal fluvial” (ALMEIDA, 2000, p. 22).

Considerando as características geológicas da área de estudo, evidencia-se a importância do conhecimento da litogia, uma vez que exerce influência direta na geração das unidades de relevo e o clima atua como escultor destas formas.

No que se refere as características pedológicas, a sub-bacia hidrográfica do riacho do Angelim apresenta solos alterados devido a intensa atuação do ser humano na área.

Pedron *et al* (2004) evidencia que as intervenções realizadas pela sociedade no ambiente urbano podem provocar diversas alterações morfológicas, físicas e químicas nos solos.

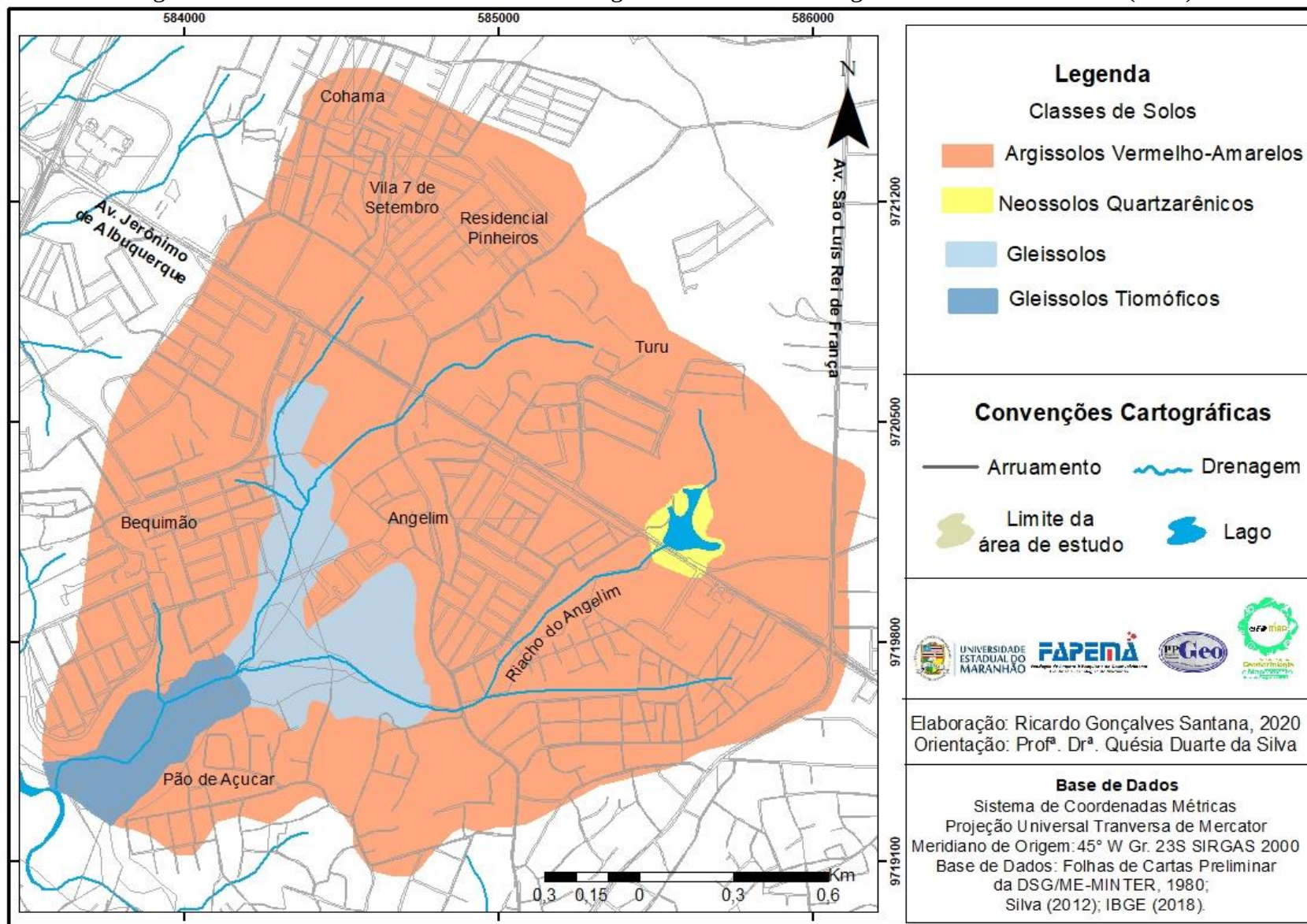
Em áreas urbanas consolidadas não é possível afirmar que existe um solo propriamente dito, pois aterros, decapeamentos e a impermeabilização do solo são tão fortes que descaracterizam aquilo que se convencionou chamar de solo (SILVA, 2011). Neste sentido, serão apresentadas duas caracterizações quanto aos solos da área, tendo em vista a intensa urbanização da área.

A primeira, se refere à classificação realizada por Maranhão (1998) adaptado por Silva (2012), tendo como base o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos da Embrapa (2006).

A segunda está relacionada à situação atual da área, pelo fato de estar densamente urbanizada e com os solos alterados. Foi elaborado de acordo com o levantamento realizado por Shinzato, Dantas e Ferreira (2018) no projeto intitulado “Estudos Hidrogeológicos da Região Metropolitana de São Luís: subsídio para o uso sustentável dos recursos hídricos” realizado em conjunto pela Agência Nacional das Águas – ANA e a Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais do Serviço Geológico do Brasil – CPRM.

Considerando Silva (2012), na sub-bacia hidrográfica do riacho do Angelim desenvolveram-se as seguintes classes de solos: Argissolos Vermelho-Amarelos, Neossolos Quartzarênicos, Gleissolos e Gleissolos Tiomórficos (Figura 17; Tabela 07, p. 81).

Figura 17 – Classes de solos da sub-bacia hidrográfica do riacho do Angelim de acordo com Silva (2012)



Fonte: Adaptado de Silva (2012).

De acordo com Sistema Brasileiro de Classificação de Solos – EMBRAPA (2018), os Argissolos

compreendem solos constituídos por material mineral, que têm como características diferenciais a presença de horizonte B textural de argila de atividade baixa, ou atividade alta desde que conjugada com saturação por bases baixa ou com caráter aluminico. O horizonte B textural (Bt) encontra-se imediatamente abaixo de qualquer tipo de horizonte superficial, exceto o hístico, sem apresentar, contudo, os requisitos estabelecidos para ser enquadrado nas classes dos Luvisolos, Planossolos, Plintossolos ou Gleissolos (EMBRAPA, 2018, p.87).

Tabela 07 - Classes de solos da sub-bacia hidrográfica do riacho do Angelim de acordo com Silva (2012)

Área		
Classes	Valor absoluto (km ²)	Valor relativo (%)
Argissolos Vermelho-Amarelos	3,39	78,2
Neossolos quartzarênicos	0,50	11,5
Gleissolos	0,32	7,3
Gleissos Tiomórficos	0,13	3
Total	4,34	100

Fonte: Organizado por Santana (2020).

Silva (2012) caracteriza em subordem os Argissolos, categorizando em Argissolos Vermelhos-Amarelos. Estes solos, representam cerca de 78,2% da área em análise, uma vez que, apresentam como característica, a presença do horizonte diagnóstico Bt (textural), composto pelo acúmulo de argilas iluviadas advindas dos horizontes O, A e E.

A Embrapa (2018) aponta que este tipo de solo apresenta cores vermelho-amareladas e/ou amarelo-avermelhadas devido à presença da mistura dos óxidos de ferro hematita e goethita. Podem ser arenosos, de textura média ou argilosos no horizonte mais superficial.

Silva (2012) evidenciou que

apresentam coloração que varia ao longo do perfil de marrom claro (Horizonte A) até amarelo (Horizonte Bt), correspondendo ao valor 5YR(6/6) - amarelo-avermelhado, segundo a Carta Munsell de Cores (2000). A textura é arenosa a média nos horizontes superiores (A e E), sendo um solo, com exceção do horizonte Bt, com pouca plasticidade. A estrutura do horizonte Bt é angular e sub-angular; com consistência ligeiramente dura, quando molhado, mas friável quando úmida. É um solo mineral, não hidromórfico, profundo (150 cm), moderadamente drenado (SILVA, 2012, p. 123).

Destaca-se que os Argissolos Vermelho-Amarelos estão associados as características litoestratigráficas do Grupo Barreiras e das unidades de relevo tabuleiros com topos planos e colinas esparsas na área objeto de estudo. Aponta-se que esta classe passou por severas intervenções para implantação do sítio urbano, descaracterizando-o.

Os Neossolos são

constituídos por material mineral ou por material orgânico pouco espesso que não apresenta alterações expressivas em relação ao material originário devido à baixa intensidade de atuação dos processos pedogenéticos, seja em razão de características inerentes ao próprio material de origem (como maior resistência ao intemperismo ou composição químico-mineralógica), seja em razão da influência dos demais fatores de formação (clima, relevo ou tempo), que podem impedir ou limitar a evolução dos solos (EMBRAPA, 2018, p. 96).

Na sub-bacia hidrográfica do riacho do Angelim, tem-se a subunidade dos Neossolos, os Neossolos Quartzarênicos Órticos Distróficos (11,5%); associa-se esta classe à área ocupada pelo lago e seu entorno.

É um solo muito arenoso, de textura fina a média; quando seco, apresenta grãos simples e soltos; molhado, os grãos apresentam-se friáveis. É muito drenado, com presença de matéria orgânica nos primeiros 5 cm e transição gradual entre os horizontes. Apresenta estrutura angulosa a subangulosa, cor bruno-acinzentado, seguindo a Carta Munsell de Cores (2000), de cinza à marrom claro, isto é, 10YR (5/2) (SILVA, 2012, p. 125).

Os Gleissolos (7,3%) são característicos de áreas alagadas ou sujeitas a inundações. Apresentam cores acinzentadas, azuladas ou esverdeadas, na profundidade de até 50 cm da superfície. Podem ser de alta ou baixa fertilidade natural e têm nas condições de má drenagem a sua maior limitação de uso.

São solos com expressiva gleização, que é resultado do processo de redução de compostos de ferro, em presença de matéria orgânica, em condições de regime ou excesso de umidade permanente ou periódico (EMBRAPA, 2018). Estes solos estão associados à planície fluvial com depósitos aluvionais e coluvionais da Formação Açuí.

De acordo com Silva (2012), os Gleissolos são hidromórficos, muito ácidos, pouco profundos, de textura arenosa e média arenosa, ocorrendo nas planícies fluviais. Não possui o horizonte B diagnóstico e possui textura de areia franca, com estrutura subangular. A consistência, quando seco, é ligeiramente dura; quando molhado, é firme.

Nos depósitos de mangue, relacionados geomorfologicamente à planície de maré, há associação dos solos do tipo Gleissolos Tiomórficos (3%). São solos com pH muito baixo e apresentam materiais sulfídricos em um ou mais horizontes ou camadas de caráter sulfúrico, ambos dentro de 100 cm a partir da superfície do solo (EMBRAPA, 2018). Nas áreas com

ocorrência do solo em questão, Silva¹⁰ (2012, p. 128) afirma que “contêm altos teores de compostos de enxofre. Em virtude da variabilidade do nível da água pelas marés e com o processo de oxidação, os solos se tornam muito ácidos; isto ocorre por estar constantemente sob a influência das marés”.

Partindo do pressuposto que a área em análise encontra-se densamente urbanizada com significativas intervenções do ser humano, apresenta-se a classificação realizada por Shinzato, Dantas e Ferreira (2018) com base em Gama *et al* (2012).

Grande parte da área encontra-se com solos modificados, impossibilitando a identificação e validação. De acordo com os autores supracitados, tem-se: Neossolos quartzarênicos e gleissolos timórficos. Os Argissolos não contemplavam a área, no entanto, após análises foi identificado que áreas com vegetação estavam classificadas como urbanas, sem classe de solos. A área urbana consolidada foi categorizada da seguinte forma: urbano de alta densidade e urbano de média densidade (Tabela 08; Figura 18).

Tabela 08 – Classes de Solos da sub-bacia hidrográfica do riacho do Angelim de acordo com Shinzato, Dantas e Ferreira (2018)

Classes	Área	
	Valor absoluto (km ²)	Valor relativo (%)
Neossolos quartzarênicos órtico	0,50	11,5
Gleissolos timórficos	0,13	3
Urbano de alta densidade	1,38	31,7
Urbano de média densidade	2,33	53,8
Total	4,34	100

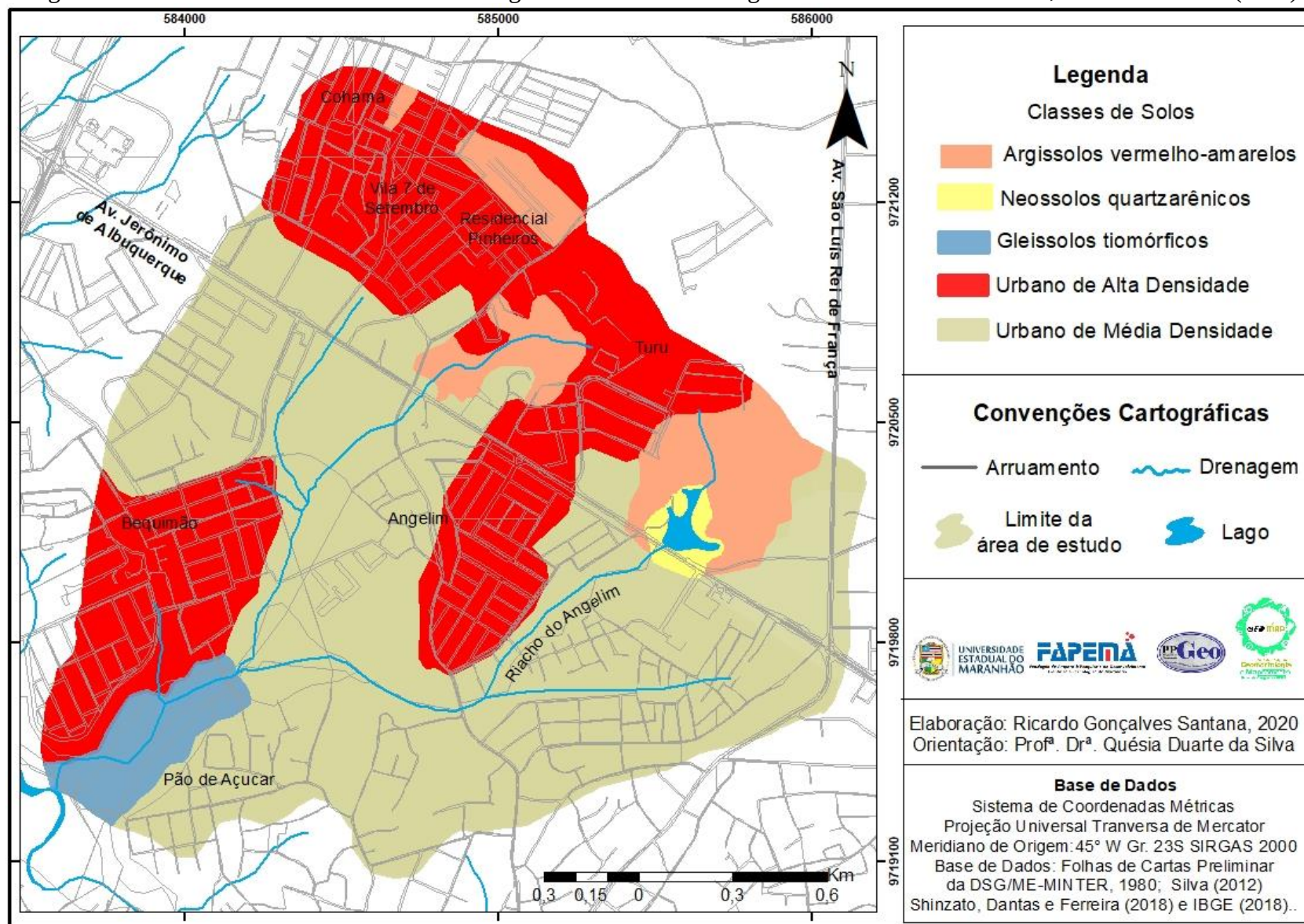
Fonte: Adaptado de Shinzato, Dantas e Ferreira (2018).

Na sub-bacia hidrográfica do riacho do Angelim, as áreas consideradas urbano de alta densidade estão associadas aos lotes residenciais, com presença de condomínios verticais, residenciais e bairros com ocupação direcionada (Angelim, Bequimão, Residencial Pinheiros, e parte da Cohama e Turu).

As áreas definidas como urbano de média densidade estão associadas aos locais que passaram por um processo de ocupação de forma acelerada. Estão posicionadas próximas aos canais fluviais, ao lago, à planície fluvial e à planície de maré.

¹⁰ Foi necessária uma atualização quanto a terminologia, com base na EMBRAPA (2018), pois a autora em sua tese utiliza o termo “solos indiscriminados de mangue”. Destaca-se que Gama *et al* (2012) também usou o mesmo vocabulário.

Figura 18 – Classes de Solos da sub-bacia hidrográfica do riacho do Angelim de acordo com Shinzato, Dantas e Ferreira (2018)



Fonte: Adaptado de Shinzato, Dantas e Ferreira (2018).

Salienta-se que estas áreas são consideradas frágeis à ocupação urbana, devido às suas características genéticas face às intervenções impostas pelos seres humanos. Após os trabalhos de campo, observou-se que os solos da área em análise apresentavam grande interferência antrópica, ou seja, estão totalmente descaracterizados, impossibilitando a discussão das características físicas e morfológica destes. Em virtude disso, a variável solo não será levada em consideração para o mapeamento da fragilidade ambiental do relevo à ocupação urbana.

No que se diz respeito à hidrografia, a Ilha do Maranhão apresenta uma grande rede de drenagem, onde as nascentes das maiores bacias hidrográficas encontram-se na porção central. Esta drenagem pode ser considerada dispersa a partir do tabuleiro que fica na região central da mesma, com as 7 maiores bacias (134 km² a 42,01 km²), em ordem decrescente, Paciência, Tibiri, Bacanga, Santo Antônio, Cachorros, Jeniparana e Anil; e as micro bacias da região litorânea (SILVA, 2012).

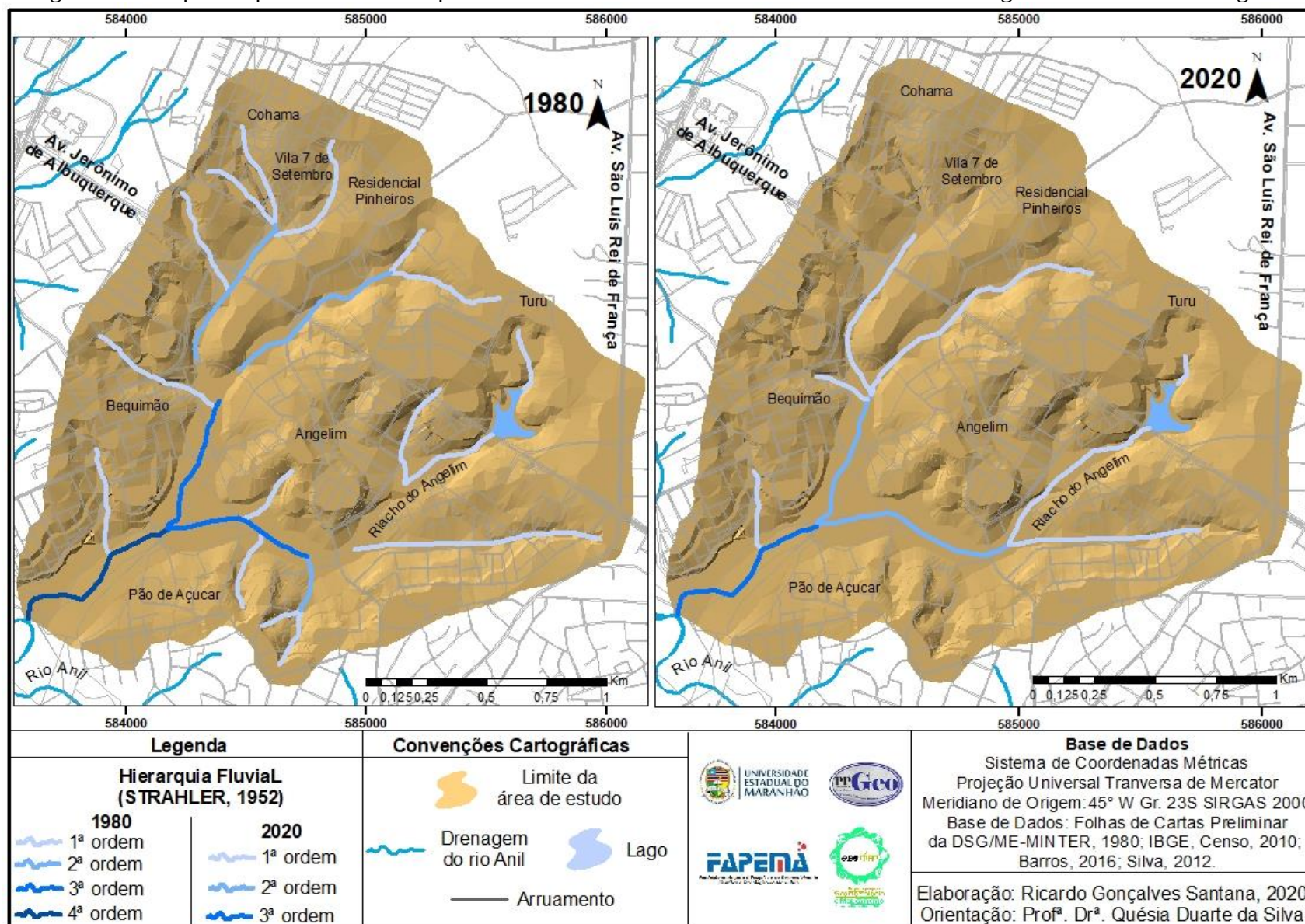
A sub-bacia hidrográfica do riacho do Angelim está inserida no médio curso da bacia hidrográfica do rio Anil, localizado a noroeste da Ilha do Maranhão, no município de São Luís. De acordo com Silva (2012), a bacia hidrográfica do rio Anil apresenta uma área de aproximadamente 42,01 km². Bezerra (2008), em sua pesquisa, a contextualizou com um elevado índice populacional. Em relação à hierarquia fluvial baseada em Strahler (1952), a partir das cartas planialtimétricas do Diretório do Serviço Geográfico – DSG (1980), a área objeto de estudo no início do processo de apropriação, urbanização e expansão da ocupação, apresentava hierarquia fluvial de 4º ordem.

A hierarquia fluvial consiste no processo de se estabelecer a classificação de determinado curso d'água (ou da área drenada que lhe pertence), no conjunto total da bacia hidrográfica na qual se encontra (CHRISTOFOLETTI, 1980). Segundo este autor, a hierarquização é realizada com a função de facilitar e tornar mais objetivos os estudos morfométricos (análise linear, areal e hipsométrica) sobre as bacias hidrográficas.

No ano de 1980, a área do riacho do Angelim, contava com uma drenagem que apresentava um total de 22 trechos fluviais, sendo eles: quinze trechos de 1º ordem, quatro de 2º ordem, dois de 3º ordem e um trecho de 4º ordem (Figura 19).

Após passar por um intenso processo de urbanização e alterações, tendo como principal agente modificador o ser humano, os segmentos fluviais passaram por diversas intervenções, dentre eles: aterros, redução da extensão, largura e lançamentos de efluentes.

Figura 19 – Mapa comparativo da hierarquia fluvial entre os anos 1980 e 2020 da sub-bacia hidrográfica do riacho do Angelim



Fonte: Própria pesquisa, 2020.

Atualmente, em virtude destas modificações, os canais de primeira ordem foram aterrados ou estão tubulados, desaparecendo no período seco e ressurgindo no período chuvoso. Muitos somem e com a expansão urbana em constante crescimento, o ser humano descaracteriza os canais fluviais para satisfazer ao mercado imobiliário; muitas vezes realizam construções sem levar em conta as características naturais e suas fragilidades.

Posto isto, em decorrência da intensa atividade do ser humano, o riacho do Angelim contém atualmente 9 segmentos fluviais, sendo seis segmentos de 1º ordem, dois de 2º ordem e um de 3º ordem. Tendo em vista as intervenções executadas pela sociedade, para fins de ocupação, os canais fluviais são muito alterados, sendo aterrados, poluídos, modificados quanto à forma etc. Assim, de acordo com a proposta de Oliveira *et al* (2004), os autores classificam os canais de acordo com as suas características atuais, a partir da ação do ser humano no ambiente urbano, sendo classificados como canais abertos/fechados, abertos/aterrados e fechados/aterrados.

Os canais do tipo aterrados estão associados aos de 1º ordem, formam-se nas bordas dos tabuleiros, onde há a transição entre este compartimento geomorfológico e as colinas esparsas (Figura 20). Os canais de 1º ordem foram alterados de forma predatória para ocupação urbana. O trecho A possui aproximadamente 400 metros de canal aterrado com materiais tecnogênicos. A linha em amarelo indica as áreas das cabeceiras, que encontram-se totalmente descaracterizadas, ocupadas e impermeabilizadas. O canal B tem cerca de 510 metros e o canal C possui cerca de 620 metros aterrado. Nos trechos A e C tem-se pequenas áreas verdes. As cabeceiras, são áreas onde existem olhos d'água que dão origem a um curso fluvial, geralmente são denominadas de nascentes (GUERRA e GUERRA, 2008).

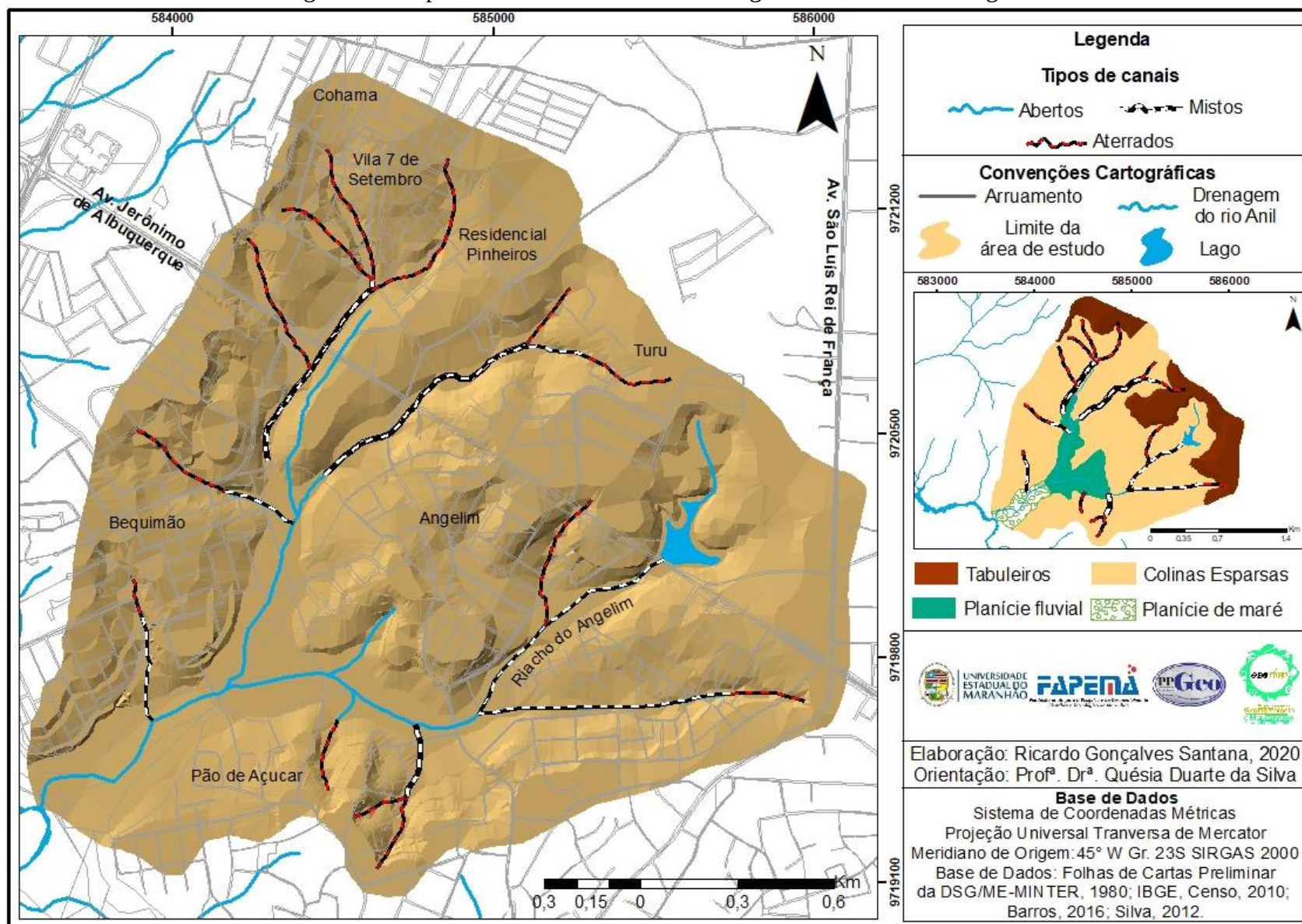
Figura 20 – Representação dos canais aterrados na área de estudo



Fonte: Própria pesquisa, 2019.

No que diz respeito aos canais mistos, eles são abertos em determinados trechos e em outros, fechado. Estes canais estão associados aos de 2º ordem, que perpassam a avenida Jerônimo de Albuquerque e outras vias (Figura 21).

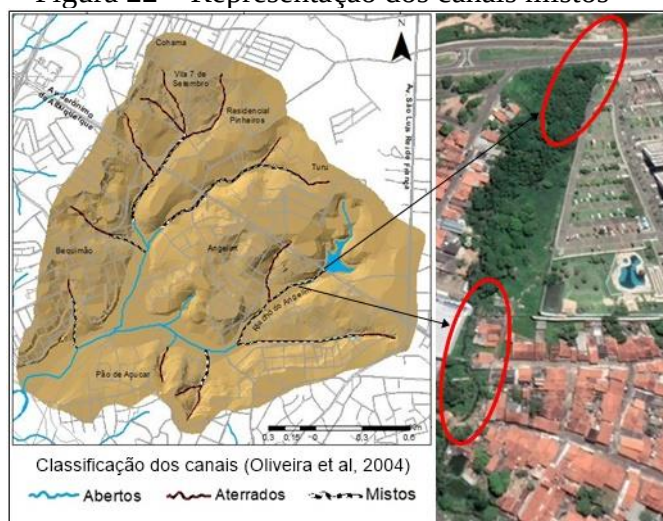
Figura 21 – Tipos de canais da sub-bacia hidrográfica do riacho do Angelim



Fonte: Própria pesquisa, 2020.

De acordo com a Figura 22, os círculos em vermelho indicam as áreas onde os canais estão abertos (passando sob a via já mencionada). Observou-se que as margens direita e esquerda dos canais estão desconfiguradas devido à pressão urbana exercida pela sociedade. A área em análise possui forma de terreno do tipo convergente retilínea, com fluxo resultante do tipo mesodispersor; as águas pluviais convergem para os cursos d'água em alta velocidade, pois o terreno em questão está impermeabilizado, aumentando desta forma o escoamento superficial. Ao somar as águas pluviais com as fluviais, tem-se um grande volume, o que resulta na intensificação de fenômenos, como as enchentes e inundações.

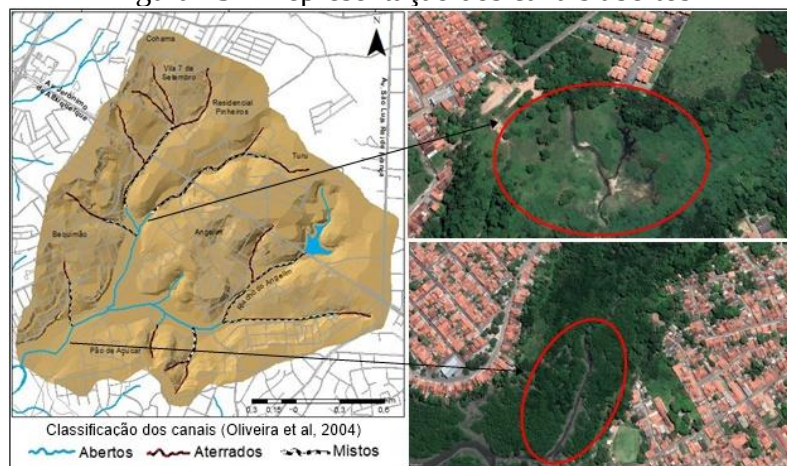
Figura 22 – Representação dos canais mistos



Fonte: Própria pesquisa, 2020.

Por fim, os canais abertos estão situados próximos à foz da sub-bacia hidrográfica do riacho do Angelim, no médio curso da bacia hidrográfica do rio Anil, alimentando o canal principal. Estes canais percorrem a área urbana e não possuem grandes intervenções nas margens e nos leitos (Figura 23).

Figura 23 – Representação dos canais abertos



Fonte: Própria pesquisa, 2020.

Diante do exposto, notou-se que a população atuou de forma significativa no riacho do Angelim, a ponto de intervir nos rios e contribuir para a maximização de processos hidrogeomorfológicos. As alterações nos canais fluviais e a expansão das áreas impermeáveis resultantes do desenvolvimento urbano são os grandes responsáveis pelos efeitos adversos nos cursos d'água urbanos (VIEIRA E CUNHA, 2006).

4.2 Uso e cobertura da terra

O processo de apropriação e ocupação do município de São Luís e da bacia hidrográfica do rio Anil ocorreu de forma conjugada, pois a ocupação do município deu-se pela foz dos rios Bacanga e Anil por meio da chegada dos franceses.

A cidade foi fundada por franceses, logo foi retomada pelos portugueses e colonizada pelos holandeses. Sobre isto, Souza (2005) comenta que

Em 1612 a missão chefiada pelo tenente-general francês Daniel de La Touche, Senhor de La Ravadière, instalou-se junto à foz dos rios Anil e Bacanga. Somente depois de construir o forte de São Luís (onde hoje se encontra o Palácio dos Leões), no dia oito de setembro, fincaram uma grande cruz em frente ao forte, onde foi celebrada uma missa que consagrou a fundação do povoado de São Luís, nome dado em homenagem ao rei da França Luís XIII. Dois anos depois, o capitão-mor de Pernambuco Jerônimo de Albuquerque é enviado às proximidades de São Luís com a missão de retomar as terras ao norte, ao qual segundo o Tratado de Tordesilhas, pertenciam a Coroa Portuguesa. Assim sendo, em novembro de 1614 os portugueses venceram a batalha de Guaxenduba, expulsando os franceses de São Luís. A ocupação por Portugal só se efetivou um ano após a batalha de Guaxenduba. Sendo assim, em 1621 São Luís tornou-se vila. Contudo, nos anos entre 1640 e 1644 São Luís esteve sob domínio holandês, sendo deixada praticamente em ruínas ao final deste período, indo alcançar a categoria de cidade somente no ano de 1677 (SOUZA, 2005, p. 56).

Em 1677 a ocupação limitava-se apenas aos arredores do Forte de São Luís. De acordo com Meireles (2001), foi através da instalação da Companhia Geral do Grão-Pará e Maranhão (1775 e 1778) que houve o primeiro salto econômico urbanístico da cidade. Desta forma, na segunda metade do século XIX foi construída uma estrada para estabelecer ligação entre o bairro central e os bairros vizinhos (Anil, atual João Paulo, Vinhais e Calhau), denominado Caminho Grande. Vale destacar que nestas áreas encontravam-se algumas fábricas do setor têxtil que faziam parte do cenário econômico daquela época (SOUZA, 2005).

Com o declínio do setor algodoeiro no Maranhão, na década de 1890, consumou a mudança da economia agrícola para uma economia industrial. Este processo de industrialização contribuiu para a descentralização demográfica do município. Nesta perspectiva, o processo de urbanização de São Luís limitou-se apenas ao entorno da estrada conhecida como Caminho Grande, que estabelecia conexão entre o Centro e o bairro industrial do Anil, com extensão até a cidade de São José de Ribamar (BELFORT, 1998).

Ribeiro Júnior (2001) frisa que a partir da década de 1960 e 1970 houve um acentuado êxodo rural proveniente dos conflitos no campo, o que fez aumentar rapidamente a população de São Luís, intensificando a exclusão social, pois a economia encontrava-se em crise e não foi capaz de incorporar essa grande mão de obra disponível. Com a crescente chegada da população rural na cidade, houve necessidade de melhorias na infraestrutura urbana para facilitar a locomoção dos habitantes.

Souza (2005) apontou três grandes obras que contribuíram para significativas mudanças no direcionamento da ocupação de São Luís, duas pontes sobre o rio Anil, a ponte Newton Bello de 1969 e a ponte José Sarney de 1970, que melhoraram a locomoção entre o Centro-Anil para a margem esquerda deste rio; e a barragem do rio Bacanga de 1969.

