



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
MUSEU EMÍLIO GOELDI
EMBRAPA AMAZÔNIA ORIENTAL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS

MARCUS VINICIUS SILVA DA SILVA

**HISTÓRIA AMBIENTAL DO ALAGADO DO PIRY DE JUSSARA,
BELÉM-PA: UMA REFLEXÃO ACERCA DA OCUPAÇÃO URBANA EM
ÁREAS ALAGADAS**

Belém-PA
2021

MARCUS VINICIUS SILVA DA SILVA

**HISTÓRIA AMBIENTAL DO ALAGADO DO PIRY DE JUSSARA,
BELÉM-PA: UMA REFLEXÃO ACERCA DA OCUPAÇÃO URBANA EM
ÁREAS ALAGADAS**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará em parceria com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Amazônia Oriental e Museu Paraense Emílio Goeldi, como parte das exigências para a obtenção de grau de Mestre em Ciências Ambientais.

Área de concentração: Clima e Dinâmica Socioambiental na Amazônia.

Linha de pesquisa: Ecossistemas Amazônicos e Dinâmicas Socioambientais.

Orientador(a): Prof. Dr^a Aline Maria Meiguins de Lima

Belém-PA
2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD Sistema de
Bibliotecas da Universidade Federal do Pará
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

-
- S586h Silva, Marcus Vinicius Silva da.
História Ambiental do Alagado do Piry de Jussara, Belém-PA : uma
reflexão acerca da ocupação urbana em áreas alagadas / Marcus Vinicius
Silva da Silva. — 2021.
127 f. : il. color.
- Orientador(a): Prof^a. Dra. Aline Maria Meiguins de Lima
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará,
Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Ciências
Ambientais, Belém, 2021.
1. Alagado do Piry de Jussara. 2. Expansão urbana. 3. Dinâmica das
águas. 4. Geotecnologias. I. Título.

CDD 711.42098115

MARCUS VINICIUS SILVA DA SILVA

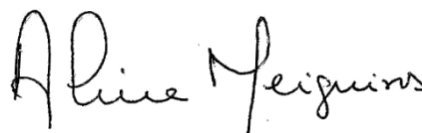
**HISTÓRIA AMBIENTAL DO ALAGADO DO PIRY DE JUSSARA,
BELÉM-PA: UMA REFLEXÃO ACERCA DA OCUPAÇÃO URBANA EM
ÁREAS ALAGADAS**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará em parceria com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Amazônia Oriental e Museu Paraense Emílio Goeldi, como parte das exigências para a obtenção de grau de Mestre em Ciências Ambientais.

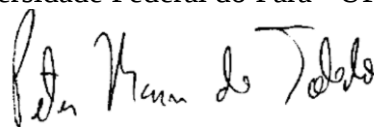
Área de concentração: Clima e Dinâmica Socioambiental na Amazônia.

Linha de pesquisa: Ecossistemas Amazônicos e Dinâmicas Socioambientais.

Belém, 20 de maio de 2021
Banca Examinadora:



Prof^a. Dr^a Aline Maria Meiguins de Lima - Orientadora
Doutora em Desenvolvimento Socioambiental
Universidade Federal do Pará - UFPA



Prof^a. Dr Peter Mann de Toledo - Membro
Doutor em Geologia
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE



Prof^a. Dr José Francisco Berrêdo Reis da Silva - Membro
Doutor em Geologia e Geoquímica
Universidade Federal do Pará - UFPA



Prof^a. Dr Juliano Pamplona Ximenes Ponte - Membro
Doutor em Planejamento Urbano e Regional
Universidade Federal do Pará – UFPA

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço à Deus, por abençoar, iluminar e guiar-me até o fim de mais essa etapa da minha vida.

À minha Família como um todo, por acreditar em minha capacidade e sempre estar presente, sejam nos momentos de prosperidades ou de dificuldades. A estes, devo-lhes muito, pois me ensinaram princípios de honestidade, companheirismo e amor.

Em especial, às minhas mães, Maria do Perpétuo Socorro e Maria de Jesus, e ao meu pai Luiz Carlos, que não mediram esforços para que este sonho fosse possível. A estes devo-lhes a vida, pois sempre estiveram comigo. Muito Obrigado pelo amor e pelo o apoio.

Agradeço ao corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais (PPGCA) da Universidade Federal do Pará (UFPA) por compartilharem parte de seus conhecimentos e contribuírem para a minha formação acadêmica e profissional. Em especial, agradeço a minha orientadora, professora Aline Meiguins, por ter acreditado em meu potencial como pesquisador, e por toda a assistência, paciência, críticas e ensinamentos passados no desenvolvimento deste trabalho, bem como no decorrer de todo o mestrado.

Agradeço aos colegas de turma que fiz durante esses dois anos de período acadêmico, que de alguma forma contribuíram para o meu crescimento, em especial à Brenda Caroline, Maryelle Machado, Ilale Ferreira e Calil Torres pela amizade e pelo auxílio mútuo no desenvolvimento das atividades acadêmicas.

Também agradeço a Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA) e ao corpo docente do Curso de Engenharia Cartográfica e de Agrimensura, que durante a graduação me proporcionaram conhecimentos e experiências que serviram para o meu crescimento profissional e pessoal, e que agora foram de suma importância em mais esta etapa acadêmica.

Não menos importante, agradeço ao CNPq, pela bolsa de mestrado concedida, servindo de apoio financeiro para a realização da referida pesquisa.

Bem como à Companhia de Desenvolvimento e Administração da Área Metropolitana de Belém (CODEM) e a Secretaria Municipal de Saneamento (SESAN), pela disponibilização de dados essenciais para esta pesquisa.

Por fim, agradeço a todos os amigos, que em muitos momentos foram a minha segunda família, estes de alguma forma fizeram parte da minha formação acadêmica, profissional e pessoal.

RESUMO

A cidade de Belém sofre desde sua colonização com a ocupação irregular sobre áreas alagadas ou de cursos d'água, tal problema ainda hoje é evidente e recorrente em nossa cidade. Muito se atribui esse problema a escassez de áreas topograficamente favoráveis e a falta de planejamento habitacional adequado. Em 1616 (ano de colonização de Belém), relatos históricos apontam que na região onde hoje se encontra a Avenida Almirante Tamandaré havia uma área alagada, denominada de Alagado do Piry de Jussara, contudo, devido a necessidade de expansão urbana, o mesmo foi visto como um obstáculo natural para a irradiação da cidade, e com isso, sofreu processos de canalização e aterramento. Desse modo, a presente pesquisa teve como objetivo realizar uma análise histórica da região que outrora foi ocupada pelo Alagado do Piry, visando compreender como se deu esse processo de ocupação sobre este elemento natural, aliado a isto, realizar estudos geomorfológicos que permitissem identificar o acidente geográfico em que o Alagado estava inserido, além de buscar compreender a complexa dinâmica das águas (precipitação e nível de maré) que atuava e ainda atua na região. Ao fim do estudo, os resultados obtidos corroboraram e ratificaram a hipótese de que a forma de ocupação e expansão da cidade que vem sendo empregada desde a colonização é equivocada, uma vez que, além de não haver políticas de habitação adequadas, não se leva em conta as características da região, como baixa topografia, elevada precipitação, e aumento periódico da maré; o que acaba por acarretar problemas socioambientais como alagamentos, inundações e enchentes em inúmeros pontos da cidade de Belém. Ademais, o estudo ainda aponta para o agravamento destas ocorrências, uma vez que, a cidade de Belém e a Região Metropolitana estão entre as áreas de maior susceptibilidade aos eventos condicionados pelas mudanças climáticas, como o aumento do Nível Médio do Mar.

Palavras-chave: Alagado do Piry de Jussara; expansão urbana; dinâmica das águas; geotecnologias.

ABSTRACT

The city of Belém has suffered since its colonization with irregular occupation over flooded areas or water courses, this problem is still evident and recurring in our city today. This problem is largely attributed to the scarcity of topographically favorable areas and the lack of adequate housing planning. In 1616 (year of the colonization of Belém), historical reports point out that in the region where Avenida Almirante Tamandaré is located today there was a flooded area, called Alagado do Piry de Jussara, however, due to the need for urban expansion, the same was seen as a natural obstacle to the irradiation of the city, and with that, it underwent canalization and grounding processes. Thus, this research aimed to carry out a historical analysis of the region that was once occupied by Alagado do Piry, aiming to understand how this occupation process took place on this natural element, coupled with this, to carry out geomorphological studies that would allow to identify the accident geographic area in which the Alagado was located, in addition to seeking to understand the complex dynamics of the waters (precipitation and tide level) that operated and still operate in the region. At the end of the study, the results obtained corroborated and confirmed the hypothesis that the form of occupation and expansion of the city that has been used since colonization is mistaken, since, in addition to not having adequate housing policies, it does not take into account account of the characteristics of the region, such as low topography, high rainfall, and periodic rising tide; which ends up causing socio-environmental problems such as floods, floods and floods in numerous points in the city of Belém. Furthermore, the study also points to the worsening of these occurrences, since the city of Belém and the Metropolitan Region are among the areas of greater susceptibility to events conditioned by climate change, such as the increase in the average sea level.

Keywords: Flooded by Piry de Jussara; urban expansion; water dynamics; geotechnologies.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Avenida Almirante Tamandaré alagada após temporal.	16
Figura 2 – Mapa de Localização do Alagado do Piry de Jussara.	17
Figura 3 – Fluxograma Metodológico da Pesquisa.	20
Figura 4 – Belém retratada em 1631.	27
Figura 5 – Mapa de Localização do Alagado do Piry de Jussara, com base na divisão dos Bairros.....	27
Figura 6 – Croqui do início do processo de ocupação do núcleo urbano de Belém, tendo o alagado do Piry como um de seus primeiros “obstáculos” naturais à expansão urbana.	30
Figura 7 – Croqui de reconstituição de Belém no fim século VXII.	31
Figura 8 – Plantas da Cidade de Belém do Grão-Pará fortificada pelo método mais simples e de menor despesas, apresentada por Gaspar João Geraldo Gronsfeld (1773).....	33
Figura 9 – Projeto de Dessecamento do Alagado do Piry, proposta por Nogueira.	34
Quadro 1 – Base cartográfica associada a área Alagado do Piry de Jussara.	36
Quadro 2 – Bases Cartográficas secundárias utilizadas como referências.....	36
Figura 10 – Mapa da Reconstituição da ocupação urbana sobre o Alagado do Piry de Jussara.	38
Figura 11 – Canal da Avenida Almirante Tamandaré nos anos de 1960 (a) e 2017 (b).	39
Figura 12 – Modelo de Representação pelo método GRID.....	53
Figura 13 – Modelo de Representação pelo método TIN.....	54
Figura 14 – Método da Triangulação Delaunay.	55
Figura 15 – Exemplificação do cálculo de determinação de um valor Z, no método da Triangulação de Delaunay.	56
Figura 16 – Mapa das Unidades Geomorfológicas identificadas no Município de Belém-PA (Escala 1:250.000).	57
Quadro 3 – Base de dados utilizada no presente trabalho.	61
Quadro 4 – Base de dados secundária utilizada no presente trabalho.	61
Figura 17 – Mosaico (a) e Curvas de nível (b).	62
Quadro 5 – Classificação geomorfológica aplicada ao MDT.....	63
Figura 18 – Modelo Digital de Terreno (MDT) da área de estudo.....	65

Figura 19 – Modelo Digital de Terreno (MDT) da área de estudo com visualização tridimensional.	66
Figura 20 – Modelo Digital de Terreno (MDT) evidenciando a área do Alagado do Piry.	68
Figura 21 – Modelo Digital de Terreno (MDT) evidenciando a área do Alagado do Piry, com visualização tridimensional.	69
Figura 22 – Mapa da Classificação Geomorfológica da área de estudo.	71
Figura 23 – Ilustração do ciclo hidrodinâmico em área urbana próxima a um curso d'água canalizado.	83
Quadro 6 – Aspectos conceituais dos principais impactos vinculados ao escoamento superficial que ocorrem nas cidades.	84
Figura 24 – Perfil Esquemático do processo de enchente e inundação.	84
Figura 25 – Evolução da ocupação urbana da cidade de Recife-PE.	86
Quadro 7 – Base de dados utilizada no presente trabalho.	88
Quadro 8 – Base de dados secundária utilizada no presente trabalho.	89
Figura 26 – Ilustração das cotas adotadas para representar a variação da Maré.	91
Figura 27 – Declividade da área de estudo (a), área da Bacia Hidrográfica (b) e Rede de Drenagem (c)	92
Figura 28 – Gráfico da Precipitação diária (mm/dia) na área do Alagado do Piry de Jussara, durante o ano de 2020.	93
Quadro 9 – Variação da Maré no dia 15 de março de 2020.	95
Figura 29 – Mapa dos Pontos de Alagamento de Belém-PA.	97
Figura 30 – Identificação dos principais pontos de alagamento da capital paraense.	98
Figura 31 – Mapa de variação do nível de Maré na área de estudo.	100
Figura 32 – Mapa Tridimensional de variação do nível de Maré na área de estudo.	101
Figura 33 – Mapa da localização da microbacia do Piry, em relação às Bacias Hidrográficas de Belém.	103
Figura 34 – Mapa da delimitação e da espacialização tridimensional da Bacia do Piry.	104
Figura 35 – Mapa do acumulo da Precipitação anual e da média diária para o município de Belém-PA, no ano de 2020.	106
Figura 36 – Mapa precipitação diária para o município de Belém-PA, no dia 15 de Março de 2020.	107
Figura 37 – Mapa da dinâmica hídrica na Bacia do Piry, para o cenário 1.	109
Figura 38 – Mapa da dinâmica hídrica na Bacia do Piry, para o cenário 2.	110

Figura 39 – Gráfico da variação do volume acumulado na Bacia do Piry durante a aplicação dos modelos.	112
--	-----

LISTA DE SIGLAS

APP – Área de Preservação Permanente

CHIRPS – *Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station*

CODEM – Companhia de Desenvolvimento e Administração da Área Metropolitana de Belém

CPTEC – Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos

GEE – *Google Earth Engine*

GRID – Grades Regulares

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

LASER – *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*

MDE – Modelo Digital de Elevação

MDS – Modelo Digital de Superfície

MDT – Modelo Digital de Terreno

NMM – Nível Médio do Mar

NRM – Nível Regular do Mar

PMB – Prefeitura Municipal de Belém

PBMC – Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas

RADAR – *Radio Detecting and Ranging*

RGB – *Red Green Blue*

SEMAS – Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Sustentabilidade

SIG – Sistema de Informação Geográfica

SUDAM – Superintendência de Desenvolvimento da Amazônia

TauDEM – *Terrain Analysis Using Digital Elevation Models*

TIN – *Triangulated Irregular Network*

UTM – *Universal Transversa de Mercator*

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO GERAL	13
1.1 Objetivos: Geral e Específicos	15
1.2 Área de Estudo	16
1.3 Metodologia Simplificada.....	19
1.4 Estrutura da Dissertação.....	21
CAPÍTULO 2 RECONSTITUIÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DO ALAGADO DO PIRY DE JUSSARA, BELÉM-PA: evolução e impacto na urbanização.....	22
2.1 Introdução	23
2.2 Área de Estudo	26
2.2.1 O Alagado do Piry de Jussara.....	26
2.2.2 Crescendo sobre as Águas: A Ocupação urbana de Belém.....	28
2.3 Materiais e Métodos.....	35
2.3.1 Aquisição de Dados.....	35
2.3.2 Procedimentos Metodológicos	37
2.4 Resultados e Discussões	37
2.5 Considerações Finais	42
CAPÍTULO 3 MODELAGEM DIGITAL DE TERRENO COMO INSTRUMENTO DA CARTOGRAFIA GEOMORFOLÓGICA: Aplicação do método da Triangulação de Delaunay	47
3.1 Introdução	49
3.2 Revisão Literária.....	51
3.2.1 Modelagem Digital de Terreno (MDT).....	51
3.2.1.1 Método de Grades Regulares - GRID.....	53
3.2.1.2 Malha Triangular Irregular – TIN	54
3.2.2 Triangulação de Delaunay.....	55
3.2.3 Caracterização Geomorfológica do Território de Belém	56
3.3 Metodologia	60
3.3.1 Aquisição de Dados.....	60
3.3.2 Procedimentos Metodológicos	62
3.3.2.1 Produção do MDT	62
3.3.2.2 Identificação das Cotas Altimétricas da Área do Alagado do Piry de Jussara.....	63

3.3.2.3	<i>Classificação das Unidades e das Tipologias Geomorfológicas</i>	63
3.4	Resultados e Discussões	64
3.4.1	Modelo Digital de Terreno	64
3.4.2	O Acidente Geográfico denominado Alagado do Piry.....	67
3.4.3	Classificação das Unidades Geomorfológicas Área de Estudo.....	70
3.5	Considerações Finais	72
CAPÍTULO 4 A DINÂMICA DAS ÁGUAS NA BACIA DO PIRY		76
4.1	Introdução	78
4.2	Revisão Literária	81
4.2.1	Ocupação urbana sobre Recursos hídricos.....	81
4.2.2	A Dinâmica das Águas nas cidades.....	84
4.2.3	O Fenômeno das Marés e o Aumento do Nível do Mar.....	86
4.3	Materiais e Métodos	88
4.3.1	Aquisição de Dados.....	88
4.3.2	Procedimentos Metodológicos	90
4.3.2.1	<i>Identificação dos Pontos de Alagamento</i>	90
4.3.2.2	<i>Variação do Nível do Rio</i>	90
4.3.2.3	<i>A Bacia do Piry e a Dinâmica das águas</i>	91
4.4	Resultados e Discussão	96
4.4.1	Ocorrências de Pontos de Alagamentos na Capital do Pará.....	96
4.4.2	Cheia e Vazante: a Variação do nível do Rio como fator de enchentes na área de estudo.....	99
4.4.3	A Dinâmica das Águas na Bacia do Piry.	102
4.5	Considerações Finais	113
CAPÍTULO 5 CONCLUSÃO GERAL		119
REFERÊNCIAS		123
ANEXO A – Bacias hidrográficas presentes na Avenida Augusto Montenegro, Belém - PA.		125
ANEXO B – MAPA DE LOCALIZAÇÃO DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DO MUNICÍPIO DE BELÉM.		126

CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO GERAL

O crescimento acelerado da população e a ocupação urbana desordenada em cidades de países em desenvolvimento é uma temática recorrente nos dias de hoje, uma vez que tende a acarretar problemas socioambientais nos grandes centros urbanos (SANTOS; RUFINO; BARROS FILHO, 2017). Além disso, fenômenos oriundos das mudanças climáticas como, a variabilidade da precipitação pluviométrica e a crescente elevação do nível do mar, são fatores que tendem a agravar ainda mais os cenários de enchentes e alagamentos nas cidades localizadas próximas do litoral ou em regiões estuarinas.

Nesse sentido, segundo Santos, Rufino e Barros Filho (2017), é imprescindível que gestores e sociedade tenham um planejamento de gestão de recursos hídricos urbano, uma vez que além das questões climáticas, algumas práticas como descarte de resíduos sólidos em locais irregulares e ocupação do solo urbano sem controle do impacto sobre o sistema hídrico, tendem a interferir diretamente na alteração e obstrução dos cursos d'água, bem como na impermeabilização do solo (SADECK, 2015).

Em Belém, no Pará, segundo Ponte (2015), “o alagamento, sazonal, periódico ou excepcional, se mostra induzido pela deficiência de saneamento básico, pela ocupação do solo e aterros tecnicamente críticos e irregulares, e potencializado pela pobreza dos moradores”, que além disso, tende a se agravar nos meses de período chuvoso na região.

Contudo, deve-se ressaltar que algumas dessas consequências oriundas da urbanização desenfreada, são provenientes (ou agravadas) por processos de ocupação resultantes desde a colonização, como é o caso da cidade de Belém. Araújo Junior e Azevedo (2012) afirmam que a ocupação do município de Belém do Grão Pará (como era chamada), se deu em 1616, no início do século XVII, por meio dos colonizadores portugueses, motivados pela necessidade de se organizar e integrar o espaço que estava sob seu domínio agora, bem como romper o isolamento das áreas sob sua influência.

Além disso, Belém teve seu ponto irradiador da vida urbana localizado no vértice da Baía do Guajará (oeste) e do Rio Guamá (sul), por estar situada em uma região de estuário e próxima da Europa (em relação a outros núcleos urbanos do centro-sul da colônia), atendendo critérios de defesa da colônia e às possibilidades de trocas comerciais (PONTE, 2015; ARAÚJO JUNIOR; AZEVEDO, 2012).

Porém, por estar situada em uma península fluvial, seu processo de ocupação ocorreu de forma não contínua, pois haviam obstáculos naturais, como cursos d'água, áreas de várzeas

e igapós que não permitiam a expansão da cidade (ARAÚJO JUNIOR; AZEVEDO, 2012). Por conta disso, Luz, Rodrigues e Ponte (2015) alegam que a fundação da cidade foi marcada por significativas mudanças em seu sítio natural.

Destes obstáculos naturais que viriam a interromper a irradiação do núcleo urbano de Belém do Grão Pará, o principal era o chamado Alagado do Piry de Jussara (nomenclatura oriunda da cultura indígena), uma vez que este impedia a integração física entres os dois primeiros bairros da cidade: Campina e Cidade Velha, desembocando onde é hoje a Doca do Ver-o-Peso, além disso devido sua extensão de aproximadamente 1.320 m de largura, por 660 de comprimento, o Piry impossibilitou as áreas de crescimento do até então núcleo urbano, para os sentidos nordeste, leste, e sudeste, fazendo com que o desenvolvimento de Belém fosse similar ao de uma área insular. Com isso, acabou-se criando uma visão depreciativa sobre o Piry, pois por muitos, esse elemento natural foi visto como um empecilho ao crescimento de Belém (PENTEADO, 1968; ARAÚJO JUNIOR; AZEVEDO, 2012).

Belém expandiu-se para oeste, contudo com a escassez de áreas topograficamente favoráveis para ocupação ocorre a procura de alternativas para a dissipação massiva da população. Durante os séculos XVIII a XIX, o que se viu foram grandes obras de dessecamento e aterramento do Alagado do Piry, que viriam a trazer modificações permanentes no sítio natural de Belém (ARAÚJO JUNIOR, 2013).

No decorrer do século XIX, a população de Belém passou a lidar com uma “jornada disciplinadora das águas”, resultante das alterações ocorridas. Desta forma, conforme os movimentos da maré, moradores e visitantes de Belém, frequentemente conviveram com inundações nos terrenos próximos a área onde antes estava o alagado do Piry. Devido a isso, para alguns as obras de dessecamento e aterramento do Alagado, podem ter significado atraso, ou até mesmo, estagnação no processo de lidar com a água na cidade (ALMEIDA, 2011).

Diante disso, Targa et al. (2012) afirmam que:

Os principais impactos provocados pela urbanização nas redes de drenagem são o aumento do escoamento superficial, redução da evapotranspiração, redução do escoamento subterrâneo, rebaixamento do lençol freático, aumento da produção de material sólido proveniente de limpeza de ruas e da armazenagem inadequada do lixo pela população resultando na deterioração da qualidade das águas superficiais e subterrâneas (TARGA et al., 2012, p. 122).

O atual formato de expansão e ocupação da cidade de Belém, bem como da Região Metropolitana de Belém (RMB), tem como um de seus vetores a mesma configuração utilizada nos últimos séculos pós-colonização, consistindo na ocupação de as áreas baixas e as margens

de cursos d'água, como o Igarapé Tucunduba em Belém, e o Rio Maguari no município de Ananindeua.