A ponte Newton Bello facilitou o aparecimento de muitos conjuntos habitacionais financiados pelo Banco Nacional da Habitação (BNH), sendo eles: conjuntos do Ipase, Maranhão Novo, Angelim, Vinhais, Bequimão, Cohama e Cohab Anil I, II, III e IV.

A franca expansão demográfica de São Luís alimentada pela decadência econômica do interior do estado se confirmava nos anos 80, com a promessa de novas oportunidades com a implementação do Distrito Industrial de São Luís, abrigando empresas de porte como a CVRD e ALUMAR, inchando a cidade que não estava preparada para acolher este enorme contingente populacional pouco qualificado. Sendo assim, uma grande parcela da população vivia em condições consideradas subnormais concentradas, principalmente nas áreas de manguezais dos rios Anil e Bacanga e, em áreas de invasão em terra firme (SOUZA, 2005, p. 60).

Estas mudanças foram fundamentais para a intensa ocupação da bacia hidrográfica do rio Anil, uma vez que esta bacia encontra-se inteiramente localizada em São Luís. Souza (2005) fundamentado em Itapary (1995) afirma que o rio passou a se chamar Anil a partir de 1730, devido à substância azul desprendida das folhas da planta Anil, que tingiam suas águas de azul.

O Anil teve um papel de grande importância no crescimento de São Luís na década de 1960, visto que era utilizado como meio de comunicação e transporte de diversos tipos, mercadorias agrícolas e matéria-prima para indústrias (TROVÃO, 1997). Diversas fábricas instalaram-se ao longo do rio, assim como atividades agrícolas. Neste sentido, de forma sintética, Santana (2018) com base em Souza (2005) elaborou uma síntese da ocupação da bacia hidrográfica do rio Anil (Quadro 11). A sub-bacia hidrográfica do riacho do Angelim situa-se no médio curso da bacia hidrográfica do rio Anil, compreendendo os bairros Angelim (Novo Angelim e Alto do Angelim), Bequimão, Residencial Pinheiros, Vila 07 de Setembro e uma pequena porção da Cohama, Cruzeiro do Anil, Pão de Açúcar e do Turu (Figura 01, p. 15).

Quadro 11 – Síntese de ocupação da bacia hidrográfica do rio Anil

Descrição do processo de ocupação	
Primeira metade do século XIX	A ocupação da bacia do Anil na primeira metade do século XIX estava restrita aos arredores da Praia Grande, atual centro histórico de São Luís, que compreende a margem esquerda do rio Anil, próximo à sua foz.
Segunda metade do século XIX	A partir da segunda metade do século XIX foram construídas estradas ligando o centro aos atuais bairros do Anil, João Paulo, Vinhais e Calhau, contribuindo para a descentralização urbana gradual do centro histórico, apesar desta estrada, ligando em sua maior parte, a sítios, quintas e pequenos núcleos no entorno de indústrias, nas proximidades.
Início do século XX até a década de 1960	A urbanização da bacia do Anil até a década de 1960 estava praticamente restrita ao entorno do eixo viário do chamado Caminho Grande, que ligava o Centro a São José de Ribamar, espalhando-se ao longo da margem esquerda do rio, descendo em direção às áreas de manguezais. Assim nasceram bairros como Liberdade (Matadouro), Monte Castelo (Areal), Alemanha, Caratatiua, Jordoa e Sacavém.
Início da década de 1970	A partir do final da década de 1960 e início dos anos 1970, começa a ocupação maciça da margem direita do Anil, em virtude da construção das duas pontes sobre este rio, e de diversos conjuntos habitacionais, que começavam a avançar em direção ao tabuleiro central da ilha.
Décadas de 1980 e 1990	Os anos 1980 e 1990 se caracterizaram pela multiplicação de ocupações irregulares, comumente chamadas de invasões, em sua maior parte na região do tabuleiro central, nas proximidades das nascentes de Anil e, também pelo crescimento dos bairros na margem direita próximo à foz, como São Francisco e Renascença.
Dos anos 1990 até a atualidade	No final dos anos 1990 até os dias atuais, pode-se observar a intensa verticalização da margem direita do rio Anil e ampliação silenciosa de bairros desta margem em direção à calha do rio, que vem sendo gradativamente aterrada, uma vez que a ocupação desta bacia já atingiu seu ponto de saturação, restando ainda poucas áreas verdes, em sua maioria manguezais e várzeas, frágeis ao lucrativo mercado imobiliário.

Fonte: SOUZA, 2005; adaptado por Santana, 2018.

Destaca-se que os bairros Bequimão e Angelim serviram de pontos de partida para a expansão urbana, pois a partir da construção destes conjuntos habitacionais, a população com baixo poder aquisitivo iniciou a apropriação das áreas adjacentes com características específicas e sem considerar suas fragilidades.

Os conjuntos habitacionais Bequimão e Angelim foram construídos pela Companhia de Habitação Popular – COHAB que foi criada durante a ditadura militar (1964-1985) e tinha como objetivo a construção de habitação popular em massa. Foi a partir da COHAB-MA que foi possível a construção de conjuntos que influenciaram consideravelmente o surgimento de bairros de ocupação espontânea ou planejados (CURVELO-MATOS, 2014).

O terreno em que está situado o conjunto habitacional Bequimão foi adquirido em 1976 e obteve a finalização das construções e inauguração em 1978. O nome Bequimão refere-se a Manuel Beckman, uma homenagem, ao revolucionário português, que liderou a revolta de Beckaman, sendo uma adaptação ortográfica de um nome germânico. O bairro tinha 1.190 casas, distribuídas em 65 quadras, 01 avenida e 58 ruas. O conjunto foi beneficiado com 01 centro de abastecimento alimentício, 01 ambulatório, 01 creche, 01 delegacia, 01 administração, 01 escola do Ensino Médio, 01 do Ensino Fundamental, 02 praças e 06 áreas verdes.

[..] o terreno onde está construído o Conjunto Habitacional Bequimão foi vendido à COHAB pelo Estabelecimento James Frederick Clark S.A, propriedade de José Bruce de Mendonça Clark, sua cônjuge Anna Maria Meyer Mendonça Clark e Septimus Mendonça Clark. O imóvel adquirido pela COHAB compreendia: (i) duas partes do Sítio Serafim, uma medindo 141.871m² e outra com 203.919m²; (ii) uma área desmembrada do Sítio Porto-Grande-Santana, medindo 37.752m² e; (iii) uma parte desmembrada do Sítio Bentivi situada no Angelim, medindo 126.081m² (CURVELO-MATOS, 2014, p. 214).

Em relação ao conjunto habitacional do Angelim, foi inaugurado em 1979 e recebeu este nome em razão da flora e fauna local, em especial à árvore de madeira nobre por nome “Angelim”. O terreno em que se encontra o bairro foi comprado em 1976 pela Companhia de Habitação Popular – COHAB. Segundo a literatura, o Angelim serviu como ponto de abastecimento de água no século XIX.

[..]o terreno onde está construído o Conjunto Habitacional Angelim foi vendido à COHAB pela empresa Pouso Alto Empreendimentos Imobiliários LTDA. No referido documento de aquisição, o Lugar ou Povoado Angelim, era situado na margem esquerda da Avenida Tirirical-São Marcos e, pela descrição já tinha sido habitado mesmo antes do Conjunto da COHAB. Segundo a EMARHP (Relação dos Conjuntos Habitacionais, s/d), o bairro foi inaugurado em 1979, tinha 654 casas, distribuídas em 28 quadras, 04 avenidas e 26 ruas. O conjunto foi beneficiado com 02 áreas verdes, 02 quadras poliesportivas comunitárias e 02 praças (CURVELO-MATOS, 2014, p. 213 - 2014).

A partir da construção do conjunto habitacional Angelim, a população ludovicense de baixa renda daquela época começou a se apropriar e posteriormente consolidar a ocupação no entorno do conjunto, dando origem a um bairro de ocupação não planejada, denominado Novo Angelim, em detrimento do antigo. Salienta-se que o conjunto foi construído em uma área relativamente plana, já o Novo Angelim em áreas alagadas e com relevo íngreme.

[..] o bairro Novo Angelim, que está situado em área remanescente da COHAB e foi fundado em 1986 por pessoas que não tinham moradias, que viviam de aluguel, agregadas ou mesmo por oportunistas que ocupavam os terrenos e depois vendiam, transformando-os numa fonte de renda ou mesmo fonte de interesses políticos. [...] as terras ao lado do terreno do Conjunto, que estavam desocupadas, então as pessoas foram chegando, derrubando o mato e fazendo suas casas de taipa, tapadas de barro e cobertas de palha(CURVELO-MATOS, 2014, p. 215).

Observa-se que após sete anos de conclusão do conjunto habitacional Angelim, as terras que encontravam-se ociosas foram sendo ocupadas, assim como suas adjacências. É partir desses projetos e posterior ocupação não planejada que deu-se início ao processo de urbanização da área em análise.

Os demais bairros que estão situados na sub-bacia hidrográfica do riacho do Angelim foram construídos nos últimos trinta anos, com exceção do bairro do Turu e Cohama, que teve o mesmo processo de apropriação e ocupação do Bequimão e Angelim.

O sub-bairro Alto do Angelim, é formado por um conjunto de condomínios do tipo apartamentos, que foram construídos no entorno do lago e das nascentes. O esgotamento sanitário direciona-se para os canais fluviais da área.

O bairro Residencial Pinheiros foi construído de forma planejada, na área mais alta do sub-bacia em questão, onde estão os tabuleiros. Já a Vila 07 de Setembro é de origem espontânea, foi ocupada em áreas com declives acentuados.

Diante do exposto, analisou-se o uso e cobertura da terra da sub-bacia hidrográfica do riacho do Angelim, tendo como base os anos de 1975, considerando os anos de ocupação da áreas, como já foi mencionando antes, e o ano de 2019, período urbano consolidado, para melhor entendimento do processo de expansão urbana.

Através das análises feitas nas imagens de satélite do ano de 1975, defende-se que a área objeto de estudo encontrava-se em processo de ocupação, com atividades agrícolas, sítios e moradias de formas dispersas, onde as áreas edificadas conjugavam-se com o solo exposto, uma vez que era retirada a vegetação para implantação de residências.

Apenas 32,9% da área possuía construções e solos expostos; a área da vegetação era bastante significativa, com 67,1%; a vegetação era arbórea e arbustiva, com grandes árvores, com destaque para a de madeira nobre, Angelim (Figura 24).

Em relação ao ano de 2019, a área encontra-se intensamente urbanizada. Percebe-se que houve um grande crescimento urbano, o que denota um grande desmatamento e ocupação de áreas irregulares, que apresentam uma certa fragilidade diante da ocupação urbana.

Por meio das análises de imagens de satélites foi possível quantificar que cerca de 70,9% da área encontra-se densamente urbanizada. Percebe-se um aumento de 38% do urbano, em relação ao ano de 1975, o que implica na descaracterização da paisagem local, assim como das morfologias presentes.

A área da vegetação secundária mista foi predatoriamente reduzida, a área atualmente é de 29,1%, apresentando redução de 38%, sendo proporcional à expansão urbana, o que valida a área de vegetação que foi desconfigurada para implantação de residências.

Sendo assim, foi observado que a partir da retirada da cobertura vegetal houve uma diminuição das áreas permeáveis, o que provoca um aumento no escoamento superficial, sendo este o responsável por grandes transtornos em áreas urbanas.

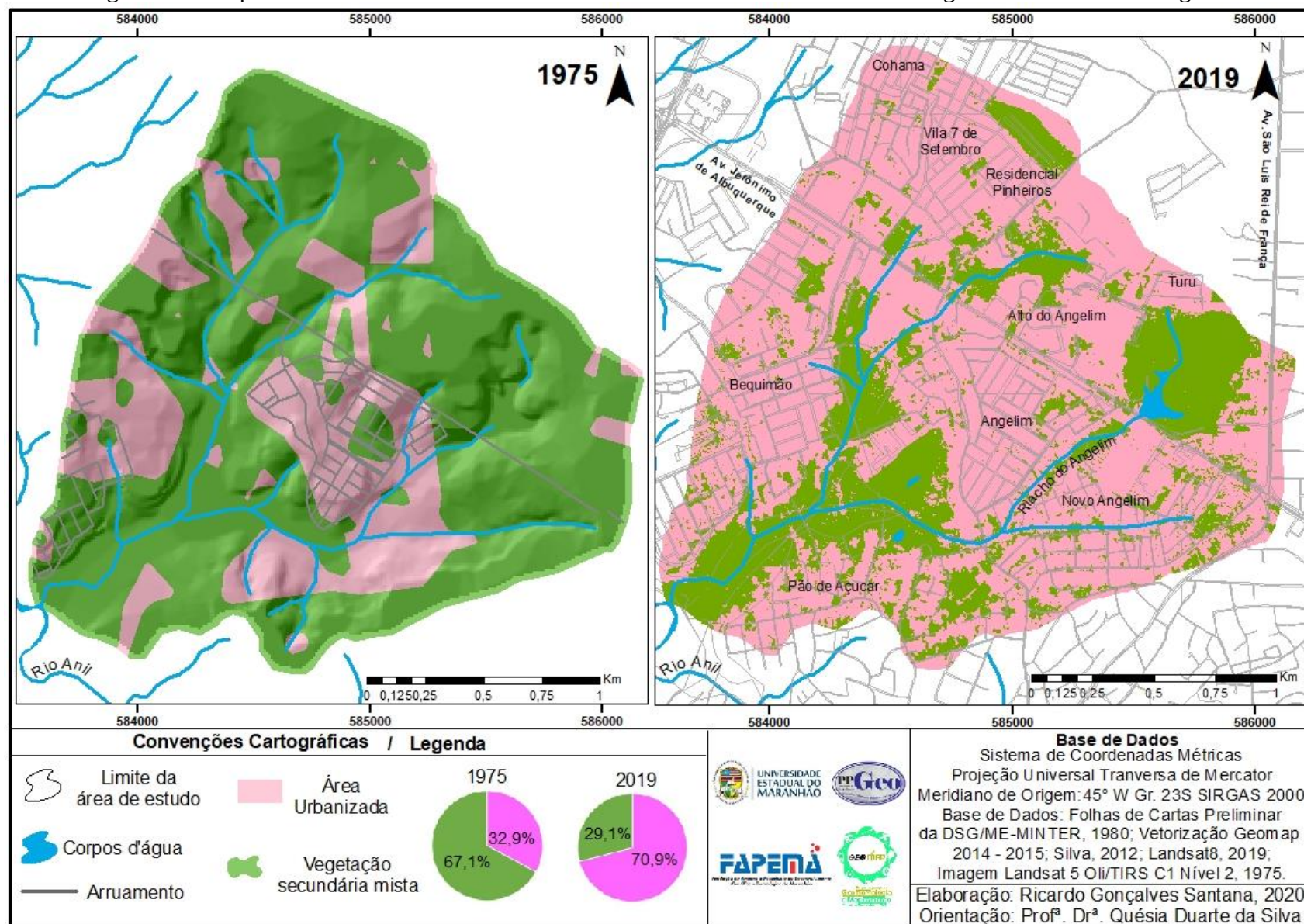
No que diz respeito à impermeabilização, considerando a bacia hidrográfica do rio Anil, Oliveira *et al* (2009) corrobora que

O uso e ocupação intensos na bacia hidrográfica do rio Anil acabaram por gerar a natureza de impermeabilidade do solo (com a construção de ruas e avenidas, grandes empreendimentos comerciais e residenciais, além do aplainamento e compactação de algumas colinas, o que diminui a capacidade de recarga dos aquíferos), a devastação das matas ciliares, o assoreamento do leito dos rios e o lançamento de efluentes de esgoto *in natura*, além de resíduos sólidos, com o consequente processo de eutrofização em alguns trechos dessa bacia (OLIVEIRA *et al.* 2009, p. 1).

Nos anos 1970 a 1975 a área em questão estava passando pelo processo de apropriação e ocupação, com o predomínio da vegetação local, logo as áreas permeáveis possuíam uma grande porcentagem no ano de 1975, correspondendo a 67, 1% (Figura 24).

Através das análises, acredita-se que havia uma grande quantidade de riachos, que nasciam nas bordas dos tabuleiros e direcionavam-se para os fundos de vale. Nesta época, possivelmente a sub-bacia hidrográfica do riacho do Angelim encontrava-se em equilíbrio, com suas características naturais preservadas.

Figura 24 – Mapa de uso e cobertura da terra dos anos 1975 e 2019 da sub-bacia hidrográfica do riacho do Angelim



Fonte: Própria pesquisa, 2020.

Com a implantação dos conjuntos habitacionais Angelim e Bequimão, iniciou-se o processo de alteração da paisagem no riacho do Angelim, pois os conjuntos foram fixados sobre as morfologias, alterando desta forma a dinâmica hidrológica da área. Observa-se na figura 25, a expansão urbana sobre as unidades de relevo da área.

Fujimoto (2000, p. 61) destaca que “a urbanização se apresenta como um desafio para muitos pesquisadores, pois a concentração humana e as atividades a ela relacionadas provocam uma ruptura do funcionamento do ambiente natural”.

No que se refere ao ano de 1975, o conjunto habitacional Angelim foi implantado sobre as colinas esparsas, sugere-se que, em função desta característica, houve o processo de terraplanagem para nivelção da área, uma vez que, as colinas apresentam-se por meio de suaves ondulações no terreno. Notou-se o início da expansão urbana ao sudoeste da área objeto de estudo, com início das obras do conjunto habitacional Bequimão.

Através da implantação destes conjuntos habitacionais, deu-se início a ocupação das áreas adjacentes, dando origem aos aglomerados subnormais. Nota-se que no de 1990 as ocupações encontram-se mais próximas aos canais fluviais, direcionando-se à planície fluvial e a planície de maré. Ao noroeste do riacho do Angelim, na intersecção entre os tabuleiros com topos planos e as colinas esparsas, tem-se a fixação de moradias próximas aos canais e as áreas de nascentes. Esta dinâmica está diretamente relacionada aos conjuntos que iniciaram a urbanização da área, pois, a famílias que ocuparam os conjuntos precisavam de mão de obra para executar determinadas tarefas, sejam domiciliar ou que contemplasse o conjunto.

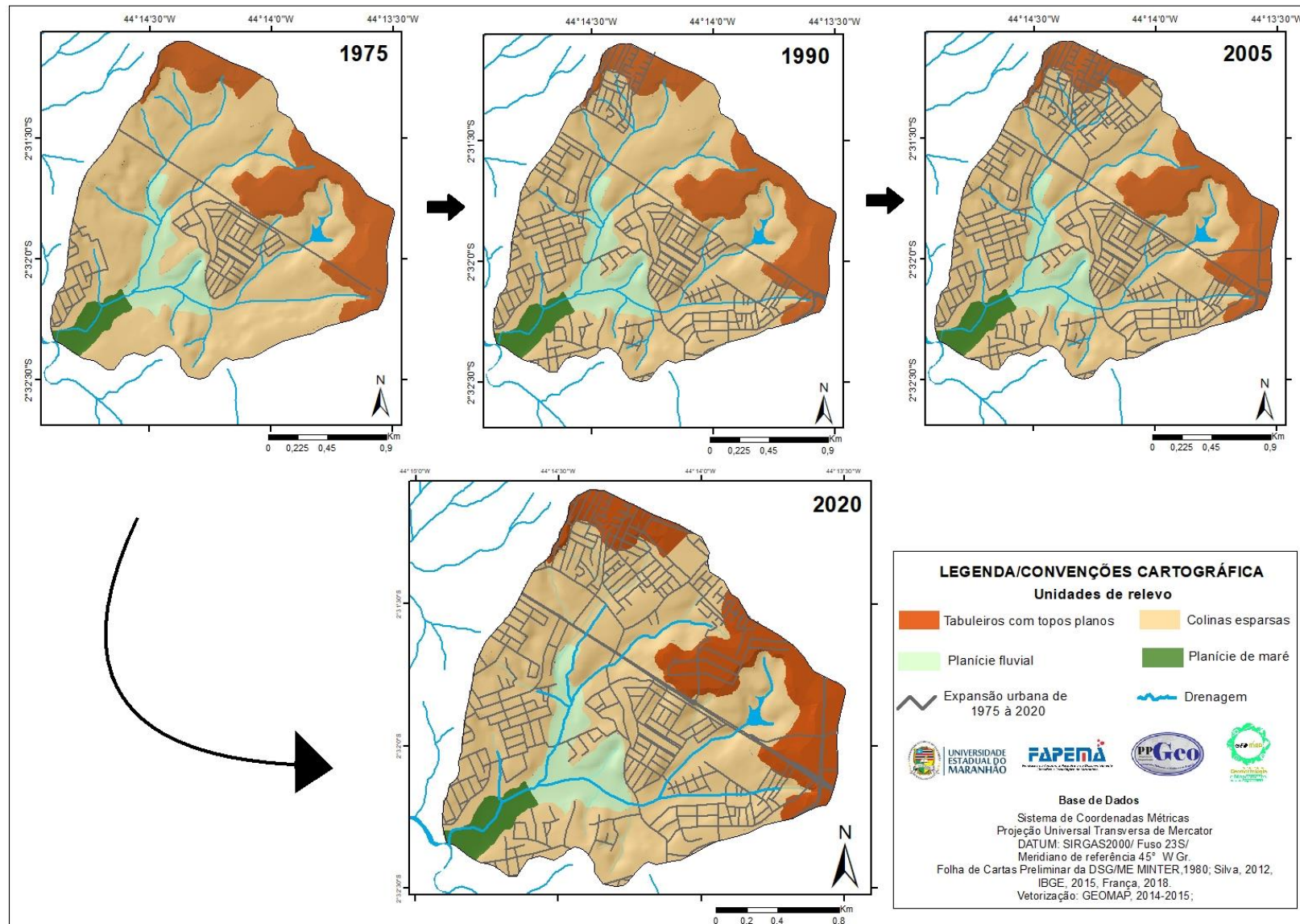
Nesta perspectiva, Silva *et al* (2006) complementa que

Uma vez sendo o processo de expansão urbana um fenômeno que acompanha o processo de aumento populacional de uma região sob duas formas: aumento vegetativo da população e migração contínua de pessoas da área rural para a área urbana, normalmente ocorre uma expansão da área urbanizada, com vários impactos ambientais associados e com invasão de áreas impróprias para fixação de moradias (SILVA *et al*, 2006, p. 2).

Em 2005 solidifica-se a ocupação ao norte da sub-bacia hidrográfica do riacho do Angelim, ocupando as áreas de tabuleiros, sendo uma parte do bairro de classe média alta Cohama. Seguindo esta mesma dinâmica, tem-se a implantação do Residencial Pinheiros, em áreas com declividade moderada, onde realizaram o aterramento dos canais fluviais de primeira ordem, descaracterizando a dinâmica hidrológica da área.

Com o intenso avanço tecnológico, científico e aumento da demanda por moradias nos últimos 45 anos, foram implantados diversos conjuntos habitacionais verticais na área de estudo, nos tabuleiros e nas áreas ligeiramente planas das colinas, referindo-se ao ano de 2020. Assim, percebe-se grandes alterações nas morfologias e as áreas remanescentes encontram-se em constante pressão em função da especulação imobiliária.

Figura 25 – Expansão urbana sobre o relevo entre os anos de 1975 e 2020 da sub-bacia hidrográfica do riacho do Angelim



Fonte: França, 2021.

Gonçalves e Moura (2016) argumentam que, ao analisarmos a expansão urbana de uma determinada área sobre o relevo, surge uma complexidade de fatores sociais e ambientais, pois o entendimento da dinâmica do relevo, interessa de forma direta ao ser humano, sendo um ser social, tendo em vista que é base das ocupações.

Neste sentido, torna-se necessário a análise das áreas permeáveis e impermeáveis, pois com a grande alteração imposta pela sociedade, sem estudos prévios, gera o aumento no escoamento superficial que somando às águas pluviais, lançam um grande volume de água nos canais fluviais, sendo que estes estão descaracterizados e ocupados, o que gera transtornos para a população local.

Com o passar dos anos, novas áreas começaram a ser ocupadas em decorrência do aumento da população local; assim tornou-se necessária a melhoria da infraestrutura seja nos bairros planejados ou não, logo, deu-se início ao aterramento das margens dos canais fluviais e impermeabilização das vertentes.

Atualmente, no período urbano consolidado (NIR, 1983), a área apresenta elevadas taxas de impermeabilização, com 70,9% (Figura 26). Com a intensa ocupação e alterações impostas, as dinâmicas ambientais não são levadas em consideração, pois ao interferir na dinâmica, a infiltração reduz e o escoamento superficial tende a aumentar.

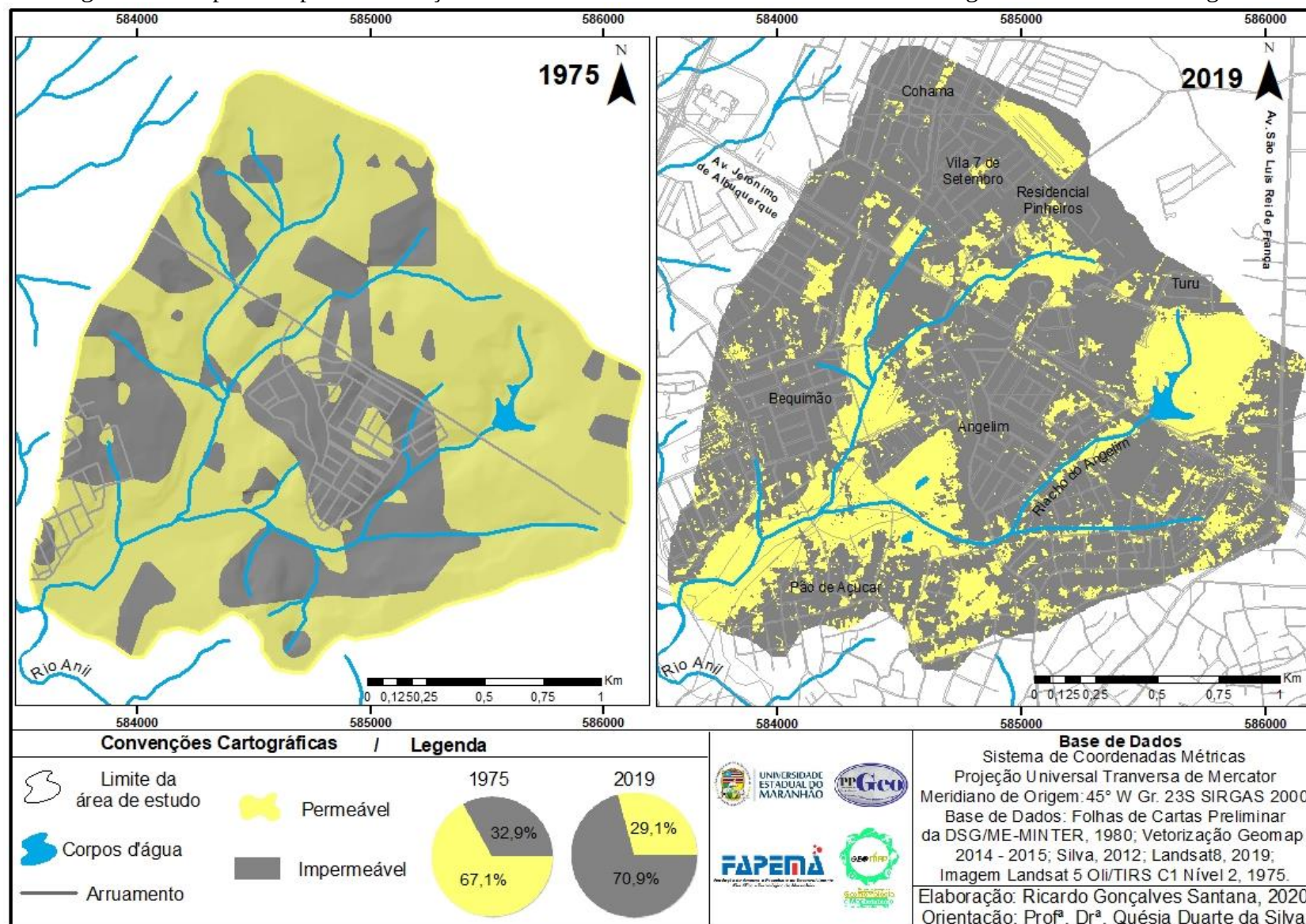
As áreas urbanas necessitam de olhar minucioso para implantação de moradias, comércio, entre outros, visto que ao ocupar sem um direcionamento prévio, o ser humano contribui para a intensificação ou aparecimento de determinados processos hidrogeomorfológicos.

Com estas alterações, grande parte dos tabuleiros, colinas, planície fluvial foram impermeabilizados, assim como as nascentes, o que resulta no desaparecimento dos olhos d'água que alimentam os canais.

Observa-se que a mancha impermeável entre os anos de 1975 e 2019 cresceu significativamente, uma vez que, o processo de urbanização trouxe inúmeras modificações para os solos das áreas, que por sua vez geraram marcas permanentes nas respostas hidrológicas das áreas urbanizadas, ocasionando os efeitos relacionados ao escoamento superficial.

A retirada da cobertura vegetal para impermeabilização do solo gera consequências que podem se tornar desastrosas no ambiente urbano. Deste modo, somada à ineficiência da rede de drenagem pode gerar alagamentos em diversas localidades, a depender da disposição do relevo. Nas áreas com declividades moderadas, em virtude da impermeabilização, o escoamento superficial, em grande quantidade, ganha velocidade e colabora para o acúmulo nas áreas planas, com característica côncava. Destaca-se também que no ambiente urbano, o escoamento ganha velocidade em direção aos cursos d'água que estão descaracterizados, alcançando sua capacidade máxima, o que pode gerar transtornos para a população local.

Figura 26 - Mapa de impermeabilização do solo nos anos 1975 e 2019 da sub-bacia hidrográfica do riacho do Angelim



Fonte: Própria pesquisa, 2020.

Considerando a importância da discussão sobre o uso e cobertura da terra da sub-bacia hidrográfica do riacho do Angelim, realizou-se um detalhamento para o ano de 2020. Como resultado, tem-se dez classes na área objeto de estudo, como mostra a figura 27.

Por meio da análise do uso e cobertura da terra, as classes com maior destaque foram os Conjuntos Habitacionais Horizontais (25,8%), Vegetação Arbórea (24,6%) e os Aglomerados Subnormais (21,6%).

Os Conjuntos Habitacionais Horizontais encontram-se em terrenos que receberam infraestrutura de qualidade, com destaque para o Bequimão e Angelim, que foram promovidos pela Companhia de Habitação Popular – COHAB/MA. Após observações acerca do processo de ocupação da área, infere-se que estas moradias foram construídas para a população que tivesse acesso a um financiamento, pois, é notória a organização das residências, ruas e avenidas.

A classe de vegetação arbórea, é considerada remanescente e está sob constante pressão, seja pela especulação imobiliária ou a possibilidade de invasão destas áreas para fixação de moradias irregulares. Esta classe encontra-se em evidência na planície fluvial e na área do lago.

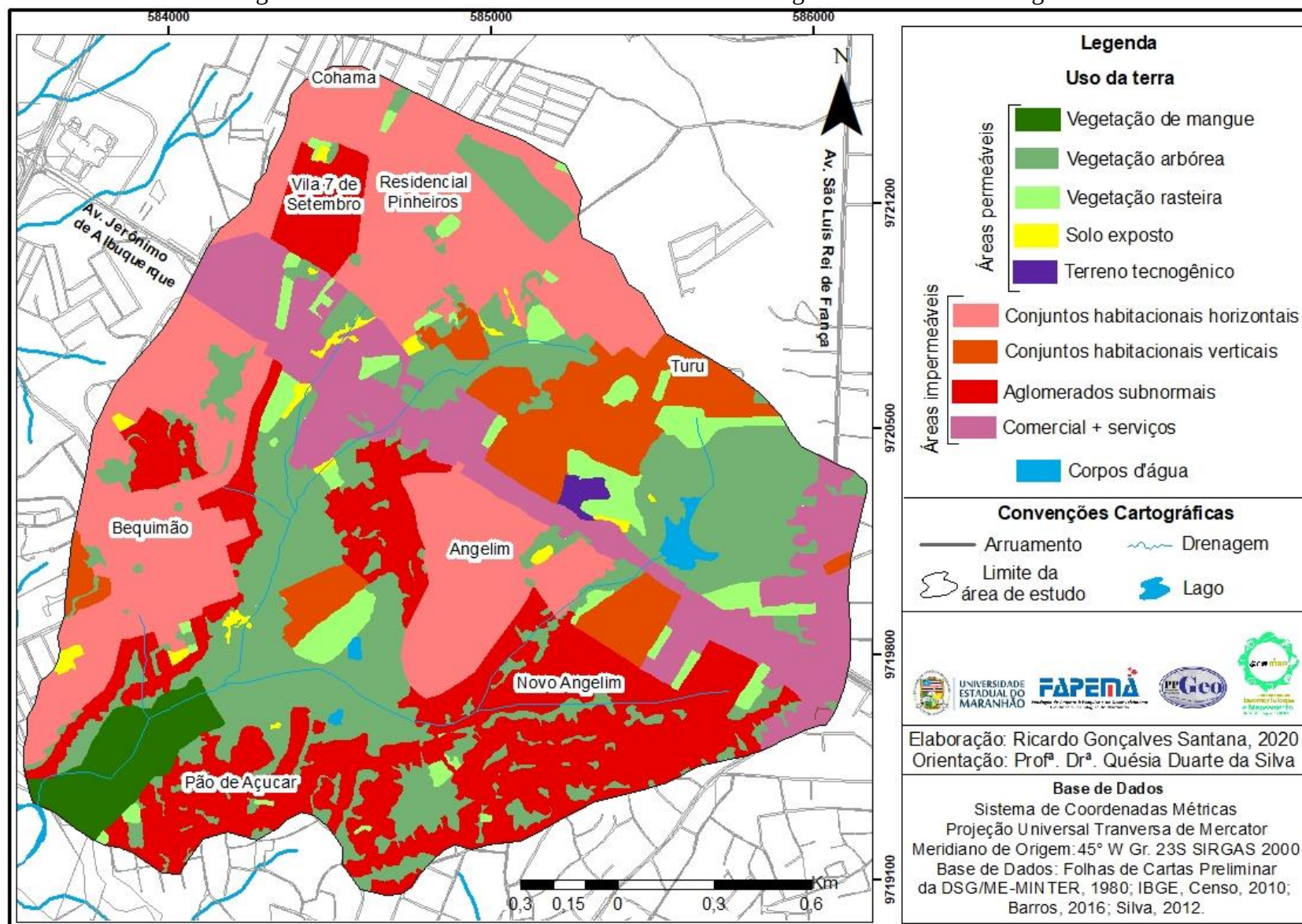
Os Aglomerados Subnormais, segundo classificação adotada pelo IBGE (2020), são formas de ocupação irregular de terrenos de propriedade alheia (públicos ou privados) para fins de habitação em áreas urbanas e, em geral, caracterizados por um padrão urbanístico irregular, carência de serviços públicos essenciais e localização em áreas que apresentam restrições à ocupação. Nestas áreas, residem, em geral, populações com condições socioeconômicas, de saneamento e de moradia mais precárias.

Na área de estudo, percebe-se a disposição espacial dos aglomerados subnormais, geralmente situados em terrenos de baixo valor comercial, com o esgotamento sanitário *in natura* direcionado para as drenagens fluviais, que no período chuvoso, maximiza a probabilidade de ocorrência de enchentes e inundações e disseminação das doenças de veiculação hídrica.

Pereira Neto e Silva (2018, p. 164), afirmam que “os aglomerados subnormais estão associados ao contexto socioeconômico, cotejados ao desempenho cumprido pelas cidades na divisão territorial do trabalho”.

Deste modo, os aglomerados são frutos das relações sociais somados as características das localidades ocupadas, com destaque para as morfologias, pois o ser humano ocupa de forma indevida áreas ambientalmente frágeis, em função da sua capacidade de aquisição. Logo, para estas áreas, é necessário um olhar atencioso do poder público, visto que necessitam de políticas públicas eficientes e duradouras.

Figura 27 – Uso e cobertura da terra da sub-bacia hidrográfica do riacho do Angelim



Fonte: Própria pesquisa, 2020.

A partir das características dos diferentes usos e cobertura da terra, é possível identificar os padrões de ocupação da área objeto de estudo. Neste sentido, observou-se uma divergência entre as formas de habitação sobre as diferentes unidades de relevo, isto é, a partir do entendimento dos padrões de ocupação, torna-se possível compreender a questão social, considerando a capacidade do poder aquisitivo das pessoas/famílias.