Desta forma, compreender se o formato de ocupação e expansão da cidade de Belém, bem como da RMB, que vem desde a colonização, está ligado diretamente aos impactos socioambientais ocorridos nos dias atuais é de suma importância, pois auxiliará nas tomadas de decisões que venham remediar tais impactos, bem como elucidar a respeito das políticas de planejamento urbano. Logo, a proposição de estimar a dimensão originária da área ocupada pelo corpo d'água, analisar e mapear como se deu a sua ocupação; e reconstituir a geomorfologia da bacia nos dias atuais, visa responder ao seguinte questionamento: As grandes obras de dessecamento, aterramento e canalização do Alagado ocorridas preteritamente, estão contribuindo para a ocorrência de enchentes e alagamentos na região nos dias atuais?. Afim de instigar e direcionar a referida pesquisa, a principal hipótese levantada consiste “Que o dessecamento, seguido do aterramento e canalização e posteriormente ocupação do Alagado do Piry de Jussara, causados pela irradiação urbana no período colonial, tiveram efeito direto nos impactos socioambientais que ocorrem hodiernamente na região onde se encontrava o curso d'água”.

1.1 Objetivos: Geral e Específicos

À vista disso, considerando tais questões, a referida pesquisa tem como objetivo geral, realizar um estudo paleoambiental da bacia do Piry, visando a reconstituição espaço-temporal do Alagado do Piry de Jussara no município de Belém-PA, bem como identificar o acidente geográfico em que o Piry estava inserido e a hidrodinâmica que atua sobre o mesmo.

Desta maneira, para alcançar o objetivo geral, foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

- Mapear o Alagado do Piry de Jussara, representando cartograficamente a ocupação e expansão urbana ocorrida sobre o mesmo desde a colonização;
- Realizar o levantamento geomorfológico da região onde se encontrava o alagado, possibilitando a espacialização da geomorfologia da mesma, corroborando se a topografia propícia a ocorrência de alagamentos e enchentes;
- Identificar e simular a dinâmica das águas que atuam sobre a área de estudo, assim como, a mancha de inundação resultante deste processo;

- Inferir se o processo de ocupação ocorrido sobre o Alagado do Piry de Jussara, aliado a elevada precipitação pluviométrica da região interfere nos impactos socioambientais no local atualmente, evidenciando o risco do vetor de ocupação e expansão urbana que ocorre sobre os cursos d'água, no município de Belém, bem como na Região Metropolitana.

1.2 Área de Estudo

Atualmente a região que antes era ocupada pelo Alagado do Piry de Jussara, situa-se o canal da Avenida Almirante Tamandaré, no centro de Belém, onde ocorre diariamente um fluxo de pessoas, serviços, transportes e comércio intenso. Esta sofre com frequentes alagamentos e enchentes seja periodicamente ou sazonalmente, em especial no período chuvoso na região, em que ocorre maior nível de precipitação pluviométrica e aumento da maré, como a que ocorreu no dia 04 de abril de 2019 (Figura 1) (EM BELÉM...., 2019).

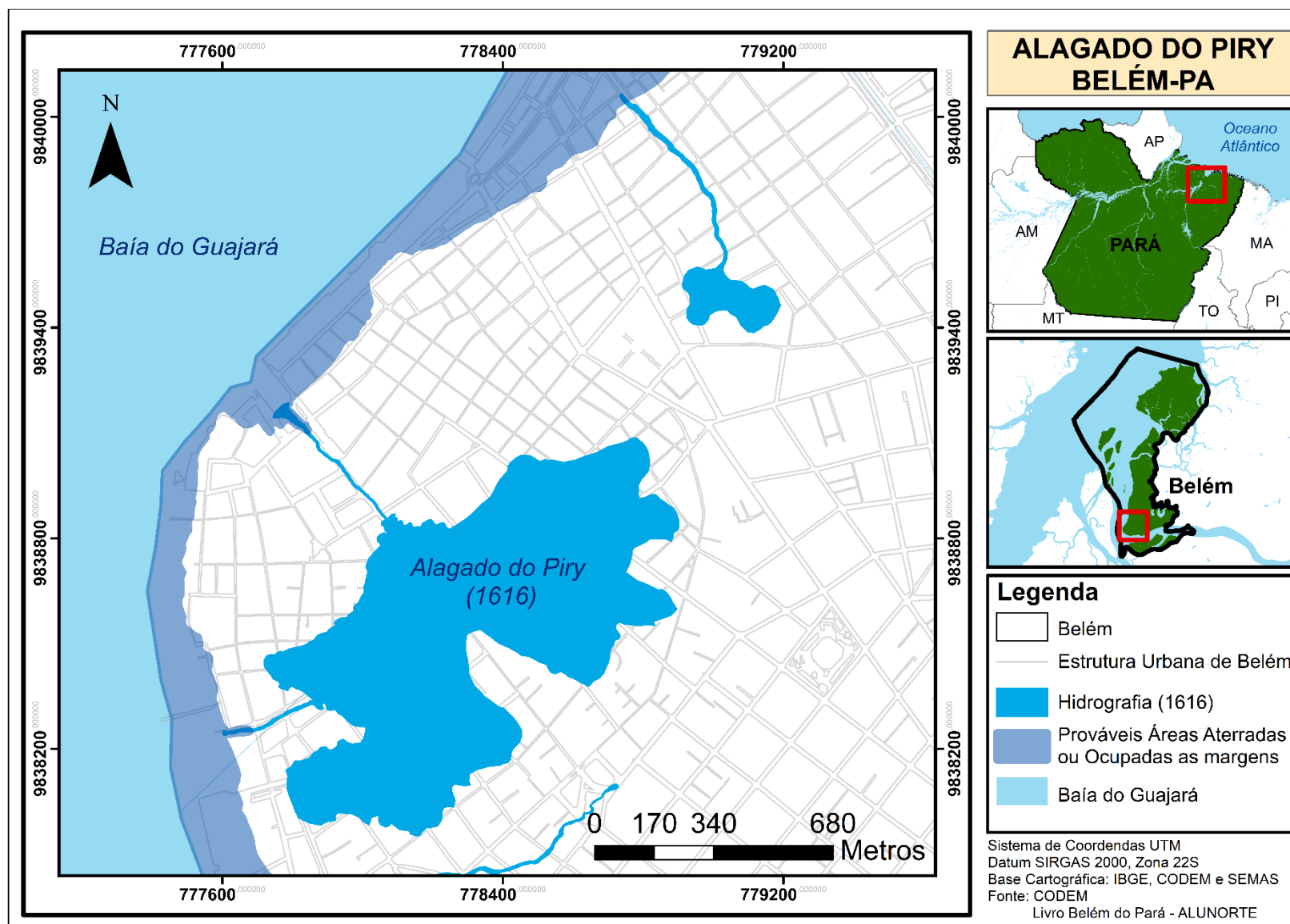
Figura 1 – Avenida Almirante Tamandaré alagada após temporal.



Fonte: Em Belém.... (2019).

A Bacia do Alagado do Piry de Jussara, assim denominada no século XVII (período colonial), encontra-se na região central do município de Belém, no estado do Pará, como evidencia o mapa exposto na Figura 2.

Figura 2 – Mapa de Localização do Alagado do Piry de Jussara.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

Fundada em 12 de janeiro de 1616, Belém é a capital do estado do Pará, e a segunda maior metrópole da Amazônia legal. Segundo o último censo demográfico do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), em 2010 o município de Belém detinha uma população de 1.393.399 habitantes, contudo, segundo estimativas para o ano de 2020, esse número aumentou para 1.499.641 habitantes, apresentando um crescimento de aproximadamente 100.000 pessoas (IBGE, 2021).

Limita-se ao norte com a Baía do Marajó, a Leste com o município de Ananindeua, ao sul com o Rio Guamá e a oeste com a Baía do Guajará, além disso, apresenta um território de aproximadamente 1.059,458 Km², em que apenas 34,6% correspondem à porção continental e 65,4% a porção insular composta por 39 ilhas (CDP, 2016; IBGE, 2021).

Belém apresenta parte expressiva do seu território com altitudes inferiores a 10 m, conforme demonstrado por Pontes et al. (2017), o que torna toda a zona em que historicamente a cidade se desenvolveu, classificada como de ambiente de várzea, explicando a adequação topográfica do Alagado do Piry de Jussara. A interação entre as drenagens superficiais de Belém e a movimentação das marés, acaba por resultar na transformação dos corpos d'água superficiais em espécies de barragens hídricas naturais a partir do momento que o nível das águas é elevado. Com isso, o processo de escoamento é paralisado e algumas vezes revertido, gerando alagamentos e inundações nas cotas mais elevadas do terreno (CDP, 2016). De forma complementar destaca-se a influência da precipitação pluviométrica, que contribui para a recarga hídrica no período chuvoso e o reabastecimento a partir do sistema subterrâneo, no período menos chuvoso.

Franco et al. (2019) no referente a climatologia sazonal da precipitação, para o período de 1982 a 2016 (34 anos de dados), identificaram que em Belém ocorre no trimestre DJF (Dezembro-Janeiro-Fevereiro) os maiores volumes de precipitação, com valores superiores a 1000 mm, estes se devem à influência da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT). No trimestre MAM (março-abril-maio) o regime pluviométrico sazonal apresenta um aumento com volumes pluviométricos superiores a 1200 mm, dada a posição mais ao sul da ZCIT no mês de março. Costa et al. (2019) descrevem o trimestre JJA (Junho-Julho-Agosto) como caracterizado por uma redução significativa na precipitação na Amazônia Oriental, configurando a estação de seca, com valores menores de precipitação (1-4 mm/dia), podendo ter uma leve melhoria pela ocorrência de Linhas de Instabilidade (LIs) no litoral da região.

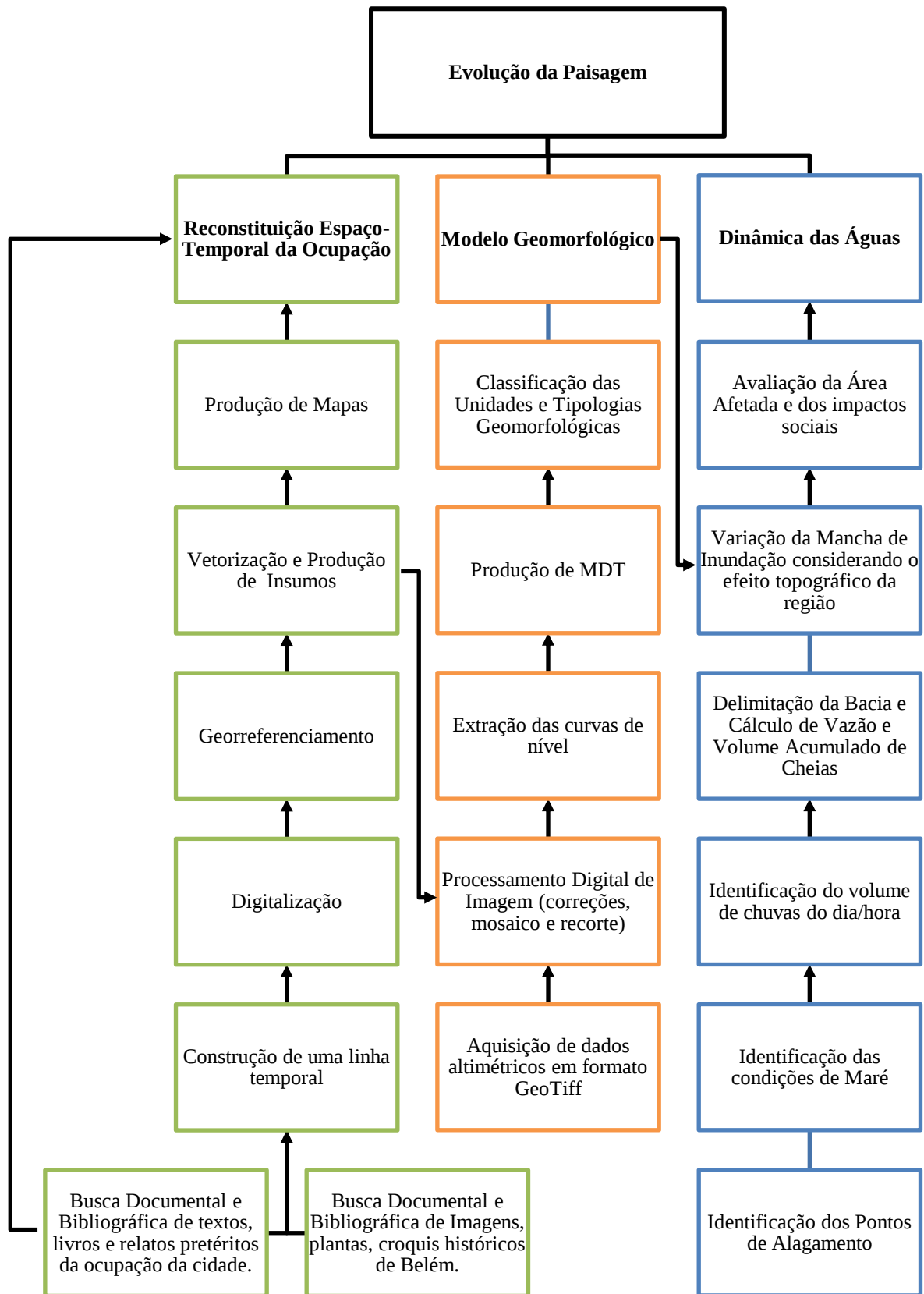
1.3 Metodologia Simplificada

Por se tratar de uma pesquisa retrospectiva espaço-temporal, uma vez que serão analisados fatores históricos, físicos e antropogênicos, a metodologia do referido trabalho terá três vertentes de aplicação: uma que consistirá na Reconstituição espaço-temporal da área do Alagado, bem como a ocupação ocorrida sobre o mesmo; a segunda vertente que terá como escopo a realização de um modelo geomorfológico da área, e uma terceira vertente, que consistirá no estudo do comportamento hídrico sobre a área que antes se encontrava o Alagado.

O fluxograma na Figura 3 ilustra a três vertentes citadas, que fazem parte da estrutura metodológica aplicada para realizar o Estudo Paleoambiental da área que outrora foi ocupada pela Bacia do Piry. Ressalta-se que o detalhamento de todos os processos está disposto em cada capítulo correspondente.

Para isso, como pôde ser visto no Fluxograma exposto da Figura 3, uso das Geotecnologias, bem como do Geoprocessamento é extremamente eficaz e de suma importância para o trabalho, servindo como uma excelente ferramenta para a reconstituição do Alagado do Piry de Jussara. Além disso, as Geotecnologias se mostram prósperas na pesquisa e no desenvolvimento de tomadas de decisões que visam melhorar e adequar a gestão das análises sociais e ambientais, tornando-se imprescindível para o ordenamento territorial e a tomada de políticas públicas (SILVA; ROCHA; AQUINO, 2016).

Figura 3 – Fluxograma Metodológico da Pesquisa.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

1.4 Estrutura da Dissertação

Para uma melhor abordagem e entendimento da pesquisa como um todo, a presente Dissertação está estruturada em 4 capítulos.

No Capítulo 1 (*Introdução Geral*) é apresentada a temática central que será abordada durante todo o estudo, bem como, as questões norteadoras (problema e hipótese), os objetivos, a área de estudo, a estruturação do trabalho e a metodologia simplificada.

Já no Capítulo 2 (*Reconstituição espaço-temporal do Alagado do Piry de Jussara, Belém-Pa: evolução e impacto na urbanização*), é feita a abordagem histórica textual e visual (através de mapas) de como ocorreu a ocupação da cidade de Belém, desde os seus primórdios, assim como, a irradiação populacional sobre o Alagado do Piry, e a delimitação da área do mesmo.

No Capítulo 3 (*Modelagem Digital de Terreno como instrumento da Cartografia Geomorfológica: aplicação do método da Triangulação de Delaunay*) através da geração de um Modelo Digital de Terreno, são abordados os acidentes geográficos que compõem a área de estudo, bem como a geomorfologia do Alagado do Piry. Ademais também são discutidos neste capítulo as classificações das Unidades e Tipologias geomorfológicas apresentadas por alguns autores, e como a ação antrópica transforma e descaracteriza as formas de relevo que compõem o meio.

O Capítulo 4 (*A Dinâmica das Águas na Bacia do Piry*) sintetiza a dinâmica das águas na Bacia do Piry, consistindo no estudo, análise e representação dos elementos que compõem este ciclo hidrodinâmico, como precipitação e variação de marés, e identificando os principais pontos de alagamento, e as manchas de inundação resultantes dessa dinâmica. Além disso, ainda no Capítulo 4, discorre-se a respeito da ocupação sobre cursos d'água, e da crescente influência das mudanças climáticas em eventos extremos nas cidades costeiras.

Por fim, no Capítulo 5 (*Conclusão Geral*) são abordadas as principais considerações acerca do estudo realizado, além de sugerir e inferir a necessidade de futuras ações no que diz respeito ao tema abordado.

CAPÍTULO 2 – RECONSTITUIÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DO ALAGADO DO PIRY DE JUSSARA, BELÉM-PA: evolução e impacto na urbanização¹

SPACE-TEMPORAL RECONSTITUTION OF ALAGADO PIRY DE JUSSARA, BELÉM-PA: evolution and impact on urbanization

RECONSTITUCIÓN ESPACIAL-TEMPORAL DE ALAGADO PIRY DE JUSSARA, BELÉM-PA: evolución e impacto en la urbanización

RESUMO

Historicamente, a cidade de Belém tem lidado com a dinâmica hídrica, características da região amazônica. Relatos apontam que no decorrer dos séculos XVII, XVIII e XIX os que chegavam na cidade defrontavam-se com uma superabundância de águas, provenientes de uma área alagada denominada de Alagado do Piry de Jussara. Nesse sentido, o referido estudo buscou, através do geoprocessamento, reconstituir espacialmente a área e a geometria do alagado, bem como espacializar a ocupação urbana sobre o mesmo. Dessa forma, através da elaboração de mapas nos anos de 1631, 1700, 1760, 1791, 1844 e 1905 foi possível identificar que as obras de dessecamento do Piry ocorreram durante todo o século XIX, e que a área que outrora foi ocupada pelo Alagado, hoje abrange três bairros do centro de Belém, os quais sofrem com enchentes e inundações rotineiramente. Assim, ao fim do estudo, questiona-se a forma com que os gestores lidam com a superabundância de água na região, uma vez que foi possível concluir que a cidade de Belém cresceu e expandiu-se sobre as águas, e que até hoje tende a conviver com problemas relacionados ao fator hidrográfico da região.

Palavras-chave: dessecamento; Alagado do Piry; colonização; geoprocessamento.

ABSTRACT

Historically, the city of Belém has dealt with water dynamics, characteristics of the Amazon region. Reports point out that during the 17th, 18th and 19th centuries those who arrived in the city were faced with an overabundance of waters, coming from a flooded area called Alagado

¹ Publicado na Revista Cerrados, Qualis A2: (SILVA, M. V. S.; LIMA, A. M. M. Reconstituição espaço-temporal do Alagado do Piry de Jussara, Belém-PA: evolução e impacto na urbanização. **Revista Cerrados**, v. 19, n. 01, p. 113-139, 10 fev. 2021)

do Piry de Jussara. In this sense, the aforementioned study sought, through geoprocessing, to spatially reconstitute the area and the geometry of the flooded, as well as to spatialize the urban occupation over it. Thus, through the elaboration of maps in the years 1631, 1700, 1760, 1791, 1844 and 1905 it was possible to identify that the desiccation works of Piry occurred throughout the 19th century, and that the area that was once occupied by Alagado, today it covers three neighborhoods in the center of Belém, which routinely suffer from floods and floods. Thus, at the end of the study, it is questioned the way in which the managers deal with the overabundance of water in the region, since it was possible to conclude that the city of Belém grew and expanded over the waters, and that until today it tends to live with problems related to the hydrographic factor of the region.

Keywords: desiccation; Alagado do Piry de Jussara; colonization; geoprocessing.

RESUMEN

Históricamente, la ciudad de Belém se ha ocupado de la dinámica del agua, característica de la región amazónica. Los informes señalan que durante los siglos XVII, XVIII y XIX quienes llegaron a la ciudad se enfrentaron a una sobreabundancia de aguas, provenientes de una zona inundada denominada Alagado do Piry de Jussara. En este sentido, el estudio mencionado buscó, a través del geoprocesamiento, reconstituir espacialmente el área inundada y la geometría, así como espacializar la ocupación urbana sobre ella. Así, mediante la elaboración de mapas en los años 1631, 1700, 1760, 1791, 1844 y 1905 se pudo identificar que los trabajos de desecación de Piry ocurrieron a lo largo del siglo XIX, y que la zona que alguna vez fue ocupada por Alagado, hoy abarca tres barrios del centro de Belém, que habitualmente sufren inundaciones e inundaciones. Así, al final del estudio, se cuestiona la forma en que los gestores afrontan la sobreabundancia de agua en la región, ya que se pudo concluir que la ciudad de Belém creció y se expandió sobre las aguas, y que hasta hoy tiende vivir con problemas relacionados con el factor hidrográfico de la región.

Palabras clave: desecación; Alagado do Piry de Jussara; colonización; geoprocesamiento.

2.1 Introdução

Nos últimos 250 anos, “a economia global cresceu 135 vezes, a população mundial 9,2 vezes e a renda per capita 15 vezes”, apontando que esta evolução demoeconômica é a maior já

ocorrida nos últimos 200 mil anos (surgimento do *Homo sapiens*), classificando esse período da história do planeta como Antropoceno, que é marcado pela atuação do ser humano como a principal força de modificação da Terra, uma vez que este, expandiu as atividades agrícolas e a domesticação dos animais, ergueu cidades e estabeleceu uma máquina de produção e consumo de bens e serviços nunca antes vista (ARTAXO, 2014; VIOLA; BASSO, 2016; ALVES, 2020).

A sociedade como um todo – ou pode-se dizer o homem – é responsável por organizar o espaço e o ambiente de inúmeras maneiras, transformando, intensificando ou até mesmo criando formas e processos sobre ambientes naturais. Ou seja, com o processo de dominação, expansão e urbanização, o ser humano alterou e altera ambientes naturais para criar ambientes artificiais, pode-se dizer urbanizados, visando o atendimento das suas necessidades como grupo social. (ARAÚJO JÚNIOR, 2013a; SALLES et al., 2013).

Comitre (2017) aponta que os modelos de desenvolvimento urbano das grandes cidades estão ligados diretamente com as relações sociais e a atuação do poder público em cada momento da história, conotando apropriações distintas para cada cidade.

Nesse contexto, por ser marcado pela presença de uma extensa e complexa rede hidrográfica, o território Amazônico teve sua ocupação e a formação de seus assentamentos urbanos seculares a partir de cidades ribeirinhas, e por conta disso, os que ali chegaram e os que ali vivem, adaptaram-se ao *habitat* ribeirinho, como modo de convivência e viabilização (RODRIGUES et al., 2018).

Historicamente as cidades amazônicas estão localizadas às margens dos rios e tendem a crescer margeando os mesmos, neste contexto, a cidade de Belém desde suas origens apresentou uma localização bastante singular na região. Inserida no Estuário Amazônico (complexo hidrográfico formado por baías, furos e ilhas), Belém está edificada sob uma península fluvial contornada ao sul pelo rio Guamá e à oeste pela baía do Guajará (SANTOS; ROCHA, 2013). Luz et al. (2015) ainda afirmam que a fundação da cidade é marcada por mudanças profundas em seu sítio natural.

Frente a isso, desde sua colonização em 1616 (século XVII), Belém precisou conviver com a superabundância de água contida na região. Devido à proximidade de rios, às chuvas frequentes, à formação de áreas alagadiças e a existência de terrenos de cota baixa, a história da fundação, estruturação e expansão de Belém demonstra como a presença dos cursos d'água no ambiente configurou os primeiros traçados da cidade (ALMEIDA, 2011; PONTE, 2015).

Almeida (2011) ainda declara que durante o processo de expansão do até então pequeno núcleo urbano, chamado de Santa Maria de Belém do Grão-Pará, as águas eram vistas como obstáculos ao crescimento da cidade, e por conta disso durante todo o século XIX adotou-se

uma postura de enfrentamento das mesmas. Desta forma, o princípio básico é de que era necessário controlar as águas, contê-las, drená-las e acomodá-las em valas.