Desta forma, infere-se que as classes vegetação arbórea e vegetação rasteira encontram-se em áreas que estão sob constante pressão urbana, pois estão passíveis à ocupação. Por meio de análises das imagens de satélite, identificou-se uma redução na classe de vegetação, diagnosticando o avanço urbano em direção à planície de maré através do aterramento das bordas da planície. Os solos expostos foram identificados em áreas definidas como “campos”, sendo direcionados à recreação dos adolescentes, ou em áreas que estão passando por desmatamento para construção de moradias (Figura 28).

Os conjuntos habitacionais horizontais são constituídos de residências de padrão elevado, em áreas relativamente planas, com organização de quadras com geometria regular. Estão dispostos em áreas específicas, com capeamento asfáltico, rede de drenagem pluvial e fluvial, saneamento básico e coleta de resíduos sólidos cotidianamente.

A classe denominada comercial + serviços ocupa áreas no entorno da avenida Jerônimo de Albuquerque, cortando cinco drenagens, às quais foram retificadas e aterradas. Nesta avenida há presença de supermercado, postos de abastecimento veicular, farmácias e serviços automotivos. No período chuvoso, o acesso pela avenida é prejudicado em função de um ponto de alagamento; isto ocorre devido à tubulação não suportar o volume das águas pluviais provenientes do terreno impermeabilizado das áreas mais elevadas, como os tabuleiros e colinas.

Os aglomerados subnormais da área em questão possuem padrão irregular com geometria indefinida. As residências foram construídas em ruas estreitas, com lotes de proporções diversas, sem um ordenamento pré-definido. Destaca-se que a maioria dos domicílios estão locais inapropriados, em desacordo com a legislação, como por exemplo, em margens dos canais fluviais, da planície de maré, área de nascentes e áreas com declividade moderada.

Os condomínios habitacionais verticais, surgiram na área de estudo nos últimos 15 anos (2005-2020); são formas de moradias compactas, com quatro pavimentos, construídos em áreas de recarga de aquíferos (tabuleiros; no Alto do Angelim), sendo ambientalmente frágeis.

Em visita de campo, observou-se uma área com presença de materiais tecnogênicos, composto por material remobilizado, originário dos cortes de taludes, com o intuito de alargamento da avenida Jerônimo de Albuquerque. Esta área já existe há pelo menos um ano e meio e cada vez mais, aumenta a área do terreno tecnogênico.

Figura 28 – Padrões de uso e cobertura do riacho do Angelim



Legenda: 1 - vegetação arbórea; 2 – vegetação rasteira; 3 – vegetação de mangue; 4 – solo exposto; 5 – conjuntos habitacionais horizontais; 6 – comercial + serviços; 7 – conjuntos habitacionais verticais; 8 – aglomerados subnormais; 9 – terreno tecnogênico.

Fonte: Própria pesquisa, 2020.

Sobre os terrenos tecnogênicos, Peloggia *et al* (2019), argumenta que

A agência humana sobre a paisagem pode levar à formação de terrenos antropogênicos (também chamados de tecnogênicos ou artificiais), seja pela transformação de terrenos naturais preexistentes ou pela criação de novas formações geológicas superficiais. Tais efeitos podem resultar, basicamente, da alteração da forma de ocorrência ou da intensidade de processos geológicos superficiais, como a erosão, ou de ações diretas de movimentação de materiais geológicos. Seja qual for a maneira, o resultado é duplo: a criação de formas de relevo (tecnogênicas ou antropogênicas) e de novas camadas geológicas (solos ou depósitos tecnogênicos ou antropogênicos)(PELOGGIA, *et al*, 2019, p. 54).

Logo, a formação de terreno tecnogênico deu-se em razão da ação do poder público para melhorias na via principal, depositaram os materiais nas bordas dos tabuleiros, próximo ao lago, que em função do período chuvoso, pode haver o carreamento de sedimentos, impulsionando o assoreamento do lago. Considerando a legislação, constatou-se ações transgressivas à legislação, no ponto de vista ambiental, uma vez que, não foi respeitado os limites ambientais que permitem a ocupação urbana, em virtude das características físicas locais.

Silveira e Cunha (2014) corroboram que o mapeamento das transgressões à legislação representam uma análise sintética sobre os tipos de intervenções feitas pela população no ambiente, considerando sempre a legislação ambiental incidente.

Acerca disso, Moroz, Canil e Ross (1994, p. 36),

[...]a partir de diagnósticos desta natureza, seja possível estabelecer diretrizes de usos mais compatíveis com o ambiente e adotar medidas técnicas preventivas e corretivas, e até mesmo implementar ajustes na legislação que sejam mais compatíveis com a realidade (MOROZ, CANIL e ROSS, 1994, p. 36).

Nesta perspectiva, serão consideradas as leis em âmbito municipal (Leis 3.253/1992 e 4.669/2006), estadual (Lei 5.405/1992) e federal (Lei 12.651/2012), para discussão das ações transgressivas à legislação vigente, pois a análise poderá subsidiar políticas públicas, reordenamento territorial e adoção de técnicas corretivas na área de estudo.

A Lei municipal 3.253/1992, trata do zoneamento, parcelamento, uso e ocupação do solo urbano do município de São Luís-MA. No capítulo IV, seção XVIII, artigo 81, define como Zonas de Proteção Ambiental as áreas de terra firme e de proteção às bacias hidrográficas, lagos, lagoas, mangues, igarapés, rios e outras áreas inundáveis por marés, sendo considerada de preservação ambiental todo o interior e uma faixa externa de 50,00 m (cinquenta metros), a partir de suas margens.

A Lei municipal 4.669/2006 que dispõe sobre o Plano Diretor do município de São Luís, define no capítulo III, seção II as áreas de preservação permanente, como áreas de proteção integral, as dunas, mananciais e fundos de vales, incluindo as matas ciliares e áreas de mangue. Neste sentido, esta lei direciona o desenvolvimento e expansão urbana da cidade, com o objetivo de delimitar as áreas de proteção integral. Apesar desta lei ter sido promulgada somente em 2006, as características da sub-bacia hidrográfica do riacho do Angelim não foram levadas em consideração, uma vez que,

as análises e validações sobre o mapeamento das transgressões legais, mostram uma intensa malha urbana, que não respeitou as características físico-ambientais locais.

Em relação à Lei estadual 5.405/1992, que Institui o Código de Proteção de Meio Ambiente e dispõe sobre o Sistema Estadual de Meio Ambiente e o uso adequado dos recursos naturais do Estado do Maranhão, compete à Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos, bem como às entidades a ela vinculadas, a preservação de modo permanente dos manguezais; os olhos-d'água, as nascentes, os mananciais e vegetações ciliares.

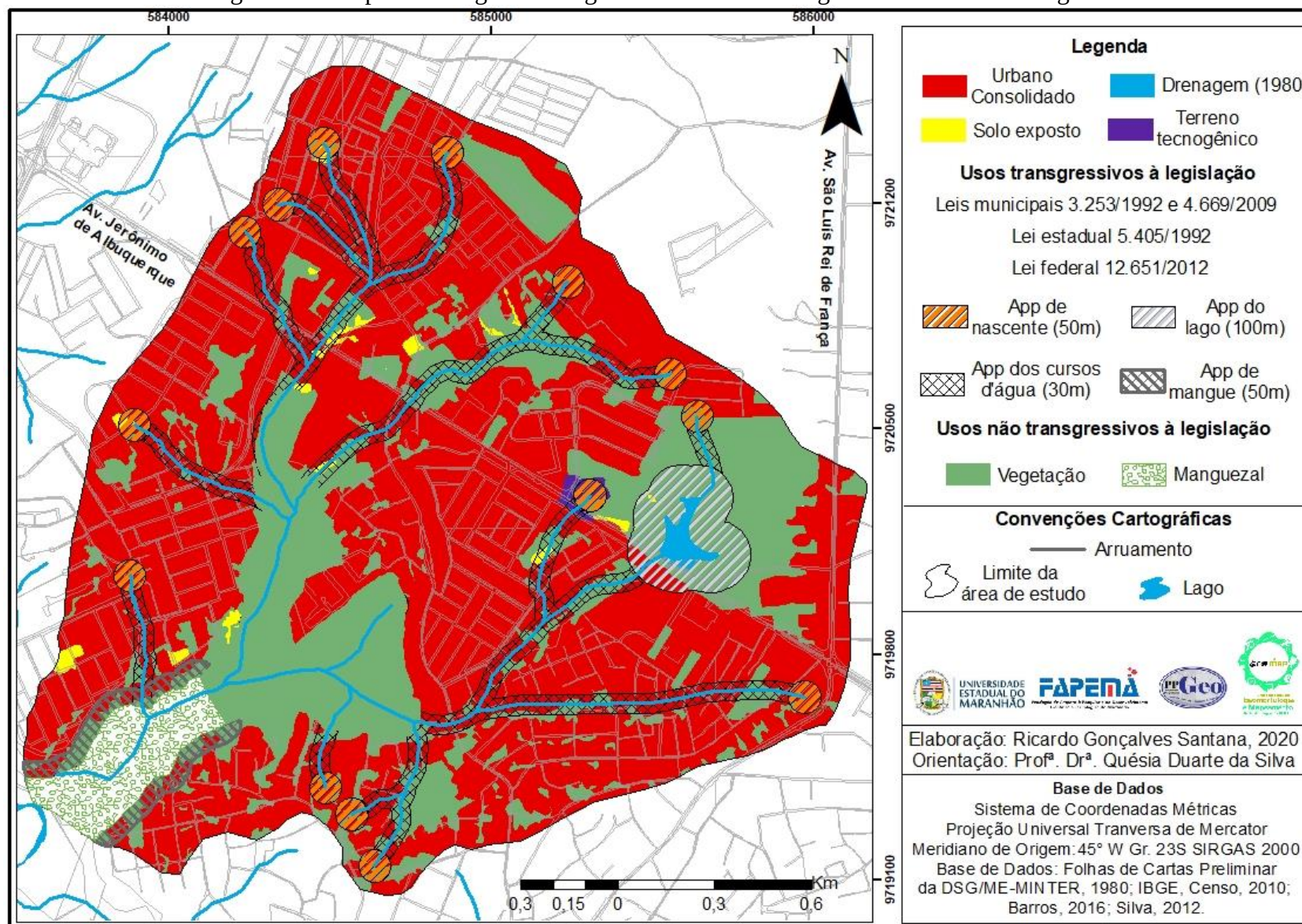
Em âmbito federal, o Código Florestal, decretado por meio da Lei 12.651/2012, define as áreas de preservação permanente, assim como atribui, de acordo com as características naturais do ambiente, a área a ser preservada. Na área de estudo, relaciona-se esta lei aos cursos d'água, que possuem até 10 metros de largura, portanto 30 metros de proteção a partir de suas margens. As áreas de nascentes, com um raio de proteção de 50 m e os manguezais em toda sua extensão. Sendo assim, realizou-se uma análise referente aos aspectos ambientais e ao exercício das leis municipal, estadual e federal.

Na figura 29, podemos identificar o não cumprimento da legislação, pois através do mapeamento da APP de manguezal, com *buffer* de 50m, proposto pela legislação, observa-se a ocupação das áreas marginais do manguezal, isto é, do ponto de vista geomorfológico, a planície de maré. Há residências construídas a menos de 20 metros de distância da planície de maré, em trabalhos de campo realizados, a população local comentou que foi necessário o aterramento destas áreas para ocupação. Portanto, percebe-se que não houve um direcionamento para ocupação, logo, a legislação municipal, estadual e federal não foram cumpridas de forma correta.

Os cursos d'água da sub-bacia hidrográfica do riacho do Angelim não possuem mais que dez metros de largura, logo a legislação prevê, uma margem de proteção de ambos os lados, a partir da calha do canal. Foram identificadas residências construídas nas bordas dos canais fluviais, descaracterizando-os e lançando o esgotamento sanitário *in natura* nestes. Observou-se que a população destas áreas, apresentam baixa renda, sem capacidade de aquisição de imóveis ou terrenos em locais adequados para ocupação.

As áreas de nascentes estão totalmente descaracterizadas e abrigam, geralmente, os aglomerados subnormais, pois são áreas úmidas, com relevo suavemente ondulado, de baixo valor comercial. Para implantação dos condomínios habitacionais verticais e horizontais, houve a impermeabilização dos tabuleiros, áreas de recarga de aquífero, o que alterou negativamente a dinâmica hidrológica. Em relação ao lago, parte da sua área de proteção ainda há resquícios de vegetação, no entanto ao sul, podemos observar o avanço mancha urbana, o que implica dizer, que está sob constante pressão urbana.

Figura 29 – Mapa de transgressões legais da sub-bacia hidrográfica do riacho do Angelim



Fonte: Própria pesquisa, 2020.

As nascentes foram aterradas ou descaracterizadas para implantação das residências ou condomínios, o que fica nítida a força do mercado imobiliário, pois desta forma torna-se evidente que as diretrizes propostas pela legislação não estão sendo seguidas.

[..] a bacia do rio Anil, sobretudo as áreas de APP's, são na sua grande parcela intensamente antropizada, isso se explica pela falta de políticas públicas de cunho ambiental que não foram aplicadas para melhor estruturação ambiental da área, além do processo histórico de ocupação da bacia do rio Anil (CRUZ *et al*, 2020, p. 239).

Portanto, as áreas de recarga de aquíferos estão densamente urbanizadas, sendo relacionadas aos tabuleiros. Santana *et al* (2019) afirma que por esta razão, a ocupação destes locais deve ser realizada com planejamento adequado, uma vez que a impermeabilização destas morfologias, além de impossibilitar a recarga dos aquíferos, proporcionará o acúmulo de águas pluviais, gerando assim alagamentos diversos.

Os canais fluviais da área em estudo apresentam largura de até no máximo dez metros, logo a legislação prevê uma área de proteção de 30m considerando as margens esquerda e direita. As áreas de nascentes, 50m, o lago, 100m e a planície de maré, 50 m. Logo, foi identificado o não cumprimento da legislação, seja municipal, estadual ou federal, pois cerca de 15% das residências foram construídas nas bordas da planície de maré, nas margens ou sobre os cursos d'água e as nascentes.

4.2 Características socioeconômicas da população residente na área objeto de estudo

No presente item são analisadas as características socioeconômicas da população residente na sub-bacia hidrográfica do riacho do Angelim. À vista disso, foi realizada uma seleção e análise de dados de algumas variáveis do Censo Demográfico (2010) para posterior espacialização dos dados adquiridos.

A utilização destes dados ocorreu de modo reflexivo e ponderado diante do cenário atual de pandemia pela Covid-19. Entende-se que os dados possuem cerca de dez anos e que alguns aspectos podem ter sofrido algumas alterações, no entanto, elenca-se a importância destas informações, pois possibilita o conhecimento da população de uma determinada área e a identificação de suas características sociais, saneamento básico e como vivem.

A seleção e análise dos dados resultou na espacialização de sete atributos de grande importância para esta pesquisa, sendo eles: população estimada por setor censitário; residentes alfabetizados por setor censitário; moradores responsáveis com rendimento mensal de até dois salários mínimos, comparando-se aos moradores responsáveis com rendimento mensal de dois

a cinco salários mínimos por setor censitário; domicílios com esgotamento sanitário a céu aberto; esgotamento sanitário via canal fluvial; resíduos sólidos descartados nos canais fluviais; e resíduos sólidos descartados em terrenos baldios ou logradouros.

De acordo com os dados do Censo Demográfico (2010), a sub-bacia hidrográfica do riacho do Angelim com 4,34 km² de área, possui uma população de aproximadamente 33.000 habitantes, o que gera uma densidade demográfica de 7.603 hab/km². É importante ressaltar que estes números devem ter aumentado, uma vez que a expansão urbana está em constante crescimento (Figura 30).

As maiores concentrações populacionais estão nas áreas dos tabuleiros e das colinas esparsas, que apresentam superfícies planas ou suavemente onduladas. Identificou-se que as margens dos canais estão densamente ocupadas, evidenciando o não cumprimento das leis que visam a proteção das áreas de preservação permanente.

Neste sentido, considerando a expansão urbana, Nascimento (2012) afirma que

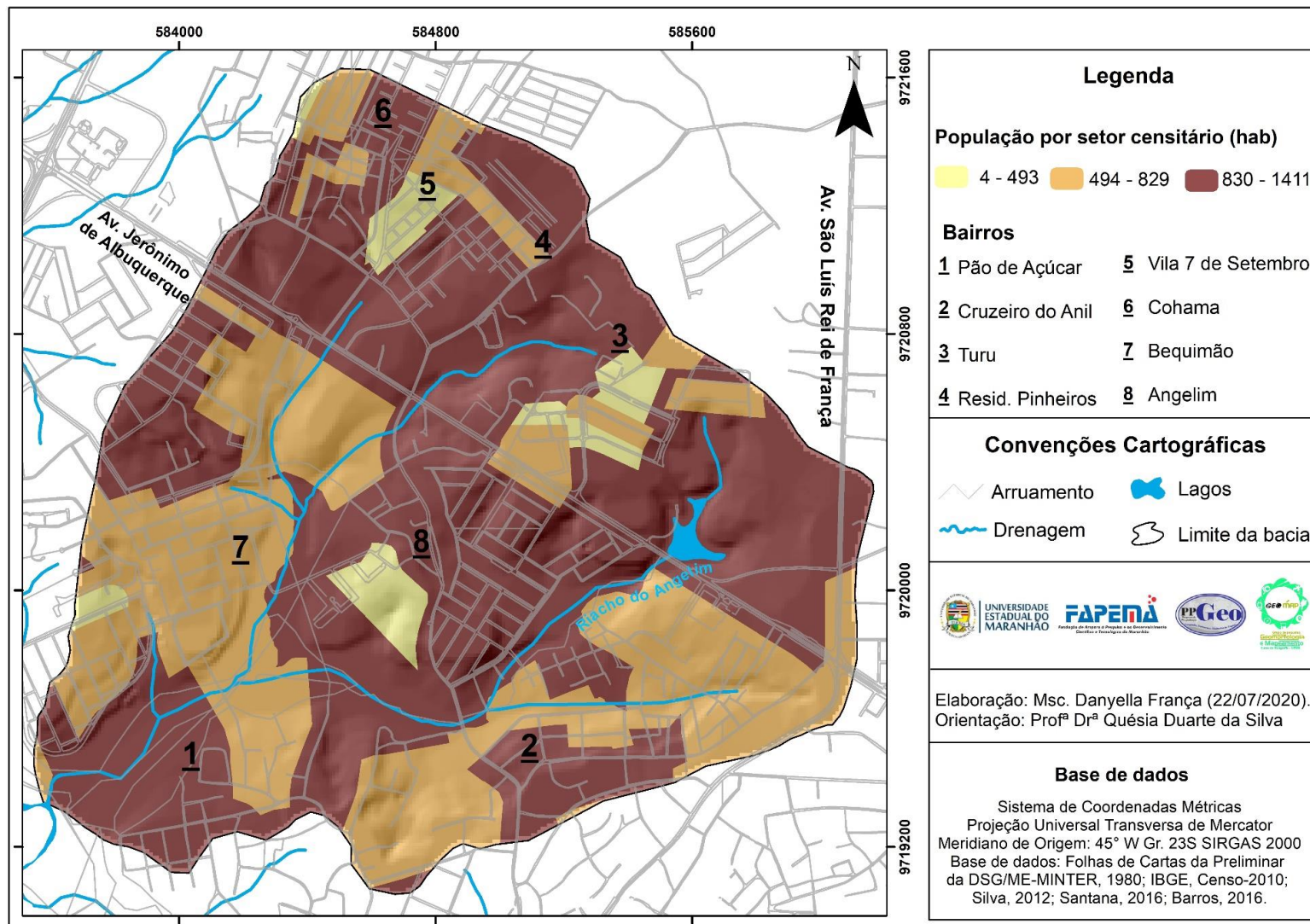
Com o avanço do processo de expansão urbana, aos poucos se consolida um padrão contraditório de ocupação e uso do espaço urbano, em que a especulação e a subocupação de diversas áreas, convivem com o aumento de usos irregulares da terra em áreas de proteção ambiental permanente e das ocupações habitacionais em áreas inadequadas à função de moradia (NASCIMENTO, 2012, p. 86).

Com o grande crescimento populacional e consequente expansão urbana, tem-se a criação dos aglomerados subnormais. Estas áreas agregam um maior número de habitantes por metro quadrado, em decorrência do processo de ocupação, sendo direcionado para áreas ambientalmente frágeis da sub-bacia hidrográfica do riacho do Angelim. Estes locais apresentam deformidades na geometria do arruamento, com o tamanho dos lotes irregulares e serviços essenciais precários (esgotamento sanitário e coleta de resíduos).

Em virtude da área em análise encontrar-se atualmente no período urbano consolidado, as características locais relacionados às margens dos rios, relevo, solos e drenagem foram modificados pela ação humana.

Assim, devido ao grande contingente populacional da sub-bacia hidrográfica do riacho do Angelim, houve significativas alterações em vários componentes ambientais, o que gera um desequilíbrio dinâmico, que pode ser observado no aparecimento ou intensificação de diversos processos hidrogeomorfológicos. Estas ações interferem drasticamente na morfodinâmica da área, gerando uma instabilidade ambiental.

Figura 31 – População da sub-bacia hidrográfica do riacho do Angelim



Fonte: França, 2020.

A alfabetização de uma determinada população reflete nas suas características socioeconômicas, pois quanto maior o nível de escolaridade maiores serão seus rendimentos. Sendo assim, com base neste conjunto de dados, infere-se que a população da sub-bacia hidrográfica do riacho do Angelim, predominantemente, encontra-se alfabetizada e possui residências.

As áreas com residentes alfabetizados de maior representatividade espacial na área em questão correspondem as áreas ligeiramente planas e aos locais de transição entre os tabuleiros e colinas esparsas. As pessoas alfabetizadas estão dispostas em toda a área, observa-se que a maior parte destas classes correspondem a ambientes com ocupação acelerada (Figura 32).

Fundamentando-se no grau de instrução populacional, é possível estabelecer uma relação com os rendimentos das famílias e a disposição de suas moradias. Nesta classe estão incluídas pessoas com rendimentos mensais até dois salários mínimos e rendimentos mensais de dois a cinco salários mínimos.

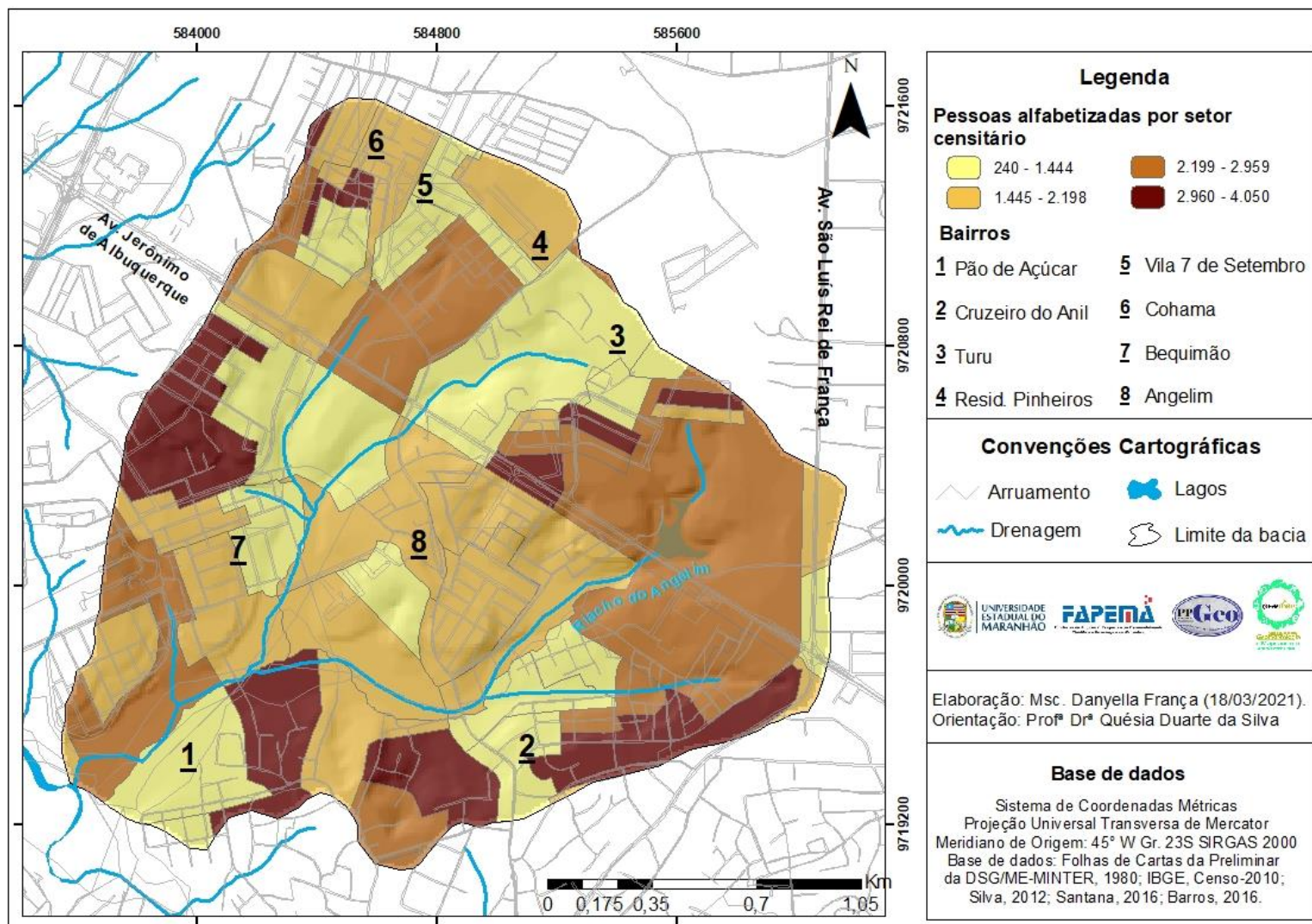
Observa-se uma grande variação em toda área, por setor censitário, de famílias que sobrevivem com até dois salários mínimos, estas pessoas residem nos bairros: Vila 7 de Setembro, Novo Angelim, Pão de Açúcar e Cruzeiro do Anil.

Esta classe valida a situação da população residente nestes bairros, uma vez que residem em áreas categorizadas como aglomerados subnormais. Sendo assim, os moradores destes bairros são majoritariamente caracterizados de baixa renda (Figura 31).

Por meio das análises do uso e cobertura da terra e dos rendimentos da população que possui residências com um padrão elevado, observou-se a existência de residentes com um poder aquisitivo de moderado a alto. Desta forma espacializou-se, residentes com rendimentos de dois a cinco salários mínimos, para comparação com a população de baixa renda.

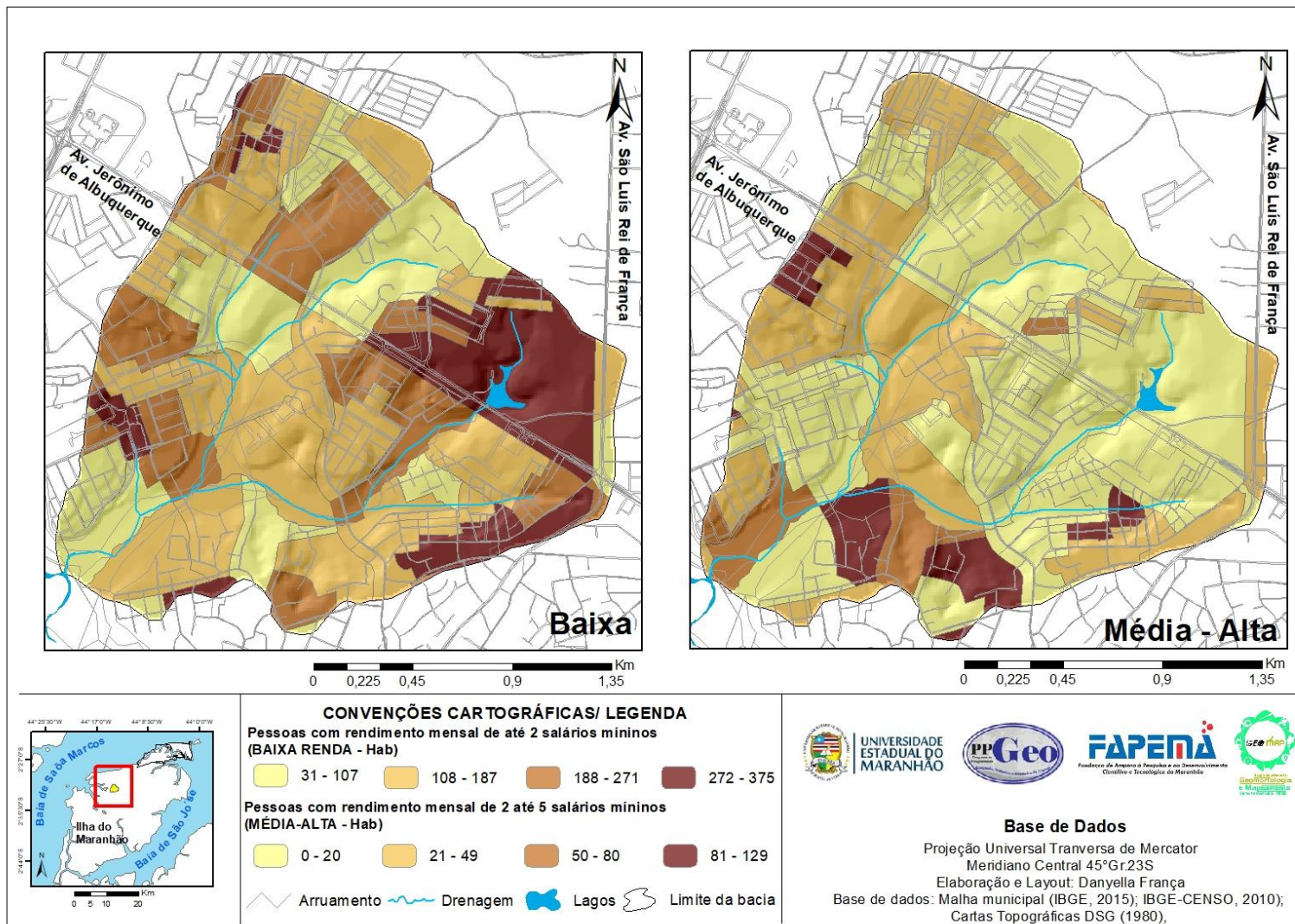
Nesta classe, observou-se uma baixa variação de pessoas com média a alta renda e residem nos bairros Cohama, Turu, Residencial Pinheiros, Bequimão e Angelim. Esta afirmação é validada em virtude da análise dos padrões de uso e cobertura da área, pois estão relacionados aos conjuntos habitacionais verticais e horizontais (Figura 32, p. 114).

Figura 31 – Espacialização dos residentes alfabetizados por setor censitário na sub-bacia hidrográfica do riacho do Angelim



Fonte: França, 2020.

Figura 32 – Comparativo da população considerando os parâmetros baixa e média/alta renda



Fonte: França, 2020.

Com base nos dados já analisados, constata-se que há uma relação direta entre os rendimentos mensais e os usos da área, pois famílias com maior poder aquisitivo adquirem áreas direcionadas para ocupação; as famílias de baixo poder aquisitivo, ocupam de forma acelerada, resultando em uma forma de apropriação em locais ambientalmente frágeis a ocupação urbana do relevo.

Diante dessas características, alguns setores apresentam os serviços de infraestrutura e outros não. Desta forma foi diagnosticada, na área objeto de estudo a emissão do esgoto sanitário *in natura* de forma direta nos canais fluviais. Foram analisados dois conjuntos de variáveis para espacialização das características dos setores censitários relacionados ao esgotamento, sendo elas: esgotamento sanitário a céu aberto e esgotamento.

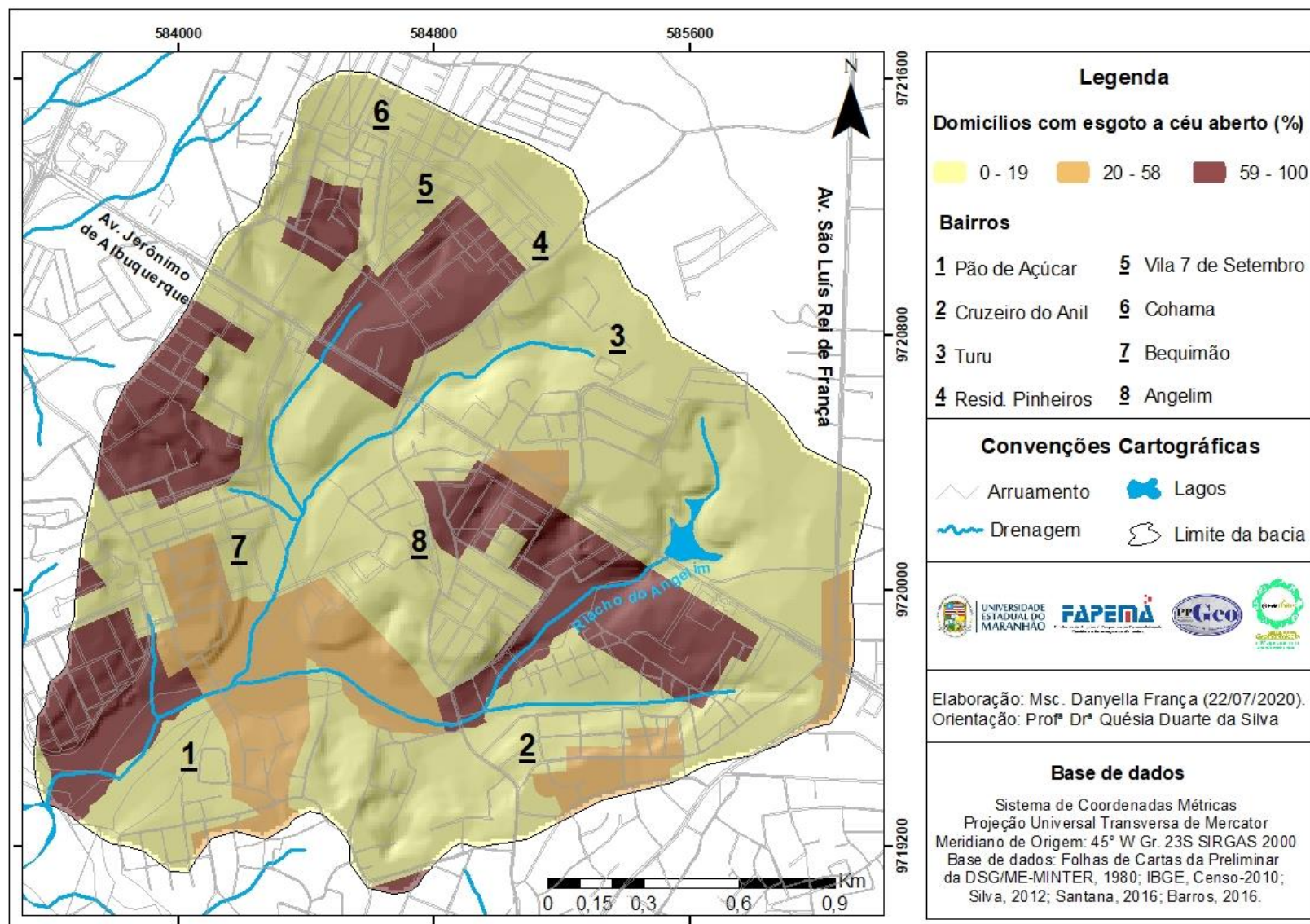
A espacialização da variável referente ao esgotamento sanitário a céu aberto permite compreender a disposição dos setores quanto aos canais fluviais. Identificou-se que este esgotamento a céu aberto está associado aos trechos de canais fluviais que estão abertos. Desta forma, cerca de 19% da população residente possui esgotamento a céu aberto (Figura 33).

A classe de 20 a 58% está correlacionada predominantemente à planície fluvial e parte da planície de maré que foi considerado como área de emissão dos efluentes. A classe de 59 a 100% nos chama atenção, visto que estes setores acompanham os canais fluviais da área. Estas áreas são ocupadas por residentes de baixa renda que obtiveram terrenos com baixo valor comercial, pois estão em locais com presença de curso d'água e estão sujeitos a episódios de inundação.

Estas áreas necessitam de um olhar minucioso do poder público, pois a partir dos trabalhos de campo e em conversas realizadas com a população destas áreas, afirmam que não se trata mais de um rio e sim apenas um “esgoto”. Logo, observa-se a importância de estudos em ambientes urbanos, visto que, subsidiarão os gestores a tomarem decisões de acordo com as características ambientais e sociais de cada área.

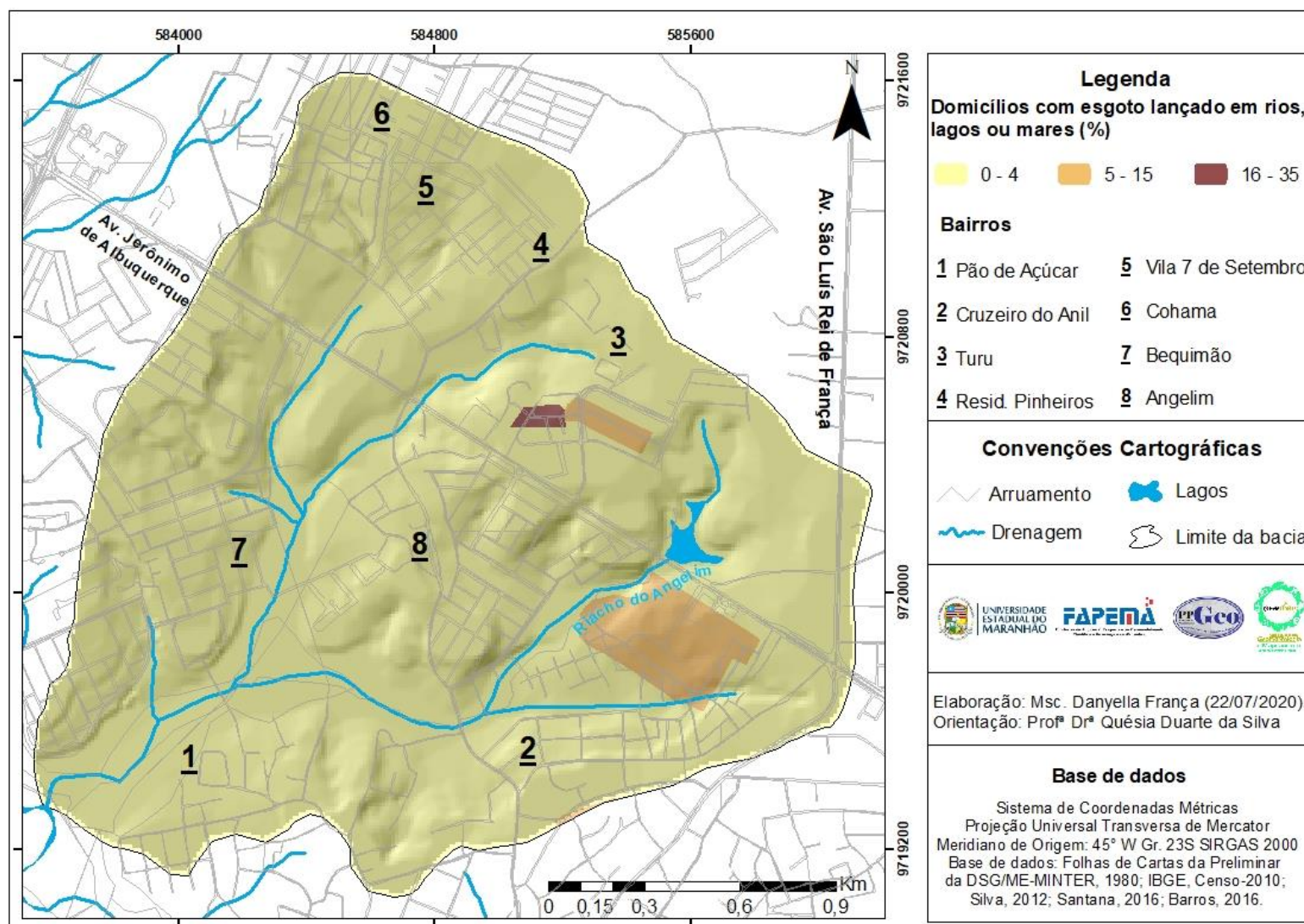
A espacialização do esgotamento sanitário via canal fluvial nos mostra que cerca de 0 a 4% de toda a área, possui lançamento de esgoto nos cursos d'água. A classe de 5 – 15% compõe-se dos aglomerados subnormais, com exceção da área dos condomínios habitacionais ao norte da bacia. Através desta análise e observações em campo, foi possível observar o esgotamento sanitário via canal fluvial, principalmente dos condomínios verticais localizados no bairro do Angelim, esta área compõem a classe de 16 – 35% (Figura 34; Figura 35).

Figura 33 – Espacialização das residências com esgotamento sanitário a céu aberto por setor censitário na sub-bacia hidrográfica do riacho do Angelim



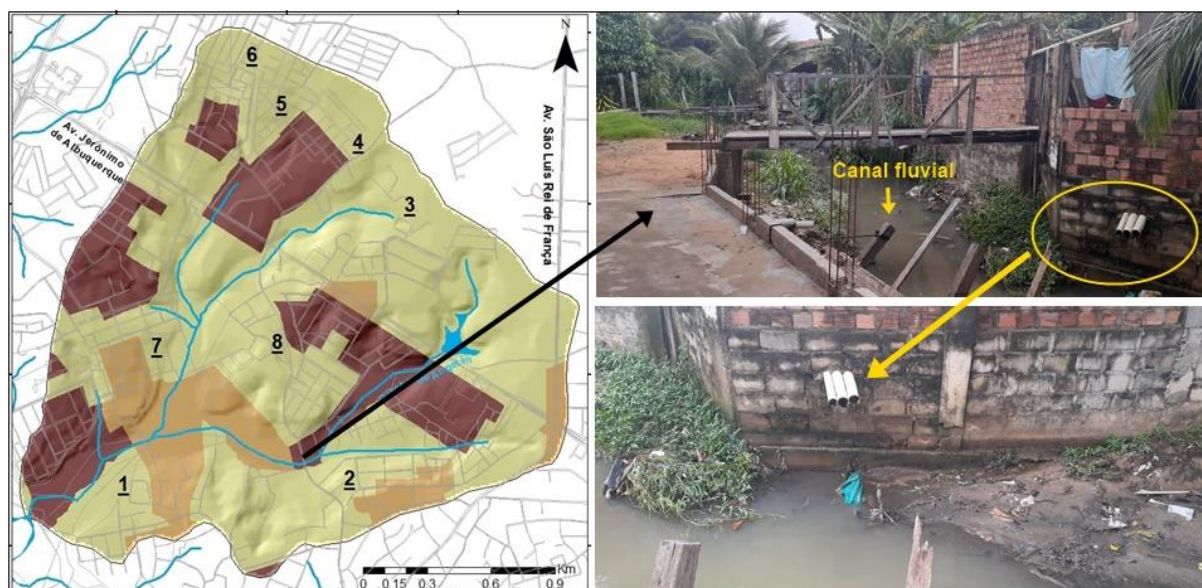
Fonte: França, 2020

Figura 34 – Espacialização das residências com esgotamento sanitário via canal fluvial por setor censitário



Fonte: França, 2020.

Figura 35 – Esgotamento sanitário a céu aberto via canal fluvial



Legenda: 1 – Pão de Açúcar; 2 – Cruzeiro do Anil; 3 – Turu; 4 – Residencial Pinheiros; 5 – Vila 7 de Setembro; 6- Cohama; 7 – Bequimão; 8 – Angelim.

Fonte: Própria pesquisa, 2020.

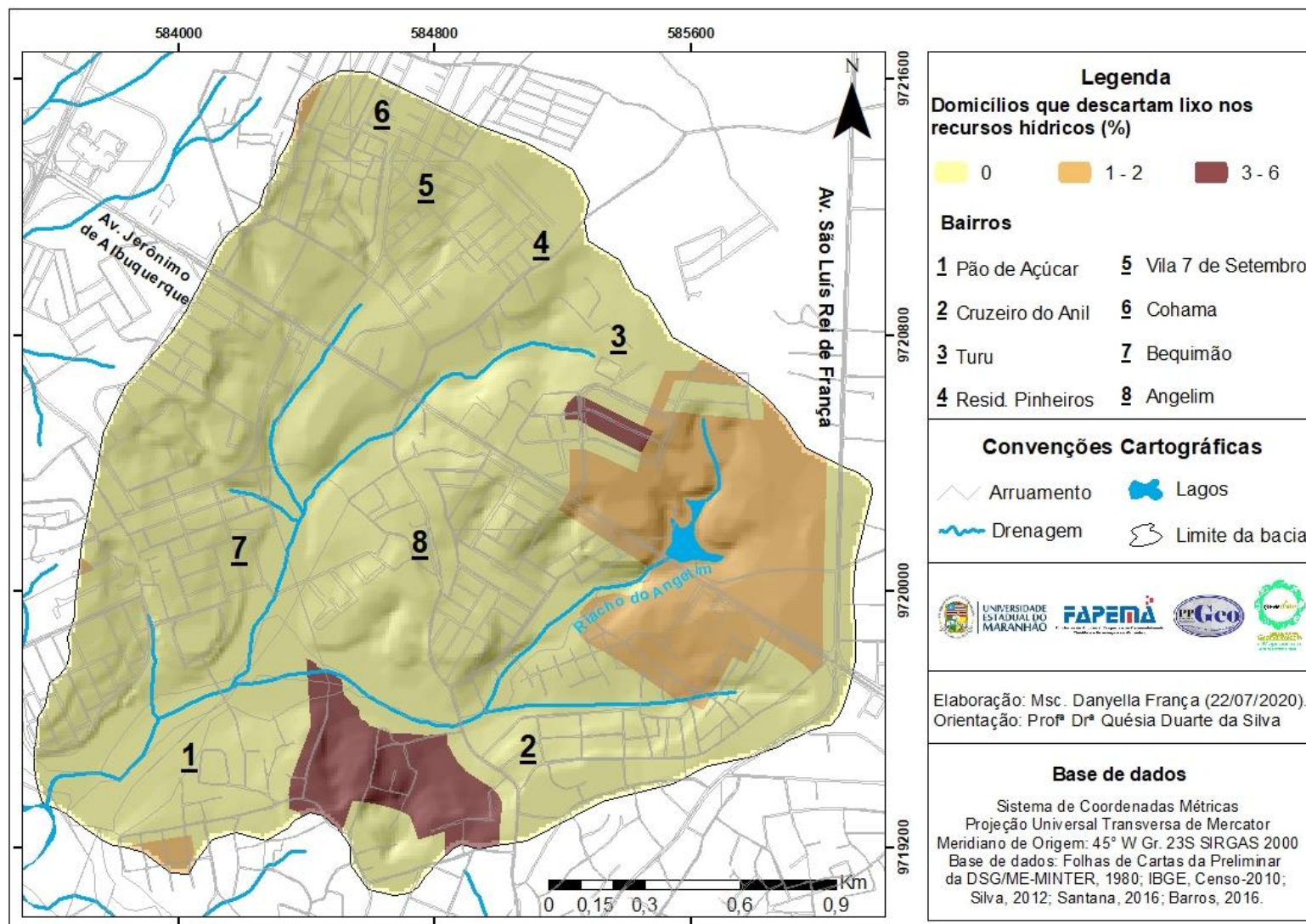
Sobre o descarte dos resíduos sólidos, na sub-bacia hidrográfica do riacho do Angelim, a Prefeitura de São Luís realiza a coleta em dias alternados da semana. No entanto, após os trabalhos de campo, foi identificado que há disposição dos resíduos em terrenos baldios próximos aos canais fluviais. Destaca-se que estas ações são feitas por carroceiros, que são direcionados ou não, pela população residente, para estas áreas, mesmo com a presença de ecopontos.

De acordo com o Censo Demográfico (2010), os domicílios que descartam os resíduos sólidos nos canais fluviais na área em análise correspondem entre 3 e 6 %, correspondendo à área do bairro Pão de Açúcar. As classes 1 e 2 % estão relacionadas a área do lago (Figura 36; Figura 38, p. 121). Nas observações realizadas *in loco* identificou-se que há o descarte no canal fluvial nas áreas que os setores apresentam como 0%.

O descarte dos resíduos sólidos nos terrenos baldios ou logradouros, indicam que a área do bairro Pão de Açúcar representa a variável com aproximadamente de 73 a 100% de descartam nos canais fluviais ou manguezal (Figura 37, p. 120).

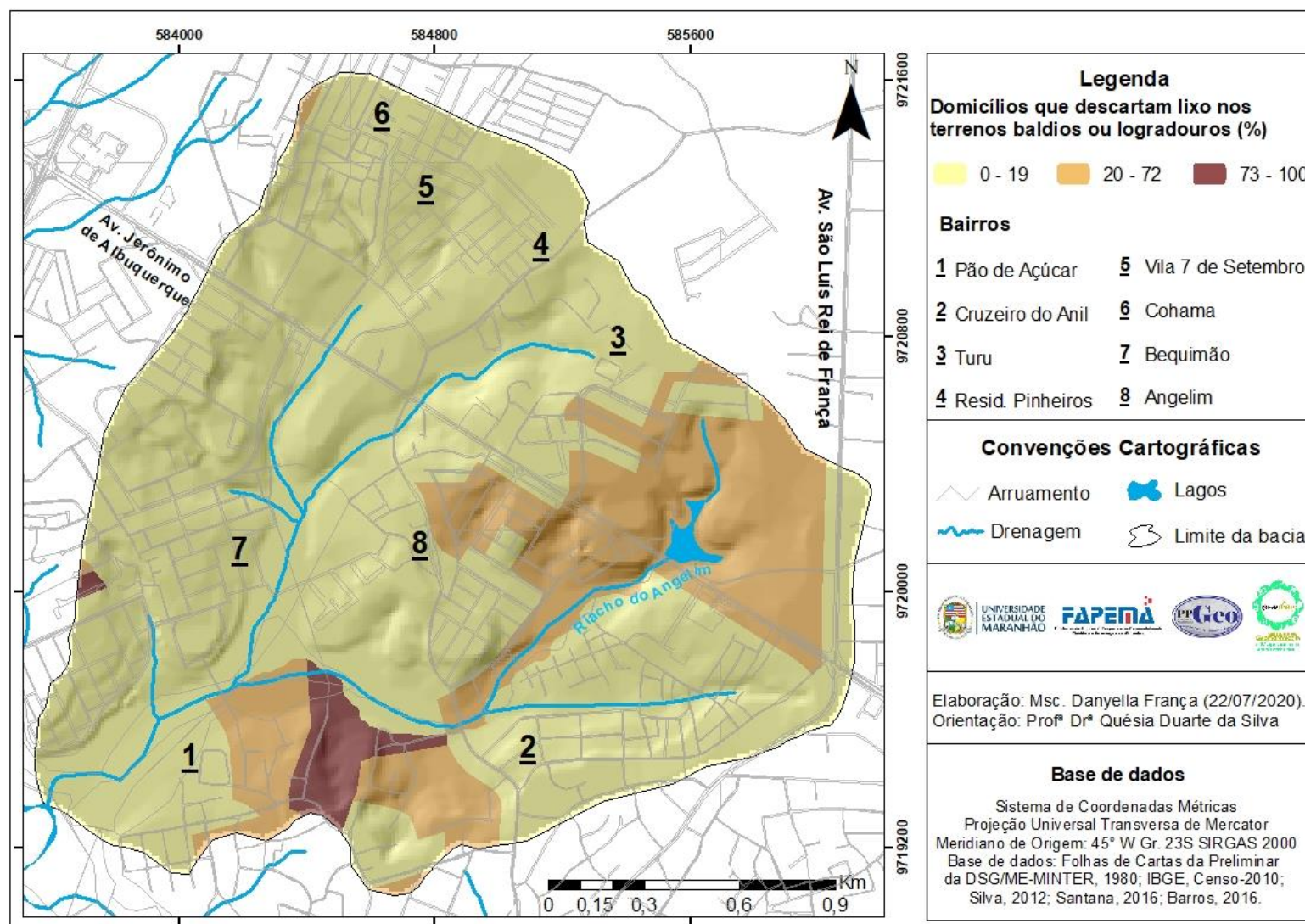
As classes de 0 a 19% e de 20 a 72% dos moradores que descartam os resíduos sólidos em terrenos baldios ou logradouros possuem significativa representação, destaca-se que nos setores que apresentam a classe de 20 a 72% que foi validado em campo e localizado os terrenos baldios com presença de resíduos sólidos descartados pelos moradores do entorno (Figura 39, p. 121).

Figura 36 – Espacialização das residências com descarte de lixo nos canais fluviais por setor censitário na sub-bacia hidrográfica do riacho do Angelim



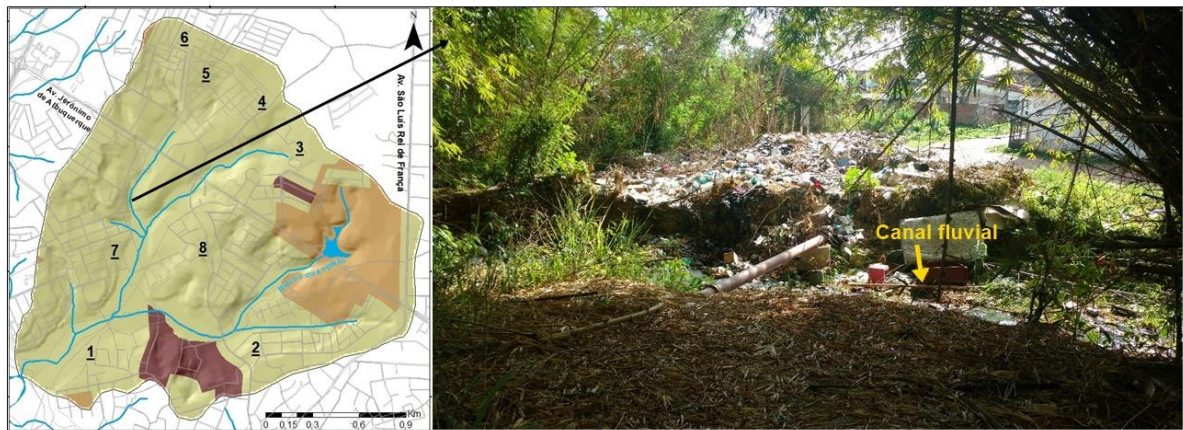
Fonte: França, 2020.

Figura 37 – Espacialização das residências com descarte de resíduos sólidos em terrenos baldios ou logradouros por setor censitário na sub-bacia hidrográfica do riacho do Angelim



Fonte: França, 2020.

Figura 38 – Descarte de resíduos sólidos no canal fluvial



Legenda: 1 – Pão de Açúcar; 2 – Cruzeiro do Anil; 3 – Turu; 4 – Residencial Pinheiros; 5 – Vila 7 de Setembro; 6- Cohama; 7 – Bequimão; 8 – Angelim.

Fonte: Própria pesquisa, 2020.

Figura 39 – Descarte de resíduos sólidos em terreno baldio nas proximidades do lago



Legenda: 1 – Pão de Açúcar; 2 – Cruzeiro do Anil; 3 – Turu; 4 – Residencial Pinheiros; 5 – Vila 7 de Setembro; 6- Cohama; 7 – Bequimão; 8 – Angelim.

Fonte: Própria pesquisa, 2020.

Com base no que foi abordado, depreende-se que a sub-bacia hidrográfica do riacho do Angelim possui uma população de aproximadamente 33.000 mil habitantes, com densidade demográfica de 7.603 hab/km². Os residentes são alfabetizados, de baixa renda com maior adensamento populacional nas proximidades dos canais fluviais e nas áreas ligeiramente planas. O esgotamento sanitário é ineficiente, uma vez que os efluentes são direcionados *in natura* para os canais fluviais, assim como a disposição do lixo em terrenos baldios e cursos d'água sinalizados.

5. A GEOMORFOLOGIA URBANA DO RIACHO DO ANGELIM

Considera-se neste capítulo os elementos ambientais que se inter-relacionam para compor as características do relevo. Deste modo, serão abordados os aspectos acerca da hipsometria, declividade, formas do terreno e unidades de relevo.

5.1 Aspectos hipsométricos

A análise hipsométrica é de fundamental importância, pois a partir deste conhecimento é possível examinar a área baseando-se nas suas características altimétricas que estão intrinsecamente relacionadas com os aspectos morfológicos e da drenagem.

Os estudos hipsométricos possibilitam ao pesquisador e ao leitor dos mapas um conhecimento mais aprofundado do relevo de determinada região ou local, assim também como os fenômenos que se processam em sua superfície como, por exemplo, deduzir possíveis áreas sujeitas à inundação (NUNES, 2013).

A hipsometria da sub-bacia hidrográfica do riacho do Angelim foi realizada por meio dos dados vetorizados das curvas de nível de 5 em 5 metros das cartas planialtimétricas da DSG. Para melhor interpretação, a área foi subdividida em 10 classes e foram traçados dois perfis topográficos.

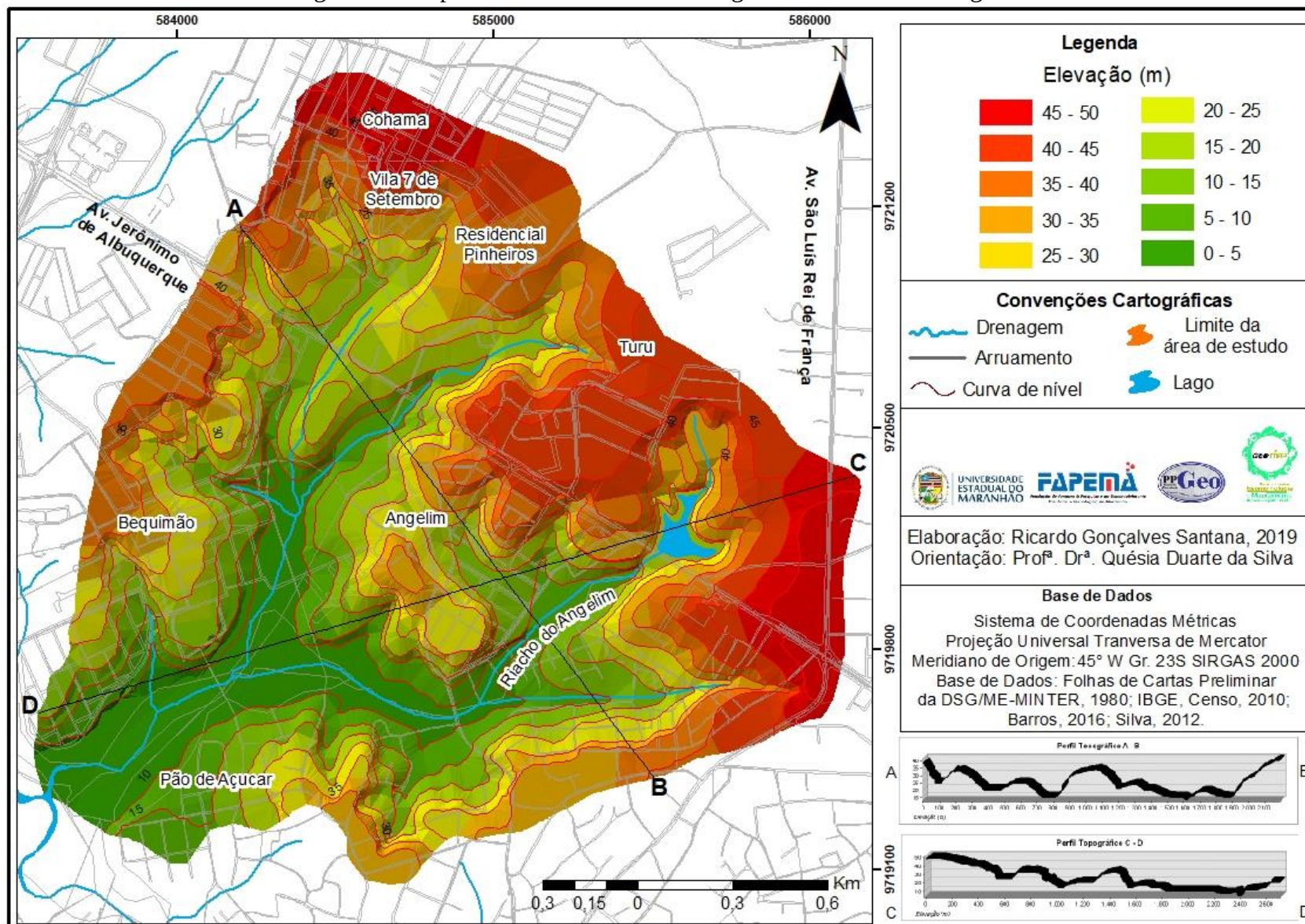
Dias (2016, p. 152) comenta que “através da geração do mapa hipsométrico é possível realizar operações de medição das altitudes dos diversos pontos do relevo e representar num plano as diferenças altimétricas existentes no relevo”.

Sobre a distribuição das classes hipsométricas, afirma-se que 41,8% da sub-bacia hidrográfica do riacho do Angelim está inserida no intervalo de 10 a 30 m, sendo uma área predominantemente baixa. As classes de 10 a 15 m ocupam 9,31% do total. As duas classes que mais se destacam são de 20 a 25 m e 30 a 35 m, equivalendo a 35,21% de toda a área da sub-bacia (Figura 40).

As maiores altitudes da área variam de 45 a 50 metros, ocupando 8,90% do total areal, sendo totalmente urbanizadas. As áreas com altitudes de 40 a 50 metros estão associadas aos tabuleiros com topos planos; estas morfologias estão demasiadamente ocupadas e passam por constantes alterações.

Para melhor representação das classes de elevação da área objeto de estudo, foram traçados dois perfis topográficos (A-B; C-D) com o intuito de aprimorar a percepção das características do terreno.

Figura 40 – Hipsometria da sub-bacia hidrográfica do riacho do Angelim



O perfil A – B possui aproximadamente 2.200 metros de comprimento com variação altimétrica de 15 a 40 metros; perpassa por quatro canais fluviais que estão indicados em ordem crescente, obedecendo o sentido A – B (Figura 41). Assim, todos os canais apresentam características assimétricas.

O canal de número 1 situa-se em uma área relativamente plana, sendo receptor da drenagem dos canais de primeira ordem, que foram aterrados (Figura 28). Este canal encontra-se retificado e aterrado, sob a avenida Jerônimo de Albuquerque.

Neste ponto, em função da disposição do relevo, há uma convergência do escoamento superficial. A rede de drenagem não suporta a quantidade de água recebida, resultando na ocorrência dos alagamentos, afetando de forma direta a via.

O perfil topográfico A – B, relaciona-se, geomorfologicamente às colinas esparsas e planície fluvial; em termos geológicos, ao Grupo Barreiras. Destaca-se que a área do perfil encontra-se densamente urbanizada, apresentando áreas impermeáveis e canais fluviais de tipologia mista (abertos/fechados). Os canais de número 2, 3 e 4 são de primeira ordem e apresentam maior incisão no relevo.

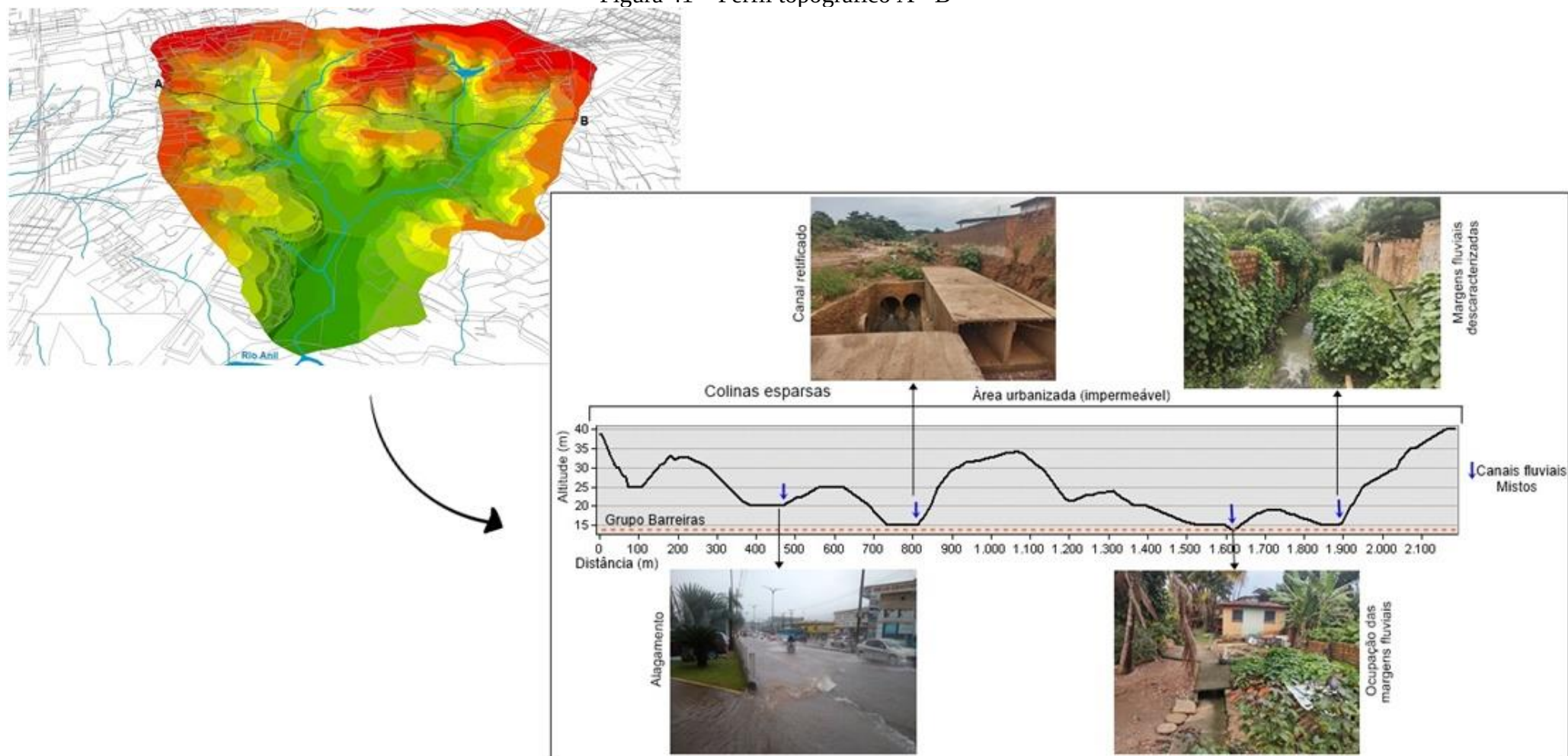
O canal de número 2 está localizado no sentido perpendicular à avenida Jerônimo de Albuquerque. Neste trecho o canal está retificado e aterrado. À montante do canal, o poder público está realizando obras para retificar, canalizar e aterrar o curso d'água.

Os canais 3 e 4 estão sob constante pressão urbana, uma vez que suas margens estão totalmente descaracterizadas. Salienta-se que nestas áreas, quando há ocorrências de precipitações de grande intensidade, deflagra-se o fenômeno de inundação, onde há o extravasamento das bordas do canal, de acordo com os moradores locais.

O perfil topográfico C – D expõe margens dissimétricas, com variações altimétricas de 5 a 45 metros, obedecendo a direção do segmento. Inicia no tabuleiro costeiro, apresentado um caimento brusco no local do entalhamento do vale, onde está situado o lago (Figuras 40 e 42).

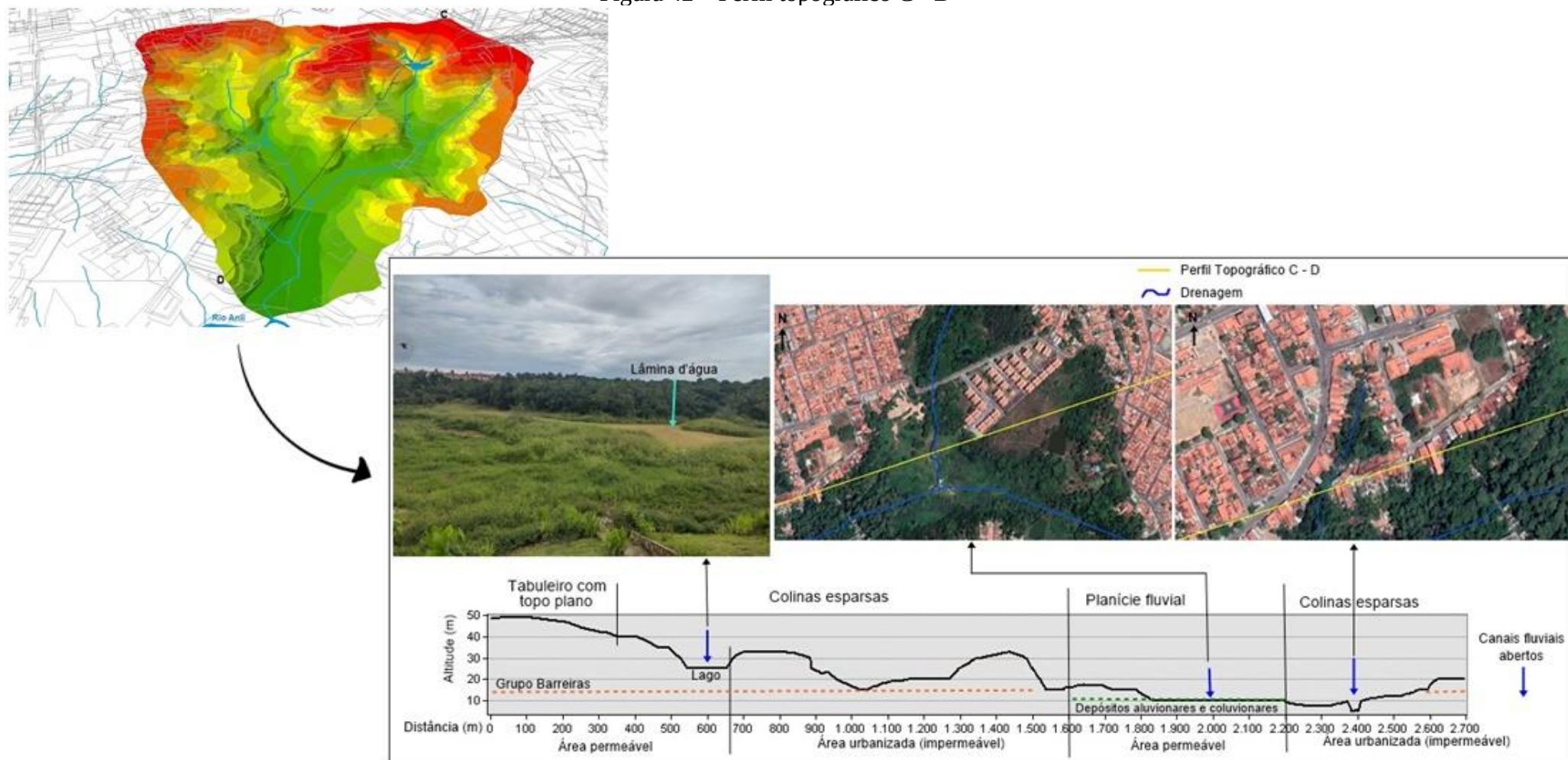
Esta área encontra-se cercada de conjuntos habitacionais verticais, o que gerou a impermeabilização das áreas de recargas de aquíferos, que por sua vez resultou no rebaixamento do lençol freático, contribuindo para o surgimento da lâmina d'água somente no período chuvoso.

Figura 41 – Perfil topográfico A - B



Fonte: Própria pesquisa, 2020.

Figura 42 – Perfil topográfico C - D



Fonte: Própria pesquisa, 2020.

O perfil topográfico em questão está relacionado aos tabuleiros com topos planos e colinas esparsas (Grupo Barreiras); e à planície fluvial (depósitos aluvionares e coluvionares). Uma pequena porção da área do entorno do lago e a planície fluvial são permeáveis, apresentam vegetação e estão sob constante pressão imobiliária, em função da expansão urbana acelerada. Em relação as colinas esparsas, são impermeáveis e urbanizadas.

Os canais 2 e 3 estão dispostos em um relevo plano a suavemente ondulado, localizado na interseção entre as colinas esparsas e planície fluvial. O canal 2 apresenta vegetação com presença de gleissolos e aos arredores serrapilheira preservada.

Destaca-se que as populações ocuparam diversas morfologias sem considerar, em geral, suas características físicas. Diante disto, a questão do poder aquisitivo entra em debate, pois a população de média/ alta renda ocupa de forma acelerada os terrenos com baixa declividade, predominantemente plano e acabam recebendo maior infraestrutura; enquanto que a população de baixa renda, muitas das vezes, ocupam áreas próximas aos cursos d'água (fundos de vale), alta ou moderada declividade e nas áreas circunjacentes às planícies fluviais e de maré, geralmente descaracterizando-as.

5.2 Características da declividade

A declividade, é um importante atributo para reconhecimento de áreas com declives acentuados ou não. No primeiro caso, apresentam maior probabilidade de ocorrência de processos erosivos e enxurradas; nas áreas planas, com baixa declividade, podem ocorrer outros fenômenos. Neste sentido, ao considerarmos o ambiente urbano, a declividade torna-se de grande importância, pois as águas precipitadas ganham maior velocidade em um solo impermeabilizado.