Naquele momento da história, na visão dos expansionistas da época, o principal obstáculo natural que interrompia a irradiação do núcleo urbano de Belém, era o chamado Alagado do Piry de Jussara (nomenclatura oriunda da cultura indígena), uma vez que este impedia a integração física entres os dois primeiros bairros da cidade: Campina e Cidade Velha. Ademais, devido sua extensão, o Piry impossibilitava o crescimento do até então núcleo urbano, para os sentidos nordeste, leste, e sudeste, fazendo com que o desenvolvimento de Belém fosse similar ao de uma área insular. Com isso, acabou-se criando uma visão depreciativa sobre o Piry, pois por muitos, esse elemento natural foi visto como um empecilho ao crescimento de Belém (PENTEADO, 1968; ARAÚJO JUNIOR; AZEVEDO, 2012).

Partindo dessa convicção, no século XIX ocorre o dessecamento do Alagado do Piry, considerado pelos gestores e engenheiros da época um marco vitorioso na “guerra” contra as águas da região (ALMEIDA, 2011). Assim sendo, traz-se a importância da cartografia e das geotecnologias, esse ferramental é visto como viabilizador de novas propostas de planejamento urbano, visto que proporciona a geração e a análise de informação espacial, auxiliando na tomada de decisão (FARINA, 2006).

Oliveira et al. (2008) aponta que o termo geoprocessamento representa qualquer tipo de processamento de dados georreferenciados (que detêm coordenadas geográficas), e que além disso, abrange técnicas e conceitos de cartografia, sensoriamento remoto, fotogrametria, GNSS (*Global Navigation Satellite System*) e SIG (Sistema de Informações Geográficas). Nesse sentido, pode-se dizer que os SIG's são ferramentas que são utilizadas para manipular qualquer tipo de feição geográfica bem como os seus atributos, os quais compõe um banco de dados (SOARES; MORAIVA, 2015). Tais dados podem ser qualitativos, quantitativos, físicos, sociais, culturais, meteorológicos, entre outros, desde que sejam atribuídas coordenadas geográficas ao dado que está sendo processado (OLIVEIRA et al., 2008; CARVALHO et al., 2012).

Assim sendo, a espacialização de fenômenos e dados georreferenciados, bem como o uso das geotecnologias, assumem relevância, pois auxiliam e possibilitam a gestão do território de forma mais eficaz e racional, e é de grande valia na elaboração de políticas públicas, pois propicia a identificação espacial, o controle e uso do solo e a elaboração de diagnósticos e prognósticos voltados para a área demandada (FARINA, 2006; POLIDORO; BARROS, 2010). Visando associar as geotecnologias ao estudo do território Amazônico o presente estudo teve por objetivo reconstituir espacialmente a área outrora ocupada pelo Alagado do Piry de Jussara,

no município de Belém, estado do Pará, bem como ilustrar através de mapas, como ocorreu a ocupação urbana sobre o mesmo.

Para isso, a metodologia do estudo buscou através da pesquisa literária e bibliográfica de dados secundários, adquirir plantas, mapas e imagens históricas de Belém que ilustrassem – ou nortegassem – como se deu a ocupação urbana na cidade preteritamente. Para que posteriormente, fossem aplicadas técnicas de geoprocessamento, afim de reconstituir espacialmente e ilustrar através de mapas coropléticos, de forma coesa, em uma linha temporal, a ocupação urbana sobre a área alagada que existirá, denominada de Piry de Jussara.

2.2 Área de Estudo

2.2.1 O Alagado do Piry de Jussara

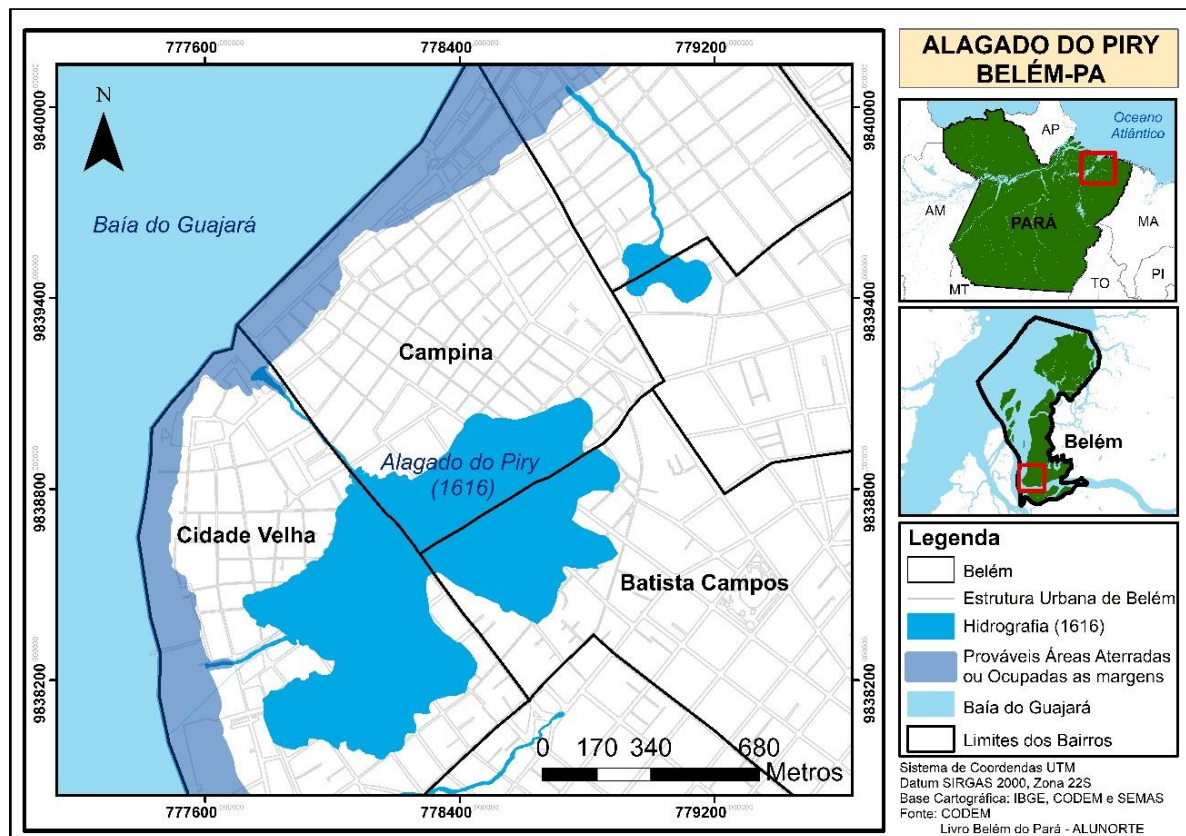
Segundo Luz et al. (2015), relatos históricos evidenciam que Castelo Branco ao chegar em Belém em 1616, encontrou uma ponta de terra acessível pelo mar e protegida pela terra por um extenso igarapé que nascia em uma região alagada e desembocava onde é hoje a doca do Ver-o-Peso (Figura 4). Tal relato se tratava do Alagado do Piry, que como expõe as Figuras 4 e 5, apresentava dois braços, um vindo de onde hoje desemboca o canal da Avenida Almirante Tamandaré e outro que desembocava onde atualmente se encontra a denominada doca do Ver-o-Peso, seguindo para as Avenidas Portugal/16 de Novembro, de tal forma, que isolava o pedaço de terra entre esses dois cursos d'água do restante do continente.

Figura 4 – Belém retratada em 1631.



Fonte: Meira Filho (1976).

Figura 5 – Mapa de Localização do Alagado do Piry de Jussara, com base na divisão dos Bairros.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

Com as seguintes coordenadas geográficas centrais: Latitude 01° 27' 31,93" S e Longitude 48° 29' 58,66" W (em UTM: E: 778228,050 e N: 9838596,107); estima-se que a área onde outrora foi ocupada pelo Alagado do Piry, atualmente abranja 3 bairros de Belém, como mostra a Figura 4, são eles: Cidade Velha, Campina e Batista Campos. Segundo os dados do Anuário Estatístico do Município de Belém (2011), infere-se que 37.420 pessoas residem nos bairros de abrangência da área do Alagado, uma vez que, em 2010 o bairro da Cidade Velha detinha uma população de 12.128 habitantes, enquanto Batista Campos e Campina, 19.136 e 6.156 habitantes, respectivamente.

2.2.2 Crescendo sobre as Águas: A Ocupação urbana de Belém

Em 25 de dezembro de 1615, Francisco Caldeira de Castelo Branco, partiu do Forte de São Luiz no Maranhão, em expedição rumo a região norte até então pouco conhecida. O Arcebispo de Lisboa, então Vice-rei de Portugal, comunicou por meio de uma carta a D. Luiz de Souza, Governador geral do Brasil, a chegada de Castelo Branco a Belém, nas palavras do Arcebispo: "...em que me dá conta haver chegado a ele em salvamento, os três navios com que partiu em 18 dias, e com a armada entrar pelo primeiro braço que aquele rio faz..." (MEIRA FILHO, 1976, p. 51). Com isso, conclui-se que após partir do Forte de São Luiz em 25 de dezembro de 1615, Castelo Branco levou apenas 18 dias para ancorar em Belém (MEIRA FILHO, 1976).

Segundo Penteado (1968), Santa Maria de Belém do Grão Pará foi o primeiro núcleo cristão no extremo norte do Brasil. Assim como muitas cidades que ainda viriam a ser fundadas na Amazônia, em 1616 Belém teve seu ponto de partida a sombra de um Forte, além de constitui-se de antigos aldeamentos onde missionários trabalhavam na catequização e pacificação da população nativa.

Narrativas afirmam que ao adentrar na Baía do Marajó e passar por entre as ilhas que originam a Baía de Guajará, Castelo Branco avistou uma porção de terra com características propícias à edificação de um forte, pois, segundo Luz, Rodrigues e Ponte (2015, p. 1), a mesma era composta por "uma ponta de terra inacessível pela parte do mar e defendida pela parte da terra por um extenso igarapé, que nascendo do alagado do Piry ia desembocar onde hoje é a doca do Ver-o-Peso". Contudo, com o passar dos anos aquele elemento natural, que até então era visto como uma vantagem para os colonizadores, viria a se tornar um obstáculo para a expansão urbana do núcleo (PENTEADO, 1968; ARAÚJO JUNIOR; AZEVEDO, 2012).

Naquele momento via-se a implantação de uma cidade com características costeira e estuarina, uma vez que o Rio Guamá se prendia ao continente e o estuário Guajará ligava-se ao Oceano Atlântico. Desta forma, Belém nasceu e expandiu-se sobre influência do interior e do mar, o que segundo Ponte (2015), nitidamente estava vinculado à defesa da Colônia e a possibilidade de troca comercial. Nesse sentido, por localizar-se em um terraço fluvial, protegido de fenômenos marítimos e estar “na porta de entrada” da até então desconhecida Amazônia, tem-se aí o início da formação da cidade de Belém do Grão Pará. A princípio, Belém apresentou um processo de ocupação mais voltado para o rio Guamá do que para a Baía do Guajará, sofrendo com a ação antropogênica (ARAÚJO JÚNIOR, 2013b) em razão da expansão urbana, sendo que as áreas topograficamente mais favoráveis (que nesta época já eram ausentes) neste momento faziam parte da ocupação urbana (ARAÚJO JÚNIOR; AZEVEDO, 2012; ARAÚJO JÚNIOR, 2013a).

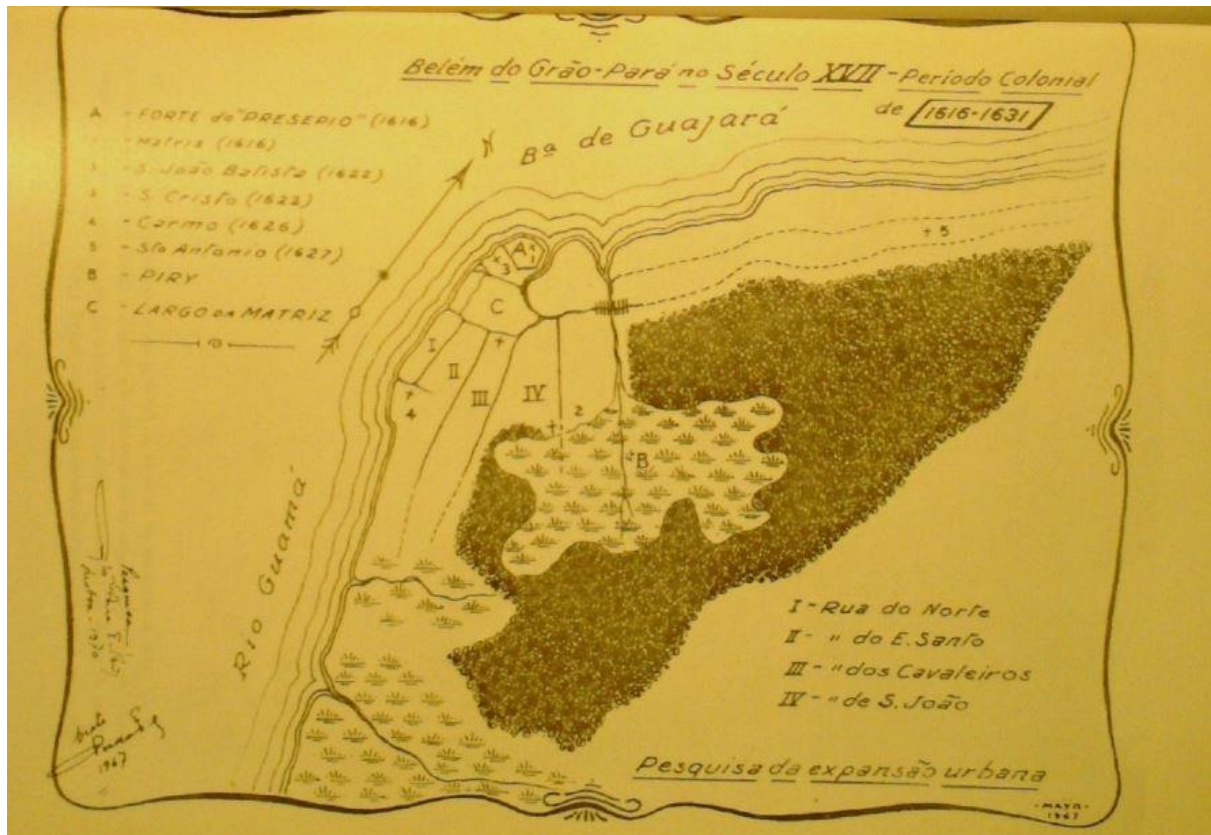
O Forte do Presépio foi o ponto irradiador para o nascimento e desenvolvimento do núcleo urbano, o trabalho de penetração na mata densa era cansativo, porém não desanimou os colonos. Cruz (1973) afirma que por volta de 1650 já estavam abertas as primeiras ruas, todas paralelas ao rio (como evidência a Figura 6). Naquele momento, via-se a consolidação do primeiro bairro de Belém, chamado de Cidade.

Deve-se ressaltar que as missões religiosas foram primordiais para a expansão do núcleo urbano, uma vez que segundo Araújo Júnior e Azevedo (2012), todo o conjunto arquitetônico de Igrejas, Catedrais e Conventos seguia a um traçado bastante peculiar, como exposto nas Figuras 6 e 7, retratando muito bem o período conhecido como “entre a cruz e a espada”, e evidenciando o papel da Igreja na colonização.

Desta forma, impulsionada pela chegada de 50 famílias dos Açores, em 1676, entre o final do século XVII e início do século XVIII, Belém era apenas um povoado com uma população ínfima. O núcleo urbano era composto por apenas dois assentamentos (que mais tarde evoluíram para bairros), a Cidade e a Campina² (Figura 7), sendo estes separados por um rio e um Pântano, o Alagado do Piry (PENTEADO, 1968; CRUZ, 1973; PONTE, 2015).

² Tais assentamentos também eram classificados como “Freguesias”, e recebiam o nome de Sé e Senhora Santa Anna da Campina, respectivamente (BAENA, 2004, p. 184).

Figura 6 – Croqui do início do processo de ocupação do núcleo urbano de Belém, tendo o alagado do Piry como um de seus primeiros “obstáculos” naturais à expansão urbana.



Fonte: Meira Filho (1976).

Figura 7 – Croqui de reconstituição de Belém no fim século XVII.



Fonte: Penteadó (1968).

Á vista disso, em suas palavras, Baena (2004) descreve a situação espacial naquele cenário:

(...) O Largo da Matriz da Campina é mais alto que o da Sé seis palmos, e o apartamento estes dois Templos de 376 braças. Entre os dois bairros decorre por meio do Largo de Palácio da praia ao alagadiço chamado Píri terreno baixo ao olival do mesmo Píri; e deste começa terra firme, que dirigindo-se para leste chega a ter quinze palmos de altura: igual terreno baixo existe ao Oriente do bairro da Campina entre a praia e o Largo da Pólvora e a dita terra firme, que se estira do Píri para o Nascente. Tal é a índole topográfica da terra que sustém a cidade; e cuja altura sobre a preamar pouco excede a vinte palmos da banda do Largo de Santo Antônio e a trinta da banda do Largo da Sé (BAENA, 2004, p. 184).

Naquele momento, o processo de ocupação que ocorria em Belém era de forma não contínua, uma vez existiam obstáculos naturais que impediam a radiação da cidade. Como já dito anteriormente, o Alagado do Piry de Jussara foi um desses obstáculos, se não o principal, pois impedia a integração física entres os bairros da Cidade e o da Campina, bem como a

expansão do núcleo urbano no sentido nordeste, leste e sudeste. Com isso, Penteado afirma que a maior distância a partir do Forte do Presépio era até Igreja de Santo Antônio (Figura 7), reafirmando que o eixo norte era considerado o vetor de expansão urbana mais importante na época (PENTEADO, 1968; ARAÚJO JÚNIOR; AZEVEDO, 2012).

Segundo Cruz (1973), os poucos que ousavam ultrapassar para além do Bairro Campina, tinham que atravessar matas densas, onde alguns moradores construíam habitações modestas e desconfortáveis, e ali cultivavam para os membros reais. Com isso, Almeida (2011) aponta que no período entre o século XVII e início do século XIX, aqueles que chegavam na cidade defrontavam-se com uma superabundância de água, provenientes do Alagado do Piry, acrescidas com as águas resultantes da precipitação e de seu acúmulo natural. Ademais, Belém era é uma cidade baixa e por conta disso, era repleta de terrenos baixos e áreas consideradas pantanosas, a quais denominavam-se Igapós e Igarapés.

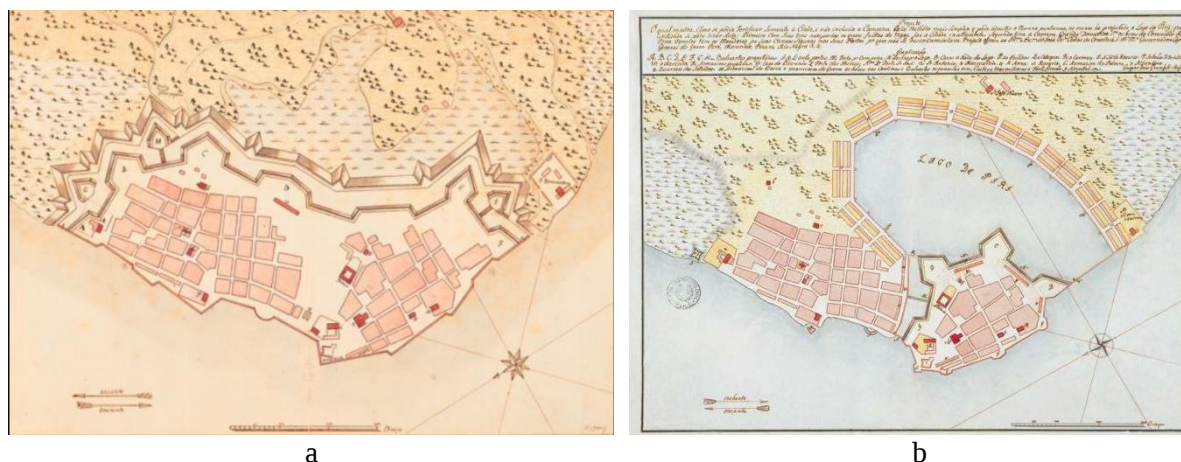
Desse modo, com o avanço dos séculos XVIII e XIX, os habitantes de Belém já não eram poucos e a ausência de habitações para todos já era uma realidade, como solução para o aumento da população no pequeno e limitado núcleo urbano, buscaram-se alternativas para um espraiamento massivo da mesma. Assim sendo, a partir da segunda metade do século XVIII até meados do século XIX, a área central de Belém foi marcada por grandes obras de drenagem e insecamento do Alagado do Piry (PENTEADO, 1968; ARAÚJO JÚNIOR, 2013).

Vale ressaltar, que além da falta de habitações, Belém convivia com a inundação de terrenos próximos ao Piry, visto que segundo Baena (2004), o Piry era um terreno de aluvião inteiramente horizontal e de cota baixa, e que duas vezes ao dia as águas da preamar penetravam o a área do Alagado.

Nesse sentido, o processo de dessecamento do Alagado era iminente, contudo, ainda no fim no século XVIII, muito se discutia sobre o assunto, pois haviam aqueles que discordavam do projeto de insecamento. Dentre esses o que mais se destacou foi o Major Engenheiro Gaspar João Geraldo Gronsfeld (CRUZ, 1973; BAENA, 2004; ALMEIDA, 2011). Em 1771 Gronsfeld apresentou ao Governador Fernando da Costa de Ataíde Teive um plano de transformação urbana, que tinha como intuito transformar Belém em uma segunda Veneza, aproveitando o Alagado do Piry para abrir canais em torno da cidade, por onde deslizariam as gôndolas, como pode ser observado na Figura 8 (a) (CRUZ, 1973; BAENA, 2004).

Almeida (2011) declara ainda, que Gaspar Gronsfeld confeccionou um segundo projeto, alternativo ao anterior, no qual neste, o Alagado do Piry seria transformado em um lago permanente e a parte mais antiga da cidade seria protegida por muros (Figura 8 (b)).

Figura 8 – Plantas da Cidade de Belém do Grão-Pará fortificada pelo método mais simples e de menor despesas, apresentada por Gaspar João Geraldo Gronsfeld (1773).



Fonte: Almeida (2011 apud REIS FILHO, 1999) e Companhia de Desenvolvimento e Administração da Área Metropolitana de Belém (CODEM).

Segundo Baena (2004), Gronsfeld acreditava que ao invés de empregar trabalhos hidráulicos no intuito de exsicar o Alagado, era melhor seguir os cursos da natureza, e aperfeiçoar a sua obra, fazendo um lagamar³. Contudo, ainda que a ideia de Gronsfeld tivesse fundamento, muitos moradores consideravam que os pântanos eram espaços propícios ao desenvolvimento de enfermidades e vetores de doenças diversas, sendo um argumento a mais para a ratificação do dessecamento do Piry (BAENA, 2004; ALMEIDA, 2011).