O conhecimento e representação das classes de declividade de uma determinada área são de extrema importância, uma vez que nos permite representar a ordenação espacial dos graus de inclinação de uma superfície, o que possibilita análises diversas referentes à paisagem do terreno e viabiliza demonstrar a diferença altimétrica existente entre dois pontos (DIAS, 2016).

Para classificação da declividade da sub-bacia hidrográfica do riacho do Angelim, utilizou-se a proposta de Santos e Ross (2012) para o ambiente urbano. Evidencia-se que os autores realizaram adaptações tendo como base Ross (1994), que estabeleceu as classes de acordo com os estudos de Uso/Aptidão agrícola.

Sobre estas classes, Ross (1994, p. 66) afirma que elas “são associados com aqueles conhecidos como valores limites críticos da geotecnia, indicativos respectivamente do vigor dos processos erosivos, dos riscos de escorregamentos/deslizamentos e inundações frequentes”.

Desta forma, a área em análise apresenta as seguintes classes de declividades: 0 | 3%; 3,1 | 5%; 5,1 | 10%; 10,1 | 20%; e $\geq 25\%$. A classe de 0 | 3% está associada às áreas planas, dos tabuleiros com topos planos e aos fundos de vale (Figura 43).

Estas áreas encontram-se excessivamente ocupadas, com destaque para as margens dos canais fluviais que foram desconfigurados para ocupação. Destaca-se que estes ambientes são relacionados as áreas inundáveis que apresentam uso urbano restrito.

As classes de 3,1 | 5% indicam o uso urbano com baixa restrição (BERNARDELLI, 2019), por apresentar áreas planas e sem problemas com a drenagem pluvial e fluvial. As classes 5,1 | 10% são áreas que apresentam o uso sem restrição (BERNARDELLI, 2019), considerando as características locais. Estas classes são consideradas de transição pois, são caracterizadas por apresentarem pequenos declives com inclinação moderada.

No ambiente urbano estas pequenas inclinações foram descaracterizadas pelo aplainamento para realização de aterros. Assim, os cidadãos modificaram a paisagem da área através de aterros, cortes e remanejamento de materiais.

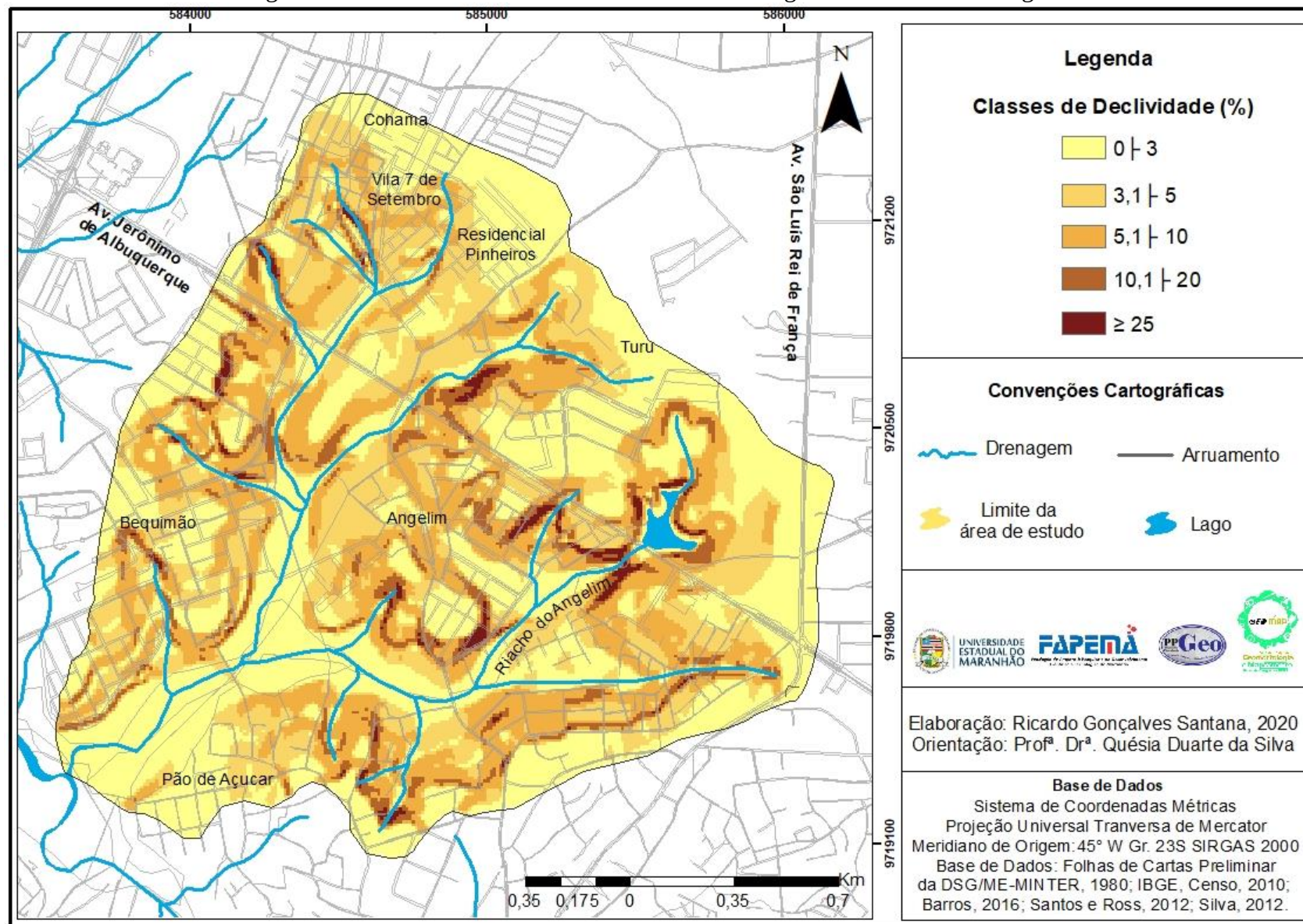
No que se refere às classes 10,1 | 20% e $\geq 25\%$, estão associadas aos terrenos que apresentam inclinação significativa e são relacionadas aos ambientes de transição, entre os tabuleiros com topos planos e as colinas esparsas, com as cabeceiras de drenagem.

A área em análise não apresenta declividades maiores que $\geq 30\%$ e relaciona-se ao fato do predomínio de áreas planas, o que valida a grande ocorrência das formas de terreno do tipo planar retilínea.

Silveira *et al* (2006, p. 1) afirmam que “quanto maior o ângulo da declividade, mais rapidamente a energia potencial das águas pluviais se transforma em energia cinética, aumentando a velocidade das massas de água e sua capacidade de transporte”.

A sub-bacia hidrográfica do riacho do Angelim apresenta baixas declividades, entretanto, com a intensa ocupação humana e com a acentuada impermeabilização, há o favorecimento do aumento do escoamento superficial, o que sobrecarrega os canais modificados e resulta em problemas ambientais para a população residente.

Figura 43 – Classes de declividade da sub-bacia hidrográfica do riacho do Angelim



Fonte: Própria pesquisa, 2020.

5.3 Formas de terreno

De acordo com Valeriano (2008, p.41), “as classes de curvaturas horizontais (convergente, planar ou divergente) e verticais (côncavo, retilíneo ou convexo) podem ser combinadas para fornecer indicação da forma do terreno”. Neste sentido, torna-se necessária a compreensão das formas do terreno da área em análise, pois a partir do entendimento destas características é possível estabelecer uma relação entre estes aspectos e os eventos pluviométricos em detrimento do escoamento superficial.

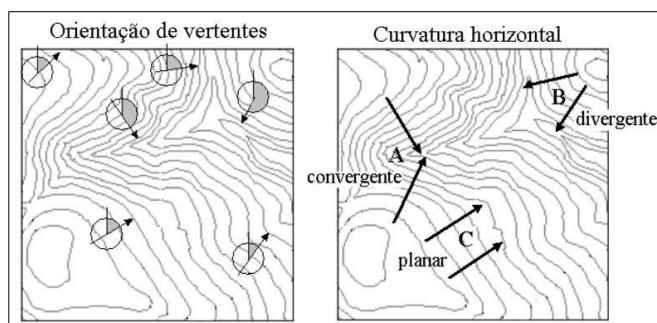
No que diz respeito às vertentes, a partir da sua forma é possível compreender a dinâmica hidrológica de uma determinada área. No ambiente urbano, o escoamento superficial, ganha destaque, uma vez que o relevo e o solo são alterados, em virtude da ocupação. A curvatura horizontal e vertical do terreno associa-se à intensidade dos processos de migração e acúmulo de água, minerais e matéria orgânica no solo através da superfície, proporcionados pela gravidade (VALERIANO, 2008).

Silva Neto (2013) caracteriza a curvatura horizontal como indicador de fluxo do escoamento superficial, considerando que as vertentes possuem fluxos concentrados (convergentes) e fluxos difusos (divergentes). Neste sentido, a curvatura horizontal, relaciona-se à orientação das vertentes que por sua vez, caracteriza o direcionamento dos fluxos (Figura 44).

Valeriano afirma que

A curvatura horizontal expressa o formato da vertente quando observada em projeção horizontal. É também definida como uma derivada de segunda ordem, porém, não da elevação, mas das curvas de nível. Em analogia à relação entre curvatura vertical e declividade, a curvatura horizontal pode ser descrita como a variação da orientação de vertentes ao longo de uma determinada distância. Na nossa percepção comum, a curvatura horizontal se traduz no caráter de divergência ou convergência das linhas de fluxo (VALERIANO, 2008, p. 38).

Figura 44 – Representação da orientação das vertentes e curvatura horizontal



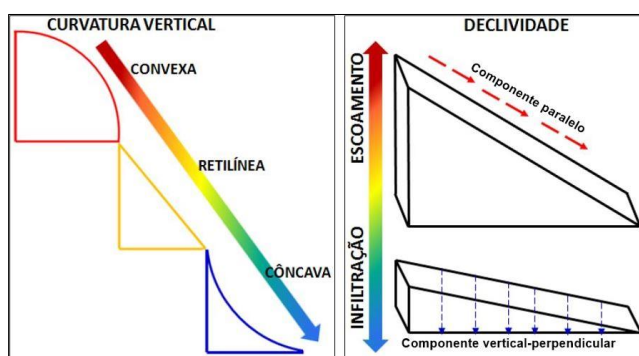
Fonte: Valeriano (2008).

Em relação à curvatura vertical, refere-se ao aspecto convexo/côncavo do terreno quando analisado em perfil (Figura 45). É definida a partir da altitude, podendo ser

representada como a variação da declividade ao longo de uma determinada distância (VALERIANO, 2008).

A curvatura da superfície está relacionada à sua forma (convexa, retilínea e côncava) e à declividade, sendo que esta última característica é constituída pelo componente paralelo (favorece o escoamento superficial e os processos morfogenéticos) e o componente vertical-perpendicular (beneficia a infiltração e a pedogênese) (SILVA NETO, 2013).

Figura 45 – Representação da curvatura vertical



Fonte: Adaptado de Silva Neto (2013). Organizado por Santana (2020).

Considerando a literatura especializada, as formas do terreno são provenientes da somatória das curvaturas horizontal e vertical das vertentes, gerando assim nove classes distintas de formas do terreno (Quadro 12). Sobre os fluxos dominantes nas formas do terreno, Colangelo (1996) afirma que

Os padrões de drenagem do escoamento superficial interfluvial podem ser descritos em função do caráter de dispersão ou concentração a eles vinculados. Estes padrões, por serem controlados pela geometria do terreno, devem ser analisados a partir das formas projetadas nos planos ortogonais de perfil e planta. Neste caso, a convexidade e a concavidade das formas de relevo são os fatores que condicionam, respectivamente, os padrões de dispersão e concentração de drenagem (COLANGELO, 1996, p. 32).

Nesta perspectiva, deve-se associar à retinilidade das formas a neutralidade dos fluxos hídricos (transição); à convexidade o componente de dispersão dos fluxos; e às formas côncavas associa-se à concentração dos fluxos (COLANGELO, 1996).

Entende-se que a compreensão destas formas associadas ao escoamento superficial é importante nesta pesquisa, pois o ser humano, ao agir como agente modificador do relevo, altera incisivamente as formas do terreno que reflete no direcionamento do escoamento superficial e acúmulo das águas pluviais.

Quadro 12 – Formas do Terreno

Curvatura do Terreno		Comportamento hidrológico na superfície do Terreno	
Horizontal	Vertical	Fluxo dominante	Fluxo resultante
Convergente	Côncava	Concentração	Hiperconcentrador
	Retilínea		Mesoconcentrador
	Convexa		Hipoconcentrador
Planar	Côncava	Transição	Mesoconcentrador
	Retilínea		Transição
	Convexa		Mesodispersor
Divergente	Côncava	Dispersão	Hipodispersor
	Retilínea		Mesodispersor
	Convexa		Hiperdispersor

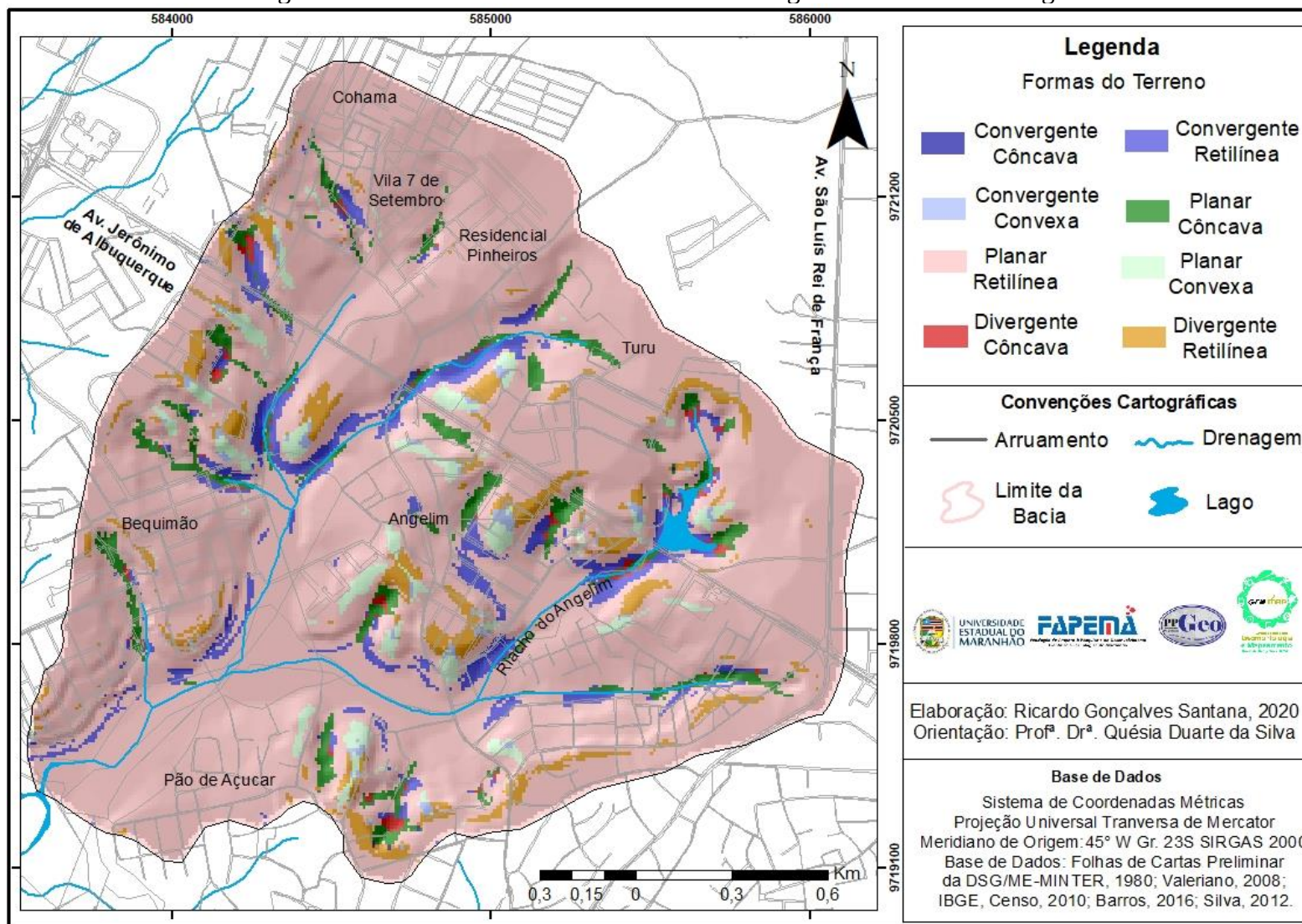
Fonte: Adaptado de Guirra (2017). Organizado por Santana (2020).

Diante do exposto, foram mapeados, a partir da classificação de Valeriano (2008), oito classes de formas do terreno na sub-bacia hidrográfica do riacho do Angelim: planar côncava, convergente côncava, divergente côncava, planar retilínea, divergente retilínea, convergente retilínea, planar convexa e convergente convexa (Figura 46). Salienta-se que na área objeto, de estudo tem-se o predomínio da forma de terreno do tipo planar retilínea, considera-se intermediária ou de transição quanto à dispersão e acumulação do escoamento superficial, pois apresenta um relevo plano, ocupando cerca de 80,4% da área. A classe planar côncava representa cerca de 3,2% da área, associa-se as áreas planas com suaves concavidades e apresentam o fluxo dominante do tipo transição com resultante do tipo mesoconcentrador. Estas características direcionam águas fluviais de forma condescendente para as áreas que possuem o fluxo de concentração.

Representando 1,8% da área, a classe convergente côncava caracteriza-se por apresentar um fluxo dominante do tipo de concentração, resultando em um acúmulo do tipo hiperconcentrador. Localiza-se nas proximidades dos canais fluviais, o que colabora para o aumento do escoamento direcionando aos cursos d'água. A classe divergente côncava está relacionada ao fluxo dispersor, com fluxo resultante do tipo hipodispersor. Na área em questão esta classe espacializa-se, ocupando pequenas áreas, cerca 1,6% da área total.

Segundo Machado e Lima (2013), as formas do terreno do tipo planar retilínea favorecem os ambientes de acumulação. São áreas caracterizadas por serem ambientes com fluxo de transição, entre hipoconcentrador e mesodispersor, a depender da direção do escoamento superficial. As formas do terreno do tipo divergente retilínea ocupam a área com cerca de 4,8%, sendo associados às áreas dispersantes, com fluxo resultante do tipo mesodispersor. De acordo com a literatura especializada, esta classe é considerada distribuidora de águas de eventos pluviométricos.

Figura 46 – Formas do terreno da sub-bacia hidrográfica do riacho do Angelim



Fonte: Santana (2020).

Estas áreas localizam-se nas bordas das encostas, com declives moderados, o que favorece o escoamento laminar, direcionando-se para os fundos de vale com as formas do terreno convergente retilínea.

A classe convergente retilínea caracteriza-se por ter um formato de bacia (côncavo), o que facilita a convergência dos fluxos, o fluxo dominante é do tipo concentrador, resultando em um fluxo mesoconcentrador; ocupa 4% da área em análise, estão relacionadas aos fundos de vale, pois ao precipitar as águas direcionam-se para os canais fluviais.

No espaço urbano, estas áreas estão diretamente relacionadas aos canais fluviais, pois o volume e a velocidade do fluxo aumentam devido à impermeabilização das vertentes, o que dificulta a infiltração e aumenta o escoamento superficial; dessa forma, os canais fluviais recebem um volume maior de águas pluviais.

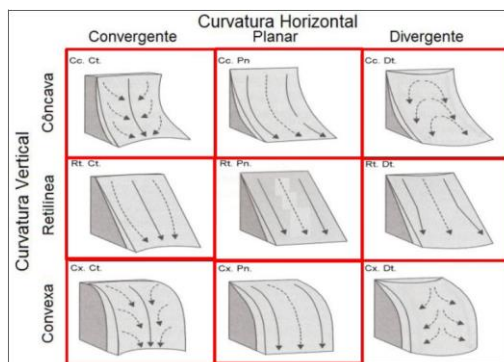
Como resultado desta dinâmica, entre forma do terreno/escoamento, pode ocorrer a deflagração dos fenômenos hidrogeomorfológicos como enchentes, inundações, alagamentos e processos erosivos). Silva Neto (2013) expõe que a forma convergente retilínea pode ser definida como área coletora de água, ocasionando maior concentração e acúmulo do escoamento superficial.

No que diz respeito às formas do terreno do tipo planar convexa, ocupam 2,7% da sub-bacia hidrográfica do riacho do Angelim. Possuem como característica o fluxo dominante de transição e um resultante do tipo mesodispersor. Desta forma, considera-se na área em análise, os ambientes de transição, direcionando o fluxo para áreas com declives moderados.

A classe de forma de terreno de menor representação na área de estudo é a convergente convexa, que direciona os fluxos para parte central da vertente levando em direção ao fundo de vale em direção a rede de drenagem. Esta classe representa 1,5% da área em questão; contém como atributos o fluxo dominante do tipo concentrador que resulta em um fluxo hipoconcentrador.

A figura 48 e o quadro 13, apresentam as classes de formas do terreno da sub-bacia hidrográfica do riacho do Angelim para fins de representação gráfica. Na figura 47, os quadrantes que estão com a moldura de cor vermelha demonstram a direção do fluxo nas formas do terreno na área objeto de estudo. A área de estudo não apresenta a forma de terreno do tipo divergente convexa.

Figura 47 – Representação dos fluxos das águas pluviais nas classes de formas do terreno



Fonte: Valeriano, 2008.

Quadro 13 – Formas do terreno da sub-bacia hidrográfica do riacho do Angelim

Curvatura do Terreno		Comportamento hidrológico na superfície do terreno		Valores relativos (%)
Horizontal	Vertical	Fluxo dominante	Fluxo resultante	
Convergente	Côncava	Concentração	Hiperconcentrador	1,8
	Retilínea		Mesoconcentrador	4
	Convexa		Hipoconcentrador	1,5
Planar	Côncava	Transição	Mesoconcentrador	3,2
	Retilínea		Transição	80,4
	Convexa		Mesodispensor	2,7
Divergente	Côncava	Dispersão	Hipodispensor	1,6
	Retilínea		Mesodispensor	4,8

Fonte: Adaptado de Guirra (2017). Organizado por Santana (2020).

5.4 Unidades de relevo

O estudo das unidades de relevo é essencial em toda e qualquer pesquisa de cunho geográfico. Santos, Robaina e Trentin (2017, p. 198) afirmam que “o relevo, superfície em que ocorre a interação entre o homem e a natureza, apresenta-se como temática fundamental para estudos ambientais, sendo o elemento caracterizador da paisagem”.

O relevo assume importância fundamental no processo de ocupação do espaço, fator que inclui as propriedades de suporte ou recurso, cujas formas ou modalidades de apropriação respondem pelo comportamento da paisagem e suas consequências (CASSETI, 2005). Desta forma, a análise das unidades de relevo é imprescindível, tendo em vista que os padrões de formas dos canais fluviais e outras, estão relacionados ao tipo de relevo da área, e a ocupação indevida destas formas também poderá ocasionar graves consequências. A partir deste pressuposto, foram caracterizadas as morfologias existentes na sub-bacia hidrográfica

do riacho do Angelim, através da proposta de classificação e mapeamento baseada em Ross (1992), realizado por Silva (2012) para a Ilha do Maranhão.

Ross (1992) tem uma proposta de classificação e mapeamento do relevo a partir das unidades morfoestruturais, morfoesculturais, unidades morfológicas ou padrões semelhantes e tipos de forma de relevo. As unidades morfoestruturais correspondem ao táxon maior e são definidas pelos tipos genéticos de agrupamentos de litologia e seus arranjos estruturais que determinam as formas de relevo (SILVA, 2012). Para definição das unidades de relevo da Ilha do Maranhão, a autora supracitada partiu dos conceitos de morfoestrutura e morfoescultura fundamentados em Gerasimov e Mecerjakov (1968), assim como dos níveis taxonômicos propostos por Ross (1992) e aplicado por Ross (1994, 1996).

Silva (2012) elaborou o mapeamento geomorfológico da Ilha do Maranhão na escala de 1:60.000. Em conformidade com Schobbenhaus (1984) e Silva (2012), toda a Ilha do Maranhão está inserida na bacia costeira de São Luís, ao que corresponde ao primeiro nível taxonômico das unidades morfoestruturais. Já o Golfão Maranhense, segundo Silva (2012), faz parte do segundo táxon correspondente ao conjunto de formas de relevo com as mesmas características genéticas em idade e semelhança dos padrões de drenagem.

Na ilha em questão, a autora descreve as formas de relevo predominantes, sendo elas: os tabuleiros com topos planos, colinas esparsas, as formas de vertentes, os apicuns, praias e dunas, paleodunas, terraços, planícies de maré e fluvial (SILVA, 2012). Neste sentido, apresentar-se-á as unidades de relevo da sub-bacia hidrográfica do riacho do Angelim, com base em Silva (2012).

A sub-bacia hidrográfica do riacho do Angelim apresenta quatro tipos de unidades de relevo, sendo duas denudacionais, tabuleiros com topos planos e colinas esparsas; e duas agradacionais, planície de maré e planície fluvial (Tabela 09).

Tabela 09 - Unidades de relevo da sub-bacia hidrográfica do riacho do Angelim

Unidades de relevo	Área	
	(Km ²)	(%)
Relevos denudacionais - D	3,89	89,7
Tabuleiros com topos planos - Dtp	0,77	17,7
Colinas esparsas - Dc	3,12	72
Relevos agradacionais - A	0,45	10,3
Planície fluvial - Apf	0,32	7,3
Planície de maré - Apm	0,13	3
Total	4,34	100

Fonte: Própria pesquisa, 2020.

As formas agradacionais são aquelas que predominantemente passam pelo processo de acumulação ou sedimentação. Já as formas denudacionais são modeladas predominantemente pelo processo de desgaste ou erosão.

Os tabuleiros são caracterizados por apresentarem elevações acima de 40 metros e estão relacionados às áreas que ocorrem a recarga dos aquíferos. Na área em análise, representam cerca de 17,7% da área, e encontram-se densamente urbanizados. Apresentam declividades entre 0 - 3%, sendo predominantemente planos.

Para Guerra (1993, p. 404), tabuleiro é uma “forma topográfica de terreno que se assemelha a planaltos terminando geralmente de forma abrupta. No nordeste brasileiro os tabuleiros aparecem de modo geral em toda a costa”.

Na Ilha do Maranhão, esta forma de relevo ocorre predominantemente na porção central e centro-nordeste da ilha, com altitudes entre 40 e 70 metros e é encontrada também em outras áreas dispersas no sentido radial (NUNES, 2013).

Florenzano (2008, p. 13) conceitua os tabuleiros como “áreas de relevo plano, de origem sedimentar, de baixa altitude e com limite abrupto, típicos da costa do Nordeste brasileiro”.

De acordo com o IBGE (2019), os solos dos tabuleiros são definidos por exibirem topos tabulares ou suavemente ondulados, de forma geral sendo limitados por ressaltos; habitualmente situam-se sobre coberturas sedimentares inconsolidadas.

Na área da pesquisa, os tabuleiros estão associados à ocorrência dos sedimentos do Grupo Barreiras, com vertentes do tipo planar retilínea com fluxo dominante do tipo transição. O escoamento superficial tende a ganhar velocidade nas bordas dos tabuleiros, uma vez que estão fortemente ocupados e impermeabilizados.

Em relação as colinas esparsas¹¹, estão presentes em 72% da área de estudo. De acordo com Maranhão (1998), as colinas esparsas são relevos subtabulares, que ocorrem em quase toda a Ilha do Maranhão.

Guerra (1993) argumenta que as colinas possuem pequenas elevações, não excedendo 50 metros, dispõem de declives suaves, constituindo-se de formas de erosão. Frequentemente, a colina integra, em geral, uma forma de relevo derivado.

Para Florenzano (2008), colinas são baixas elevações do terreno, e seus topos caracterizam-se por serem arredondados a quase planos, apresentando amplitudes de 20 m e 60 m com baixas declividades.

¹¹ Termo utilizado por Silva (2012).

No riacho do Angelim, as colinas esparsas estão associadas aos Argissolos vermelho-amarelos; encontram-se em elevações maiores que 15 metros e menores que 40 metros. Apresentam as seguintes formas de terreno: planar retilínea e planar convexa (fluxo de transição); convergente retilínea e convergente convexa (fluxo de concentração); e divergente retilínea (fluxo de dispersão).

Por apresentarem características que favorecem a ocupação, assim como a possível realização de alterações, na área em análise, as colinas encontram-se inteiramente urbanizadas, com ocupações em declives de 3% a 8%, 8% a 13%.

Pereira (2006, p. 99) afirma que estas colinas “[...] representam as porções dos tabuleiros que sofreram dissecação no decorrer do tempo geológico e ainda preservam seu topo relativamente aplainado com encostas brandas e íngremes”.

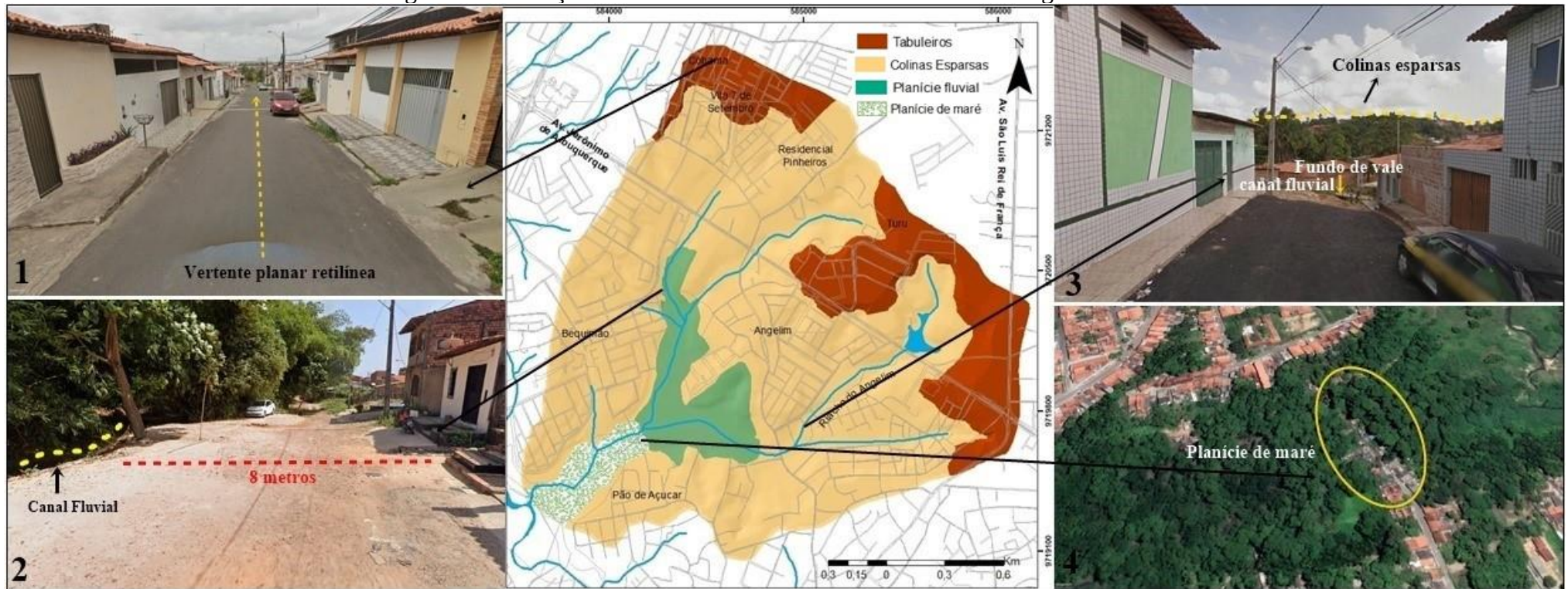
As formas de relevo agradacionais existentes na sub-bacia hidrográfica do riacho do Angelim são: planície fluvial e planície de maré. Na área de estudo em questão, a planície fluvial corresponde a 7,3% da área da sub-bacia, sendo a feição correspondente a uma área de acúmulo de sedimentos fluviais aluvionares e coluvionares.

Segundo o IBGE (2009, p. 32), planície fluvial é uma “área plana resultante de acumulação fluvial sujeita a inundações periódicas, correspondendo às várzeas atuais. Ocorre nos vales com preenchimento aluvial”.

Rebouças e Silva (1972) caracterizam planície fluvial como áreas baixas vinculadas aos vales da drenagem principal, como planícies das ingressões quaternárias, sendo vales fluviais. A planície fluvial em análise está associada a ocorrência dos gleissolos (solo predominante de áreas alagadas) e formas do terreno do tipo convergente retilínea (fluxo concentrado) e planar convexa (transição).

Observou-se em campo que esta unidade de relevo encontra-se sob pressão da ocupação, pois existem residências com distância de aproximadamente 8 metros da planície fluvial. Notou-se que a população local constantemente aterra a planície fluvial, procurando facilitar a fixação de residências de forma espontânea, sem levar em consideração a legislação. De acordo com o Novo Código Florestal (BRASIL, 2012), canais fluviais com até dez metros de largura, deveriam possuir 30 metros de áreas de preservação, à direita e à esquerda (Figura 48).

Figura 48 – Situação atual das unidades de relevo do riacho do Angelim



*1 – Vertente planar retilínea presente nos tabuleiros, encontram-se impermeabilizadas, o que favorece o aumento do escoamento superficial; 2 – Casas construídas a menos de 8 metros do canal fluvial; 3 – Fundo de vale ocupado de forma inapropriada, limitando-se à colina; 4 – Planície de maré sendo aterrada e ocupada pela população de baixo poder aquisitivo.

Fonte: Própria pesquisa, 2020.

Guerra (1993) conceitua planície como uma extensão do terreno mais ou menos plano, onde os processos de agradação superam os de degradação; apresentam superfícies pouco acidentadas, sem grandes desnivelamentos relativos.

De acordo com Branco (2004), fundamentado em Reineck e Singh (1973), as planícies de maré (*tidal-flats*) se desenvolvem ao longo de costas de baixo declive, com marcado ciclo de marés, onde há suficiente sedimento disponível e não há forte ação das ondas.

As planícies de maré são morfologias marcadas pelo ciclo da maré, porém não há predominância das ondas; se desenvolvem ao longo de costas com baixos declives e com significativa presença de sedimentos (ANGULO, 1992).

Rossetti (2008) evidencia que as planícies de maré são morfologias deposicionais ocorrentes em costas planas a suavemente inclinadas, de baixa energia, em áreas de macromarés em que a ação morfodinâmica da maré é superior à das ondas.

As planícies de maré são áreas lamosas ou arenosas que estão acima da maré baixa, mas que são inundadas na maré alta (PRESS *et al*, 2006). São as áreas que geralmente passam a maior parte do tempo submersas e são muito rasas, sendo ambientes agradacionais (acumulação) (Figura 49).

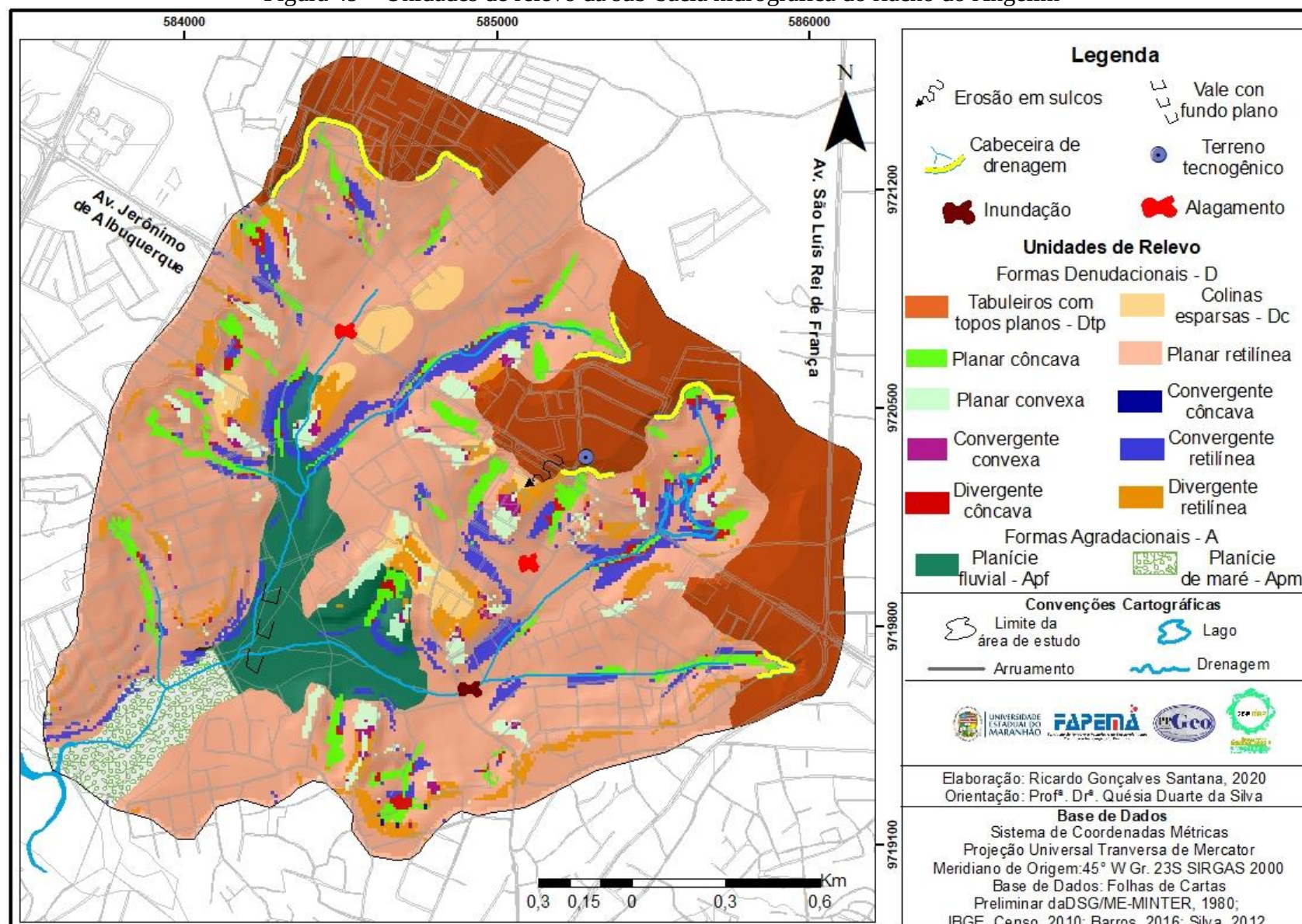
No riacho do Angelim, esta feição representa 3% da área e atualmente vem sendo ocupada por residências de madeira com elevação sobre o canal. Não foi possível realizar registros fotográficos desta morfologia em virtude do risco social presente na área.

Santos (2016) descreve que a planície de maré possui substrato lamoso com sedimentação recente, de influência predominantemente fluviomarinha e apresentam sedimentos argilo-siltosos e presença da matéria orgânica.

Na figura 50, as unidades de relevo presentes na área de estudo estão representadas com polígonos com contorno de cor vermelha, para melhor visualização, em figuras separadas.

Assim, podemos observar a intensa atividade humana presente sobre os compartimentos geomorfológicos em questão. Esta análise nos permite identificar as inter-relações entre os aspectos naturais e sociais da sub-bacia hidrográfica do riacho do Angelim. As unidades de relevo da área são ocupadas por distintos agentes sociais e resulta em diferentes usos, com características urbanas e estruturais específicas.

Figura 49 – Unidades de relevo da sub-bacia hidrográfica do riacho do Angelim



Fonte: Própria pesquisa, 2019.

Figura 50 – Localização das unidades de relevo da sub-bacia hidrográfica do riacho do Angelim



Tabuleiros com topos planos



Colinas esparsas



Planície fluvial



Planície e maré

Na figura 51 foram espacializados sete pontos de observação para auxiliar no entendimento da análise dos aspectos ambientais que irão destacar a importância do estudo da fragilidade ambiental do relevo à ocupação urbana na sub-bacia hidrográfica do riacho do Angelim.

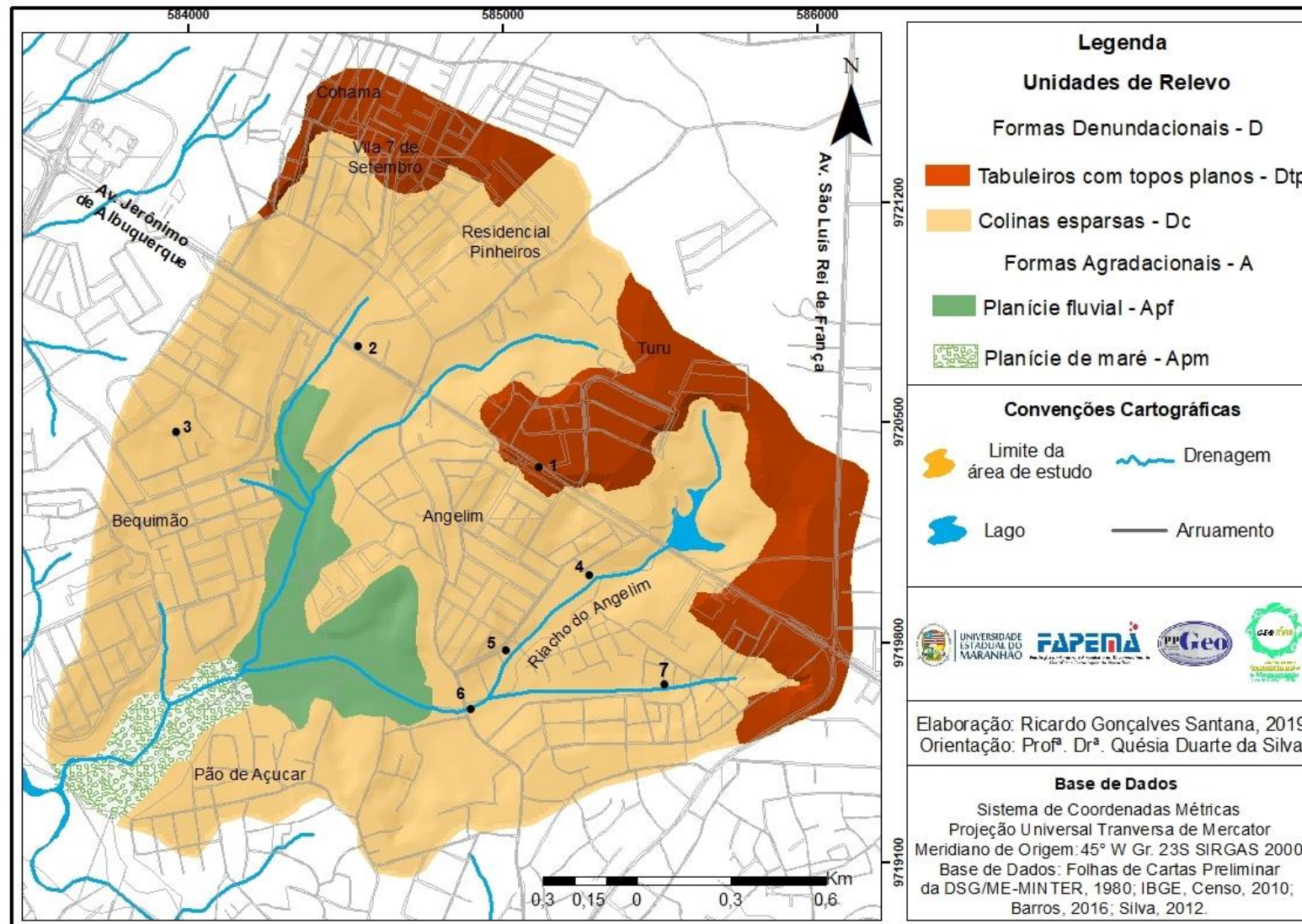
A partir dos trabalhos de campo realizados no local de estudo, identificamos diversas áreas, que em função de suas características naturais associadas à ação humana, apresentam um certo grau de fragilidade ambiental.

No ponto 1, na avenida Jerônimo de Albuquerque - Angelim, próximo aos condomínios habitacionais verticais, foi subdividido em duas imagens: 1-A, que mostra o corte da borda do tabuleiro para o alargamento da avenida. Observa-se o grande volume de materiais retirados e a coloração dos sedimentos, o que valida o mapeamento dos argissolos vermelhos-amarelo na área de estudo; 1-B, indica a presença de sulcos erosivos em consequência das alterações feitas para melhoria do fluxo da via. Defende-se que houve o aparecimento deste processo erosivo em virtude das atividades dos maquinários e está em processo de aceleração, pois encontra-se no período chuvoso (Figura 52).

No ponto 2, na avenida Jerônimo de Albuquerque, próximo ao limite entre os bairros Angelim e Bequimão, foi registrado um episódio de alagamento. Neste trecho há presença de um curso d'água que foi tubulado e aterrado para construção da avenida; as áreas adjacentes encontram-se todas impermeabilizadas, o que aumenta o volume das águas pluviais oriundas dos tabuleiros e das colinas esparsas. A estrutura da drenagem instalada na área não suporta a quantidade de água e há o processo de acúmulo na via, afetando o tráfego, muitas vezes impossibilitando a passagem dos veículos por horas.

O ponto 3 encontra-se inserido em áreas de aglomerados subnormais, na rua Verde, Bequimão. De acordo com o levantamento realizado, este local está situado em uma área de nascentes, sendo área de preservação permanente. Em função da dinâmica de ocupação e capacidade de aquisição, é predominantemente ocupado por residentes de baixa renda. É possível observar a presença do canal fluvial, totalmente descaracterizado e poluído; a disposição das moradias não segue um padrão urbanístico planejado. Foi identificada a falta de estrutura adequada, com esgotamento sanitário, coleta de resíduos sólidos e vias sem capeamento asfáltico. De acordo com a população, para construção das moradias foi necessária a utilização de entulhos, pois o terreno é irregular e úmido no período chuvoso, o que valida a identificação das nascentes.

Figura 51 - Pontos de observação da sub-bacia hidrográfica do riacho do Angelim



Fonte: Própria pesquisa, 2020.

Figura 52 – Pontos de observação 1 – 2 - 3



Fonte: Própria pesquisa, 2020.

Na figura 53, estão dispostos os pontos 4, 5, 6 e 7 descritos a seguir para uma melhor compreensão da situação atual da área objeto de estudo. O mapeamento e os campos executados subsidiaram a identificação da fragilidade ambiental do relevo à ocupação urbana.

No ponto 4, na Rua E, na intersecção entre os bairros Angelim e Novo Angelim, foi identificada a tipologia das residências em relação aos condomínios habitacionais horizontais, o que tornou possível o entendimento da dinâmica de formação dos aglomerados subnormais. Defende-se que a população de alto poder aquisitivo precisaria de mão de obra, para auxílio nas atividades domésticas e manutenção do conjunto, logo as pessoas com baixo poder aquisitivo foram se acomodando aos arredores do conjunto, colaborando para o surgimento dos aglomerados. A construção das residências próximo ou sobre o leito do canal, evidencia a falta de um planejamento ambiental territorial adequado para esta classe.

O ponto 5, localizado na travessa da rua Tarquínio Lopes, no Angelim, tem a presença de um curso d'água, levemente sinuoso, em área de fundo de vale; possui um desnível de sete metros, com residências construídas na planície de inundação. Segundo relatos dos moradores, quando ocorrem chuvas intensas e duradouras, o nível da água alcança as portas e muitas vezes adentra as residências. Identificou-se a grande quantidade de entulhos na área, provocando a diminuição da largura do canal.

No ponto 6, na rua Tarquínio Lopes, no Angelim, foi identificada erosão marginal nas bordas do canal, devido à falta de vegetação na margem direita. Observou-se que os sedimentos que estão ao longo das margens do canal são provenientes de materiais remobilizados pelos moradores e que foi realizado o aterro da área para construção das moradias. Ao longo do canal principal da sub-bacia hidrográfica do riacho do Angelim, tem-se residências com menos de 5 metros de distância do canal. Nestas áreas, há ocorrências de inundações, atingindo a população e gerando perdas materiais.

O ponto 7, na rua da Mangueira, no Novo Angelim, o canal fluvial de primeira ordem está totalmente descaracterizado e foi fechado pelos moradores. Há presença de residência sobre o curso d'água. Ainda há resquícios da palmeira juçara, sendo vegetação que ocorre predominantemente em áreas alagadas. A área de todo o bairro do Novo Angelim foi construída sobre ambientes fluviais, com nascentes e canais fluviais, em terrenos com fragilidade ambiental elevada.

Figura 53 - Pontos de observação 4 – 5 – 6 – 7



Fonte: Própria pesquisa, 2020.

6. FRAGILIDADE AMBIENTAL DO RELEVO À OCUPAÇÃO URBANA NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIACHO DO ANGELIM, SÃO LUÍS – MA

O estudo das bacias hidrográficas, com destaque para o ambiente urbano, torna-se necessário, uma vez que, com a crescente urbanização e consequente expansão urbana, os seres humanos ocupam diferentes unidades de relevo, sem considerar a dinamicidade existente. A partir da análise integrada das características fisiográficas e o uso e cobertura da terra da sub-bacia hidrográfica do riacho do Angelim, foi possível analisar a fragilidade ambiental do relevo à ocupação urbana da área.

Stoqui (2018), salienta que o levantamento da fragilidade ambiental passa por um detalhado conhecimento do conjunto das características físicas e bióticas, levando em consideração que o funcionamento da natureza acontece de forma conjunta entre os componentes do ambiente, incluindo a ação do ser humano.

Segundo a literatura especializada, considerando o tema abordado na pesquisa, a fragilidade ambiental subdivide-se em fragilidade potencial e emergente. A fragilidade potencial engloba as características naturais que apresentam fragilidades à ocupação, como exemplo, as planícies de maré e fluvial, as formas de terreno convergentes e côncavas que influenciam a dinâmica hidrológica, destacando também as cabeceiras de drenagem e os fundos de vale.

Em relação à fragilidade emergente, abrange as características naturais somada às atividades desenvolvidas pelos seres humanos no ambiente. Em virtude disso, como resultado, esta análise identifica áreas frágeis, considerando a tipologia do seu uso. A planície fluvial, planície de maré, canais fluviais e cabeceiras de drenagem possuem dinâmicas específicas, com a descaracterização destas áreas, em função da ocupação urbana, resulta na maximização dos fenômenos hidrogeomorfológicos (inundações, enchentes, alagamentos e erosões).

Barbosa (2020) afirma que a carta de fragilidade ambiental é um importante instrumento utilizado pelas instituições públicas para o planejamento territorial ambiental. Com a espacialização destas informações, torna-se possível aferir as potencialidades do ambiente, as dinâmicas de urbanização e os problemas ambientais provenientes destas ações.

Em decorrência do histórico de ocupação na área objeto de estudo, a consolidação urbana ocorreu a partir dos anos de 1975, resultando em alterações na paisagem, logo interferindo de forma direta na morfodinâmica local. Com o passar dos anos, houve um crescimento significativo da malha urbana, ocasionando o surgimento de diversos conjuntos habitacionais verticais e horizontais e os aglomerados subnormais.

Partindo do pressuposto que não existe terreno bom para urbanização e que os seres humanos ocupam diversas unidades de relevo para o estabelecimento de moradias, atividades socioeconômicas e culturais sem considerar suas características físicas e limitações ambientais, mapeou-se a fragilidade ambiental do relevo à ocupação urbana na sub-bacia hidrográfica do riacho do Angelim, com base nos seguintes aspectos: unidades de relevo, declividade, curvatura horizontal e vertical; e o uso e cobertura da terra (Figura 54).

Foram espacializadas a fragilidade potencial e a fragilidade emergente do relevo à ocupação urbana na área de estudo, com dois níveis cada, média e alta¹². A fragilidade potencial é determinada pelas características morfológicas da área (unidades de relevo), declividade e a formas do terreno (curvatura horizontal e vertical das vertentes).

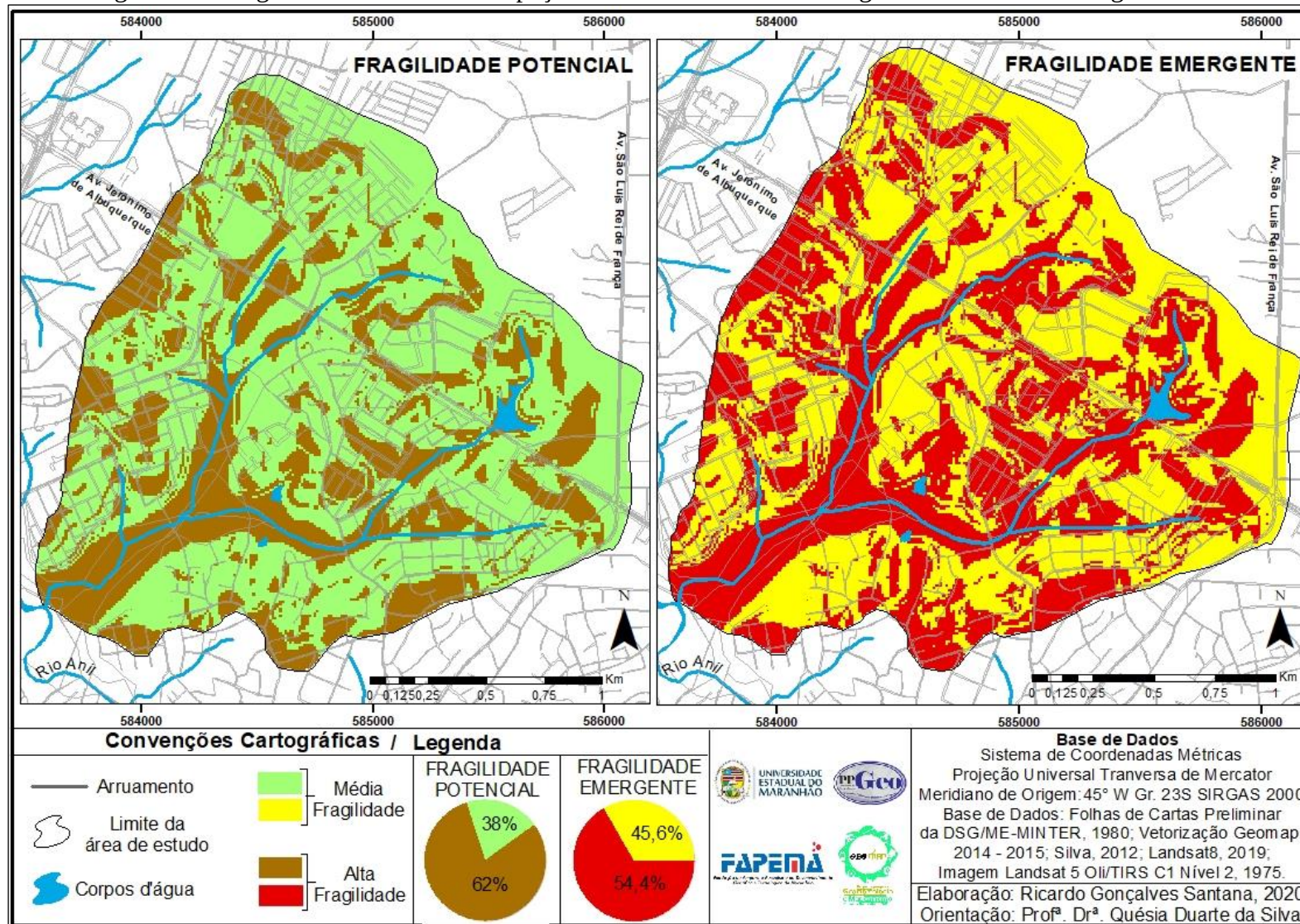
Pondera-se que a fragilidade potencial está associada à fragilidade natural do ambiente, em virtude das suas características, possuem instabilidade potencial pré-existente, isto é indica áreas que apresentam uma fragilidade natural, que podem potencializar com as atividades dos seres humanos. Na sub-bacia hidrográfica do riacho do Angelim, cerca de 38% da área apresentou uma média fragilidade potencial; relaciona-se estas localidades aos terrenos planos (tabuleiros), com baixa declividade e as formas do terreno do tipo planar retilínea. Em relação a alta fragilidade potencial, a área em análise contém cerca de 62% desta classe, demonstrando locais que podem desenvolver uma alta fragilidade emergente.

A fragilidade emergente considera os parâmetros da fragilidade potencial somados ao uso e cobertura da terra. Diante disso, esta análise aponta áreas ambientalmente frágeis à ocupação, indicando maior possibilidade de ocorrer degradação. Neste sentido, a área apresenta 45,6% com média fragilidade emergente e 54,4% com alta fragilidade emergente à ocupação. Destaca-se a classe de alta fragilidade, pois refere-se às áreas que apresentam dinâmicas naturais específicas, somado ao uso e cobertura da terra, que podem gerar diversos problemas ambientais.

Estas áreas estão inter-relacionadas às planícies de maré e fluvial, que apresentam processos distintos, pois é de grande importância a preservação destas áreas para manutenção do equilíbrio. As planícies de maré são ambientes deposicionais, com ocorrência do ciclo de maré, com baixa energia e sem ondas. Já a planície fluvial está sujeita a inundações periódicas; está vinculada aos vales do canal principal, em um ambiente de acumulação.

¹²Após as sobreposições das variáveis que constituem a fragilidade, o nível baixa fragilidade não se sobressaiu em decorrência das características físicas locais e do uso e cobertura da terra, uma vez que a área de estudo está densamente urbanizada e defende-se que não há terreno bom para urbanização, pois cada localidade do relevo sobre a superfície terrestre possui uma dinâmica específica, com a inserção humana modificando os aspectos locais, resultando na interferência deste processo.

Figura 54 – Fragilidade ambiental à ocupação urbana na sub-bacia hidrográfica do riacho do Angelim



Fonte: Própria pesquisa, 2020.

As áreas com declividade que indicam alta fragilidade emergente, são as classes de $0 \text{ } \vdash \text{ } 3\%$, que comportam as áreas de manguezal e vales fluviais, estando sujeitas à inundações. As classes $10,1 \text{ } \vdash \text{ } 20\%$ e $\geq 25\%$, são locais de moderada a alta declividade que necessitam de um olhar técnico para ocupação e podem desencadear problemas na estrutura das residências.

Existem três formas de terreno que estão inseridas nesta discussão, a planar côncava, com fluxo dominante de transição e fluxo resultante do tipo mesoconcentrador; a convergente côncava com um fluxo resultante do tipo hiperconcentrador e convergente retilínea, com fluxo resultante do tipo mesoconcentrador. Ambas possuem um fluxo dominante de concentração.

Os tipos uso e cobertura da terra com alta fragilidade emergente incluem as áreas com vegetação de mangue, arbórea e rasteira, os aglomerados subnormais, o solo exposto, e a área com presença de materiais tecnogênicos.

Os aglomerados estão dispostos em áreas de nascentes, com declividade de moderada a alta, no entorno dos cursos d'água e próximos as planícies de maré. O local com presença de material tecnogênico encontra-se em área de recarga de aquífero, próxima ao lago da área objeto de estudo.

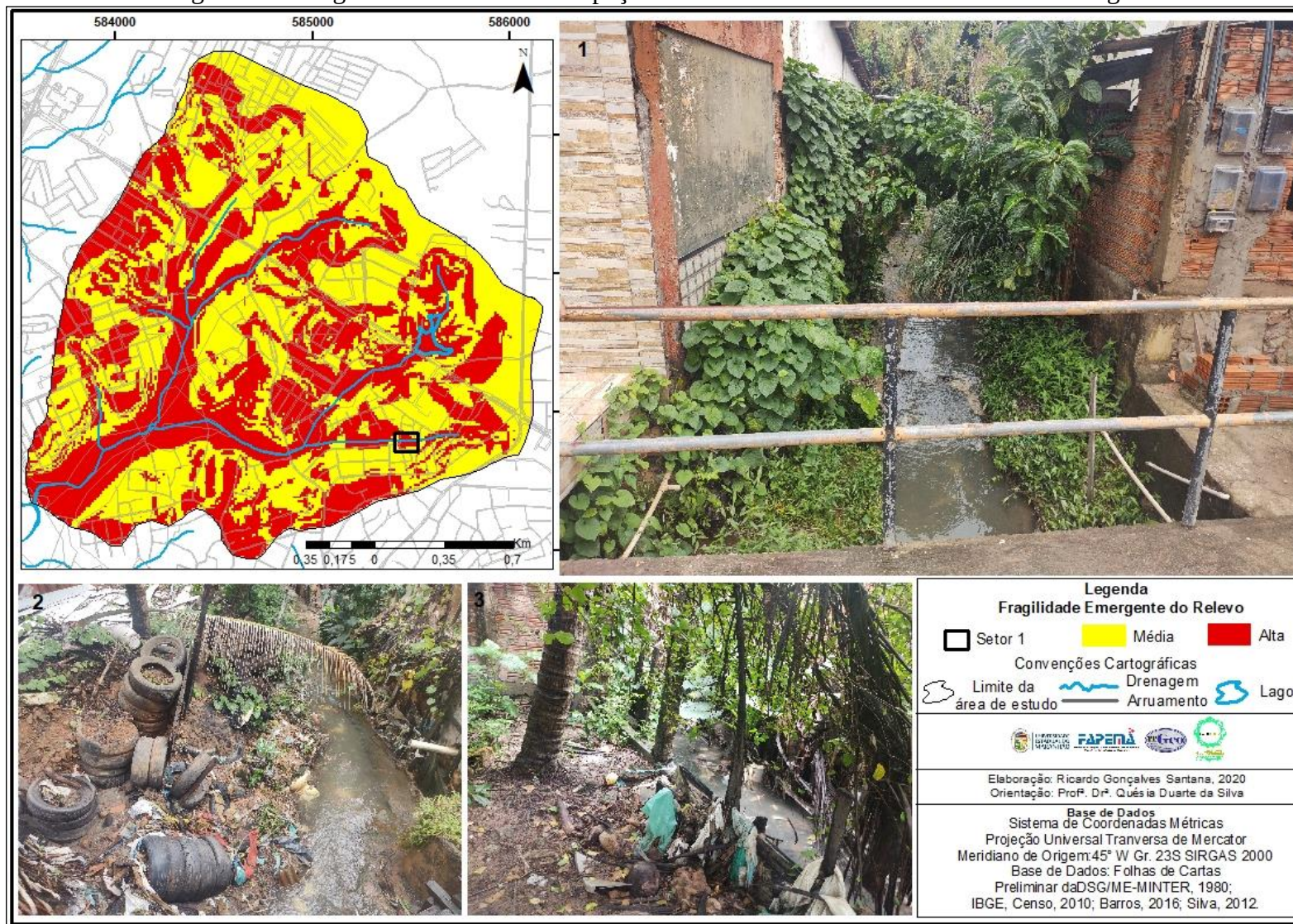
Para fins representativos e de validação, foram espacializadas quatro áreas do mapeamento da fragilidade para uma melhor análise das características de cada localidade. Torna-se importante salientar os aspectos, de forma sintética, de cada área, para uma melhor compreensão da dinâmica de ocupação e das limitações ambientais das morfologias que estão sob o sítio urbano.

Na rua Belo Horizonte, no Angelim, tem-se um curso d'água de primeira ordem, com moradias construídas nas bordas do canal, o que descaracterizou a dinâmica pré-existente do rio. Segundo a população local, no período chuvoso, quando há precipitações intensas, a lâmina d'água aumenta rapidamente, extrapolando as bordas do canal, inundando o quintal das residências, muita das vezes chega a atingir o interior destas moradias (Figura 55).

Esta área abrange vertentes com classes de declividade entre $0 \text{ } \vdash \text{ } 3\%$, o que valida a ocorrência das inundações. A lâmina d'água é constante, com presença de esgoto e resíduos sólidos.

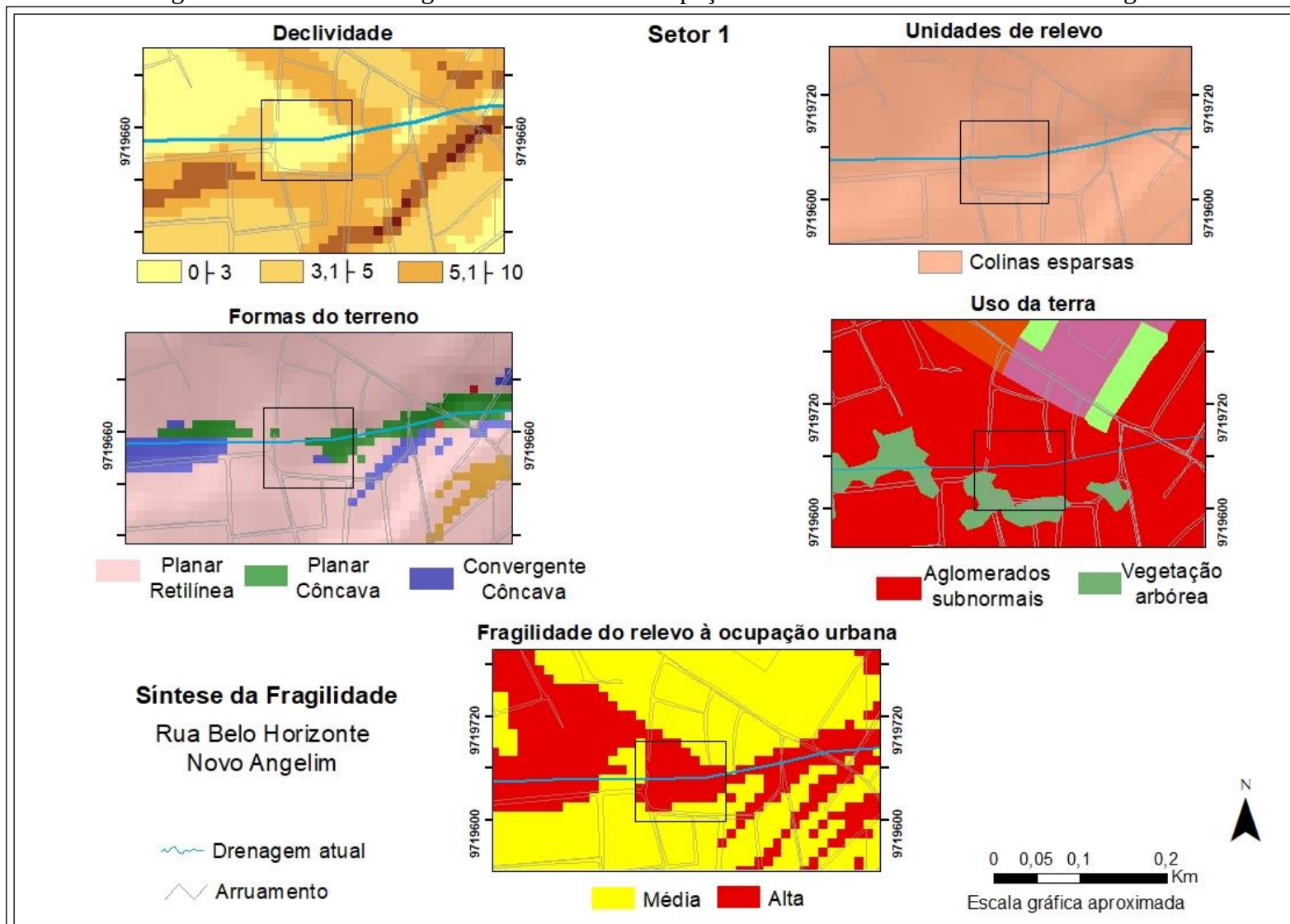
No entorno destas áreas, as vertentes estão impermeabilizadas, o que contribui para o aumento do escoamento superficial em direção ao curso d'água, direcionando os fluxos para as áreas mais baixas do relevo (Figura 56).

Figura 55 – Fragilidade ambiental à ocupação urbana na Rua Belo Horizonte – Novo Angelim



Fonte: Própria pesquisa, 2020.

Figura 56 – Síntese da fragilidade ambiental à ocupação urbana na Rua Belo Horizonte - Angelim



Fonte: Própria pesquisa, 2020.

A morfologia predominante local são as colinas esparsas, com formas do terreno do tipo planar retilínea, planar côncava e convergente côncava. No entanto, em alguns trechos das bordas da drenagem estreita, há planície de inundação, mas com intenso processo de degradação. A drenagem da área foi classificada como mista (aberta e fechada), com ocupações sobre os leitos fluviais.

As curvaturas indicam que esta área é receptora dos fluxos, com exceção da planar retilínea, o que contribui para a alimentação pluvial do curso d'água.

Devido às características do relevo local, foi apropriado por pessoas de baixo poder aquisitivo, o que colaborou para a formação dos aglomerados subnormais. Estas áreas são marcadas por uma desorganização espacial das moradias, com problemas no saneamento e irregularidades no tamanho dos lotes.

Identificou-se a presença de pneus e “aterros”, para contenção da erosão marginal, objetivando estagnar o avanço do processo geomorfológico em direção às residências. A grande quantidade de resíduos sólidos existentes na área é preocupante, pois pode dificultar o escoamento e maximizar as inundações no ambiente urbano. Logo, esta área foi caracterizada como alta fragilidade à ocupação urbana (Figura 55).

Na rua da Paz, no Bequimão, observou-se a deposição de resíduos sólidos no interior do canal fluvial, o que contribuiu para o avanço da erosão marginal. A área apresenta declividade entre 0 ‒ 3%; o curso d'água possui largura entre 5 e 10 metros, o que valida a alta fragilidade mapeada (Figuras 57 e 58).

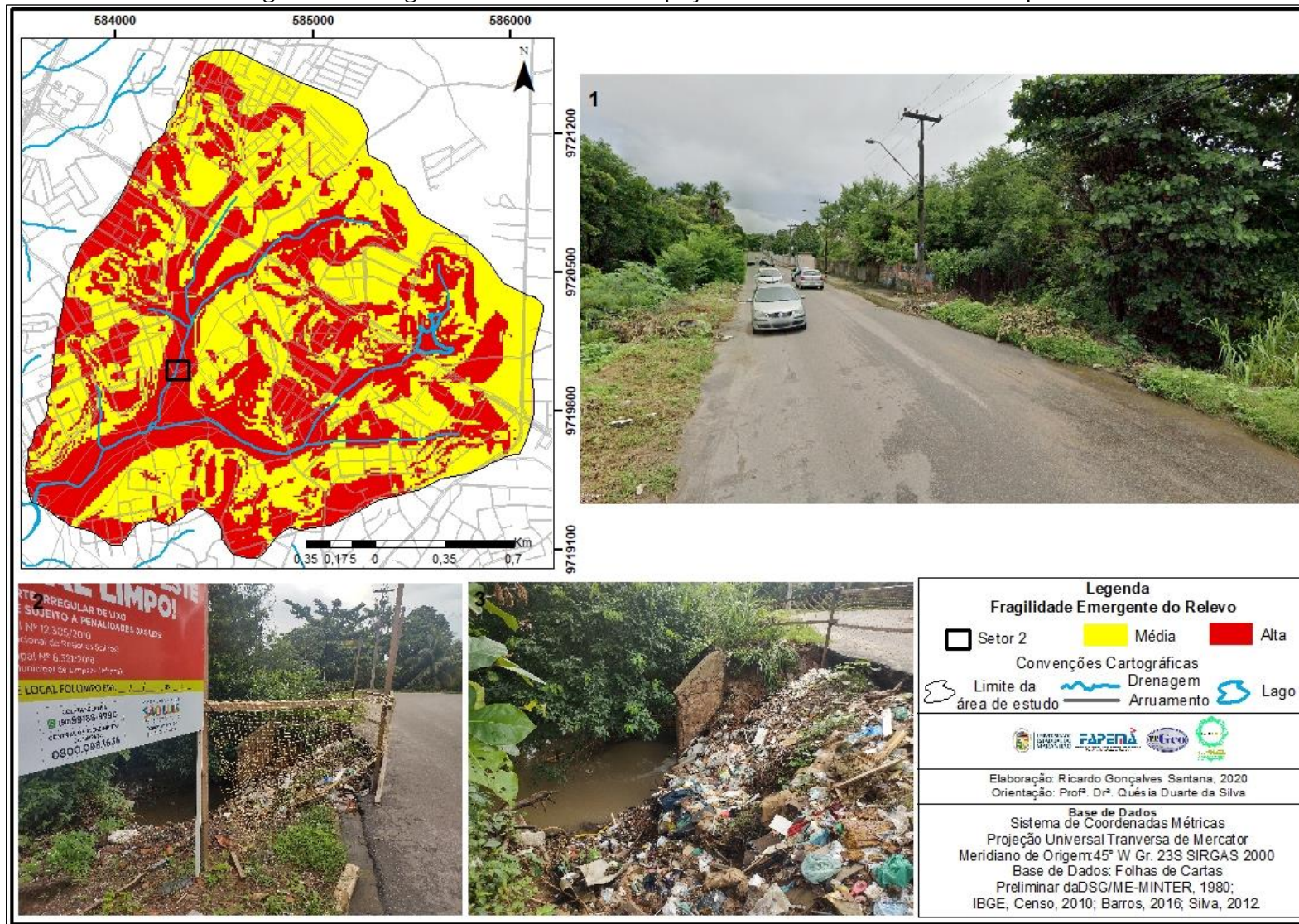
De acordo com a literatura especializada, baixas declividades com presença da rede de drenagem necessitam de uma margem de proteção, sejam para manutenção do equilíbrio ou para acomodação do extravasamento do leito maior.