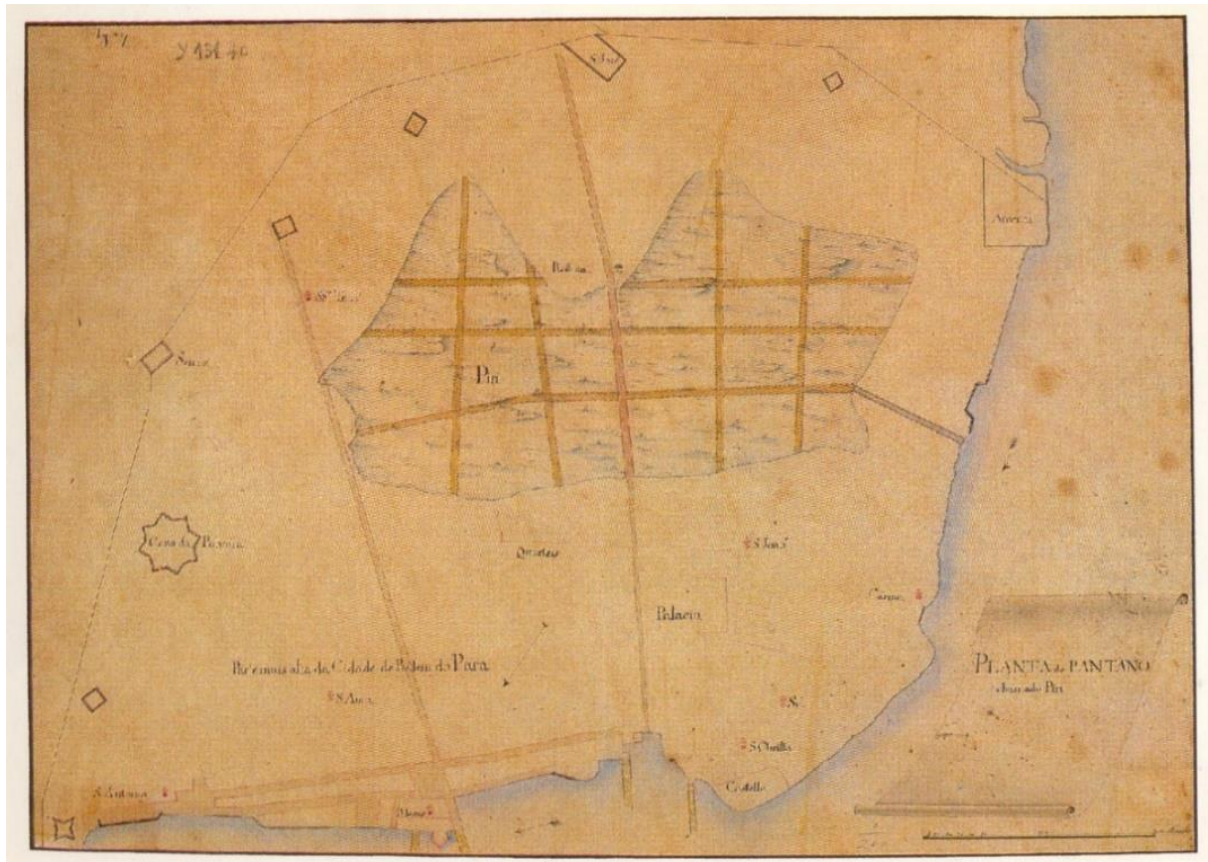
Foi então que sob o comando do Governador e Capitão General do Grão-Pará e Rio Negro, Conde dos Arcos, a tarefa de dessecamento do Alagado do Piry de Jussara foi atribuída ao Engenheiro Militar João Rafael Nogueira, cabendo aos escravos e livres desafortunados o trabalho braçal (CRUZ, 1973; ALMEIDA, 2011).

Ainda segundo Almeida (2011), durante o processo de dessecamento, com o intuito de promover a drenagem do Alagado, foram construídas valas, como expõe a Figura 9, estas foram abertas à custa do trabalho de moradores não abastados e do uso de instrumentos como “balde de vallador”⁴ e pá. O objetivo desse mecanismo era escorrer às águas advindas do alagado, fazendo com que estas percorressem o caminho até o desagüe.

³ **Lagamar**: Baía ou golfo abrigado no interior de um rio ou numa enseada (DICIO, 2020).

⁴ **Balde de Vallador**: Um tipo de balde muito utilizado na construção de valados e fossos. Sua utilização consiste na retirada de terra do fosso e lançamento no sítio do valado (ACADÊMIA REAL DAS CIÊNCIAS DE LISBOA, 2018).

Figura 9 – Projeto de Dessecamento do Alagado do Piry, proposta por Nogueira.



Fonte: Companhia de Desenvolvimento e Administração da Área Metropolitana de Belém (CODEM^{ano}).

As obras de dessecamento do Piry demandaram vários anos, à proporção que as obras ocorriam e as extensas valas do Alagado eram convertidas em áreas sólidas iam aparecendo novas edificações (CRUZ, 1973; ALMEIDA, 2011).

Com base na Figura 9, Almeida (2011) e Cruz (1973) explicam que a planta proposta por Nogueira apresentava três longas estradas horizontais sobre o Alagado, nas quais foram plantados taperebazeiros, laranjeiras e mongubeiras. Ademais, outras estradas foram implantadas, dentre estas a principal era a estrada denominada de “São José”, a qual se estendia do “Palácio” ao “São José”. Cruz aponta ainda que por ordem de Conde dos Arcos foram levantadas paredes de acapu de onde pendiam as trepadeiras que davam um aspecto mais formoso ao local (Estrada São José).

A respeito do novo trecho que antes era ocupado pelo Alagado, segundo a descrição do naturalista Henry Bates (1979) citado por Almeida (2011),

(...) Esse trecho é cortado por estradas pavimentadas, sendo a principal delas a estrada das Mongubeiras, com cerca de um quilômetro e meio de extensão. (...) Essa bela avenida foi construída por volta de 1812, durante o governo do Conde dos Arcos. Ela é cortada perpendicularmente por vários caminhos estreitos e verdejantes, sendo a região inteira drenada por um sistema de pequenos canais e fossos, através dos quais a maré flui e reflui, o que mostra como são baixas as terras. (grifos meus). (BATES, 1979, p.14 apud ALMEIDA, 2011, p.7).

A descrição de Bates reforça a ideia de que naquele período a Avenida citada é conhecida atualmente como a Avenida Almirante Tamandaré, uma vez que segundo informações da Prefeitura de Belém, outrora a mesma foi denominada de Estrada das Mongubeiras (PREFEITURA DE BELÉM, 2020).

Nesse seguimento, Almeida (2011) aponta que o processo de dessecamento do Piry estendeu-se durante todo o período do século XIX, e não apenas este, uma vez que a dinâmica das águas na região onde outrora se encontrava o Alagado são discutidas até hoje. Além disso, a autora ainda esclarece que no fim século XIX, mapas de Belém ainda indicavam a existência de terrenos baixos e igapós na área que no passado foi ocupada pelo Piry, indicando a permanência de áreas alagadiças (ALMEIDA, 2011).

2.3 Materiais e Métodos

2.3.1 Aquisição de Dados

Por se tratar de uma pesquisa retrospectiva espaço-temporal, uma vez que foram analisados fatores históricos, físicos e antropogênicos, a reconstituição da área do Alagado do Piry de Jussara, assim como a expansão urbana ocorrida sobre o mesmo, consistiu inicialmente na busca documental e bibliográfica de plantas, imagens e mapas históricos, além de relatos pretéritos, que vieram servir de base para o georreferenciamento e vetorização espacial.

Para isso, tais materiais foram adquiridos em órgãos de planejamento e gestão de Belém, como a Companhia de Desenvolvimento e Administração da Área Metropolitana de Belém (CODEM) e a Secretaria Municipal de Saneamento (SESAN), ressaltando também a aquisição dos materiais por meio de buscas digitais, como evidencia o Quadro 1.

Quadro 1 – Base cartográfica associada a área Alagado do Piry de Jussara.

Ano	Autor
1631-1650	DANGELO, Jota. Edição especial do livro Belém do Pará – ALUNORTE (Desenhada segundo dados históricos do autor João André Schwebel).
1650-1700	DANGELO, Jota. Edição especial do livro Belém do Pará – ALUNORTE (Desenhada segundo dados históricos do autor João André Schwebel).
1760-1770	Acervo digital da Companhia de Desenvolvimento e Administração da Área Metropolitana de Belém – CODEM (Autor não identificado).
1791	CHERMONT, Theodosio Constantino
1844	OLIVEIRA, Pétia Arruda. Livro: Utopia possível na cidade velha, Belém.
1905	OLIVEIRA, Pétia Arruda. Livro: Utopia possível na cidade velha, Belém.
1918	BRAGA, Theodoro

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Além dos dados históricos já citados, também foram utilizadas as bases vetoriais (dados no formato *shapefile*) expostas no Quadro 2.

Quadro 2 – Bases Cartográficas secundárias utilizadas como referências.

Base Vetorial	Fonte
Hidrografia	Secretaria de Meio Ambiente e Sustentabilidade do estado do Pará (SEMAS)
Drenagem	Secretaria de Meio Ambiente e Sustentabilidade do estado do Pará (SEMAS)
Limites Municipais	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE)
Limites Estaduais	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE)
Delimitação dos Bairros de Belém	Companhia de Desenvolvimento e Administração da Área Metropolitana de Belém (CODEM)
Estrutura Urbana da cidade de Belém (2015)	Companhia de Desenvolvimento e Administração da Área Metropolitana de Belém (CODEM)

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Estas serviram de alicerce tanto para a etapa de georreferenciamento como para a vetorização, além de serem elementos gráficos e de referências nos mapas finais. Com exceção da base vetorial da Estrutura Urbana de Belém, todas as demais foram adquiridas por meio de buscas e consultas digitais, nas páginas dos referidos órgãos. Os mesmos foram reprojetados para o Datum SIRGAS 2000 Sistema de coordenadas UTM zona 22 S, bem como todos os outros dados que viriam a ser produzidos, adotando assim essa projeção para todo o projeto.

2.3.2 Procedimentos Metodológicos

Após a aquisição dos dados, foi realizada a análise de todo o material histórico adquirido, uma vez que se fazia necessário a estruturação da linha temporal de estudo que seria abordada. Com isso, através de *softwares* de geoprocessamento, foi realizada a digitalização, seguido do georreferenciamento dos dados obtidos (mapas, plantas e imagens).

Desta forma, utilizando as bases já citadas no Quadro 2 e imagens de satélite disponibilizadas pelo programa *Google Earth Pro*, realizou-se a captura de pontos foto identificáveis de locais já conhecidos e que já se encontravam na cidade pouco após sua fundação, como a Igreja da Sé, Forte do Presépio, Igreja das Mercês, Igreja do Carmo, Capela de Santo Antônio, entre outros. Além disso, por se tratar do Centro histórico da cidade, algumas ruas e quadras ainda mantêm a mesma geometria desde o período colonial, desta forma, com o auxílio da Base cartográfica da Estrutura urbana de Belém, foi possível realizar o georreferenciamento dos materiais históricos (plantas, mapas e imagens).

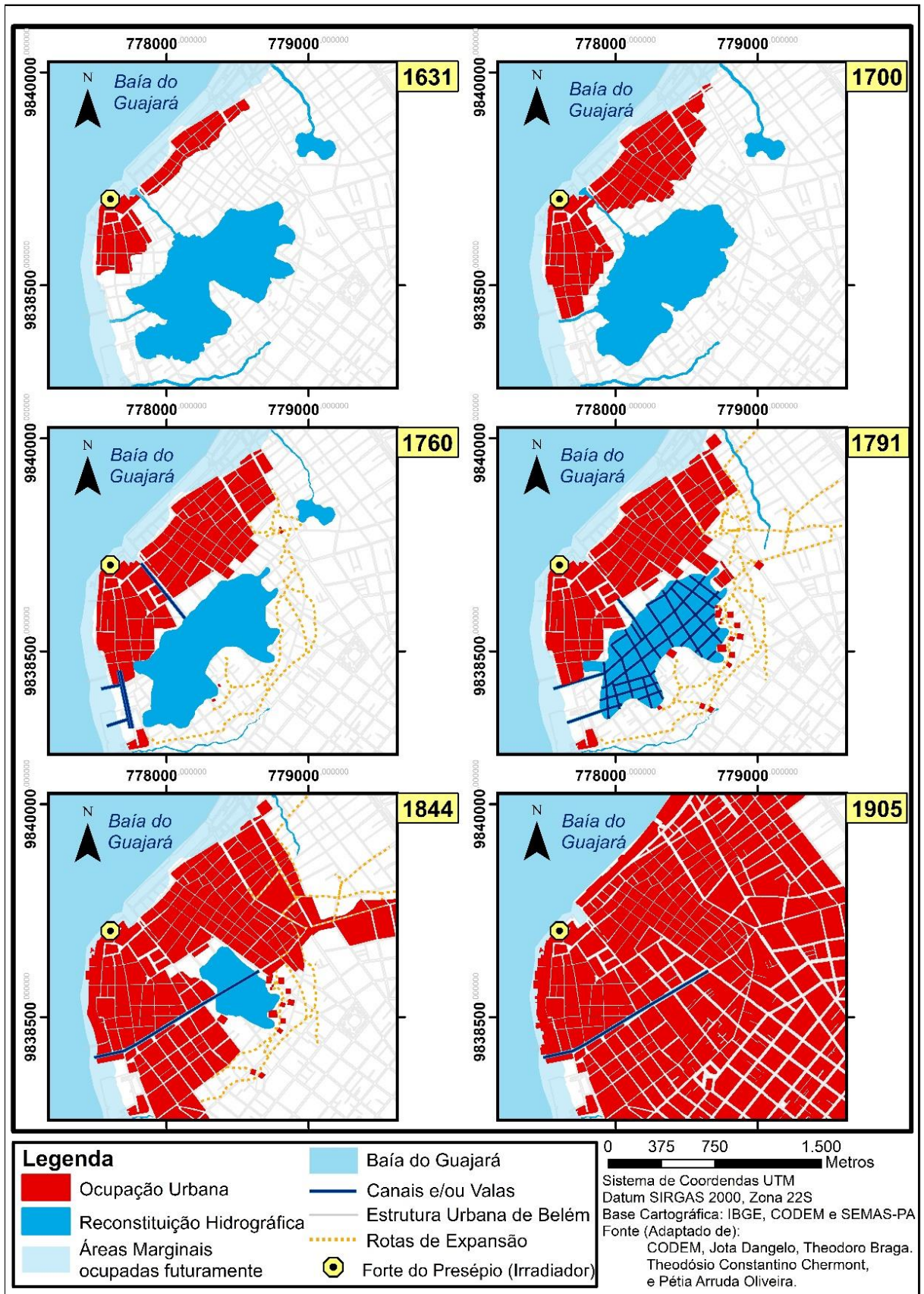
Por conseguinte, ainda com a utilização de *softwares* de geoprocessamento, foi realizada a vetorização das feições (ruas, quadras, cursos d'água e canais de drenagem), no qual foi possível identificar a área ocupada pelo Alagado do Piry de Jussara, bem como a ocupação urbana ao decorrer do tempo na área de estudo.

À vista disso, construiu-se um banco de dados geográficos, subdividido cronologicamente pelos anos que seriam mapeados, no qual cada pasta era composta pelas feições identificadas naquele período de estudo. Desse modo, foram plotados os mapas para os anos que viriam compor a linha temporal de estudo, possibilitando realizar a Reconstituição cartográfica da ocupação urbana sobre o Alagado do Piry de Jussara.

2.4 Resultados e Discussões

A partir dos mapas plotados para os anos de 1631, 1700, 1760, 1791, 1844 e 1905, foi possível realizar a Reconstituição da ocupação urbana sobre o Alagado do Piry de Jussara, exposto da Figura 10.

Figura 10 – Mapa da Reconstituição da ocupação urbana sobre o Alagado do Piry de Jussara.



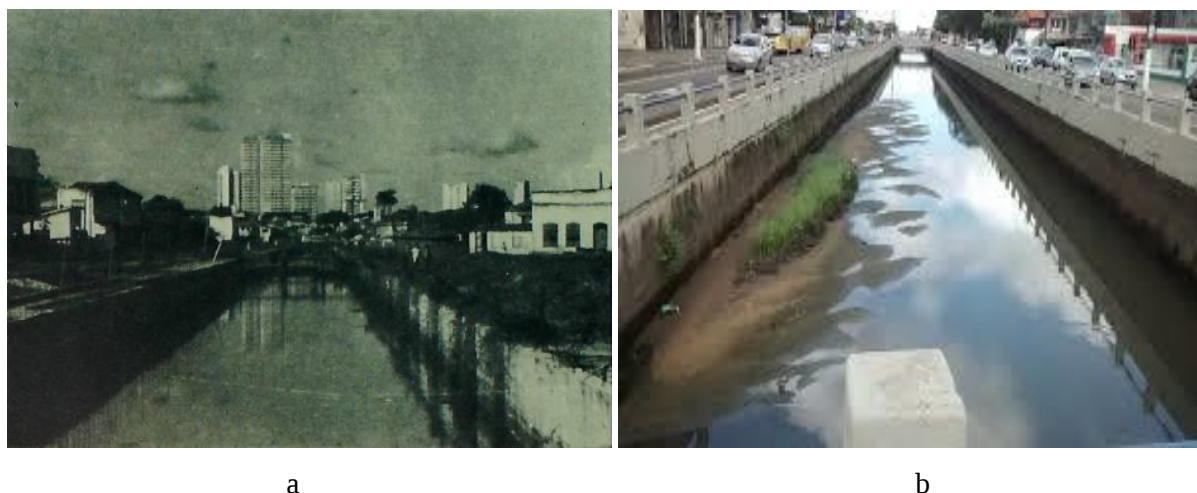
Fonte: Elaborado pelo Autor.

Com base nos mapas ilustrados na Figura 10, é possível observar que os relatos históricos apontados pelos autores já supracitados como Penteado (1968), Meira Filho (1976), Araújo Júnior e Azevedo (2012), Ponte (2015), entre outros, corroboram com o ilustrado na Figura.

Nota-se que em 1631 o núcleo urbano que mais tarde viria a se torna a cidade de Belém, resumia-se a uma ponta de terra isolada pelo Alagado do Piry e seus dois braços de deságue, este que segundo cálculos, ocupava uma área de aproximadamente 64,8306 hectares.

Nesse sentido, ao sobrepor a reconstituição hidrográfica produzida à estrutura urbana de Belém, constata-se que onde outrora corriam esses dois cursos d'água, hoje se encontram a Avenida Almirante Tamandaré (Figura 11, a e b) e as Avenidas Portugal e parte da 16 de Novembro, sendo ambas avenidas de extrema importância para o fluxo no centro da cidade.

Figura 11 – Canal da Avenida Almirante Tamandaré nos anos de 1960 (a) e 2017 (b).



Fonte: Penteado (1968); e Dutra et al. (2018).

Ainda com base na Figura 10, é possível observar que a partir de 1700 (século XVIII) ocorre um maior avanço para o norte e nordeste do pequeno núcleo urbano, tal crescimento evidencia o nascimento do que mais tarde se tornaria o bairro da Campina.

Contudo, por conta dos obstáculos naturais que ali existiam, logo essa expansão foi limitada, pois se de um lado havia o Piry do outro havia o Lago do Reduto (como pode ser visto no mapa exposto na Figura 10). Desta forma, por volta de 1760, os primeiros canais para conter os níveis dos cursos d'água provenientes do Piry logo foram edificadas, porém, estes eram bem precários. Além disso, também nesse período, houve a abertura das primeiras trilhas e rotas além do Piry, estas por sua vez, contornavam a região alagada.

Foi então que ao fim do século XVIII deu-se início ao projeto apresentado pelo Engenheiro Militar João Rafael Nogueira, de dessecamento do Piry, como foi apontado por

Cruz e Almeida (1973 e 2011, respectivamente). Diante disso, chama-se a atenção para o mapa referente ao ano de 1791 (Figura 10), que talvez seja o mais importante nesse trabalho, pois nele é possível observar o início do período das grandes obras de insecamento do Alagado do Piry de Jussara.

Nesse sentido, já se identifica a abertura das valas (e/ou canais) que serviram de caminhos para drenar a água contida no Alagado, além disso, é possível observar que parte do “braço” d’água que antes desaguava na doca do Ver-o-Peso já não existia mais, inferindo que o processo de dessecamento do Piry ocorreu voltado para o Rio Guamá.

Ademais, ainda em 1791, através da Figura 10, constata-se o aumento do número de rotas além do Piry, bem como a ocupação ao redor do mesmo. Com base nisso, vale citar Veríssimo (1895), que aponta na Amazônia a ocorrência de peixes que só podiam ser encontrados em lagos, lagoas, igapós e igarapés cobertos de mato, e que por conta disso, muitos moradores aproveitavam para realizar a pesca individual de subsistência ao redor dessas áreas.

Posteriormente, em 1844, já se enxerga uma redução consolidada da área que outrora foi ocupada pelo Alagado, seguida da acelerada ocupação urbana sobre a mesma área. Contudo, ainda é possível observar uma extensão do corpo d’água na área mais central, ilustrando que em meados do século XIX, o trabalho de dessecamento do Piry ainda não estava finalizado.

Chama-se a atenção também para o vetor de expansão urbana que ocorrera ao leste, pois ali onde hoje se encontra a Avenida Governador José Malcher, ao fim do século XIX e início do século XX passaria a Estrada de Ferro Belém-Bragança, nesse momento vale elucidar que Belém estava prestes a entrar no período conhecido como *Belle époque*, e que já era perceptível as primeiras influências francesas na cidade (COELHO, 2011; MOREIRA et al., 2014).

Foi então que nos primeiros anos do século XX deu-se a ocupação consolidada da região que no passado próximo já fora ocupada pelo Alagado do Piry de Jussara, como pode ser visto no mapa de 1905, na Figura 10. Vale ressaltar que naquele momento Belém, assim como Manaus, vivia o auge da *Belle époque*.

Embalados pela extração do látex na Amazônia, cidades como Belém, Manaus, Rio Branco e até mesmo o Rio de Janeiro, viviam uma era considerada de ouro, com base nisso, Coelho (2011) aponta que,

A *belle époque*, entendida como manifestação da Idade de Ouro da cultura urbana da burguesia contemporânea, e cujos quadros tradicionais, como visto, remetem para a Paris do final do século XIX e começo do XX, sempre foi um domínio visitado pela narrativa social brasileira. As próprias transformações urbanas de cidades como Belém e Rio de Janeiro no mesmo período foram tratadas como dimensões

especulares da belle époque matricial, parisiense, nas latitudes sociais e mentais do trópico brasileiro (COELHO, 2011, p. 142).

Impulsionada pela forte economia e pelo fluxo de viajantes e de produtos, a Belém da era da Borracha viu-se obrigada a crescer, desse modo tornou-se essencial o empenho de lidar com as águas. Na Região onde hoje se encontra o ponto Turístico da Estação das Docas, fora construído o Porto de Belém, que naquele momento fez-se necessário, pois era preciso escoar o látex que chegava a Belém pela Estrada de Ferro (ALMEIDA, 2011; THE GREEN CLUB, 2011).

Desta forma, como pode ser observado na Figura 8, a região marginal alagada que nos anos anteriores não havia sofrido nenhum tipo de antropização, com a chegada do século XX passou pelo processo de aterramento e dessecação, pois ali foi construído o Porto de Belém (THE GREEN CLUB, 2011).

Nesse sentido, pode-se afirmar que Belém cresceu e expandiu-se sobre as águas, pois assim como ocorreu no Alagado do Piry de Jussara, muitas outras áreas da cidade que outrora já foram alagadas e cortadas por cursos d'água hoje abrigam milhares de moradores nos mais diferentes bairros, seja residindo em Palafitas⁵ sobre áreas alagadas, seja na beira de canais e igarapés ou em áreas baixas que sofreram o processo de aterramento.

Frente a isso, chama-se a atenção para a ocorrência do ideal anti-histórico, denominado de Anacronismo, que segundo Voig (2017) e Cruz (2021), consiste na não equidade do homem com o seu tempo, com o seu período histórico. Em outras palavras, é um equívoco acreditar que as ações tomadas no século XVII, na irradiação da cidade de Belém, atenderiam as demandas atuais da cidade ou preveniriam dos problemas socioambientais atuais.

Isto porque, o pensamento ortodoxo apresenta uma relação inalienável com o tempo, espaço e cultura. Desta forma, há uma intensa interação entre o pensamento predominante e um determinado momento histórico, e naquele período (séculos XVII, XVIII e XIX) a ideia que prevalecia entre os moradores e colonizadores do núcleo urbano de Belém, era de expandir e ocupar áreas novas da cidade, mesmo que para isso fosse necessário dessecar e aterrar o Alagado do Piry.

As consequências desta geometria podem ser observadas nos trabalhos de Pontes et al. (2017), Sadeck et al. (2017) e Moreira et al. (2019) que apresentam e discutem os efeitos dos alagamentos em Belém. A cidade cresceu sem considerar o efeito do fluxo das águas

⁵ **Palafitas:** Habitação construída sobre troncos ou pilares, comum em áreas alagadiças, pois deixa a residência em uma altura que a água não alcança (ESCOLA BRITANNICA, 2020).

superficiais, aterrando diversos canais de escoamento e propiciando o surgimento de áreas alagadas de origem natural (pelo transbordo de canais) e antrópica, esta última principalmente decorrente da impermeabilização e obstrução dos sistemas de drenagem local.