A área em análise encontra-se entre os bairros Bequimão e Angelim, com presença da planície fluvial, que em virtude da necessidade de novas áreas para ocupação, está sob constante ameaça imobiliária, pois já possui condomínios habitacionais verticais em suas proximidades.

Sobre as alterações impostas nas planícies fluviais, no contexto urbano, Luz e Rodrigues (2020) afirmam que

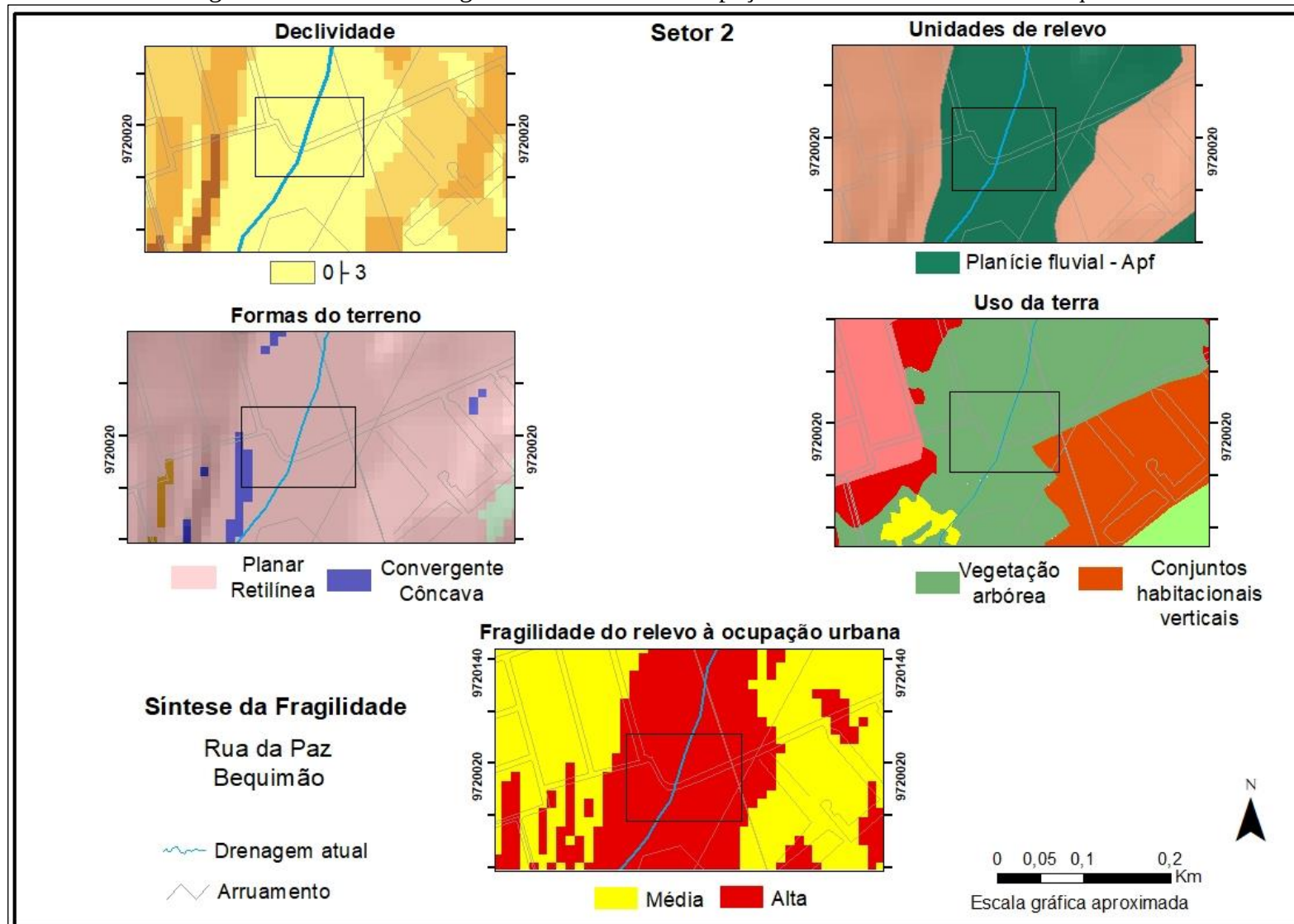
[...] a expansão urbana tem resultado em intervenções diretas nessas formas fluviais, como, por exemplo, a construção de reservatórios e sistemas de drenagem, a retificação e ampliação da seção transversal de canais fluviais, a construção de margens e diques artificiais, a disposição de aterros sobre planícies de inundação e a ocupação generalizada de terrenos originalmente ocupados por inundações. Na maioria das vezes, esse conjunto de intervenções resulta na redução da capacidade original de atenuação das cheias, funcionalidade hidrológica própria de vastos setores dessas planícies (LUZ; RODRIGUES, 2020, p. 343).

Figura 57 – Fragilidade ambiental à ocupação urbana na Rua da Paz – Bequimão



Fonte: Própria pesquisa, 2020.

Figura 59 – Síntese da fragilidade ambiental à ocupação urbana na Rua da Paz – Bequimão



Fonte: Própria pesquisa, 2020.

A forma de terreno predominante na área em questão é planar retilínea, com presença da forma convergente côncava. Estas características estão inter-relacionadas à atividade hidrológica, uma vez que a ação humana impermeabiliza o terreno, o que aumenta o volume do escoamento superficial que converge em direção à drenagem alterada.

Nesta área de planície, há presença de dois condomínios habitacionais verticais, Cais da Sagração e Divino, ambos construídos sobre a planície fluvial pré-existente à urbanização, resultando na descaracterização da área e colaborando para o avanço da expansão urbana, suprimindo a dinâmica do canal fluvial presente.

Identificou-se a disposição irregular de resíduos sólidos nas margens do canal fluvial existente sob a rua da Paz, a fim de conter o avanço da erosão do canal em direção à via. Em conversas com a população local, foi identificado a existência de coleta regular dos resíduos sólidos.

A partir da integração das variáveis que compõem a fragilidade emergente da sub-bacia hidrográfica do riacho do Angelim, diagnosticou-se uma alta fragilidade na rua da Paz, pois apresenta declividades menores que 3%, presença de curso d'água, planície fluvial e vegetação arbórea, sendo predominantemente uma área permeável, o que pode acelerar a erosão marginal.

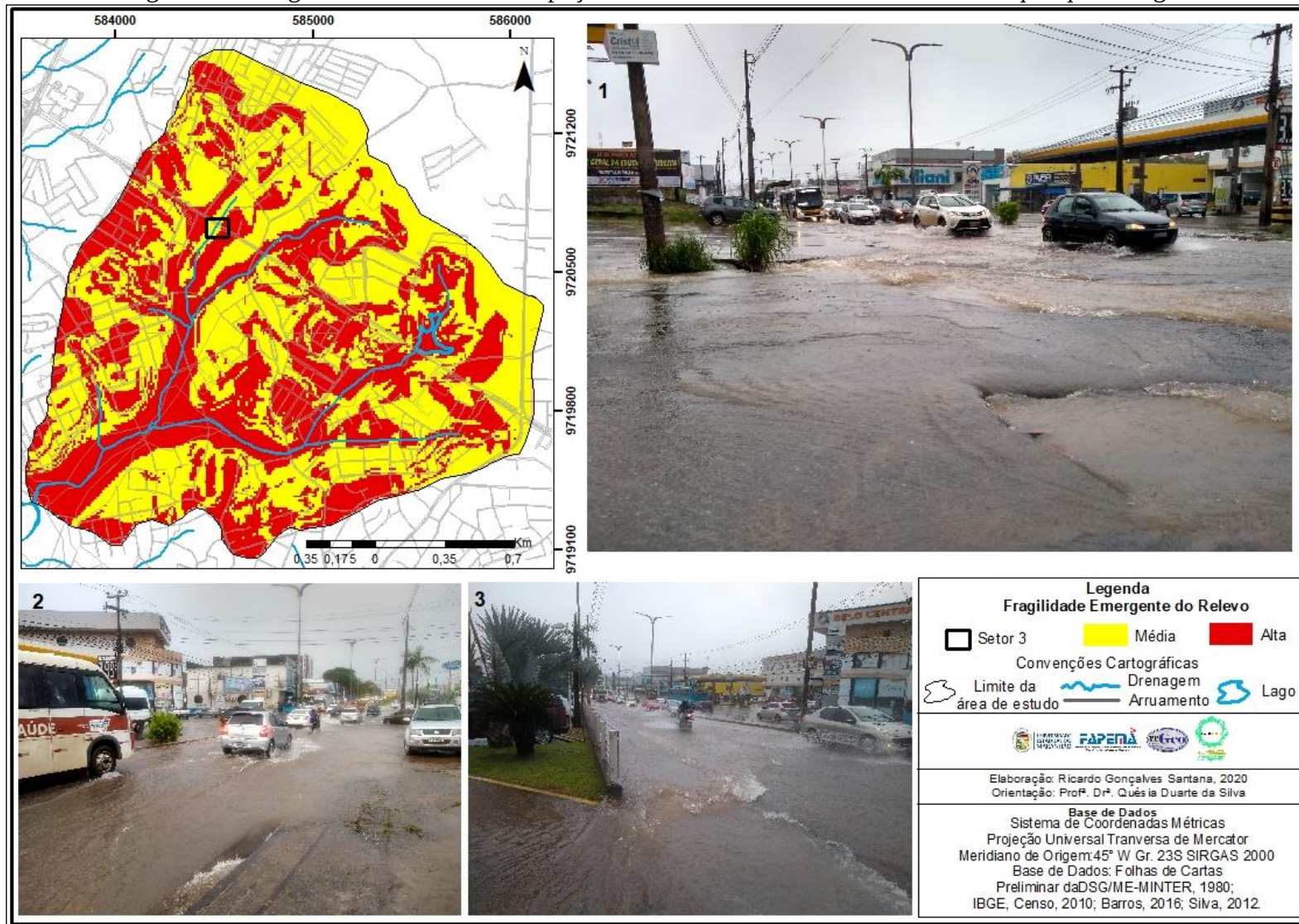
Na avenida Jerônimo de Albuquerque, no Angelim, há presença de três canais que foram tubulados para melhorias na avenida, mas a drenagem da área é ineficaz diante do grande volume de águas pluviais procedentes dos tabuleiros e das colinas impermeabilizadas. Desta forma, há a deflagração dos alagamentos e inundações na área, prejudicando o fluxo veicular da avenida (Figura 59 e 60).

Sobre os alagamentos, França (2019), ao analisar a Vulnerabilidade ambiental a alagamento no alto curso do Santo Antônio, Ilha do Maranhão, afirma que

[..]são eventos que não estão diretamente relacionados ao canal fluvial, mas sim ao sistema de drenagem urbana, sendo um fenômeno recorrente nas cidades brasileiras e com consequências negativas diversas, tais como perdas materiais, problemas relacionados à saúde, trânsito de veículos e pedestres, entre outros (FRANÇA, 2019, p. 172).

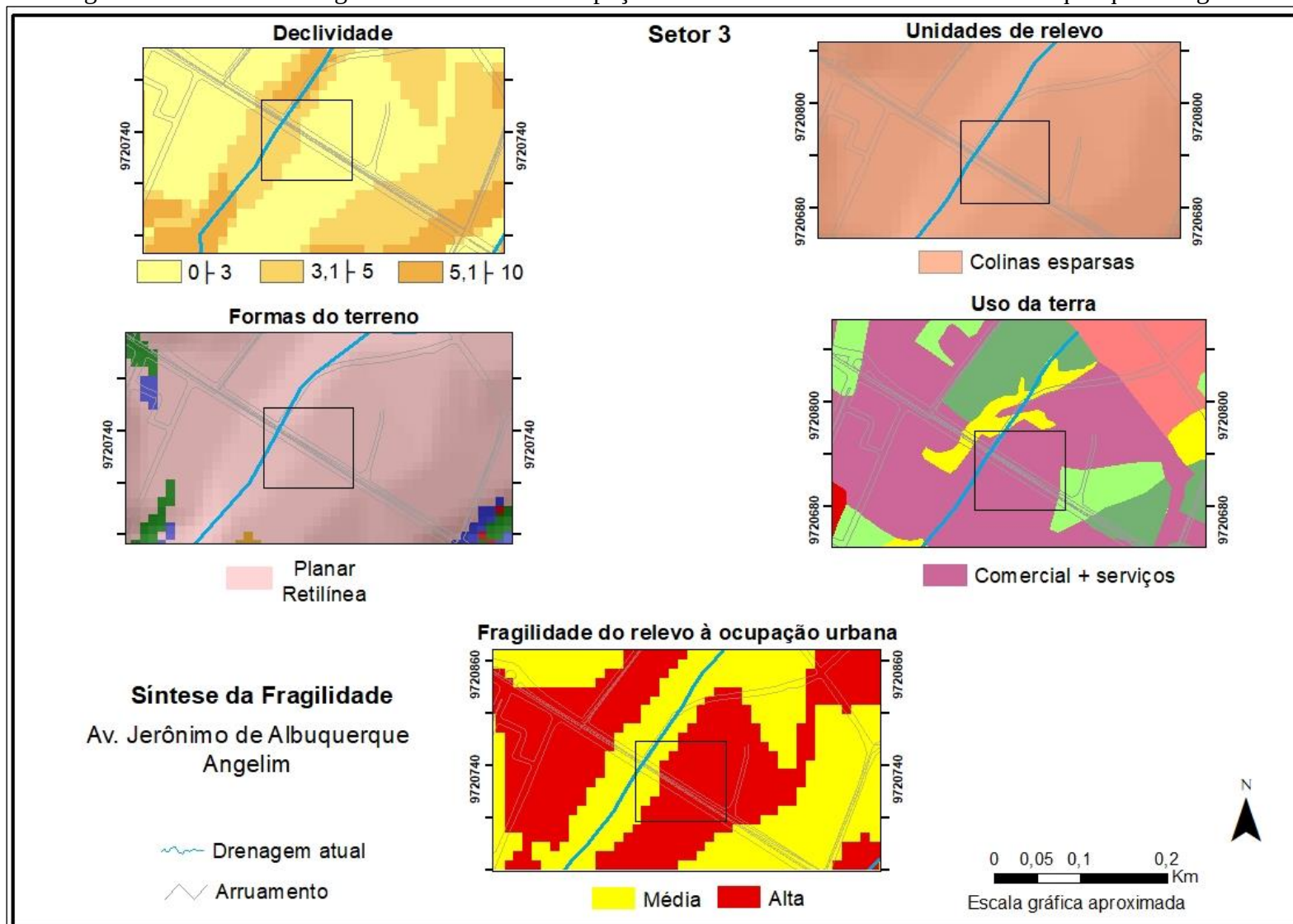
Observa-se a variação de média a alta fragilidade presente no decorrer da avenida citada, com existência do canal fluvial e acredita-se que ele foi intensamente alterado, sendo retificado e aterrado. As modificações realizadas não suportam o volume das águas pluviais, somado ao esgotamento sanitário, o que origina os alagamentos na área.

Figura 59 – Fragilidade ambiental à ocupação urbana na Avenida Jerônimo de Albuquerque - Angelim



Fonte: Própria pesquisa, 2020.

Figura 60 – Síntese da fragilidade ambiental à ocupação urbana na Avenida Jerônimo de Albuquerque - Angelim



Fonte: Própria pesquisa, 2020.

A área em análise encontra-se intensamente modificada, com vertentes impermeabilizadas e declividades entre 0 ‣ 3%, 3,1 ‣ 5% e 5,1 ‣ 10%. A unidade de relevo predominante na área, atualmente, são as colinas esparsas, pois a planície fluvial e de inundação foram alteradas para implantação da avenida.

Versolato (2019) considera que as alterações provenientes da urbanização são de primeira ordem, pois a partir do momento que os componentes naturais são explorados de forma predatória, o relevo torna-se vulnerável à ocupação.

Logo, afirma-se que esta lógica é comum no sistema de produção capitalista, sendo que os conflitos, desigualdade e degradação são produtos da apropriação, ocupação e transformação dos componentes naturais, visto que, passam a ter valor de troca.

A forma planar retilínea e o uso comercial e serviços na área corroboram para deflagração dos alagamentos, dado que o aspecto retilíneo da área contribui para o acúmulo das águas pluviais, que se conectam e direcionam-se para as cotas de menor valor.

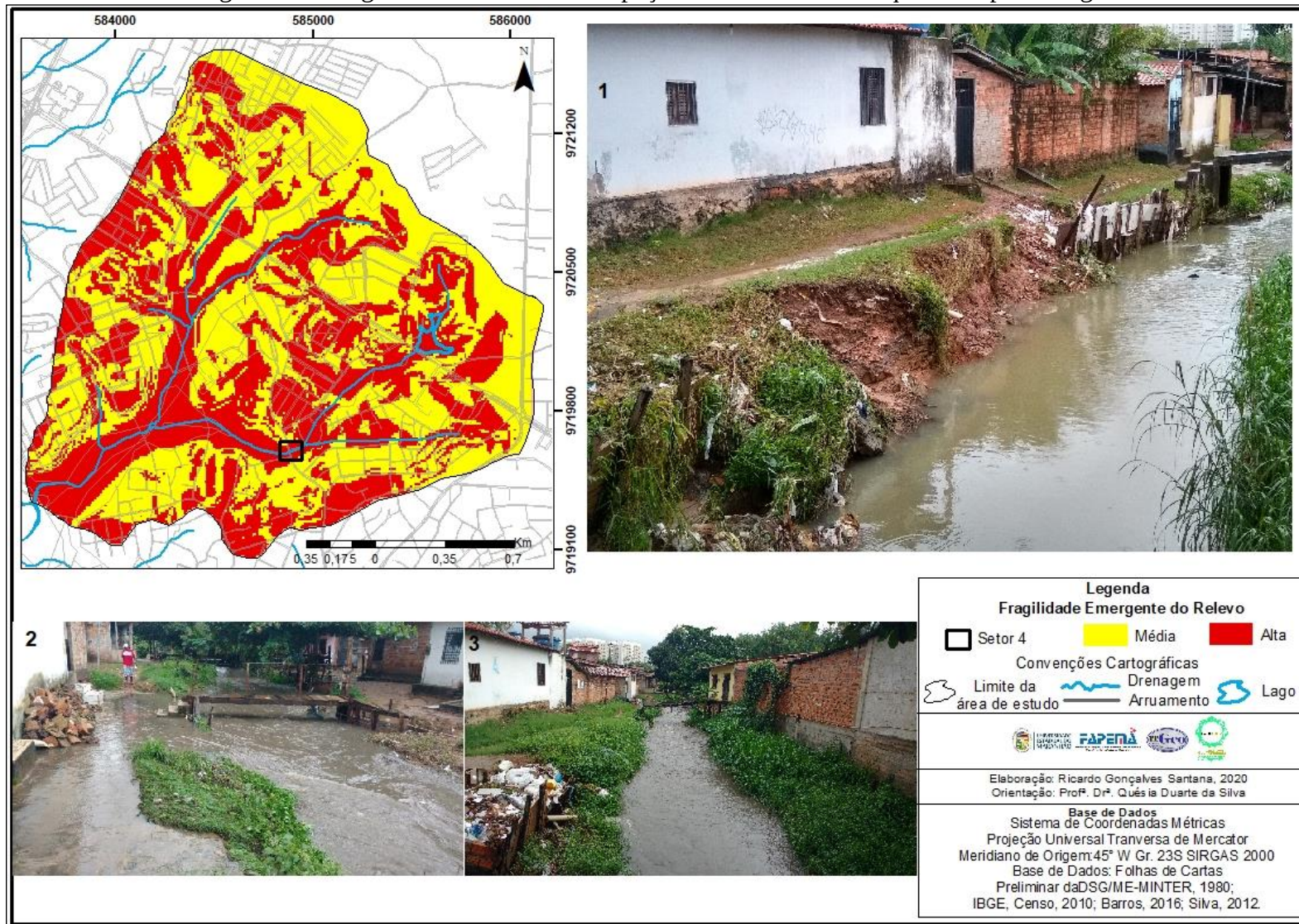
Por apresentar uma variação de média a alta fragilidade e por estar no período urbano consolidado (NIR, 1983), a área em questão necessita de melhorias na drenagem urbana, a fim de amenizar os transtornos causados pelo alagamento na via.

O setor 4, localizado na rua Tarquínio Lopes, Angelim, apresenta alta fragilidade à ocupação urbana; possui residências construídas a menos de cinco metros do canal fluvial. Com as margens descaracterizadas e ocupadas, deflagram-se as inundações. Os residentes pontuam que em eventos chuvosos de grande intensidade, com curta ou grande duração, há o transbordamento do canal, atingindo as moradias (Figuras 61 e 62).

Na imagem número um, observa-se a erosão marginal provocada pelo aumento do volume de águas, resultantes de intensas precipitações que ocorrem no período chuvoso. Todo o esgotamento sanitário e escoamento superficial são direcionados para o curso d'água, o que colabora para deflagração das inundações.

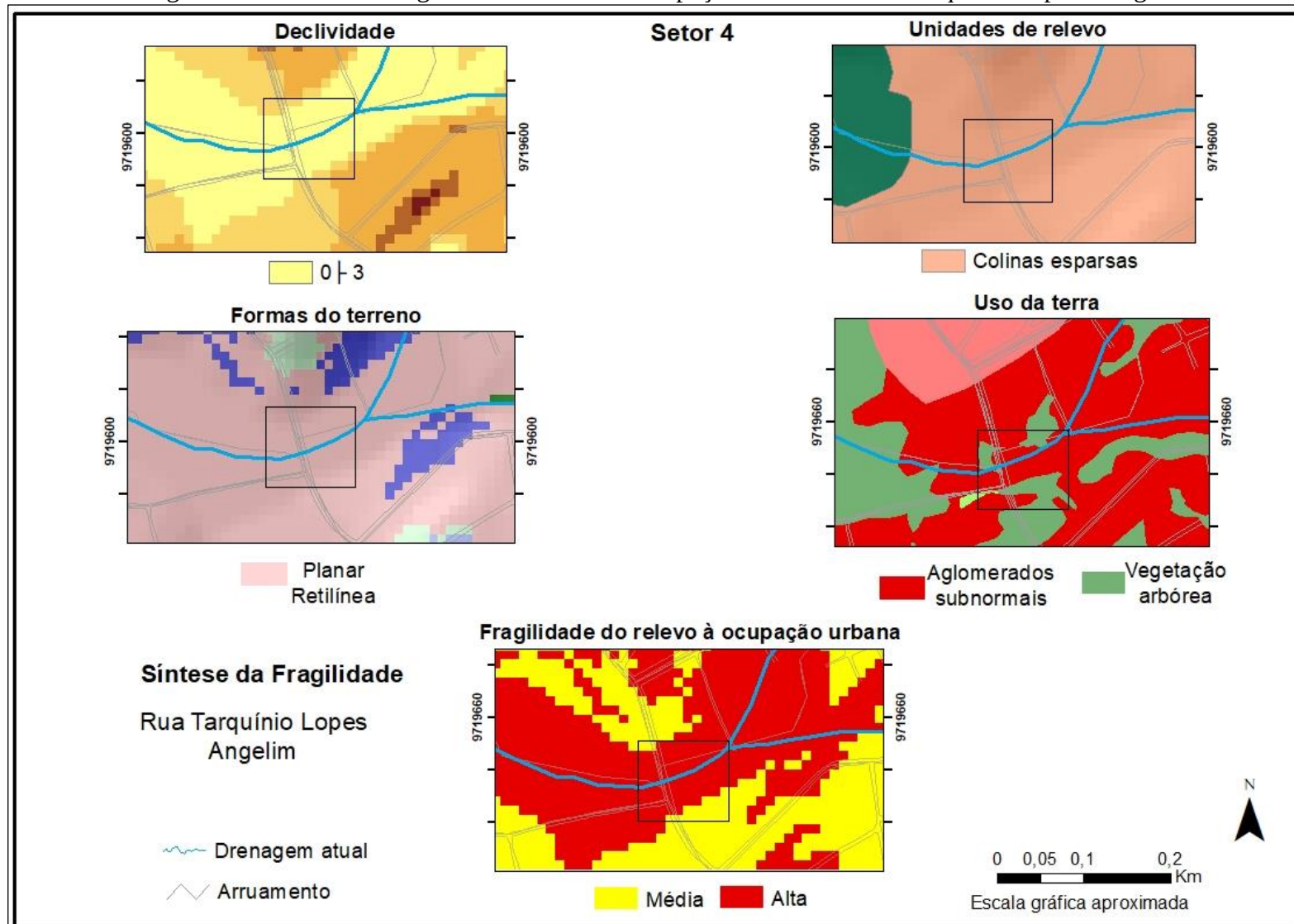
Destaca-se que há um pequeno depósito de resíduos sólidos às margens do canal, o que contribui para a degradação e possibilidade de disseminação das doenças de veiculação hídrica.

Figura 61 – Fragilidade ambiental à ocupação urbana na Rua Tarquínio Lopes - Angelim



Fonte: Própria pesquisa, 2020.

Figura 62 – Síntese da fragilidade ambiental à ocupação urbana na Rua Tarquínio Lopes - Angelim



Fonte: Própria pesquisa, 2020.

As classes de declividade que predominam na área em análise não ultrapassam os 3%, com presença da rede de drenagem, sendo característica principal de locais frágeis à ocupação e com maior probabilidade de ocorrências das inundações. De acordo com a população local, no passado, o curso d'água contava com uma largura moderada, que a partir das ocupações, foram aterrando as margens e fixando residências.

A respeito das planícies de inundação, a literatura especializada contribui que

Durante os períodos chuvosos, quando as vazões superam a capacidade de escoamento do canal fluvial (leito menor), ocorre o extravasamento das margens plenas e as águas espraia-se na planície de inundação. Portanto, as planícies de inundação desempenham a função de armazenamento temporário de águas, aumentando o tempo de concentração de água na bacia hidrográfica e reduzindo as vazões de pico (MOROZ-CACCIA GOUVEIA; RODRIGUES, 2015, p. 266).

Na área em análise foi diagnosticado que no entorno do canal está totalmente ocupado, com moradias praticamente dentro dos canais fluviais ou sobre o que degradou a planície de inundação pré-existente, interferindo de forma direta na dinâmica geomorfológica do canal.

Considerando os aspectos do relevo nesta localidade, há o predomínio de famílias de baixa renda, que ocuparam de forma inapropriada as margens fluviais no entorno do canal. Anualmente, no período chuvoso, estas famílias sofrem com o transbordamento das águas, inundando suas moradias. Segundo relatos, já houve moradores que tiveram perdas significativas.

A predominância dos aglomerados subnormais na área, deu-se em razão das características socioeconômicas da população residente, uma vez que são famílias com baixo poder aquisitivo, que ocuparam áreas ambientalmente frágeis, reflexo da falta de planejamento ambiental e territorial adequado.

A dinâmica de ocupação da área ocorreu de forma seletiva, pois a partir dos dados gerados, observou-se predomínio de um padrão residencial, de médio a alto, nos compartimentos do relevo com aspectos planos e distantes dos canais fluviais; e um padrão residencial inferior, o que indica a desigualdade de classes dos indivíduos que estabelecem domicílios nas diferentes unidades de relevo.

Neste sentido, a metodologia aplicada para obtenção da fragilidade à ocupação urbana demonstrou-se viável para análises em áreas com intensas modificações humanas, logo a partir das características de cada localidade, ocasionalmente é necessário realizar adaptações.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através da interação entre a ação humana e o relevo, é possível estabelecer as inter-relações necessárias para a compreensão da fragilidade ambiental à ocupação urbana. A sociedade atua de forma predatória sobre as morfologias, uma vez que são apropriadas e ocupadas sem estudos prévios, o que resulta no surgimento e intensificação de determinados processos hidrogeomorfológicos.

É por meio da geomorfologia urbana, que é possível compreender o ser humano como agente modificador do relevo, tendo em vista todos os avanços tecnológicos conquistados. Assim, com a intensa atividade humana em uma localidade, torna-se evidente estas modificações, pois a capacidade humana de promover alterações nos elementos ambientais supera o tempo geológico, refletindo de forma direta nas áreas frágeis.

A sub-bacia hidrográfica do riacho do Angelim, apresenta uma dimensão areal de 4,34 km², localizada no médio curso da bacia hidrográfica do rio Anil ao noroeste da Ilha do Maranhão, no município de São Luís.

Em relação às características litológicas, há predominância do Grupo Barreiras, com areias finas a médias e concentrações ferruginosas, com intercalações argilosas caulínicas; da Formação Açuí, com areia fina a média madura a submatura, com estratificação cruzada e argila arenosa maciça e bioturbada, compreendendo os depósitos aluvionares e coluvionares; e os depósitos de mangue. Sugere-se que os depósitos aluvionares e coluvionares perderam suas características em função da atividade humana (expansão urbana), uma vez que, deixam de ser alimentados ou estão sendo erodidos.

Os tabuleiros, as colinas esparsas, a planície fluvial e planície de maré compreendem as unidades de relevo. Com exceção da planície fluvial e de maré, os tabuleiros e as colinas estão densamente urbanizadas; destaca-se a ocupação inadequada dos tabuleiros, uma vez que são locais de recarga de aquíferos.

As formas do terreno indicam o direcionamento do fluxo dominante, assim como os tipos de vertentes. A forma de terreno planar retilínea apresenta maior representação areal; desta forma, os fluxos caracterizam-se por serem de dispersão, transição e concentração.

Ressalta-se que os solos da sub-bacia hidrográfica do riacho do Angelim estão alterados, uma vez que a área apresenta altas porcentagens de impermeabilização e remobilização de materiais.

Observou-se que os canais fluviais passaram por intensas modificações, houve alterações significativas que resultaram no desaparecimento ou aterramento dos canais de primeira ordem, alterando assim a dinâmica hidrológica da área.

As altitudes do relevo da área não ultrapassam 50 metros e as classes de vinte a trinta e cinco metros prevalecem na área de estudo. Em relação à clinografia, há o predomínio de baixas declividades, não excedendo 30%, com base na literatura especializada.

A área objeto de estudo apresentam 70,9% com áreas urbanizadas, o que implica afirmar que a população residente ocupa áreas que apresentam fragilidade à ocupação urbana, com destaque para os fundos de vale, margens dos canais fluviais e áreas de nascentes. Esta característica resulta na elevada taxa de impermeabilização do solo, o que gera um aumento do escoamento superficial na área.

Sobre o uso e cobertura da terra, há predominância de aglomerados subnormais e os condomínios habitacionais horizontais e verticais. Identificou-se usos transgressivos à legislação, onde áreas de preservação permanente foram ocupadas irregularmente. De acordo com os aspectos sociais e das observações de campo, a população que ocupa esses locais é predominantemente de baixa renda, sobrevivendo com até no máximo dois salários mínimos.

A ocupação urbana na sub-bacia hidrográfica do Angelim é preocupante, pois 15% das residências foram construídas em áreas de nascentes, nas margens da planície de maré e nas proximidades dos canais, indo em direção contrária à legislação brasileira, sobre os canais fluviais e dentro destes. Logo, a forma de ocupação acelera os processos hidrogeomorfológicos. Destaca-se a ocorrência de inundações, alagamentos e sulcos erosivos na área em análise.

O mapeamento da fragilidade identificou áreas ambientalmente frágeis à ocupação, indicando maior possibilidade de haver degradação. Neste sentido, tem-se cerca de 45,6% da área com média fragilidade emergente e 54,4% com alta fragilidade emergente à ocupação.

Destaca-se a classe de alta fragilidade, pois refere-se às áreas que apresentam dinâmicas naturais específicas, somadas ao uso e cobertura da terra. Estas áreas estão inter-relacionadas às planícies de maré e fluvial, que apresentam processos distintos, pois é de grande importância a preservação destas áreas para manutenção do equilíbrio.

A fragilidade ambiental é uma metodologia de grande valia para análise das inter-relações entre os aspectos naturais e sociais, contribuindo de forma efetiva para o subsídio às políticas públicas e ao re-ordenamento territorial da área.

REFERÊNCIAS

- AB'SABER, A. N. Um conceito de geomorfologia a serviço das pesquisas sobre o Quaternário. **Geomorfologia**, São Paulo, n. 18, p. 1-23, 1969.
- ALMEIDA, H. G. (Org.) **Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. São Luís SW/NW, Folhas SA. 23-V e SA. 23-Y. Estados do Pará e Maranhão**. Escala 1:500.000. Brasília: CPRM, 2000.
- ALVES, N. M. S.; SILVA, D. B. ; FORTES, H. G. ; SANTANA, B. L. P. . **Avaliação ecodinâmica da bacia hidrográfica do Rio Paramopama - São Cristóvão/Sergipe**. In: Archimedes Perez Filho, Raul Reis Amorim. (Org.). Os Desafios da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento. 1ed.Campinas/SP: Instituto de Geociências - UNICAMP, v. 1, p. 654-666, 2017.
- ANGULO, R. J. **O manguezal como unidade dos mapas geológicos**. In: Simpósio de Ecossistemas da Costa Sul e Sudeste Brasileira, v. 2, Águas de Lindóia. Resumos Expandidos, ACIESP, São Paulo, 1990.
- ANGULO, R. J. **Geologia da planície costeira do estado do Paraná**. Tese (Doutorado em Geologia Sedimentar). Universidade de São Paulo – Instituto de Geociências, São Paulo, 1992.
- AMADOR, E. & DIAS, G. T. M. **Considerações preliminares sobre depósitos do terciário superior no norte do Espírito Santo**. In. Acad. Bras. Ciências, 50(1):121-122, 1978.
- AMARAL, R. do; GUTJAHR, M. R. **Desastres Naturais**. Instituto Geológico/Secretaria de Meio Ambiente – Série Cadernos de Educação Ambiental, São Paulo, 2011.
- ALVES, G. M. R. & FERREIRA, M. M. Uso do solo em áreas de preservação permanente (app) na bacia do córrego do pântano, município de Alfenas-MG. **Revista de Geografia**, v. 6, p. 329-337, 2016.
- ARAÚJO, R. R; SANT'ANNA NETO, J. L. O processo de urbanização na produção do clima urbano de São Luís-MA. In: SANT'ANNA NETO, J. L. (Org.). **Os Climas das Cidades Brasileiras**. Presidente Prudente: UDUNESP, 2002. p. 21- 41.
- ARAÚJO, G. H. de S; ALMEIDA, J. R. de; GUERRA, A. J. T. **Gestão Ambiental de Áreas Degradadas**. Rio de Janeiro. Bertrand Brasil, 2005.
- AYOADE, J. O. **Introdução à Climatologia para os Trópicos**. São Paulo: Difel, 1996.
- BARBOSA, G. R. **Contribuição para o mapeamento de Fragilidade Ambiental para áreas urbanas: estudo de caso da bacia do Ribeirão Anicuns, no município de Goiânia (GO)**. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Goiás, Unidade Acadêmica Especial de Estudos Geográficos, Jataí, 2020.
- BARBOSA, T. S. **Geomorfologia Urbana e Mapeamento Geomorfológico do Município de João Pessoa – PB, Brasil**. Dissertação (Mestrado) - UFPB/CCEN – João Pessoa, 2015.

BERNARDELLI, V. C. **Diagnóstico das alterações geomorfológicas em área de expansão urbana no setor sul de Araras (SP): subsídio para o planejamento urbano**. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro, 2019.

BERTRAND, G. Paisagem e geografia física global. Esboço metodológico. **REV. RAÍE GA**, Curitiba, n. 8, p. 141-152, Editora UFPR, 2004.

BELFORT, J. F. **A verticalização na Cidade de São Luís – O processo de crescimento vertical nos bairros do Bequimão e Maranhão Novo**. Monografia (Graduação em Geografia) Departamento de Geografia, Universidade Federal do Maranhão. São Luís, 1998.

BERTALANFFY, L. **Teoria geral dos sistemas**. 2 ed. Petrópolis: Vozes, 1975.

BIGARELA, J. J; ANDRADE, G. O. Considerações sobre a estratigrafia dos sedimentos cenozóicos em Pernambuco (Grupo Barreiras). Universidade de Recife, Arquivos do **Inst.Ciêñ. Terra**, Recife, 2:2-14, 1964.

BIGARELLA, J. J; BECKER, R. D; SANTOS, G. F; PASSOS, E; SUGUIO, K. **Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais**. 2. ed. Florianópolis: Editora da UFSC, 2007.

BOTELHO, R. G. M. **Bacias hidrográficas urbanas**. In: GUERRA, A. J. T. (Org). Geomorfologia urbana. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011.

BRANCO, J. C. **Alterações morfológicas na foz do rio Cachoeira, estado do Paraná, com base na análise da evolução das unidades de planície de maré**. Dissertação (Mestrado), Departamento de Geologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

BRASIL. Congresso Nacional. **Lei n. 12.651 de 25 de maio de 2012**. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa. Disponível em <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm> Acesso em: 26 jun. 2020.