2.5 Considerações Finais

Constatou-se que Belém surgiu e cresceu sobre as águas, uma vez que em 1616 aquele curso d'água que isolava o pedaço de terra em que foi construído um Forte, era visto como uma vantagem militar, contudo, com o passar dos anos, para fins de crescimento e expansão urbana, os corpos d'água – que vale ressaltar são característicos das cidades Amazônicas – foram vistos como obstáculos naturais para a irradiação da cidade. Desta forma, com base na avaliação histórica e cartográfica realizada, foi possível observar que a partir do final do século XVIII até o início do século XX, a área central de Belém foi marcada por grandes obras de dessecamento do Alagado do Piry de Jussara, bem como em outros pontos da cidade.

Com base na atual realidade da cidade, pode-se afirmar que essa idealização expansionista persiste até hoje, não apenas em Belém, mais também na conurbação que ocorre entre os municípios de Belém, Ananindeua e Marituba. Como pôde ser observado nos resultados do referido trabalho, em que avenidas de intenso fluxo de mobilização e urbanização como a Almirante Tamandaré e a Portugal, preteritamente eram cursos das águas que faziam parte da bacia do Piry, e mesmo após mais de um século do seu dessecamento, ainda há a ocorrência de enchentes e inundações nessas áreas.

A vista disso, levanta-se as seguintes questões: Será que a forma com que os gestores vêm lideando com a superabundância de água da região, desde a colonização, é a mais apropriada? E se ao invés do projeto de Nogueira que dessecou e aterrou o Piry, o projeto de Gronsfeld, que visava transformar o alagado em um lago permanente, tivesse sido implantado?

É inegável que deve-se considerar todas as características naturais da região, como: elevada precipitação pluviométrica, cota altimétrica baixa e o aumento do nível da maré em determinadas épocas do ano. Porém, as indagações acima carecem, e abrem caminho para estudos futuros, entres estes um levantamento geomorfológico da região, e um estudo mais aprofundado dos principais vetores de crescimento de Belém e Região Metropolitana.

Dito isto, vale enaltecer a utilização das geotecnologias no presente estudo, uma vez que através das técnicas de geoprocessamento e do uso de Sistemas de informações geográficas, foi viável extrair informações, até então sem nenhum tipo de coordenadas geográficas, e elaborar

um banco de dados, reconstituindo a hidrografia da região central de Belém desde o século XVII.

Por fim, tal trabalho fez-se necessário, pois, acredita-se que identificar e compreender a forma de ocupação de uma determinada região, bem como as mudanças que ocorreram na mesma, auxilia na elaboração e na decisão de políticas públicas de planejamento e gestão urbana, afim de prevenir ou solucionar problemas socioambientais, que nesse caso são as enchentes e inundações que – infelizmente – já fazem parte da rotina do Belenense.

Agradecimentos

Ao CNPq, pelo apoio financeiro para a pesquisa; ao Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais - PPGCA, vinculado à Universidade Federal do Pará, a EMBRAPA, e ao Museu Paraense Emílio Goeldi; e à Companhia de Desenvolvimento e Administração da Área Metropolitana de Belém (CODEM) e a Secretaria Municipal de Saneamento (SESAN).

Referências

ACADÊMIA REAL DAS CIÊNCIAS DE LISBOA. **Memórias econômicas da academia real das sciencias de Lisboa, 1815**: para o adiantamento da agricultura, das artes, e da indústria em Portugal, e suas conquistas.[S.l.]: Editora Forgotten Books, 2018. v. 5, 426 p.

ALMEIDA, C. M. R. Belém do Pará, uma cidade entre as águas: história, natureza e definição territorial em princípios do século XIX. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE HISTÓRIA, 26., 2011, São Paulo. **Anais[...]**. São Paulo: Associação Nacional de História, 2011.p. 01-14. Disponível em: http://www.snh2011.anpuh.org/resources/anais/14/1300673503_ARQUIVO_ANPUH2011BelendoParaumacidadeentreasaguas.pdf.

ALVES, J. E. D. Antropoceno: a era do colapso ambiental. **Centro de Estudos Estratégicos da Fiocruz**, 2020. p. 1-10.

ARAÚJO JUNIOR, A. C. R. Fatores de risco a inundação na bacia hidrográfica da Estrada Nova Belém - PA. **Revista Geografia**, v. 22, n. 2, p. 57-78, 2013a.

ARAÚJO JÚNIOR, A. C. R. Paisagem antropogenética e a dinâmica do meio físico na porção sul da cidade de Belém-PA. **Ateliê Geográfico**, v. 7, p. 71-96, 2013b.

ARAÚJO JUNIOR, A. C. R.; AZEVEDO, A. K. A. Formação da Cidade de Belém (PA): Área Central e seu Papel Histórico e Geográfico. **Revista Espaço Aberto**, v. 2, n. 2, p. 151-168, 2012.

ARTAXO, P. Uma nova era geológica em nosso planeta: o Antropoceno?. **Revista USP**, n. 103, p. 13-24, 2014.

BAENA, A. L. M. **Ensaio corográfico sobre a Província do Pará**. Brasília,DF: Edições do Senado Federal, 2004. v. 30, 431 p.

BELÉM. Prefeitura Municipal de Belém. **Anuário estatístico do município de Belém 2011**. Belém-Pa, 2011. 471p.

BELÉM. Prefeitura Municipal de Belém. **Ver-Belém**: Avenida Almirante Tamandaré. Disponível em: <http://www.belem.pa.gov.br/ver-belem/detalhe.php?p=38&i=1>. Acesso em: 20 mai. 2020.

BRAGA, T. Mapa do Estado do Pará: com a delimitação municipal 1918. Escala 1:25.000. In: BRAGA, T. **Guia do Estado do Pará**. [S.l.]: Editora: Graph. Amazônia, 1916.

CARVALHO, E. M.; BALSAN, R.; LEITE, E. F. Geoprocessamento aplicado no planejamento turístico: Discussão teórica. **Revista Eletrônica da Associação dos Geógrafos Brasileiros**, n. 15, p. 110-128, 2012.

COELHO, G. M. Na Belém da belle époque da borracha (1890-1910): Dirigindo os olhares. **Revista Escritos**, v. 5, n. 5, p. 141-168, 2011.

COMITRE, F. A evolução do uso e ocupação do solo na periferia urbana de Sorocaba-SP: Do esquecimento ao despertar dos interesses públicos e privados. **Revista Geo UERJ**, n. 31, p. 770-799, 2017.

COSTA, C. P. W.; SOUZA, E. B.; ALVES, L. M.; MEIRA FILHO, L. G.; FERREIRA, D. B. S.; KUHN, P. A. F.; FRANCO, V. S.; OLIVEIRA, J. V.; SODRÉ, G. R. C. Avaliação de simulação histórica da precipitação e temperatura na Amazônia Oriental utilizando um modelo de alta resolução. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 24, p. 612-642, 2019.

CRUZ, E. **História de Belém**. Universidade Federal do Pará, 1973, 342 p. (Coleção Amazônica, v.1).

CRUZ, V. O anacronismo do conceito de ortodoxia na historiografia da economia brasileira. **Revista de Economia**, v. 42, n. 77, p. 222-241, 2021.

DICIONÁRIO ONLINE DE PORTUGUÊS – DICIO: significado de lagamar. Disponível em: <https://www.dicio.com.br/lagamar/>. Acesso em: 20 mai. 2020.

DUTRA, V. A. B.; GONÇALVES, P. V. S.; CAMPOS, M. V. A.; TAVARES, P. A.; BELTRÃO, N. E. S. Saneamento em áreas urbanas na Amazônia: aplicação do sistema de indicadores PEIR. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 7, n. 2, p. 652-671, 2018.

ESCOLA BRITÂNICA. **Palafita**. Disponível em: <https://escola.britannica.com.br/artigo/palafita/487850>. Acesso em: 20 jun. 2020.

FARINA, F. C. Abordagem sobre as técnicas de geoprocessamento aplicadas ao planejamento e gestão urbana. **CadernoS EBAPE**, v. 4, n. 4, p. 1-13, 2006.

THE GREEN CLUB. **Estação das Docas de Belém do Pará**: um resgate da história do porto da cidade. 10 abr. 2011. Disponível em: <http://www.thegreenclub.com.br/urbanismo/estacao-das-docas/>. Acesso em: 20 jun. 2020.

HONDA, S. C. A. L.; VIEIRA, M. C.; ALBANO, M. P.; MARIA, Y. R. Planejamento ambiental e ocupação do solo urbano em Presidente Prudente (SP). **Revista Brasileira de Gestão Urbana**, v. 7, n. 1, p. 62-73, 2015.

LUZ, L. M.; RODRIGUES, J. E. C.; PONTE, F. C. Impactos Antropogênicos em bacias urbanas da área central da cidade de Belém-PA. **Revista GeoAmazônia**, v. 3, n. 6, p. 96-109, 2015.

MEIRA FILHO, A. **Evolução histórica de Belém do Grão-Pará**: fundação e história. V. 1. 1ª Edição. Belém-PA: Grafisa Cia Gráfica e Editora Globo, 1976, 773 p.

MOREIRA, F. F.; BARROS FILHO, J. S.; COSTA, V. P.; RODRIGUES, D. O. D. A Estrada de Ferro Belém-Bragança e a formação socioespacial do município de Igarapé-Açu. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEÓGRAFOS-CBG0, 7., 2014, Vitória-ES. **Anais...** Vitória: Associação dos Geógrafos Brasileiros, 2014. Disponível em: http://www.cbg2014.agb.org.br/resources/anais/1/1404333458_ARQUIVO_artigo.pdf.

MOREIRA, F. S. A.; DIAS, G. F. M.; VITORINO, M. I.; SILVA, J. C. C.; HOLANDA, B. S. Caracterização da urbanização e seu impacto nas variáveis socioambientais: Guamá e Nazaré em Belém, Pará. **Revista InterEspaço**, v. 12, n. 1, p. e11775-e11775, 2019.

OLIVEIRA, P. A. **Utopia possível na Cidade velha, Belém-PA**. 1998-1999. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Arquitetura e Urbanismo) – Escola de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal Fluminense, Niterói-RJ, 1999.

OLIVEIRA, P. T. S.; AYRES, F. M.; PEIXOTO FILHO, G. E. C.; MARTINS, I. P.; MACHADO, N. M. Geoprocessamento como ferramenta no Licenciamento ambiental de postos de combustíveis. **Revista Sociedade & Natureza**, Uberlândia-MG, v. 20, n. 1, p. 87-99, 2008.

PENTEADO, A. R. **Belém** - estudo de geografia urbana. Belém-Pa: Universidade Federal do Pará, 1968. v. 1., 183 p.

POLIDORO, M.; BARROS, M. V. F. Utilização de Geotecnologias no suporte a gestão de Políticas públicas urbanas. **Revista Eletrônica da Associação dos Geógrafos Brasileiros**, n. 11, p. 81-98, 2010.

PONTE, J. P. X. Belém do Pará: cidade e água. **Cad. Metrop.**, v. 17, n. 33, p. 41-60, 2015.

PONTES, M. L. C.; LIMA, A. M. M.; SILVA JR., J. A.; SADECK, C. C. A. Dinâmica das áreas de várzea do município de Belém/PA e a influência da precipitação pluviométrica na formação de pontos alagamentos. **Caderno de Geografia**, v. 27, p. 285-303, 2017.

RODRIGUES, R. M.; LIMA, J. J. F.; PONTE, J. P. X.; BARROS, N. S.; LOPES, R. S. N. Urbanização das baixadas de Belém-PA: transformações do habitat ribeirinho no meio urbano. *In: ENCONRO DA ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA EM PLANEJAMENTO URBANO E REGIONAL*, 15., 2013, Recife-PE. **Anais[...]** Recife-PE: Associação Nacional de Pós-graduação e Pesquisa em Planejamento urbano, 2013. Disponível em: <http://anais.anpur.org.br/index.php/anaisenanpur/article/view/261/253>.

SADECK, C. C. A.; SANTOS, F. A. L.; LIMA, A. M. M.; ROCHA, E. J. P. A percepção social e a gestão do risco natural de cheias em áreas urbanizadas em Belém-PA. **Revista de Geografia**, v. 34, p. 268-289, 2017.

SALLES, M. C. T.; GRIGIO, A. M.; SILVA, M. R. F. Expansão urbana e Conflito ambiental: uma descrição da problemática do município de Mossoró, RN – Brasil. **Revista Sociedade & Natureza**, v. 25, n. 2, p. 281-290, 2013.

SANTOS, F. A. A.; ROCHA, E. J. P. Alagamento e inundação em áreas urbanas. estudo de caso: cidade de Belém. **Revista GeoAmazônia**, v. 2, n. 2, p. 33-55, 2013.

SOARES, C. G.; MORÁIVA, R. V. Utilização de ferramentas georreferenciadas para auxiliar na tomada de decisão. **Revista Pensar Tecnologia**, v. 4, n. 2, jul. 2015.

VERISSIMO, José. **A pesca na Amazônia**. Rio de Janeiro: Livraria Clássica de Alves & C. 1895 218 p.

VIOLA, E.; BASSO, L. O sistema internacional no Antropoceno. **Revista Brasileira de Ciências Sociais**, v. 31, n. 92, p. 1-18, 2016.

VOIGT, A. F. Qual a importância de uma época? Anacronismo e história. **Anos 90**, v. 24, n. 46, p. 23-44, 2017.

CAPÍTULO 3 MODELAGEM DIGITAL DE TERRENO COMO INSTRUMENTO DA CARTOGRAFIA GEOMORFOLÓGICA: Aplicação do método da Triangulação de Delaunay

DIGITAL LAND MODELING AS AN INSTRUMENT FOR GEOMORPHOLOGICAL CARTOGRAPHY: Application of the Delaunay Triangulation method

EL MODELADO DIGITAL DEL TERRENO COMO INSTRUMENTO DE CARTOGRAFÍA GEOMORFOLÓGICA: Aplicación del método de Triangulación de Delaunay

RESUMO

Compreender os acidentes geográficos que compõem o ambiente é de suma importância para qualquer estudo que aborde a relação entre o homem e o meio em que este está inserido. Na Amazônia, grande parte da população da região concentra-se às margens dos rios e nas áreas de várzea, que configuram ambientes frágeis e suscetíveis aos efeitos de eventos climáticos extremos. Nesse cenário, o presente estudo teve como objetivo identificar e compreender a geomorfologia da área que outrora foi ocupada pelo Alagado do Piry de Jussara, no município de Belém, Pará. Para isso, visando representar o mais próximo possível da realidade as formas de relevo na área de estudo, através da aplicação do método de Triangulação *Delaunay*, foi gerado um Modelo Digital de Terreno composto por Redes Triangulares Irregulares (TIN). Posteriormente, sobrepôs a geometria do Alagado do Piry ao MDT, para uma melhor análise. Ademais, foi possível reclassificar o modelo gerado, a partir das unidades geomorfológicas apresentadas pela literatura. Quanto aos resultados do estudo, observou-se que as cotas de elevação do terreno variam de 0 a 15 metros, além disso, área é composta majoritariamente por cotas entre 2 a 6 metros, classificando boa parte do território como planície de inundação, composta por várzea baixa e várzea alta. Além do mais, chama a atenção o fato de que mesmo após 300 anos do início das obras de dessecamento e aterramento, ainda é evidente o acidente geográfico que abrigava o Alagado do Piry de Jussara, enquanto que outras áreas que sofreram intervenções antrópicas mais recentes apresentam maiores alterações.

Palavras-chave: geomorfologia; Alagado do Piry de Jussara; modelo digital de terreno; triangulação *Delaunay*.

ABSTRACT

Understanding the geographical accidents that make up the environment is of paramount importance for any study that addresses the relationship between man and the environment in which he is inserted. In the Amazon, a large part of the region's population is concentrated on the banks of rivers and in lowland areas, which configure fragile environments and are susceptible to the effects of extreme weather events. In this scenario, the present study aimed to identify and understand the geomorphology of the area that was once occupied by Alagado do Piry de Jussara, in the municipality of Belém, Pará. study area, through the application of the Delaunay Triangulation method, a Digital Terrain Model was generated, composed of Irregular Triangular Networks (TIN). Subsequently, the geometry of Alagado do Piry was superimposed on the MDT, for a better analysis. Furthermore, it was possible to reclassify the model generated, based on the geomorphological units presented in the literature. As for the results of the study, it was observed that the elevation levels of the terrain vary from 0 to 15 meters, in addition, the area is mainly composed of levels between 2 to 6 meters, classifying a good part of the territory as floodplain, composed low floodplain and high floodplain. Furthermore, it is noteworthy that even 300 years after the beginning of the desiccation and grounding works, the geographic accident that housed the Alagado do Piry de Jussara is still evident, while other areas that have undergone more recent anthropic interventions show major changes.

Keywords: geomorphology; flooded by Piry de Jussara; digital terrain model; delaunay triangulation.

RESUMEN

Comprender los accidentes geográficos que configuran el entorno es de suma importancia para cualquier estudio que aborde la relación entre el hombre y el entorno en el que se inserta. En la Amazonía, una gran parte de la población de la región se concentra en las riberas de los ríos y en las zonas bajas, que son ambientes frágiles y susceptibles a los efectos de los eventos climáticos extremos. En este escenario, el presente estudio tuvo como objetivo identificar y comprender la geomorfología del área que alguna vez fue ocupada por Alagado do Piry de Jussara, en el municipio de Belém, Pará. Área de estudio, mediante la aplicación del método de Triangulación de Delaunay, un Se generó el Modelo de Terreno, compuesto por Redes Triangulares Irregulares (TIN). Posteriormente, se superpuso la geometría de Alagado do Piry al MDT, para un mejor análisis. Además, fue posible reclasificar el modelo generado, en base

a las unidades geomorfológicas presentadas en la literatura. En cuanto a los resultados del estudio, se observó que los niveles de elevación del terreno varían de 0 a 15 metros, además, el área está compuesta principalmente por niveles entre 2 a 6 metros, clasificando buena parte del territorio como llanura aluvial, compuesto de llanura aluvial baja y llanura aluvial alta. Además, es de destacar que incluso 300 años después del inicio de las obras de desecación y puesta a tierra, el accidente geográfico que albergó el Alagado do Piry de Jussara sigue siendo evidente, mientras que otras áreas que han sufrido intervenciones antrópicas más recientes muestran grandes cambios.

Palabras-clave: geomorfología; Inundada por Piry de Jussara; modelo de terreno digital; Triangulación de Delaunay.

3.1 Introdução

A ocupação e a formação do território que hoje é conhecido como a cidade de Belém, foram marcadas por uma incessável batalha contra a dinâmica intensa das águas. Isto porque, naquele momento, o que se conhecia como Belém, era apenas “um pedaço de terra isolada por uma região alagada com dois braços de deságue que se conectavam ao Rio Guamá e ao Estuário Guajárino”, essa área alagada era denominada de Alagado do Piry de Jussara (SILVA; LIMA, 2021).

Curiosamente, tal característica foi determinante para a ocupação da cidade por parte dos colonizadores portugueses, pois, naquele instante, aquela porção de terra, isolada por uma área de várzea, foi vista como um ponto estratégico de defesa da colônia e de rota comercial. Todavia, com o avançar dos anos e com o aumento da população, viu-se a demanda por novas áreas aumentar, resultando em um longo processo de dessecamento, drenagem e aterramento daquela área inundada, conhecida como Alagado do Piry (SILVA; LIMA, 2021).

Nessa perspectiva, Luz e Rodrigues (2020) apontam que no decorrer da história da humanidade, chama atenção o fato das cidades mais antigas terem se desenvolvido principalmente nas proximidades de margens de rios. E na Amazônia, pode-se dizer que este padrão de desenvolvimento foi altamente reproduzido durante muito tempo, sendo o local de ocupação primária no bioma amazônico (PERES; GURGEL; LAQUES, 2018; LUZ; RODRIGUES, 2020).

Atualmente, grande parte da população da região amazônica concentra-se às margens dos rios e nas áreas de várzea, que configuram ambientes sensíveis e suscetíveis aos efeitos das mudanças climáticas. Droulers (2017) afirma que a adaptação do homem à complexa geografia

fluvial amazônica, ocorreu inicialmente pela ocupação das margens ao lado da foz. Nesse sentido, Rodrigues et al. (2012, p. 4) expõem que “as características geográficas do sítio ocupado pelo município de Belém foram determinantes na estruturação de seu espaço urbano e acabaram representando um obstáculo para a expansão urbana da cidade, sendo necessária uma constante ‘luta’ contra as áreas alagadas”. À vista disso, segundo Luz e Rodrigues (2020), as áreas de várzea, e o que comumente se denomina de “margem de rio”, na realidade, fazem parte de um complexo sistema geomorfológico de planície fluvial (PERES; GURGEL; LAQUES, 2018).

As transformações nas formas de relevo da superfície terrestre são constantes, e estão ocorrendo a todo momento, podendo perdurar por milhões de anos ou por menos de um segundo, além disso, estão diretamente associadas ao meio em que estão inseridas. Nesse segmento, dentro da geomorfologia, um dos setores que mais dinâmicos na atualidade é a geomorfologia fluvial, que consiste no estudo dos rios e das bacias hidrográficas, abordando a dinâmica e as formas topográficas resultantes das complexas interações dos cursos d’água com o espaço ao longo do tempo, além de investigar a história das paisagens fluviais. (OLIVEIRA, 1996; COLTRINARI, 2011; BARROS; REIS, 2019; MOLINARI; CARVALHO, 2019).

No campo da geografia física, para França, Pimentel e Prost (2010), a geomorfologia configura como umas das mais importantes bases de estudo e análise de unidades de paisagem, dado que os conhecimentos geomorfológicos contribuem para a delimitação e caracterização fisionômica, ecológica e dinâmica destas unidades. Desta forma, a interação do relevo com os fatores pedológicos, climáticos e de uso e cobertura do solo, resulta na representação da paisagem, enquanto conjunto homogêneo.

A necessidade de representar a extrema variedade espaço-temporal das formas de relevo da superfície, bem como, os seus significados históricos genéticos, motivou a geomorfologia a emprestar da geografia procedimentos cartográficos que subsidiassem a descrição, a classificação e a representação dos aspectos morfométricos e morfológicos. A interação entre essas duas áreas (cartografia e a geomorfologia), resulta em um dos cinco pilares dentro da geografia física apontados por França, Pimentel e Prost (2010), que é a Cartografia Geomorfológica (COLTRINARI, 2011).

Segundo Coltrinari (2011), os produtos resultantes da relação entre estas duas ciências, são os mapas e as cartas geomorfológicas, que em qualquer escala e área, são considerados de extrema importância em pesquisas de paisagem, planejamento rural e urbano, ciências do solo, e áreas afins.

Reforçando a importância da cartografia para com a geomorfologia como ferramenta de representação e descrição, Carvalho e Latrubesse (2004) ressaltam o uso da modelagem digital de terreno como excelente ferramenta de análises fisiográficas. Visto que, em alguns casos, as técnicas de mapeamento em macroescala convergem com a complexidade de representar as formas de relevo em apenas duas dimensões, refletindo em possíveis dados defasados e/ou dispendiosos (CARVALHO; LATRUBESSE, 2004).

Inseridos nos Sistemas de informação da geográficas (SIG), os modeladores digitais de terreno são ferramentas computacionais que através da aplicação de algoritmos, interpolam dados de entrada que contenham informações de elevação, gerando um Modelo Digital de Terreno (MDT). Nesse sentido, um MDT consiste na espacialização tridimensional de uma superfície, representando a distribuição espacial de uma determinada característica, possibilitando a elaboração e análise de mapas de declividade, rede de drenagem, e perfis topográficos e longitudinal, auxiliando na interpretação de ambientes físicos em grandes sistemas fluviais (SIMÕES, 1993; CARVALHO; LATRUBESSE, 2004).

Isto posto, buscando estudar e compreender a geomorfologia da área que preteritamente foi ocupada pelo Alagado do Piry de Jussara, na região central de Belém. Visto que este território que já passou por constantes intervenções antrópicas, hodiernamente está inserido no centro da capital paraense, e registra constantes cenários periódicos de alagamentos e enchentes, principalmente quando a precipitação coincide com os eventos de maré alta.

O referido trabalho teve como objetivo, aplicar técnicas de geoprocessamento, e de modelagem digital de terreno, através do algoritmo de Triangulação *Delaunay*, que possibilitassem delimitar e mapear as formas de relevo e as cotas topográficas da região que outrora foi ocupada pelo Alagado do Piry, visando identificar o acidente geográfico em que o território inundado estava inserido.

3.2 Revisão Literária

3.2.1 Modelagem Digital de Terreno (MDT)

A necessidade representar tridimensionalmente os diferentes fenômenos que ocorrem no espaço geográfico, principalmente aqueles que não são possíveis ou são limitados a partir da visualização em ambiente 2D, foi o ponta pé inicial para que, a partir da década de 50, os modelos de representação da superfície terrestre ganhassem espaço em meio as geotecnologias (SIMÕES, 1993; CAMARGOS et al., 2015).

As aplicações e análises sobre os modelos de representação da superfície terrestre são várias. A partir dos modelos pode-se realizar cálculos de distância, área e volume, desenhar perfis e seções transversais, gerar imagens sombreadas ou em níveis de cinza, gerar mapas de declividade e exposição, gerar fatiamentos em intervalos desejados e perspectivas tridimensionais (CÂMARA et al., 1996).

Dentre os modelos mais empregados para representar a superfície terrestre estão o Modelo Digital de Terreno (MDT) e o Modelo Digital de Superfície (MDS). Ambos partem do mesmo princípio descrito anteriormente, de representar as formas de relevo da superfície terrestre, a partir de amostras. Porém, segundo Oliveira e Tommaselli (2012), quando a informação contém a maior elevação de cada ponto acima de área de terreno, o modelo é chamado de Modelo Digital de Superfície, pois reproduz a superfície acrescida dos elementos existentes sobre ela, tais como vegetação e feições antrópicas. Diferentemente, o Modelo Digital de Terreno representa a superfície real do terreno, não incluindo objetos acima do mesmo (SIMÕES, 1993; OLIVEIRA; TOMMASELLI, 2012; CARMARGOS et al., 2015).

Ambos os modelos podem ser definidos como uma representação matemática computacional da distribuição de um fenômeno espacial, que visa representar superfícies contínuas de forma discreta a partir de uma quantidade finita de dados (amostras) e podem ser representadas matematicamente e graficamente (VIVIANI; MANZATO, 2005; OLIVEIRA; TOMMASELLI, 2012).

Com o enfoque no MDT, que é a representação que será aplicada no referido estudo, dentre as informações espaciais que comumente são representadas na modelagem digital de terreno, pode-se ter os dados de altimetria, que possibilitam a espacialização das formas de relevo. Nesse caso, as informações que estão contidas nas amostras são coordenadas xyz, em que z (o parâmetro a ser modelado) é a altimetria em função de xy que representam as coordenadas planas. Estes dados podem ser adquiridos a partir de uma distribuição irregular no plano xy (Pontos cotados) ou ao longo de linhas com mesmo valor de z (Isolinhas) (VIVIANI; MANZATO, 2005; OLIVEIRA; TOMMASELLI, 2012).

A aquisição destes dados ocorre de diversas maneiras como, a partir da digitalização de mapas já existentes que apresentem curvas de nível, técnicas fotogramétricas aplicadas sobre imagens aéreas, levantamentos de campo com GNSS, por meio de imagens de satélite, ou por meio de outras tecnologias como *Radio Detecting and Ranging* (RADAR) e *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation* (LASER) (OLIVEIRA; PITERI; MENEGUETE, 2014).

Inseridas no âmbito das geotecnologias, Oliveira, Piteri e Meneguete (2014), expõem que a maioria das aplicações de modelagem digital de terreno são voltadas para os Sistemas de

Informações Geográficas, permitindo a aplicação de técnicas de geoprocessamento, bem como a manipulação de dados georreferenciados. Desta forma, a modelagem digital de terreno é uma das diversas ferramentas que podem ser aplicadas na fase de manipulação dos Sistemas de informações geográficas (SIMÕES, 1993).

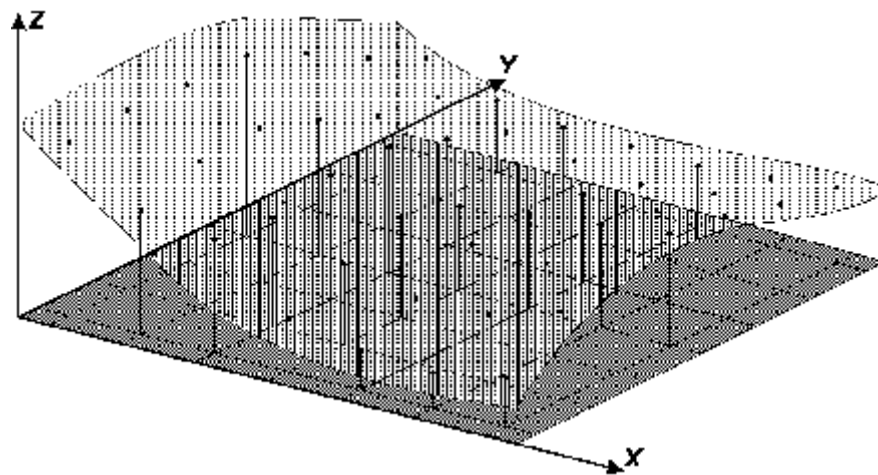
Nesse sentido, a etapa modelagem digital do terreno ocorre no ambiente SIG, através da aplicação dos métodos de manipulação computacional de MDT. De uma forma geral, estes métodos consistem em um algoritmo matemático de interpolação dos dados de entrada, que resultam na representação da superfície.

Dentre os diversos métodos de modelagem digital de terreno existentes, os mais utilizados são os de Grades Regulares (GRID) e Malha Triangular Irregular (TIN), que também é denominada de Grades Irregulares Triangulares, que estão descritos a abaixo.

3.2.1.1 Método de Grades Regulares - GRID

No Modelo de representação pelo método GRID, a superfície do terreno é representada por uma estrutura de dados matriciais (*raster*), onde cada um de seus elementos (pixel) contém um valor de elevação (z) em função xy (Figura 12).

Figura 12 – Modelo de Representação pelo método GRID.



Fonte: Câmara et al. (1996).

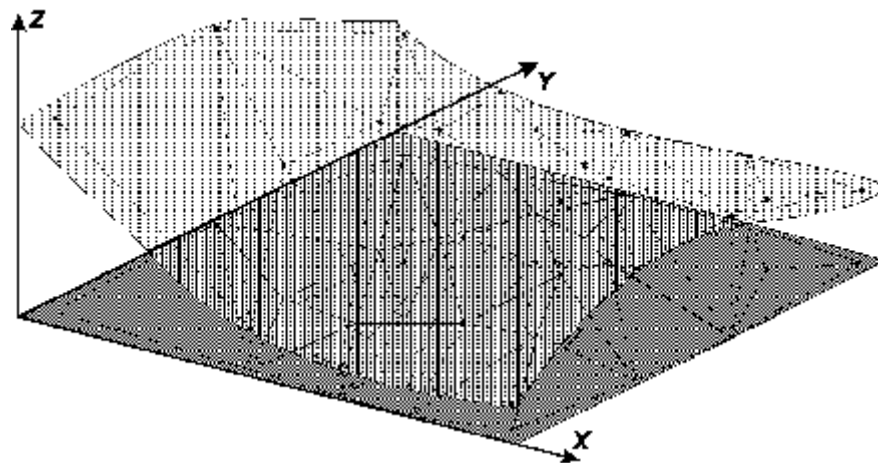
A representação da superfície contínua por esse método, é realizada por interpolação (vizinho mais próximo, média simples, média ponderada ou Krigagem), contudo, a desvantagem em utilizar esse modelo se deve ao fato de a distribuição espacial dos pontos utilizados não estar relacionada com as características do terreno modelado, e sim com ao

tamanho de cada célula, visto que cada célula contém apenas uma informação de z . Resultando na representação das formas de relevo com pouca precisão, não retratando fielmente o mundo real (CÂMARA et al., 1996; OLIVEIRA; PITERI; MENEGUETE, 2014).

3.2.1.2 Malha Triangular Irregular – TIN

Na aplicação de modelagem pelo método TIN, a superfície do terreno é modelada por uma malha composta por triângulos adjacentes e não sobrepostos de diferentes tamanhos e orientação, que são computados a partir dos dados de entradas, que podem ser pontos (com coordenadas xyz) ou isolinhas (curvas de nível), como exhibe a Figura 13.

Figura 13 – Modelo de Representação pelo método TIN.



Fonte: Câmara et al. (1996).

Câmara et al. (1996) apontam que diferente da modelagem por GRID, neste método os vértices do triângulo são geralmente os pontos amostrados da superfície. Permitindo que as informações morfológicas importantes como as discontinuidades, representadas por feições lineares de relevo (cristas) e drenagem (vales), sejam consideradas durante a geração da grade triangular, desta forma, as feições geomorfológicas da superfície real são preservadas na representação.

Nesse sentido, o método de modelagem por malha triangular irregular (TIN) mostra-se mais exato e eficiente, pois, consiste na aplicação do algoritmo da Triangulação de *Delaunay*, criando triângulos através da ligação dos pontos, mostrando-se muito eficiente para expressar relevos acentuados (JESUS; LADWIG, 2008). Porém, a desvantagem deste método de

modelagem está na obtenção dos dados derivados de grades retangulares, pois, tendem a ser mais complexos e mais demorados, além de demandar uma maior capacidade armazenamento.

3.2.2 Triangulação de *Delaunay*

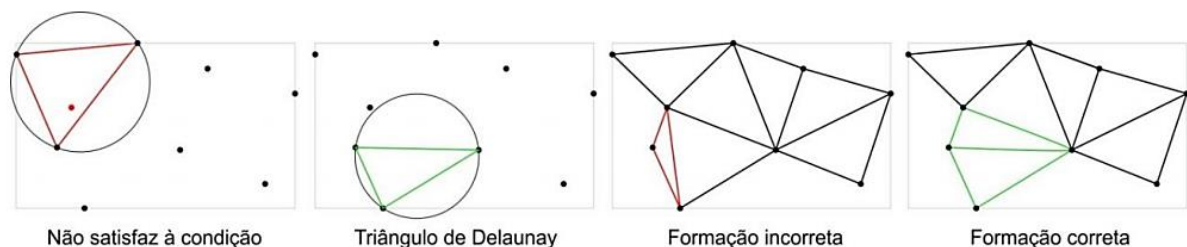
Por apresentar uma qualidade desejável na representação de modelos digitais de terreno, a triangulação vem sendo adotada como principal método de reconstrução de superfícies digitais (PITERI et al., 2007).

E nesse contexto, o algoritmo de construção mais empregado na construção de TIN's é o da Triangulação de *Delaunay*, que dentre todas as técnicas de triangulações computacionais existentes, é a que maximiza o menor dos ângulos, garantindo uma triangulação o mais equiangular possível (PITERI et al., 2007). Em outras palavras, a malha final deve conter triângulos o mais próximo de equiláteros possível evitando assim a formação de triângulos com ângulos internos extremamente agudos (JESUS; LADWIG, 2008)

Consistindo em um nível de representação da superfície satisfatório, Nogueira e Oliveira (2018), destacam como as principais aplicabilidades desse algoritmo de triangulação, a modelagem molecular e de objetos sólidos, modelagem de terreno e o desenvolvimento de vídeo games.

Ao abordar a propriedade estrutural do algoritmo, Rennó (2005, p. 2545) explica que “nesse método de triangulação, os círculos que circunscrevem cada triângulo não contêm nenhum vértice de outro triângulo”. Ou seja, na triangulação de *Delaunay*, a circunferência que circunscreve cada um dos triângulos é vazia, não abrangendo nenhum dos pontos (Figura 14).

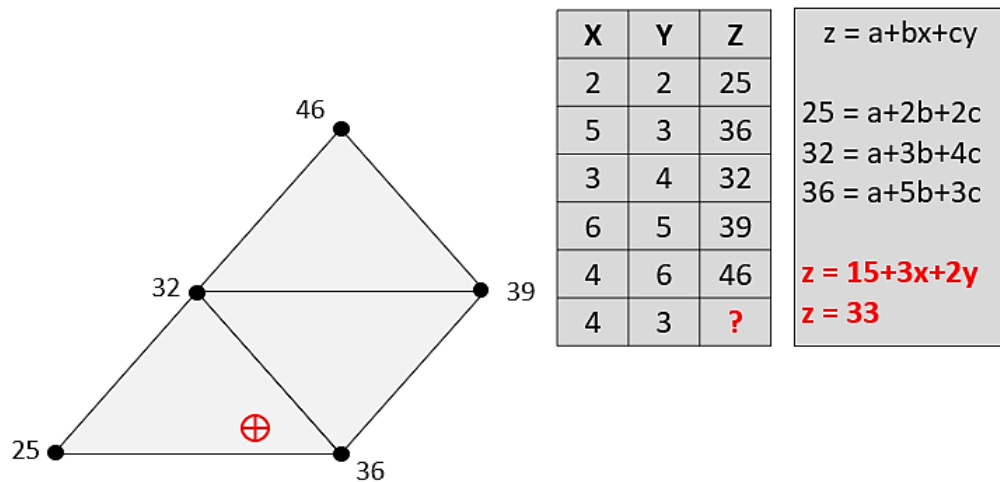
Figura 14 – Método da Triangulação *Delaunay*.



Fonte: Lima (2017).

Assim, o valor do atributo de determinado ponto no interior do triângulo, referente ao valor Z (elevação) do respectivo plano, é obtido através do cálculo exposto na Figura 15.

Figura 15 – Exemplificação do cálculo de determinação de um valor Z, no método da Triangulação de Delaunay.



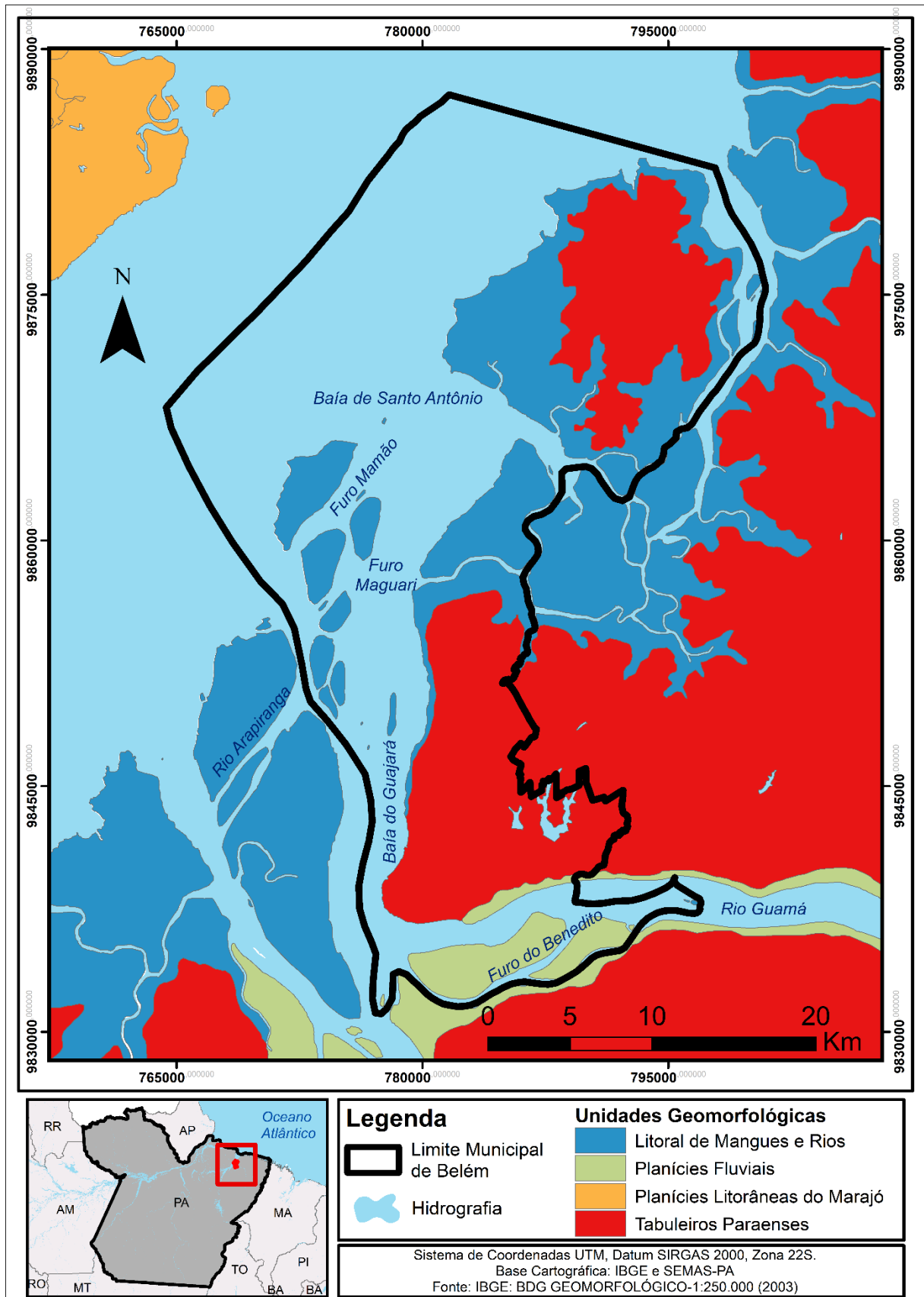
Fonte: Adaptado de Jesus e Ladwig (2008).

Desta forma, a modelagem digital de terreno baseada em TIN, possui vantagens em relação às demais técnicas de representação da superfície, pois adapta-se naturalmente à variação do terreno.

3.2.3 Caracterização Geomorfológica do Território de Belém

Segundo o mapeamento do IBGE na escala de 1:250.000, no município de Belém são encontradas três Unidades Geomorfológicas distintas (Figura 16), são estas: Litoral de Mangues e Rios, Planícies Fluviais e Tabuleiros Paraenses, sendo este último o de maior porcentagem.

Figura 16 – Mapa das Unidades Geomorfológicas identificadas no Município de Belém-PA (Escala 1:250.000).



Fonte: Elaborado pelo Autor (Adaptado de IBGE, 2003).

Nesse sentido, Furtado e Ponte (2013), apontam que as Unidades Geomorfológicas encontradas no território de Belém são resultantes de Depósitos sedimentares do período Quaternário (Holoceno e Pleistocênico). Vale ressaltar, que este processo é considerado recente, e que por conta disso, todas as unidades geomorfológicas identificadas na região de Belém apresentam Cobertura Inconsolidadas (IBGE, 2003).

Em uma abordagem mais detalhada, a Unidade de Litoral de Mangues e Rios é caracterizada por áreas de acumulação quaternária de depósitos de origem marinha e fluviomarinha. Estendendo-se desde o norte do Marajó até o Golfão Maranhense, esta unidade de relevo apresenta altimetria de 0 a 5 metros, e declividade próxima de 2%, podendo ou não estar sujeita a inundações periódicas (IBGE, 2003; FURTADO; PONTE, 2013).

Já as Planícies Fluviais ocupam os vales dos principais rios amazônicos, consistindo em áreas planas e zonas deposicionais em atividade na região, são caracterizadas por sedimentos quaternários recentes. Por conta disso, estão sujeitas a inundações periódicas, incluindo as áreas de várzeas atuais, podendo conter lagos de meandros, furos e diques aluviais paralelos ao leito atual do rio (IBGE, 2003; FURTADO; PONTE, 2013).

Assim como as Planícies Fluviais, as regiões classificadas como Tabuleiros Paraenses também ocupam os vales dos rios, porém são correlatos ao período pleistoceno superior (Quaternário Antigo), desta forma, apresentam um maior controle estrutural se comparados às Planícies Fluviais, e não apresentam riscos de inundações. Estando caracterizados pelas formas de relevo de topos tabulares, resultando em feições suavemente inclinadas (IBGE, 2003; FURTADO; PONTE, 2013).

Ao considerarmos um contexto geomorfológico de maior escala, e com maior detalhamento, Gregório (2008) e Araújo Jr (2013) apresentam classificações geomorfológicas para o município de Belém que tendem a representar de forma mais coesa e próxima da realidade as unidades de relevo que compõe a área de estudo.

Nesse sentido, Araújo Junior (2013) descreve a região de Belém como possuidora de unidades litoestratigráficas argilo-arenosas e areno-argilosas, ambas oriundas de fatores tectônicos-estruturais (falhas normais e transcorrentes) e de fatores climáticos ocorridos principalmente no pleistoceno. Somando-se a esta ideia, Gregório (2008) expõe que a geomorfologia local foi amplamente configurada pelo fluxo e refluxo diário das marés.

Desta forma, Gregório (2008) aponta que na região continental de Belém são diferenciadas três classificações geomorfológicas: Terra Firme, Várzea e Área Urbana. Já Araújo Junior (2013) nos apresenta quatro tipologias geomorfológicas para a região: Igapó,

Baixada, Terra Firme e Várzea, sendo esta última subdividida em duas classes, Várzea alta e Várzea Baixa.

Visando compreender a evolução geológica e geomorfológica da cidade de Belém, afirma-se que a transição do clima árido quente ou semiárido para o tropical úmido ocorrido no Período Pleistocênico, aponta que outrora as áreas de Terra firme foram superfícies pediplanadas, que hoje configuram-se como baixas colinas de topos convexizados. Caracterizadas por cota de três a oito metros acima do nível médio das marés, ora apresentando um barranco íngreme, de transição brusca, ora um plano inclinado de desnível suave, não sendo possível desconsiderar variações locais (ARAÚJO JUNIOR, 2013).

O desenvolvimento das áreas de várzea está diretamente relacionado aos processos de colmatção natural causada pelas marés. Além do mais, a variação do nível do rio, e a elevada precipitação nessas áreas, ocasionam inundações, que por sua vez acabam por depositar uma sucessão de argilas ricas em matéria orgânica (GREGÓRIO, 2008). Nesse cenário, deve-se considerar as áreas de várzea não apenas como meras feições geomórficas, pois estas consistem em elementos característicos da topografia da cidade de Belém.

Com base nisso, Araújo Junior (2013) subdivide esta tipologia geomorfológica em duas classes (Baixa e Alta), na qual segundo o autor, Várzea baixa é caracterizada como:

Umedecida ou invadida parcialmente durante quase todo o ano, pelas marés de lua cheia e lua nova. Durante a estação chuvosa, este trecho é quase que constantemente alagado e atoladiço, mas com o avanço da estação seca vai adquirindo consistência até tornar-se firme (ARAÚJO JUNIOR, 2013, p. 140).

Enquanto que as áreas denominadas de várzea alta são descritas como:

Em cada preamar, as águas que cobrem a várzea alta não permanecem mais que duas horas sobre o solo, retornando logo ao leito dos rios na maré vazante. A várzea alta seca, completamente, durante os meses menos chuvosos. Depois que a maré vaza ela pode ser transitada a pé, sem maiores dificuldades (ARAÚJO JUNIOR, 2013, p. 140).

Nesse contexto, em virtude da baixa altitude e da conformação do terreno, alguns pontos das áreas de várzea detêm certas dificuldades e deficiências no que diz respeito ao escoamento destas águas, compondo assim os igapós.

Os igapós podem ser descritos como uma fase ou um estágio no ciclo morfodinâmico das várzeas, integrando o nível ou gradação mais baixa do relevo amazônico. Além do mais, as áreas de igapós estão diretamente relacionadas com um dos principais entraves que afligem a cidade de Belém, que é o secamento e aproveitamento destas áreas alagadas e/ou invadidas pelo

nível do rio, que muitas vezes são vistas como obstáculos para a expansão da cidade (ARAÚJO JUNIOR, 2013).