BROWN, E. H. **O homem modela a Terra**. In: Boletim Geográfico do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Rio de Janeiro, n. 222, p. 03-18, mai/jun, 1971.

CARDOSO, F. J. Análise, concepção e intervenções nos fundos de vale da cidade de Alfenas. **Labor & Engenho**, v. 3, n. 1, p. 1-20, 2009.

CALDANA, N. F. da S; YADA JUNIOR, G. M; MOURA, D. A. V. de; COSTA, A. B. F. da; CARAMORI, P. H. Ocorrências de alagamentos, enxurradas e inundações e a variabilidade pluviométrica na bacia hidrográfica do rio Iguaçu. **Revista Brasileira de Climatologia**, [S.l.], v. 23, nov. 2018.

CASSETI, V. **Geomorfologia**. 2005. Disponível em: <http://www.funape.org.br/geomoforlogia.htm>. Acesso em 18 de Mar 2020.

_____. **Ambiente e apropriação do relevo**. Contexto. São Paulo, 1991.

_____. **Elementos de Geomorfologia**. Goiânia: Editora da UFG, 1994.

CASTRO, R. G. de; CARVALHO, J. A. L. de . Bacias hidrográficas urbanas: uma análise socioambiental da bacia hidrográfica urbana do igarapé Xidarini em Tefé-AM. **Revista Geonorte**, v. 9, p. 246-250, 2018.

CHENGTAI, D. An approach to theory and methods of urban geomorphology. **Chinese Geographical Science**. Beijing, n. 1, p. 88-95, oct. 1996.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo: Edgard Blucher, 1980.

CORRÊA, R. L. e ROSENDAHL, Z. (Org.) **Paisagem, tempo e cultura**. Rio de Janeiro: EdUERJ, 1998.

CRESTANI-MAGALHÃES, G. A.; OLIVEIRA, E. A. ; FERNANDES, F. ; DIAS-OLIVEIRA, E. D. . Reflexões sobre a contribuição da Geomorfologia no estudo da paisagem urbana. **Revista de Geografia, Meio Ambiente e Ensino - GEOMAE (Online)**, v. v. 6, p. p. 89-98, 2015.

COLÂNGELO, A. C. Modelo de Feições Mínimas ou das Unidades Elementares do Relevo: um suporte cartográfico para mapeamentos geoecológicos In: **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, n.10, p.29-40, 1996.

COSTA, C. M. **Risco de inundações no alto curso da bacia hidrográfica do rio Anil**. Dissertação (Mestrado em Geografia). São Luís: UEMA, 2018.

CRUZ, W. L. DA; RIBEIRO, D. DE Q ; PEREIRA, E. D. Conflitos de uso e ocupação em áreas de preservação permanente na bacia do rio Anil - São Luís, MA. **Revista Geonorte**, v. 11, p. 229-247, 2020.

CUNHA, S. B. da; GUERRA, A. J. T. **Degradação Ambiental**. In: CUNHA, S. B. da; GUERRA, A. J. T.(Org). Geomorfologia e meio ambiente. 3 ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2000.

CURVELO-MATOS, H. R. **Análise toponímica de 81 nomes de bairros de São Luís-MA**. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Ceará, UFC, Brasil, 2014.

DAMAME, D. B; OLIVEIRA, E. D. de; LONGO, R. M. Impactos ambientais pelo uso e ocupação do solo em sub bacias hidrográficas de Campinas, São Paulo, Brasil. **Acta Brasiliensis**, v. 3, p. 1-7, 2019.

DIAS, E. R. Geração de Modelo Digital de Elevação utilizando dados do SRTM como subsídio ao planejamento e gestão territorial do município de Lucena/PB. **Caderno de Geografia**, v. 26, n. 45, 2016.

DREW, D. **Processos interativos homem-meio ambiente**. 6ª edição. Editora Bertrand Brasil. Rio de Janeiro. 224 p, 2005.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema brasileiro de classificação dos solos**. Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Embrapa Produção de Informação – Brasília, DF : Embrapa Solos, 2018.

ERHART, H. A teoria bio-resistásica e os problemas biogeográficos e paleobiológicos. **Notícia Geomorfológica**. Ano VI, n 11, p. 51 a 58. Campinas, junho de 1966.

FELDS, E. **Geomorfologia Antropogenética**. In: Boletim Geográfico do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Rio de Janeiro, n. 144, p. 354-357, mai/jun, 1958.

FERRAZ, C. M. L.; VALADÃO, R. C. **Barreiras: formação ou grupo? (contribuições da análise geomorfológica do litoral sul da Bahia e das “chapadas” do Jequitinhonha)**. In: CONGRESSO ABEQUA, 10., 2005, Guarapari. Resumos Expandidos... Guarapari: ABEQUA, 2005.

FERREIRA, A. B. H. **Miniaurélio Século XXI: o minidicionário da Língua Portuguesa**. (Org). Margariada dos Anjos. 4 ed – Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 2001.

FIERZ, M. de S. M. **As abordagens sistêmica e do equilíbrio dinâmico na análise da fragilidade ambiental do litoral do Estado de São Paulo: contribuição à geomorfologia das planícies costeiras**. Tese (Doutorado em Geografia Física) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

FLORENZANO, T. G. Introdução à Geomorfologia. In: FLORENZANO, T. G. (Org.). **Geomorfologia conceitos e tecnologias atuais**. São Paulo: Oficina de Textos. 320 p. 2008.

FOREST-GIS – **Classificação de imagens no ArcGis 10.2**. Disponível em <<http://www.forest-gis.com>> (2017) Acesso em 10 de Mai de 2020.

FRANÇA, D. V. B. **Vulnerabilidade ambiental a alagamentos no alto curso da bacia hidrográfica do Santo Antônio, Ilha do Maranhão**. Dissertação (Mestrado). PPGeo – UEMA, São Luís, 2019.

FRANZIN, M. E. **Avaliação da fragilidade e dos efeitos da urbanização sobre o relevo no setor oeste da cidade de Rio Claro (SP)**. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas. -Rio Claro, 2018.

FUNDAÇÃO CEARENSE DE METEOROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS – FUNCEME. **Sistemas meteorológicos causadores de chuva na região nordeste do Brasil**. 2002. Disponível em <https://goo.gl/cRjcSq>. Acesso em 02 de Mai de 2020.

FUJIMOTO, N. S. V. M. A urbanização brasileira e a qualidade ambiental. In: SUERTEGARAY, D. M. A.; BASSO, L. A.; VERDUM, R. (orgs.). **Ambiente a Lugar no Urbano**: A Grande Porto Alegre. Porto Alegre: Editora Universidade, 2000.

FUJIMOTO, N. S. V. M. Considerações sobre o ambiente urbano: um estudo com ênfase na geomorfologia urbana. **Revista do Departamento de Geografia (USP)**, São Paulo, n.16, p. 76-80, 2005.

FUSHIMI, M; PEDRO MIYAZAKI, L. C. Processos geomorfológicos de degradação decorrentes das inter-relações entre uso e ocupação dos compartimentos de relevo e

precipitação das áreas urbanas e rurais de Presidente Prudente, Estado de São Paulo, Brasil. **Élisée - Revista de Geografia da UEG**, v. 8, p. 1-19, 2019.

GAYOSO, R. C. **Fragilidade ambiental e vulnerabilidade social para análise integrada do espaço geográfico: bacia hidrográfica no Jardim Ângela (São Paulo - SP)** [Dissertação]. São Paulo: Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo; 2014.

GAMA, J. R. N. F; ARAÚJO, E.P; LOPES, J. R; TELES, M. G. L; SANTOS, A. H. M & CARVALHO FILHO, R. **Solos e Bacias Hidrográficas da ilha do Maranhão**. São Luís. UEMA, 2012.

GERASIMOV, I. P.; MESCHERIKOV, J. A. Morphostructure. **The Encyclopedia of Geomorphology. Encyclopedia of Earth Sciences**, v. III, Fairbridge, R.W. ed., Dowden, Hutchinson & Koss Inc., Pegerannsylvania, 1968. p. 731-732.

GONÇALVES, F. S; MOURA, N. S. V. A expansão urbana sobre o relevo do município de Sapucaia do Sul – RS. **Boletim Gaúcho de de Geografia**, v. 43, n. 2, dezembro, 2016.

GOUDIE, A. Human influence in geomorphology. **Geomorphology**. v. 53, n. 7, p. 37-59, 1993.

_____. Anthropogeomorphology. In: GOUDIE, A. S. **Encyclopedia of Geomorphology**. Volume 1. Londres e Nova York: Routledge, p. 25-28, 2004.

_____. **The human impact on natural environment: past, present and future**. Oxford: Blackwell Publishing, 2006.

GOUDIE, A; VILES, H. **The earth transformed** – An introduction to Human Impacts on the Environment. Oxford: Blackwell Publishers, 1997.

GIOMETTI, A. B. R.; PITTON, S. E. C. ; ORTIGOZA, S. A. G. . **Leitura do espaço geográfico através das categorias: lugar, paisagem e território**. In: Analúcia Bueno dos Reis Giometti. (Org.). Caderno de formação: formação de professores didática de conteúdos.. 1ed.São Paulo: Cultura Acadêmica, v. 1, p. 33-41, 2012.

GUERRA, A. T. **Dicionário geológico-geomorfológico**. 8 ed. Rio de Janeiro – IBGE, 1993.

GUERRA, A. T; GUERRA, A. J. T. **Novo Dicionário Geológico-Geomorfológico**. 6ª ed. Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, 2008.

GUERRA, A. J. T. Geomorfologia e Planejamento Ambiental - Conceitos e Aplicações. **Revista de Geografia** (Recife), v. 35, p. 265-282, 2018.

GUERRA, A. J. T; MARÇAL, M. dos S. **Geomorfologia Ambiental**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2006.

GUEZZI, A. O. **Avaliação e mapeamento da fragilidade ambiental da Bacia do Rio Xaxim, Baía de Antonina-PR, com o auxílio de geoprocessamento**. Dissertação de mestrado. Curitiba – Universidade Federal do Paraná, 2003.

GUIRRA, A. P. M. **Novas contribuições ao modelo de fragilidade ambiental à processos erosivos: estudo de caso aplicado ao perímetro urbano de Rondonópolis, Mato Grosso**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Mato Grosso. Instituto de Ciências Humanas e Sociais. Rondonópolis, 2017.

HAFF, P. K. Neogeomorphology, Prediction and the Anthropic Landscape. **Division of Earth and Ocean Science**. Durham, NC 27708, 2001.

HALDAR, A; SATPATI, L. N. Urban geo-forms: concept and significance in anthropogeomorphology. **Journal of Indian Geomorphology**. ISSN 2320-0731, Volume 6, 2018.

IBGE. **Folha SE 24 Rio Doce: geologia, geomorfologia, pedologia vegetação, uso potencial do solo**. Rio de Janeiro, 1987.

IBGE. **Manual Técnico de Geomorfologia**. 2 ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2009.

_____. **Manual Técnico do Uso da Terra**. Ed. 3, n. 7. Rio de Janeiro, 2013.

_____. **Aglomerados subnormais 2019 : classificação preliminar e informações de saúde para o enfrentamento à COVID-19 : notas técnicas**. Rio de Janeiro, 2020.

_____. **Províncias estruturais, compartimentos de relevo, tipos de solos e regiões fitoecológicas e outras áreas**. Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. - Rio de Janeiro : IBGE, 2019.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. **Tempo**. Gráficos. 2020. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=tempo/graficos>>. Acesso em: 2 mar. 2020.

JORGE, M. do C. O. Geomorfologia Urbana: Conceitos, Metodologias e Teorias. In: GUERRA, A. J. T (Org). **Geomorfologia Urbana**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, cap. 4, pag. 117-145, 2011.

KLEIN, E. L.; LOPES, E.C. S.; ANJOS, G. C.; TEIXEIRA, S. G.; MOURA, E. M. Unidades Litoestratigráficas. In: Serviço Geológico do Brasil (CPRM). **Geologia e Recursos Minerais do Estado do Maranhão**. Belém: CPRM , 2012. p. 41-88.

KOHLER, H. C. A. Escala na análise Geomorfológica. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v.2, n.1, p.21-23. 2002.

LIMA, M. N. S. **Classificação ecodinâmica das unidades de paisagem na área de preservação ambiental das onças, no município de São João do Tigre/PB**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal da Paraíba – João Pessoa, 2013.

LUZ, R. A.; RODRIGUES, C. O processo histórico de ocupação e de ocorrência de enchentes na planície fluvial do rio Pinheiros de 1930 até os dias atuais. **Geosp – Espaço e Tempo** (Online), v. 24, n. 2, p. 340-360, ago. 2020.

MACHADO, L. E.; LIMA, C. V. DE. Mapeamento geomorfológico da Bacia do Rio Água Limpa (GO) Com base em parâmetros morfométricos e morfográficos- DOI 10.5216/ag.v7i3.20271. **Ateliê Geográfico**, v. 7, n. 3, p. 79-109, 23 dez. 2013.

MACHADO, A. C. P. ; CUNHA, C. M. L. . A influência das características morfométricas do relevo na morfodinâmica: Um estudo da alta bacia do Rio Itanhaém (SP). **Geociências** (São Paulo. Online), v. 32, p. 322-344, 2013.

MARANHÃO. **Estudo de pedologia/cobertura vegetal**. Macrozoneamento do Golfão Maranhense. Diagnóstico Ambiental da Microregião da Aglomeração Urbana de São Luís e dos Municípios de Alcântara, Bacabeira e Rosário. São Luís: Sema/MMA/PNMA, 1998.

MARTINS, M. I. F. P. O; MATIAS, L. F. Mapeamento da distribuição do uso da terra urbana em Santos (SP). **Revista Ra'e Ga**, v.46, p. 185 -203, Curitiba, Abr/2019.

MEIRELES, M. **História do Maranhão**. São Paulo, Siciliano, 2001.

MENDES, A. C. P. **Alterações morfológicas decorrentes da expansão urbana no setor leste da cidade de Rio Claro (SP): subsídios ao planejamento urbano**. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro, 2015.

MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA, I. M. **Climatologia: noções básicas e climas do Brasil**. São Paulo: Oficina de Texto, 2007.

MEZZOMO, M. M; DE NÓBREGA, M. T. Paisagem na perspectiva integrada: alguns apontamentos. **Perspectiva Geográfica**, v. 4, n. 4, p. 153-168, 2008.

IPT. **Mapeamento de riscos em encostas e margens de rios**. Brasília: Ministério das Cidades; Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT, 2007.

MIYAZAKI, L. C. P. **Dinâmicas de apropriação e ocupação em diferentes formas de relevo: análise dos impactos e da vulnerabilidade nas cidades de Presidente Prudente/SP e Marília/SP**. Tese (Doutorado em Geografia) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2014.

MOROZ, I.C.; CANIL, K.; ROSS. J.L.S. Problemas Ambientais nas Áreas de Proteção aos Mananciais da Região Metropolitana de São Paulo. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, n.7, p.35-48, 1994.

MOROZ-CACCIA GOUVEIA, I. C.; RODRIGUES, C. Mudanças morfológicas e efeitos hidrodinâmicos do processo de urbanização na bacia hidrográfica do rio Tamanduateí – Região Metropolitana de São Paulo. **Geosp – Espaço e Tempo** (Online), v. 21, n. 1, p. 257-283, abril. 2017.

MORAES, A. C. R. **Geografia: pequena história crítica**. 14 ed. São Paulo: Hucitec, 1998.

MOROZ-CACCIA G. I.; ROSS, J. Fragilidade Ambiental: uma proposta de aplicação de geomorphons para a variável relevo. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 37, p. 123-136, 3 jul. 2019.

NASCIMENTO, E. Produção de uma topografia social urbana. **Mercator** (Fortaleza. Online), v. 11, p. 75-94, 2012.

NEVES, C. E.; SALINAS, E. A paisagem na geografia física integrada: impressões iniciais sobre sua pesquisa no Brasil entre 2006 e 2016. **Revista do Departamento de Geografia**, p. 124-137, 2017.

NIEMANN, R. S.; VITTE, A. C. . A história da geomorfologia no Brasil: a contribuição de Aziz Nacib Ab' Saber.. In: XII Encuentro de Geografos de America Latina, p. 1-10. **Anais**, 2009.

NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. Rio de Janeiro: IBGE, 2. Ed. 421p, 1989.

NIR, D. **Man, a geomorphological agent: an introduction to anthropic geomorphology**. Jerusalém: Ketem Pub. House, 1983.

NUNES, F. C. Grupo Barreiras: características, gênese e evidências de neotectonismo. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento/Embrapa Solos**, ISSN 1678-0892 ; 194 — Rio de Janeiro, 2011.

NUNES, L. H. **Urbanização e desastres naturais: abrangência América do Sul**. São Paulo: Oficina de Textos, 2015.

NUNES, J. F. **Análise comparativa do relevo de duas bacias hidrográficas da Ilha do Maranhão, considerando os índices de dissecação**. Relatório de Iniciação Científica. (Pesquisa em Geografia). São Luís, , p.105, 2013.

NUNES, J. O. R.. Reflexões sobre as teorias geomorfológicas e sua relação com a geografia. **Geografia em Atos** (Online), v. 11, p. 125-133, 2019.

NUGEO, Núcleo Geoambiental da Universidade Estadual do Maranhão, **Laboratório de Meteorologia**, http://www.nugeo.uema.br/?page_id=81, acesso em ago de 2019.

OLIVEIRA, D. M. V.; RIBEIRO JUNIOR, J. A. S. ; MOREIRA, T. S. ; OLIVEIRA, H. da C. ; GONÇALVES, M. F. P. **Processo de Degradação Ambiental em Bacias Hidrográficas: Estudo de Caso na Bacia do Rio Anil - São Luís (MA)**. In: XIII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada: A Geografia Física Aplicada e as Dinâmicas de Apropriação da Natureza (UFV), Viçosa (MG), 2009.

OLIVEIRA, R. C. de. **Zoneamento Ambiental como subsídio ao planejamento no uso da terra do município de Corumbataí-SP**. Tese. (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente), UNESP - Rio Claro, Rio Claro. 2003.

PEDRON, F. de A.; DALMOLIN, R. S. D.; AZEVEDO, A. C; KAMINSKI, J. Solos Urbanos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.34, n.5, 1647-1653, 2004.

PEDRO. L. C. **Ambiente e apropriação dos compartimentos geomorfológicos do Conjunto Habitacional Jardim Humberto Salvador e Condomínio Fechado Damha – Presidente**

Prudente/SP. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2008.

_____. Geomorfologia urbana: impactos no ambiente urbano decorrente da forma de apropriação, ocupação do relevo. **Geografia em Questão** (Online), v. 04, p. 153-172, 2011.

PEDRO MIYAZAKI, L. C. **Dinâmicas de apropriação e ocupação em diferentes formas de relevo: análise dos impactos e da vulnerabilidade nas cidades de Presidente Prudente/SP e Marília/SP.** Tese (Doutorado em Geografia) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2014.

PELOGGIA, A. U. G.; OLIVEIRA, A. M. S.; OLIVEIRA, A. A.; SILVA, E. C. N.; NUNES, J. O. R. Technogenic geodiversity: a proposal on the classification of artificial ground. **Quaternary and Environmental Geosciences**, v. 5, n.1, p. 28-40, 2014.

PELOGGIA, A. U. G.; CRUZ, T. R. F.; QUEIROZ, W. Formação de novos biomas em terrenos tecnogênicos: estudo de caso de área de expansão urbana em Guarulhos (SP). **Revista do Instituto Geológico** (Online), v. 40, p. 53-65, 2019.

PELOGGIA, A. U. G. **O homem e o ambiente geológico:** geologia, sociedade e ocupação urbana no Município de São Paulo. São Paulo: Xamã, 271 p, 1998.

_____. G. A ação do homem enquanto ponto fundamental da geologia do tecnógeno: proposição teórica básica e discussão acerca do caso do município de São Paulo. **Revista Brasileira de Geociências**, Vol. 27. pág. 257-268, set 1997.

_____. A cidade, as vertentes e as várzeas: a transformação do relevo pela ação do homem no município de São Paulo. **Revista do Departamento de Geografia**. São Paulo, n. 16, p. 24-31, out. 2005.

_____. Conceitos fundamentais da análise de terrenos antropogênicos: o estudo da agência geológico-geomorfológica humana e de seus registros. **Revista do Instituto Geológico** (Online), v. 40, p. 1-17, 2019.

PEREIRA, E. D. **Avaliação da vulnerabilidade natural à contaminação do solo e do aquífero do reservatório Batatã – São Luís (MA).** Tese (Doutorado) Rio Claro: UNESP. 2006.

PEREIRA NETO, M. C. **Fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do rio Seridó (RN/PB – Brasil).** Dissertação (mestrado). PPGeo – UFRN/Natal, 2013.

PEREIRA NETO, M. A; SILVA, E. da. Um estudo socioespacial dos alçomeres subnormais de Araguaína – TO. **Revista Tocantinense de Geografia**, ano 07, n. 13, Araguaína (TO), 2018.

PIMENTA, J. P. de O. **Fragilidade ambiental e apropriação do relevo no município de Mirante do Paranapanema - SP: Análise comparativa da estrutura fundiária, uso da terra e processos erosivos.** Dissertação (mestrado). UNESP/ Presidente Prudente, 2019.

PINHEIRO, J. M. Distribuição espaço-temporal da pluviosidade na Ilha do Maranhão no ano de 2016. **Inter-Espaço: Revista de Geografia e Interdisciplinaridade**, Grajaú, v.3, n.8. abr. 2017.

PINHEIRO, J. M. **Clima urbano da cidade de São Luís do Maranhão**. Universidade de São Paulo. Faculdade de Filosofia, Letras e ciências Humanas. Departamento de geografia. Tese (Doutorado), São Paulo, 2018.

PREFEITURA DE SÃO LUÍS. Plano Diretor do Município de São Luís: **Lei 4669 de 11 de outubro de 2006**. São Luís: Secretaria Municipal de Governo, 2006.

PRESS, F; GROTZINGER, J; SIEVER, R; JORDAN, T. H. **Para Entender a Terra**. Tradução: MENEGAT, R. (coord.). 4a edição. Porto Alegre: Bookman, 2006.

RIBEIRO, M. A. G. **A paisagem, uma ferramenta de análise para o desenvolvimento sustentável de territórios emergentes na interface entre natureza e sociedade**. Dissertação (Mestrado) – Programa de pós-graduação em Geografia, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2009.

RIBEIRO JÚNIOR., J. R. **Formação do Espaço Urbano de São Luís**. 2a ed. Revista, FUNC - São Luís, 2001.

REBOUÇAS, A. C; SILVA, A. B. **Estudo hidrogeológico do Distrito Industrial de Itaqui – Maranhão**. Divisão de Documentação. Recife, 1972.

REINECK, H. E.; SINGH, I. B. **Depositional sedimentary environments**. Berlin: Springer-Verlag, 439 p. 1973.

RODRIGUES, C. **A urbanização da metrópole sob a perspectiva da Geomorfologia: atributo a leituras geográficas**. In: CARLOS, A, F, A, e OLIVEIRA, A. U. (org) Geografias de São Paulo: representações e crise da metrópole, v. 1, ed. Contexto, p. 89-114, São Paulo, 2004.

RODRIGUES, C. Morfologia original e morfologia antropogênica na definição de unidades espaciais de planejamento urbano: exemplo na metrópole paulista. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 17, 2005.

RODRIGUES, T. L. N; ARAÚJO, C. C.; CAMOZZATO, E.; RAMGRABI, G. E. **Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil**. São Luís. Folha SA.23-Z-A, Cururupu. Folha SA.23-X-C, Estado do Maranhão. Brasília, CPRM, 1994.

RODRIGUES, T. C. S. **Classificação da cobertura e do uso da terra com imagens WorldView-2 de setores norte da Ilha do Maranhão por meio do aplicativo InterIMAGE e de mineração de dados**. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos - SP, 2014.

RODRIGUES, S. C. Análise da fragilidade do relevo. Abordagem empírico-experimental. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, 12 (23): 167-189, jan/jun, 2000.

RODRIGUES, É. L. da S. **Estudo sobre a fisiologia da paisagem do areal do Cerro da Esquina no município de São Francisco de Assis – RS**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 153 f. Porto Alegre, BR-RS, 2018.

ROSS, J. L. S. Registro Cartográfico dos fatos geomorfológicos e a questão da taxonomia do relevo. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, n.6, p. 17-30, 1992.

_____. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. **Revista do Departamento de Geografia**, 8, São Paulo, p. 63-74, 1994.

_____. **Geomorfologia: ambiente e planejamento**. 7 ed. São Paulo: Contexto, 2000.

_____. Landforms and environmental planning: potentialities and fragilities. **Revista do Departamento de Geografia – USP**, Volume Especial 30 Anos p. 38-51, 2012.

ROSSETTI, D. F. Ambientes costeiros. In: FLORENZANO, T. G. (Org.) **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

ROSSI, M; MATTOS, I. F. de A. Solos de mangue do estado de São Paulo: caracterização química e física. **Revista do Departamento de Geografia**, 2002.

SAADI, A. A geomorfologia da serra do Espinhaço em Minas Gerais e suas Margens. Geonomos, **Revista de Geociências**. 3 (1):41-63, 1995.

SALA, M. G. **Indicadores de fragilidade ambiental na bacia do ribeirão Maringá**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2005.

SALES, L. B.; NASCIMENTO, F. R. Geomorfologia e fragilidade ambiental na classificação de paisagens em bacias hidrográficas. **Revista Equador**, v. 9, p. 246-265, 2020.

SANTANA, R. G. **Situação das áreas com ocorrências de enchentes e inundações no riacho do Angelim, São Luís – MA**. Monografia (Graduação). Departamento de História e Geografia da Universidade Estadual do Maranhão, 2018.

SANTANA, R. G.; SILVA, Q. D. ; BARROS, D. V. . Análise espacial em áreas de inundações na sub-bacia hidrográfica do riacho do Angelim, São Luís-MA. **Revista da Casa da Geografia de Sobral (RCGS)**, v. 21, p. 502-520, 2019.

SANTOS, G. C. **Interações geoecológicas nas planícies de marés do litoral centro-sul sergipano**. Tese (Doutorado em Geografia). Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2016.

SANTOS, V. S; ROBAINA, L. E. S; TRENTIN, R. Definição das Unidades de Relevo na Bacia Hidrográfica do Rio Jaguarí / Oeste do RS. **GEOGRAFIA ENSINO & PESQUISA**, v. 21, p. 197-204, 2017.

SANTOS, J. de. O. **Vulnerabilidade ambiental e áreas de risco na Bacia Hidrográfica do rio Cocó: Região Metropolitana de Fortaleza-CE**. Dissertação – Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza, 2006.

SANTOS, J. de O.; ROSS, J. L. S. Fragilidade ambiental urbana. **Revista da ANPEGE**, v. 8, n. 10, p. 127-144, 2012.

SANTOS, M. **A natureza do espaço: técnica e tempo, razão e emoção**. São Paulo: EDUSP, 2002.

SCHOBENHAUS, C; CAMPOS, D. de A; DERZE, G. R; ASMUS, H. E. **Geologia do Brasil**. Brasília, Departamento Nacional de Produção Mineral, 1984.

SHINZATO, E; DANTAS, M.E.; FERREIRA, R.V. **Solos da Ilha de São Luís**. In: ANA e CPRM. Projeto: Estudos Hidrogeológicos da Região Metropolitana de São Luís: Subsídio para o uso sustentável dos recursos hídricos (no prelo). Recife, 2018.

SILVA, A. M; IKEMATSU, P; NOGUEIRA, D. P; PAULA, F. P; SILVEIRA, F. M. Relação entre expansão urbana e o relevo local – o caso do município de Sorocaba. **Anais**. VI Simpósio Nacional de Geomorfologia, Goiânia – GO, 2006.

SILVA, A. S. da. Solos urbanos. In: GUERRA, A. J. T (Org). **Geomorfologia Urbana**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, cap. 2, pag. 43-69, 2011.

SILVA, E. C. N. Formação de depósitos tecnogênicos e relações com o uso e ocupação do solo no perímetro urbano de Presidente Prudente – SP. **Dissertação** (mestrado). UNESP – Presidente Prudente, 2012a.

SILVA, Q. D. **Mapeamento geomorfológico da Ilha do Maranhão**. Tese (Doutorado). Presidente Prudente- Universidade Estadual de São Paulo, 2012b.

SILVA, E. C. N. Reconstituição Geomorfológica do Relevo Tecnogênico em Presidente Prudente – SP. **Tese** (Doutorado). UNESP – Presidente Prudente, 2017.

SILVA, P.S.M.; DIAS, L.J.B.; FARIAS FILHO, M.S. Geologia e Geomorfologia da microrregião da aglomeração urbana de São Luís. In: FARIAS FILHO, M.S. e CELERI, M.J. (org.). **Geografia da Ilha do Maranhão**. São Luís: EDUFMA, p. 7-15, 2015.

SILVA, L. C. S. **Fragilidade hídrica e ecodinâmica na bacia hidrográfica do rio Sergipe: desafios à gestão das águas**. Tese de Doutorado – Núcleo de Pós- Graduação em Geografia da Universidade Federal de Sergipe – UFS, São Cristóvão, 2014.

SILVA NETO, J. C. A. Avaliação da vulnerabilidade à perda de solos na bacia do rio Salobra, MS, com base nas formas do terreno. **Geografia (Londrina)**, v. 22, n. 1, p. 5 – 25. Jan / Abr, 2013.

SILVA, R. C. da. **Estudo da dinâmica da fragilidade ambiental na Bacia Hidrográfica do Rio Gravataí, RS**. Tese (Doutorado), UFBA/Salvador, 2016.

SILVEIRA, C. T.; OKA-FIORI, C; FIORI, A. P.; ZAI, C.. **Mapeamento de declividade de vertentes: aplicação na APA de Guaratuba / Paraná**. In: VI Simpósio Nacional de Geomorfologia / Regional Conference on Geomorphology. Anais. Goiânia, 2006.

SILVEIRA, A.; CUNHA, C. M. L. Cartas de derivações ambientais e transgressões legais: destaque as áreas de planície e terraços fluviais no “antigo” e no “novo” código florestal. **Revista Geonorte**, Edição Especial 4, V.10, N.1, p.250-255, 2014.

SILVEIRA, A. **Proposta metodológica para avaliação dos níveis de restrição do relevo ao uso urbano**. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro, 2013.

SILVEIRA, C. T. da; SILVEIRA, R. M. P; TRENTIN, R; ROBAINA, L. E. de S. Classificação automatizada de elementos do relevo no estado do Paraná (Brasil) por meio da aplicação da proposta dos geomorphons. **Revista Brasileira de Geomorfologia**. (Online), v.19, n.1, p.33-57, São Paulo, 2018.

SOUZA, B. B. G. **Caracterização de Indicadores Sócio-Ambientais na Bacia do Rio Anil, São Luís-MA, como subsídio à Análise Econômica-Ambiental do Processo de Desenvolvimento**. Tese. (Geoquímica Ambiental). Universidade Federal Fluminense, 2005.

SOUZA, S. B. Uso da Água de Chuva: uma alternativa para enfrentar a escassez de água na Ilha do Maranhão - MA. In: **XVIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS**, Campo Grande. Anais... Campo Grande: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2009.

SOUZA, S. ; OLIVEIRA, R. C. de. **Considerações sobre a geografia física: conceitos, métodos e aplicações**. In: PEREZ FILHO, A.; AMORIM, R.R. (Org.). Os Desafios da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento. 1ed.Campinas: Instituto de Geociências - Unicamp, v. 1, p. 3483-3494, 2017.

SOUZA, J. C de; PEREIRA, U. C. Antropogeomorfologia - O homem como agente geomorfológico: base teórica e análise acerca da extração do amianto crisotila em Minaçu (GO) . **Revista Geoambiente** on-line, v. 24, p. 32-48, 2015.

SPORL, C. **Análise de fragilidade ambiental solo-relevo com a aplicação de três modelos alternativo s nas altas bacias do rio Jaguari – Mirim, ribeirão do Quartel e ribeirão do Prata**. Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

_____. **Metodologia para elaboração de modelos de fragilidade ambiental utilizando redes neurais**. Tese (Doutorado). Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas - Universidade de São Paulo, 2007.

SPORL C; ROSS J. L. S. Análise comparativa da Fragilidade Ambiental com Aplicação de Três Modelos. **GEOUSP - Espaço e Tempo**. (15), 39-49, 2004.

STOQUI, V. B. **Fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do Córrego da Cascata-SP**. Dissertação (mestrado) – Unesp/Presidente Prudente, 2018.

SUERTEGARAY, D. M. A. e NUNES, J. O. R. A natureza da geografia física na geografia, In: **Terra Livre**, 17: Paradigmas da Geografia. Parte II. São Paulo: AGB, 2001.

SUERTEGARAY, D. M. A. Espaço Geográfico Uno e Múltiplo. **Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales** - Barcelona, v. 93, 2001.

_____. Geografia Física e Geomorfologia: temas para debate. **Revista da ANPEGE**, v. 5, p. 22-35, 2009.

_____. **Geografia Física e Geomorfologia: uma releitura**. 2ed. Porto Alegre: ComPasso lugar cultura, v. 1. 126p, 2018.

TAMANINI, M. A. S. **Diagnóstico físico-ambiental para a determinação da fragilidade potencial e emergente da Bacia do Baixo curso do Rio Passaúna em Araucária** [Dissertação] Curitiba: Universidade federal do Paraná/UFPR; 2008.

TAVARES, J. A. **Fragilidade ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Punaú (RN) e área litorânea adjacente**. [Dissertação] Natal: Universidade Federal do Rio Grande do Norte/UFRN; 2006.

THOMAZINI, L. S. **Análise da fragilidade ambiental em área urbana: o caso da bacia hidrográfica do Córrego do Castelo, Bauru (SP)**. Dissertação. Universidade Estadual Paulista Campus Rio Claro, 2013.

THORN, C. E; WELFORD, M. R. The equilibrium concept in geomorphology. **Annals of the Association of American Geographers**. Association of American Geographers. V. 84, issue 4, p. 666-696, 1994.

TRICART, J. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro: IBGE, Diretoria Técnica, SUPREN, Rio de Janeiro, 1977.

TROMBETA, L.R. ; GARCIA, R. M. ; NUNES, R.S. ; GOUVEIA, I.C.M.C. ; LEAL, A.C. ; GOUVEIA, J.M.C. . Análise da fragilidade potencial e emergente do relevo da unidade de gerenciamento de recursos hídricos Pontal do Paranapanema, São Paulo, Brasil. **Caderno Prudentino de Geografia**, v. Especial, p. 159, 2014.

TUCCI, C. E. M. Plano diretor de drenagem urbana: princípios e concepção. **RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. v. 2, nº 2. p. 5 - 12, Jul/Dez, 1997.

TUCCI, C. E. M. Água no meio urbano. In: REBOUÇAS, A. C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. (Org). **Águas doces no Brasil**. São Paulo: Escrituras Editora, 1999.

UFMA. **Estudo de impacto ambiental e relatório de impacto ambiental da Refinaria Premium I. V. 2**. São Luís: UFMA, 2009.

VALADÃO, R.C. **Evolução de Longo-Termo do Relevo do Brasil Oriental (Desnudação, Superfícies de Aplainamento e Soerguimentos Crustais)**. UFBA, Salvador, Tese de Doutorado, 1998.

VALERIANO, M. M. **TOPODATA**: guia para utilização de dados geomorfológicos locais. INPE: São José dos Campos, 75 p., 2008.

VEIGA JÚNIOR, J. P. (Org.) Programa levantamentos geológicos básicos do Brasil. São Luís NE/SE, Folhas SA.23-X e SA.23-Z. **Estados do Maranhão e Piauí**. Escala 1:500.000. Brasília: CPRM, 2000.

VERSOLATO, B. **Dispersão urbana e apropriação do relevo na bacia do Ribeirão do Jerivá, Boituva - São Paulo**. Dissertação (mestrado). UFSC, Sorocaba – SP, 2019.

VESTENA, L. R.; ALMEIDA, D. E. F.; GEFFER, E. Análise espacial e temporal da distribuição dos alagamentos e inundações na cidade de Guarapuava, Paraná. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 5, p. 24923-24941, 2020.

VIEIRA, V. T.; CUNHA, S. B. Mudanças na Rede de Drenagem Urbana de Teresópolis (Rio de Janeiro). In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (Org.). **Impactos Ambientais Urbanos no Brasil**. 4. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, p.111-145, 2006.

ZANATTA, F. A. S; LUPINACCI, C. M; BOIN, M. N. Morfometria do relevo e dinâmica erosiva linear em área rural degradada no oeste paulista. **RA'E GA** (UFPR), v. 41, p. 82-97, 2017.

ZINCK, J. A. **Geopedology**: elements of geomorphology for soil and geohazard studies. ITC Faculty of Geo-Information Science and Earth Observation Enschede, The Netherlands July, 2013.