Sobretudo, vale elucidar que partindo do Relatório do Programa de Recuperação Urbano-ambiental da bacia hidrográfica da Estrada Nova, realizado pela Prefeitura de Belém, em 2007, as características naturais que compõe as tipologias geomorfológicas aqui citadas, se encontram intensamente descaracterizadas, devido às ações antrópicas (PMB, 2007).

Nesse complexo contexto, Araújo Jr (2013) aborda a ação antrópica como fator de grande peso nas alterações geomorfológicas do meio urbano, pois, diferente de outras cidades com variações geomorfológicas maiores, em Belém os “problemas” da cidade consistem mais nos efeitos retentivos e estagnantes do que nos efeitos erosivos das águas. Portanto, segundo o autor, as correções topográficas que já ocorreram na cidade e que virão a ocorrer, são necessárias não somente por conveniências sanitárias, mas por conveniências de fluxo hídrico.

3.3 Metodologia

3.3.1 Aquisição de Dados

A presente pesquisa consistiu em uma análise espacial de um fator físico (geomorfologia), que buscando representar a realidade, nesse contexto, optou-se por empregar como principal ferramenta de trabalho o geoprocessamento, que permitiu tratar, manipular, analisar e espacializar dados geográficos, sendo estes vetores ou *rasters*. Além disso, tal ferramenta possibilitou atribuir a estes dados, variáveis qualitativas e classificá-los de acordo com o interesse da pesquisa.

Para isso, a aquisição destes dados foi essencial, pois, subsidiaram os elementos do estudo. Desta forma, estão dispostos no Quadro 3 os dados empregados na metodologia deste trabalho, bem como as fontes dos mesmos.

Quadro 3 – Base de dados utilizada no presente trabalho.

Dado	Formato	Fonte
Modelo Digital de Elevação	<i>Geotiff</i>	Companhia de Desenvolvimento e Administração da Área Metropolitana de Belém (CODEM)
Drenagem	<i>Shapefile</i>	Modificado de Companhia de Desenvolvimento e Administração da Área Metropolitana de Belém (CODEM).
Área do Alagado do Piry de Jussara	<i>Shapefile</i>	Silva e Lima (2021)
Reconstituição Hidrográfica (1616)	<i>Shapefile</i>	Silva e Lima (2021)
Unidades Geomorfológicas (escala 1:250.000)	<i>Shapefile</i>	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE)

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Com base no Quadro 3, deve-se ressaltar que o dado de Modelo Digital de Elevação (MDE), foi adquirido recortado no formato de 16 cartas (*Geotiff*) na escala 1/100, que abrangiam a área de estudo, e é resultado do levantamento realizado em 2014 pela Prefeitura Municipal de Belém. O mesmo foi obtido por meio da submissão de ofício ao referido órgão, uma vez que este não está disponível em plataformas digitais para aquisição e consultas públicas.

Além dos dados principais já citados, também foram utilizadas as bases cartográficas expostas no Quadro 4, que serviram de alicerce, e auxiliaram na produção cartográfica de mapas.

Quadro 4 – Base de dados secundária utilizada no presente trabalho.

Dado	Formato	Fonte
Limites Municipais	<i>Shapefile</i>	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).
Limites Estaduais	<i>Shapefile</i>	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).
Hidrografia	<i>Shapefile</i>	Secretaria de Meio Ambiente e Sustentabilidade do estado do Pará (SEMAS).

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Nesse sentido, após a aquisição dos materiais, todos os elementos foram reprojetados para o Datum SIRGAS 2000 Sistema de Coordenadas UTM zona 22 S, bem como todos os outros dados que viriam a ser produzidos, adotando assim essa projeção para todo o projeto.

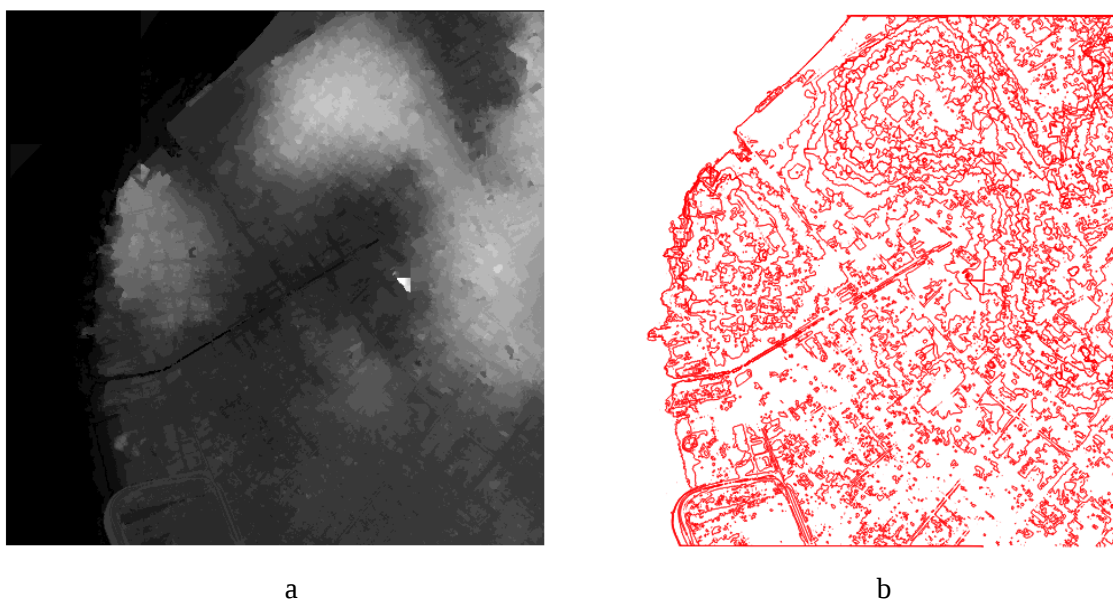
3.3.2 Procedimentos Metodológicos

3.3.2.1 Produção do MDT

Buscando identificar e espacializar as cotas altimétricas da área de estudo, bem como da área que outrora foi ocupada pelo Alagado do Piry, a primeira etapa metodológica consistiu na confecção de um MDT que representasse visualmente (em 2D e 3D) a geomorfologia da área, possibilitando reproduzir os aspectos topográficos da mesma.

Para isto, após a aquisição das cartas no formato *Geotiff*, foram realizados o processamento e as correções das mesmas, seguidos da geração do mosaico (com resolução espacial de 60 cm), que consiste na união de todas as imagens, resultando em uma única carta (Figura 17 (a)). Por conseguinte, a partir deste mosaico foi realizada a extração das curvas de nível (Figura 17 (b)), em que foi aplicado o intervalo de 0,5 metros entre as isolinhas⁶.

Figura 17 – Mosaico (a) e Curvas de nível (b).



Fonte: Elaborado pelo Autor.

Após a extração das isolinhas, o próximo passo foi utilizar as mesmas para gerar um TIN, a vista disso, ainda no ambiente SIG, foi aplicada a Triangulação de *Delaunay*. Desta forma, as curvas de nível serviram como dados de entrada para o algoritmo de Triangulação *Delaunay*, possibilitando assim, gerar um MDT.

⁶ **Isolinhas:** Linha ao longo da qual os valores são ou devem ser constantes (IBGE, 1980).

Sucedendo a produção do MDT, para uma melhor visualização, e consequentemente uma melhor análise do produto, optou-se por subdividir as cotas altimétricas em 25 classes, cada uma composta por uma composição RGB.

3.3.2.2 Identificação das Cotas Altimétricas da Área do Alagado do Piry de Jussara

Com o Modelo Digital de Terreno já produzido, em seguida, para identificar a área do Alagado, bem como a geomorfologia que caracteriza a mesma, foi utilizada as bases vetoriais do Alagado do Piry de Jussara e a Reconstituição hidrográfica, possibilitando assim, detectar e assinalar o acidente geográfico em que o Alagado já esteve inserido.

3.3.2.3 Classificação das Unidades e das Tipologias Geomorfológicas

A partir da literatura consultada (IBGE, 2003; PMB, 2007; GREGÓRIO, 2008; ARAÚJO JR, 2013; FURTADO; PONTE, 2013), foi desenvolvida uma síntese modelo que aplicada as cotas altimétricas compostas no MDT, e as características já conhecidas da área de estudo como a ocorrência de alagamentos e inundações, possibilitou a classificação da área em Unidades e Tipologias Geomorfológicas (Quadro 5).

Nesse cenário, considerou-se as áreas com cota altimétrica até 5 metros como Planícies Fluviais, unidade esta, subdividida em duas tipologias: Várzea baixa (cotas de até 1 metro), e Várzea alta (cotas de 1 a 5 metros).

Já as cotas superiores à 5 metros foram classificadas como unidades de Tabuleiros Paraenses, sendo esta composta por uma única tipologia: Terra Firme.

Quadro 5 – Classificação geomorfológica aplicada ao MDT.

Unidade Geomorfológica	Tipologia Geomorfológica	Cota Altimétrica
Planície Fluvial	Várzea baixa	Até 1 metro
	Várzea Alta	1 a 5 metros
Tabuleiros Paraenses	Terra Firme	> 5 metros

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Além disso, vale ressaltar, que se considerou a classe de Igapó como um dos estágios da tipologia várzea, bem como a classe “Área Urbana”, apresentada por Gregório (2008), que foi desconsiderada no referido estudo.

3.4 Resultados e Discussões

3.4.1 Modelo Digital de Terreno

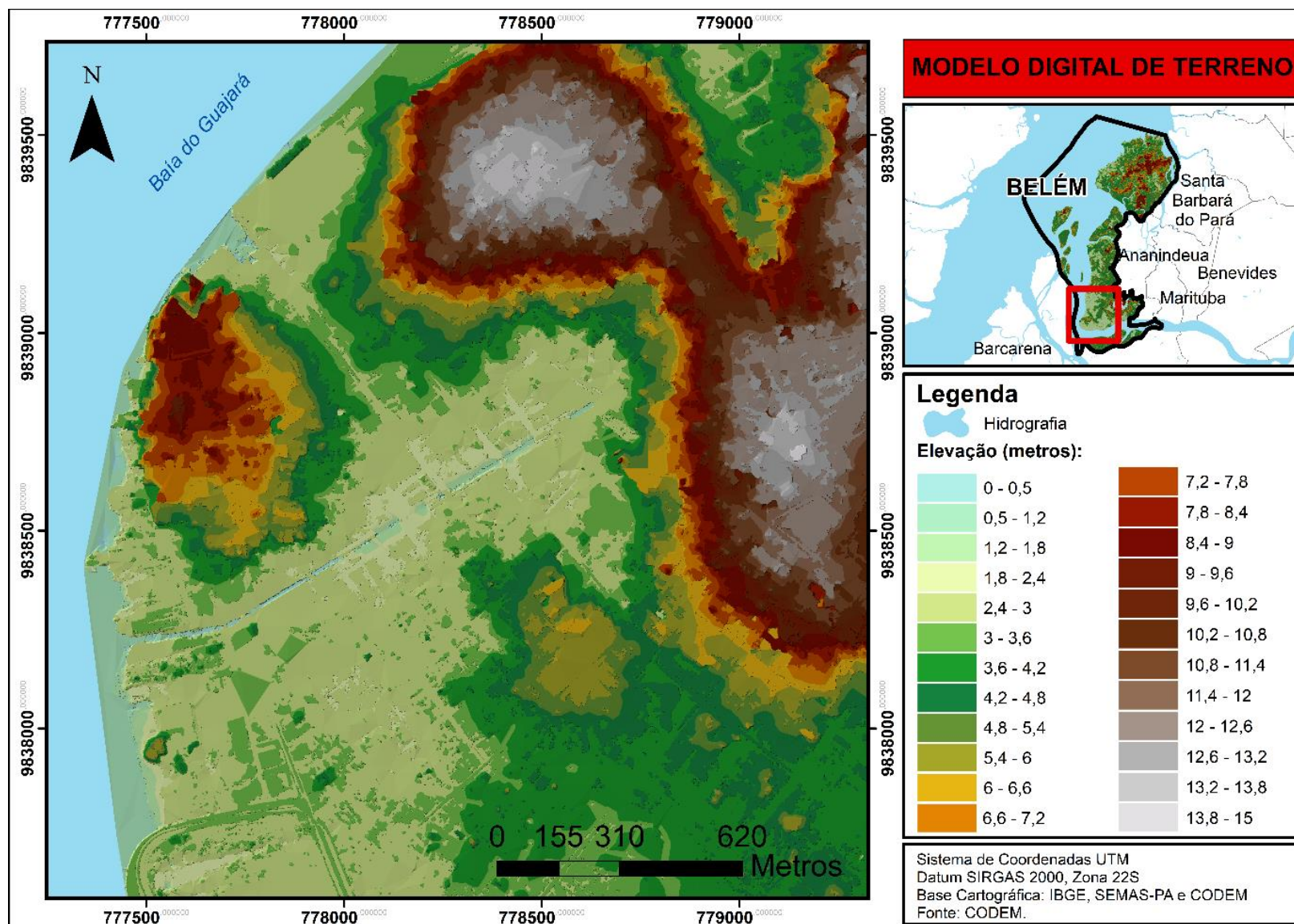
O primeiro produto resultante do referido trabalho é o Modelo Digital de Terreno, exposto nas Figuras 18 e 19, sendo está última uma visualização tridimensional do modelo. Observa-se uma variação altimétrica de 0 a 15 metros de elevação na área de estudo, havendo uma maior predominância dos valores entre 2 e 6 metros, tal cenário evidência um relevo nitidamente plano, corroborando com a literatura consultada, uma vez que Furtado e Ponte (2013) descreveram as Planícies Fluviais como áreas planas.

Além disso, chama-se a atenção para a ocorrência das cores em tons avermelhados e cinzas como as cotas mais elevadas, visto que nas Figuras 18 e 19, esses acidentes geográficos seguem um formato de relevo tabular, de topos convexizado com geometria suavemente inclinada, coincidindo com as caracterizações expostas por Furtado e Ponte (2013), sobre a unidade geomorfológica de Tabuleiros Paraenses, e por Araújo Jr (2013) no que diz respeito as áreas de Terra Firme.

Ainda com base nas Figuras 18 e 19, é importante citar a pequena variação altimétrica entre o nível do rio e as áreas que margeiam a Baía do Guajará, evidenciando o recorrente risco de inundações e alagamentos nesta região da cidade, diretamente relacionado ao nível da maré.

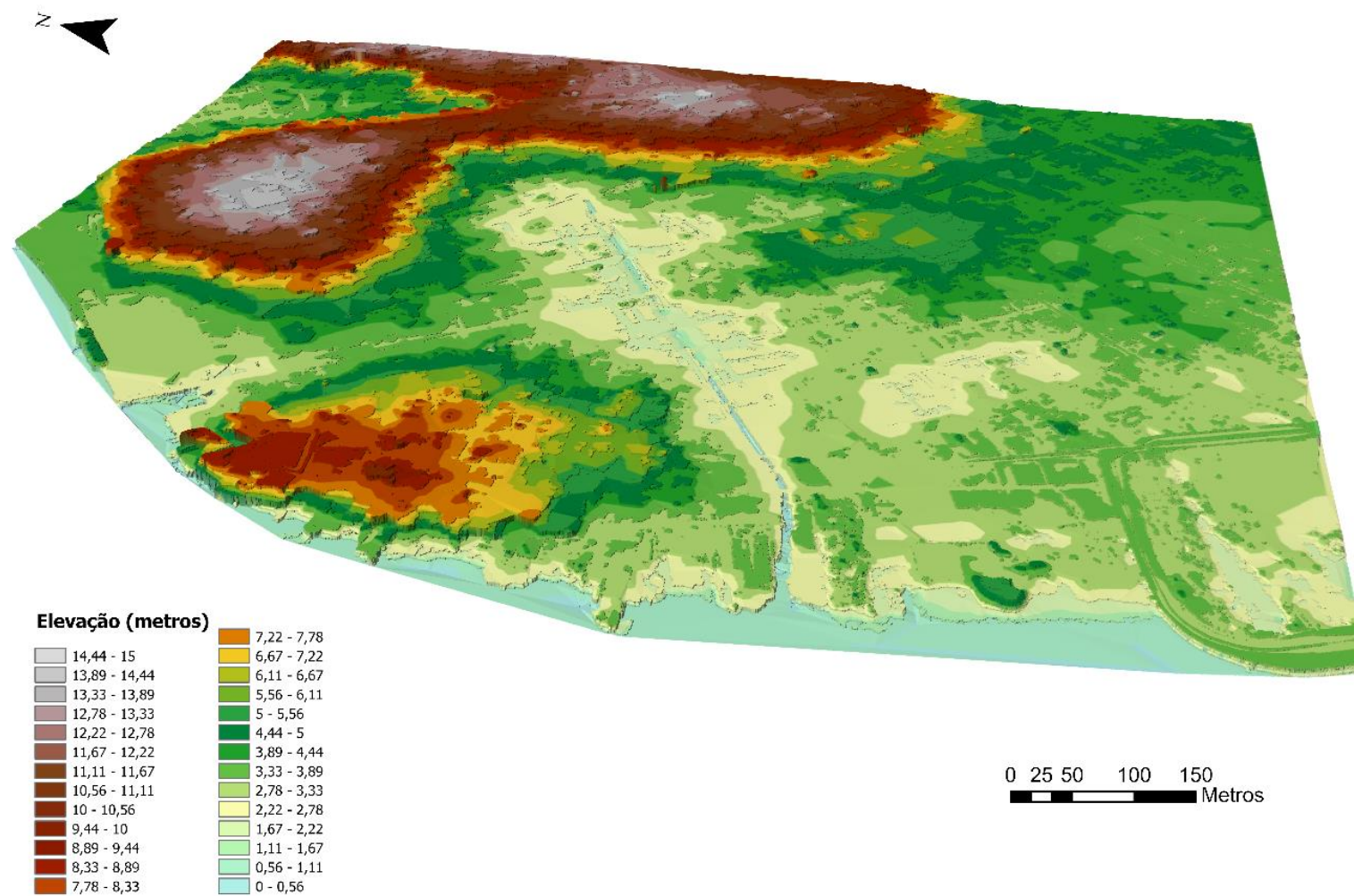
Além do mais, ao comparar o resultado exposto nas Figuras 18 e 19, com o ilustrado na Figura 10 (Mapa da Reconstituição da ocupação urbana sobre o Alagado do Piry de Jussara), duas áreas chamam a atenção: Estação das Docas e Portal da Amazônia. Visto que durante a reconstituição da ocupação de Belém apontada por Silva e Lima (2021), até 1844 a área que hoje é ocupada pela Estação das Docas era invadida pelas águas da Baía do Guajará diariamente, bem como a área ocupada hoje pelo Portal da Amazônia, que até o início do século XXI estava interligada com as águas da Baía. Tal observação sustenta o argumento apontado pela Prefeitura de Belém (2007) e por Araújo Jr (2013), de que as ações antrópicas tendem por alterar as formas geomorfológicas do meio, e que essas ações são necessárias para lidar com o fluxo hídrico da região.

Figura 18 – Modelo Digital de Terreno (MDT) da área de estudo.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

Figura 19 – Modelo Digital de Terreno (MDT) da área de estudo com visualização tridimensional.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

3.4.2 O Acidente Geográfico denominado Alagado do Piry

Com base no MDT já produzido anteriormente, as Figuras 20 e 21, evidenciam a área que outrora foi ocupada pelo Alagado do Piry de Jussara, tal como, outros cursos d'água que podiam ser encontrados no período da colonização da capital paraense.

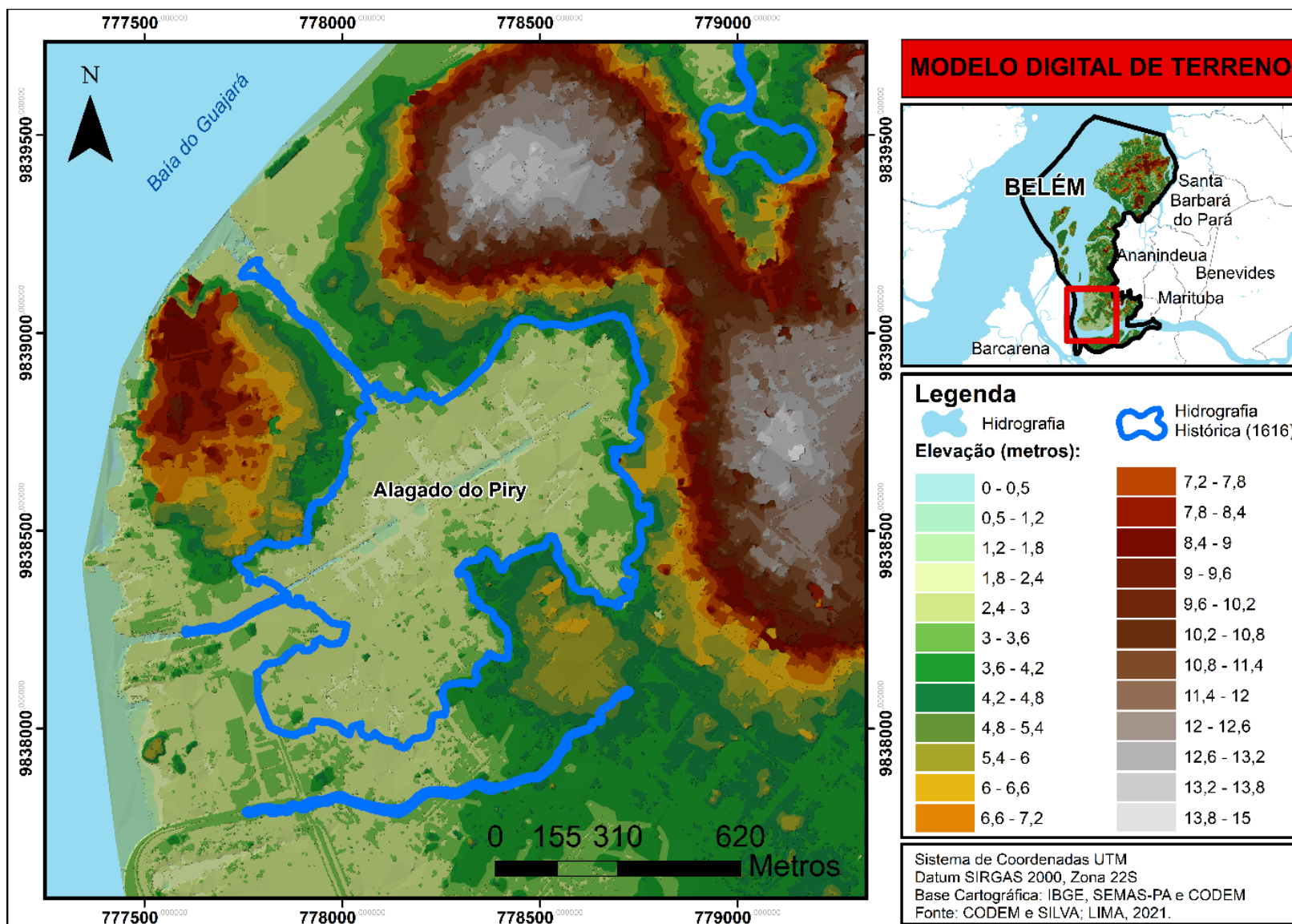
A partir das Figuras 20 e 21, em um primeiro momento chama a atenção o fato de que mesmo após inúmeras intervenções antrópicas na área, como as obras de aterramento do Piry, a morfometria da região ainda retrata o cenário descrito preteritamente no período colonial.

Nota-se que o Alagado do Piry ocupava o território mais baixo no interior da região de estudo, caracterizado por cotas de aproximadamente até 4,5 metros, configurando uma micro bacia hidrográfica. Além disso, é possível identificar os dois braços de deságue citados por Silva e Lima (2021), um que desembocava onde é hoje a doca do Ver-o-Peso e outro que seguia o curso do Canal da Avenida Almirante Tamandaré, destacando-se os pontos de desague de ambos, que seguem um declive em direção à Baía do Guajará. Ademais, através do MDT é possível identificar de forma mais clara, aquela “ponta de terra inacessível pelo continente” descrita por Castelo Branco ao avistar Belém.

Nesse contexto, é possível compreender porque a região do Canal da Avenida Almirante Tamandaré sofre com constantes alagamentos e inundações, visto que assim como o Alagado do Piry, o canal de drenagem homônimo da Avenida, é caracterizado por cotas baixas, inferiores a 2 metros, e diferentemente do braço do Alagado que desaguava onde hoje é o Ver-o-Peso, este manteve-se interligado à Baía.

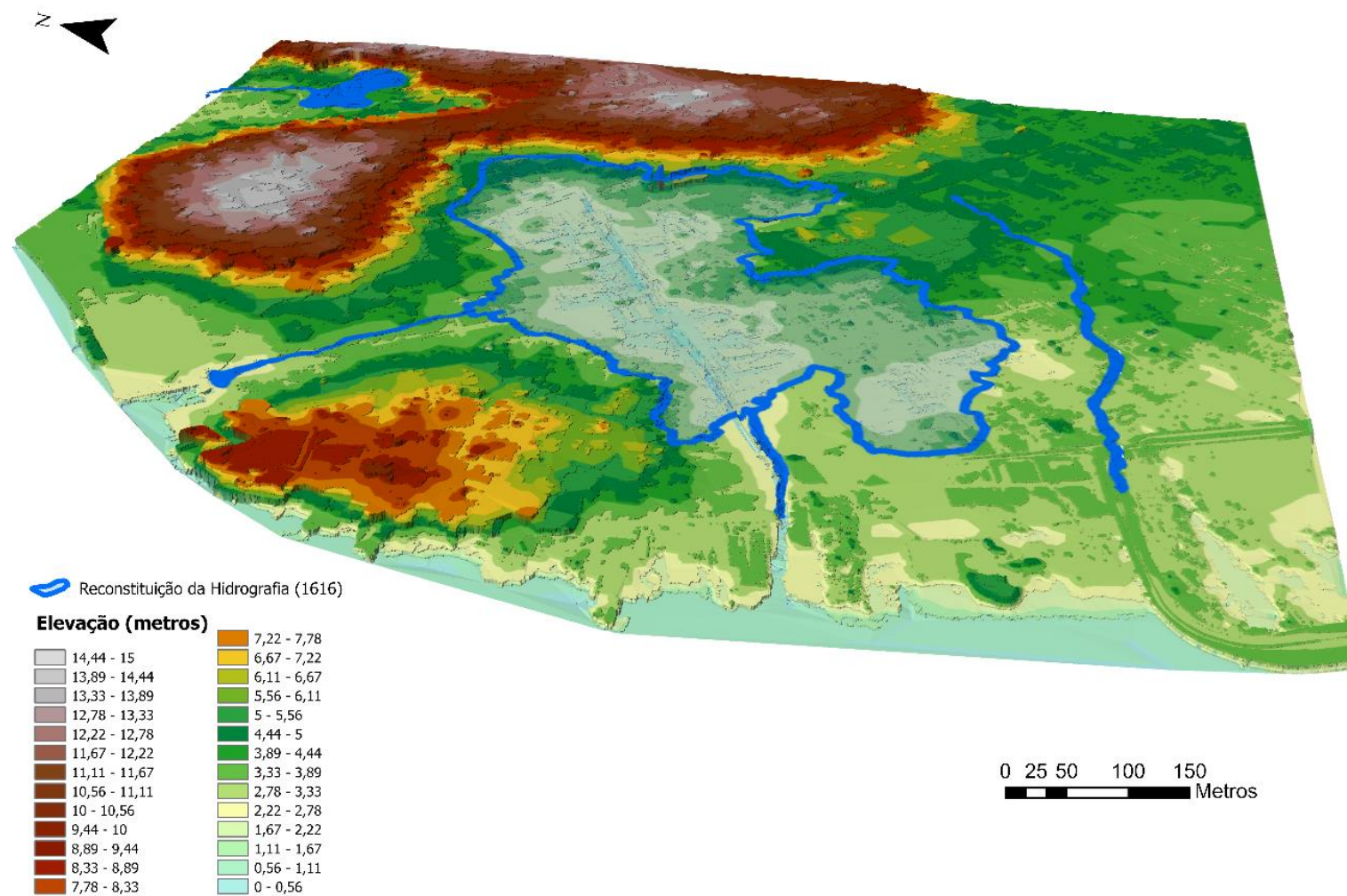
À vista disso, ao analisar o MDT, a geometria do Alagado, e os relatos históricos do período colonial, não seria equívoco pressupor que o que se denominava de Alagado do Piry de Jussara, trava-se na verdade de um Igapó. Uma vez que, Araújo Jr (2013) caracteriza as regiões de Igapó como pontos das áreas de várzea que são alagadas e/ou invadidas pelo nível do rio, e apresentam dificuldades no escoamento das águas, estando diretamente relacionados a obstáculos para a expansão da cidade.

Figura 20 – Modelo Digital de Terreno (MDT) evidenciando a área do Alagado do Piry.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

Figura 21 – Modelo Digital de Terreno (MDT) evidenciando a área do Alagado do Piry, com visualização tridimensional.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

3.4.3 Classificação das Unidades Geomorfológicas Área de Estudo

Com base na literatura do estudo, a Figura 22, mostra o resultado da classificação do MDT com base nas unidades geomorfológicas e nas tipologias geomorfológicas descritas.

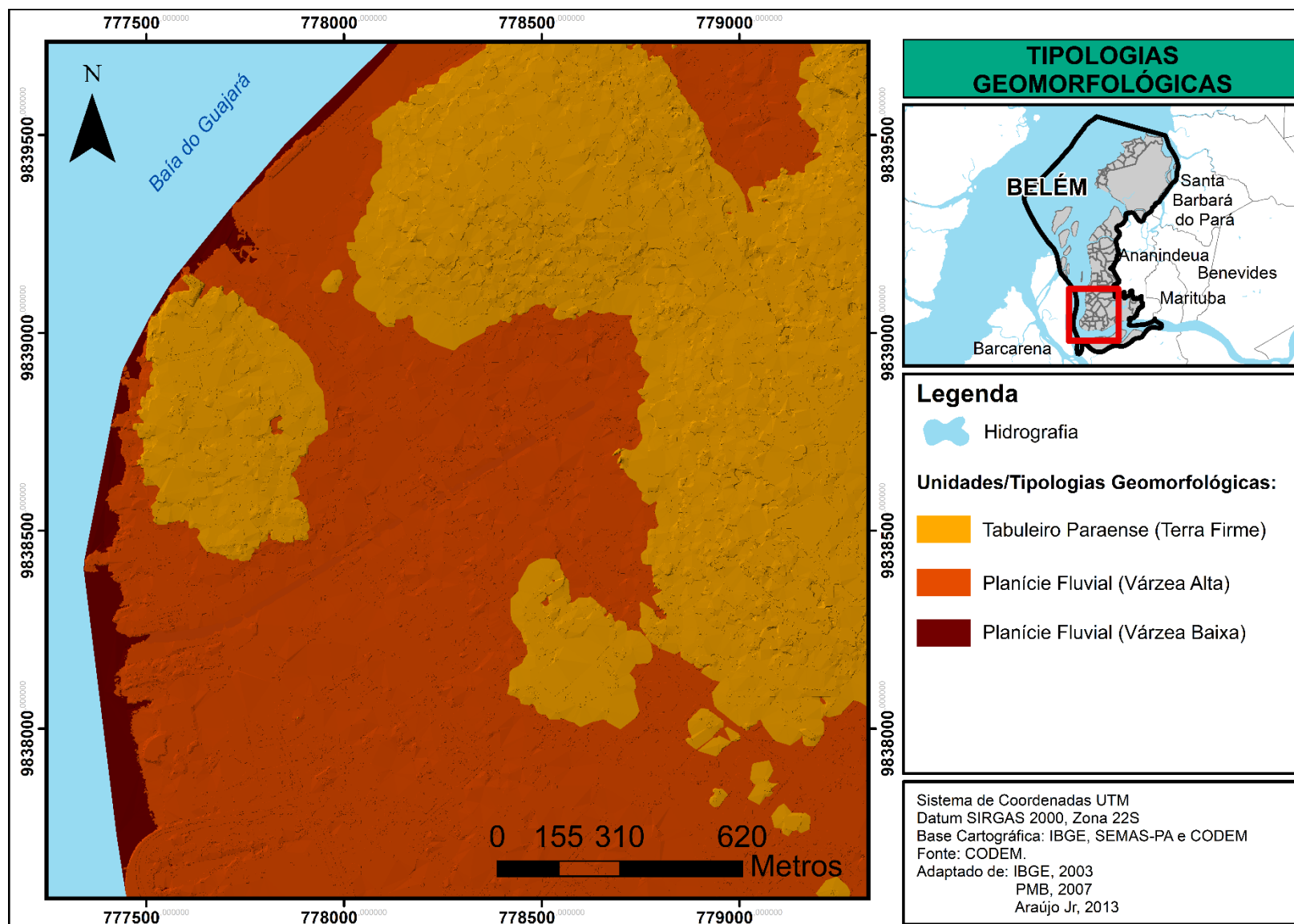
Na classificação proposta, os “Tabuleiros Paraenses” são compostos pela tipologia denominada de “Terra Firme”, que é caracterizada por áreas que são pouco propícias a sofrerem inundações. Desta forma, no modelo proposto, estes territórios ocupam as áreas de maior cota altimétrica.

Distinguindo-se das “Planícies Fluviais”, que na classificação apresentada é subdividida em duas classes: “Várzea baixa” e “Várzea alta”. Isto porque, segundo Gregório (2008), o desenvolvimento das várzeas está diretamente relacionado a variação do nível das marés, que se somam a elevada precipitação da região e ocasionam inundações, que por sua vez acabam por depositar matérias orgânicas nestas áreas.

Contudo, deve-se ressaltar que as áreas de “Várzea baixa” se caracterizam por estarem submersas ou alagadas, durante quase todo o ano, principalmente no período chuvoso. Por conta disso, a classificação proposta buscou rotular as áreas próximas ao leito da Baía do Guajará como várzea baixa, visto que estes territórios constantemente estão submersos ou umedecidos, além disso, tais espaços estão localizados abaixo das construções que seguem modelo de palafitas, apresentando em seu estágio mais seco a presença de matéria orgânica argilosa

Já as áreas rotuladas como “Várzea alta”, são caracterizadas pelo pouco tempo que permanecem alagadas, uma vez que, com exceção do período chuvoso, estes territórios secam completamente no restante do ano.

Figura 22 – Mapa da Classificação Geomorfológica da área de estudo.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

3.5 Considerações Finais

O presente trabalho destacou a importância dos Modelos Digitais de Terreno como ferramenta de representação de superfícies reais, pois a elaboração e a produção do MDT neste artigo, foram de suma importância para atender aos objetivos do estudo, possibilitando uma melhor visualização e análise das formas de relevo que compõem a área de estudo.

Ademais o algoritmo de reamostragem TIN, mostrou-se bastante eficaz ao reproduzir a superfície da área de estudo. Porém, como citado na literatura, por conta dos dados TIN serem tão completos, a manipulação e o processamento destes dados exigem uma maior disposição de tempo e ferramentas computacionais mais eficientes e avançadas, pois se comparado a outras técnicas de processamento, o algoritmo TIN carece de um maior desempenho do processador em que está sendo submetido.

Isto posto, ao fim do estudo é viável afirmar que a geomorfologia da área de estudo é composta propriamente por planícies de inundação, uma vez que através dos resultados expostos foi possível identificar a geometria do Alagado do Piry quase que inteiramente como foi descrita por Castelo Branco ao chegar em Belém, no século XVII, bem como o ponto de deságua dos braços que interligavam o Alagado à Baía do Guajará. Porém diferentemente do que fora relatado no período colonial, hodiernamente a região baixa que outrora foi ocupada pelo alagado do Piry apresenta apenas um eixo de ligação com a Baía, eixo este que foi canalizado e serve como canal de drenagem na região (Canal da Tamandaré).

Nesse contexto, ao reclassificar a área de estudo com base nas Unidades e nas Tipologias geomorfológicas consultadas na revisão literária, chama a atenção as semelhanças entre os relatos pretéritos que descrevem o comportamento das águas do Piry, e a descrição de Igapós dada pelos autores consultados na literatura do presente artigo. Não obstante, a delimitação da geomorfologia do alagado exposta nos resultados do presente trabalho, é caracterizada por abranger as cotas mais baixa da área de estudo, desta forma, pode-se inferir que em movimentos de cheia do rio, esta área apresenta dificuldades em retornar as águas para a Baía, havendo assim uma dinâmica de retenção hídrica.

Nesse cenário, enquanto que por esse ponto de vista, mesmo após 300 anos do início das obras de aterramento e de canalização do Piry ainda se nota a geometria quase que por completa do Alagado do Piry, entretanto, em outros pontos como o que hoje abrigam a Estação das Docas e o Portal da Amazônia, são perceptíveis as alterações na forma de relevo, se compararmos com o resultado do capítulo 2, que ilustra até 1844 estas áreas como parte da Baía do Guajará.

Á vista disso, ao fim do estudo, levanta-se a questão de saber até que ponto as alterações antrópicas podem alterar a forma de um relevo, no limite de descaracteriza-lo da unidade e da tipologia geomorfológica em que ele se enquadra.

Referências

- ARAÚJO JR, A. C. R. Geomorfologia Urbana como subsídio para o Planejamento Ambiental na bacia hidrográfica da Estrada Nova, Belém-Pa. **Revista Geografar**, v. 8, n. 2, p. 133-159, dez. 2013.
- BARROS, L. F. P.; REIS, R. A. P. A Produção científica em Geomorfologia fluvial na Revista brasileira de Geomorfologia: panorama bibliográfico, tendências e lacunas. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 20, n. 3, p. 673-680, jul./set., 2019.
- BELÉM. Prefeitura Municipal – PMB. **Programa de recuperação urbano-ambiental da bacia hidrográfica da Estrada Nova**: processo de licenciamento ambiental da Bacia Hidrográfica da Estrada nova. Belo Horizonte: Engesolo Engenharia LTDA, 2007. 459 p.
- CÂMARA, G.; SOUZA, R. C. M.; FREITAS, U. M.; GARRIDO, J. Spring: Integrating remote sensing and gis by object-oriented data modelling. **Computers & Graphics**. v. 20, n. 3, p. 395-403, mai./jun. 1996.
- CAMARGOS, L. A.; SILVA, C. C.; MORAES, M. F.; PRUDENTE, C. N. Aplicação do Modelo Digital de Terreno (MDT) Advanced Elevation Series (AES) em parte do município de Formosa, GO. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO (SBSR), 17., 2015, João Pessoa. **Anais[...]** São José dos Campos: INPE, 2015. p. 4559-4566.
- CARVALHO, T. M.; LATRUBESSE, E. M. Aplicação de modelos digitais do terreno (MDT) em análises macrogeomorfológicas: o caso da bacia hidrográfica do Araguaia. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 5, n. 1, p. 85-93, 2004.
- COLTRINARI, L. Cartografia Geomorfológica detalhada: a representação gráfica do relevo entre 1950-1970. **Revista Brasileira de Geomorfologia**. v. 12, n. 3, p. 121-130, 2011.
- CORTES, J. P. S.; SZLAFSZTEIN, C. F.; LUVIZOTTO, G. L. Geomorfologia e Planejamento ambiental em uma região de conflitos socioambientais na Amazônia Brasileira. **Revista Geociências**, v. 39, n. 3, p. 765-778, 2020.
- COSTA, S. M. F.; VALOTA, E. C. S.; OLIVEIRA, I. G.; MONTOIA, G. R. M.; SANTOS, E. A. Crescimento Urbano e ocupação de várzea em pequenas cidades da Amazônia: uma discussão premente. Geografia, **Ensino & Pesquisa**. v. 20, n. 1, p. 114-129, 2016.
- DROULERS, M. Fazer territó-rios na Amazônia. **Confins. Revue Franco-Brésilienne de Géographie/Revista Franco-Brasileira de Geografia**, n. 31, 2017. <https://doi.org/10.4000/confins.12065>.

FRANÇA, C. F. de; PIMENTEL, M. A. S.; PROST, M. T. R. Geomorfologia e paisagem: contribuições à classificação de unidades de paisagem da região oriental da ilha de Marajó, Norte do Brasil. *In: SEMINÁRIO LATINO-AMERICANO DE GEOGRAFIA FÍSICA*, 6., 2010, Coimbra. **Anais[...]** Coimbra: Universidade de Coimbra, 2010. p. 01-10.

FURTADO, A. M. M.; PONTE, F. C. Mapeamento de Unidades de Revelo do Estado do Pará. **Revista GeoAmazônia**, v. 02, n. 2, p. 56-67, 2013.

GREGÓRIO, A. M. S. **Contribuição à gestão ambiental da Baía de Guajará (Belém-Pará-Amazônia) através de estudo batimétrico e sedimentológico**. 2008. 128 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2008.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Dicionário cartográfico**. Rio de Janeiro, 1980. 451 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE: **Banco de dados geográficos (BDG) geomorfológico**. Escala 1:250.000. 2003.

JESUS, C. D.; LADWIG, N. I. Geração de Modelo Digital de Terreno (MDT) a partir de informações topográficas. **Revista Tecnologia e Ambiente**, v. 14, p. 51-68, 2008.

LIMA, F. F. Arquiteturas Digitais a partir do Diagrama de Voronoi e Triangulação de Delaunay. **Revista Projetar**, v. 2, n. 2, p. 52-60, 2017.

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. **Geusp – Espaço e Tempo**, v. 24, n. 2, p. 340-360, 2020.

MANZATO, G. G.; VIVIANI, E. Geração de Modelos Digitais de Superfície por meio de Plataformas computacionais com estrutura vetorial e raster. **Ciência & Engenharia** (Science & Engineering Journal), v. 15, n. 2, p. 27-34, 2005.

MOLINARI, D. C.; CARVALHO, D. P. D. Neotectônica no Amazonas: análise geomorfológica-geológica na BR 174. **Confins. Revue Franco-Brésilienne de Géographie/Revista Franco-Brasileira De Geografia**, n. 43, 2019. <https://doi.org/10.4000/confins.25146>.

NOGUEIRA, J. R.; DE OLIVEIRA, S. L. G. Uma visão geral sobre técnicas para construção de algoritmos para a geração da Tesselação de Delaunay e do Diagrama de Voronoi. **Revista Cereus**, v. 10, n. 2, p. 299-314, 2018.

OLIVEIRA, A. A. B. Análise da Dinâmica Geomorfológica da Planície do Rio Solimões, próximo a Manaus, através do Processamento Digital de Imagens de Sensores Ópticos e de Microondas. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO*, 8., 1996, Salvador. **Anais[...]** Salvador: INPE, 1996. p. 233-239.

OLIVEIRA, F. F.; PITERI, M. A.; MENEGUETTE, M. Desenvolvimento de uma plataforma de software para a modelagem digital de terrenos baseada em TIN. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 20, n. 1, p. 117-131, 2014.

OLIVEIRA, R. A.; TOMMASELLI, A. M. G. Geração automática de Modelo Digital De Superfície utilizando múltiplas imagens. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOMÁTICA, 3, Presidente Prudente-SP, 2012. **Anais[...]**. Presidente Prudente-SP: Universidade Estadual Paulista, 2012. p. 193-198.

PERES, L. G. M.; GURGEL, H.; LAQUES, A. E. Dinâmica da paisagem em planícies de inundação amazônicas: o caso do Lago Grande do Curuai, Pará, Brasil. **Confins. Revue Franco-Brésilienne de Géographie/Revista Franco-Brasileira de Geografia**, n. 35, 23 p. 2018. <https://doi.org/10.4000/confins.13010>.

PITERI, M. A.; DOS JUNIOR, A. G.; SANTOS, M. M.; OLIVEIRA, F. F. Triangulação de Delaunay e o princípio de inserção randomizado. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOMÁTICA, 2., 2007, Presidente Prudente - SP. **Anais [...]**. Presidente Prudente - SP, 2007, p. 9.

RENNÓ, C. D. Eliminação de áreas planas e extração automática de linhas de drenagem em modelos digitais de elevação representados por grades triangulares. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 7., 2005, Goiânia. **Anais [...]**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2005, p. 2543-2550.

RODRIGUES, R. M.; LIMA, J.J. F.; PONTE, J. X.; LEÃO, M. B. M. S.; LOPES, R. S. N.; BARROS, N. S. APP's urbanas e intervenções públicas em áreas de Baixadas em Belém (PA): implicações das intervenções públicas nas margens de cursos d'água. In: SEMINÁRIO NACIONAL SOBRE ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE EM MEIO URBANO – APPURBANA. 2., 2012, Natal. **Anais[...]**. Natal: UFRN, 2012. Disponível em: <https://docplayer.com.br/27067481-App-s-urbanas-e-intervencoes-publicas-em-areas-de-baixas-em-belem-pa-implicacoes-das-intervencoes-publicas-nas-margens-de-cursos-d-agua.html>.

RODRIGUES, R. M.; LIMA, J. J. F.; PONTE, J. P. X.; BARROS, N. S.; LOPES, R. S. N. ST4-825 Urbanização das baixadas de Belém-PA: transformações do habitat ribeirinho no meio urbano. In: ENANPUR, 15., 2013, **Anais[...]**, 2013. Disponível em: <http://www.anais.anpur.org.br/index.php/anaisenanpur/article/view/261/253>.

SILVA, M. V. S.; LIMA, A. M. M. DE . Reconstituição espaço-temporal do Alagado do Piry de Jussara, Belém-PA: evolução e impacto na urbanização. **Revista Cerrados**, v. 19, n. 01, p. 113-139, fev. 2021.

SIMÕES, M. G. **Modeladores digitais de terreno em sistemas de informação geográfica**. 1993. 158 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Sistemas e Computação, Programa de Pós-Graduação em Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 1993.

VIVIANI, E.; MANZATO, G. G.; Geração de Modelos Digitais de Superfície por meio de Plataformas computacionais com estrutura vetorial e raster. **Ciência & Engenharia** (Science & Engineering Journal). v. 15, n. 2, p. 27-34, 2005.

CAPÍTULO 4 A DINÂMICA DAS ÁGUAS NA BACIA DO PIRY

THE DYNAMICS OF WATERS IN THE PIRY BASIN

LA DINÁMICA DE LAS AGUAS EN LA CUENCA DE PIRY

RESUMO

A intensa relação entre a urbanização e as águas na cidade de Belém, foi fundamental para a atual configuração do território, pois, motivado pelo expansionismo urbano, a fórmula utilizada para lidar com o Alagado do Piry, foi a mesma aplicada a outros cursos d'água, à medida que a cidade se expandia. Nesse sentido, através da aplicação de técnicas de geoprocessamento, a metodologia do trabalho buscou inicialmente identificar os principais pontos de alagamento na cidade de Belém, por conseguinte através da manipulação de Modelo Digital de Terreno, foi possível simular o efeito das marés na área de estudo, ademais, o principal objetivo do estudo visou reproduzir a hidrodinâmica na Bacia do Piry, desta forma, após delimitar a área de contribuição da bacia, foram correlacionados os principais fatores físicos que atuam nesta dinâmica: geomorfologia, variação do nível do rio e precipitação. resultando na elaboração e na produção de mapas e ilustrações tridimensionais que auxiliaram na compreensão desta dinâmica, assim, ao fim do estudo, a variação do nível do rio foi apontada como principal agente causador dos impactos socioambientais relacionados a ocorrência de enchentes e alagamentos na Bacia do Piry, inferindo com base nos dados de alagamento para todo o município de Belém, que este cenário não é exclusivo da bacia do Piry, e que as mudanças climáticas poderão acentuar a ocorrência destes eventos, atingindo um número maior da população e agravando ainda mais a situação daqueles que já são atingidos por estes eventos.

Palavras-chave: pontos de alagamento; bacia do Piry; variação de marés; geoprocessamento.

ABSTRACT

The intense relationship between urbanization and water in the city of Belém, was fundamental for the current configuration of the territory, because, motivated by urban expansionism, the formula used to give it to Alagado do Piry, was the same applied to other water courses, as the city expanded. In this sense, through the application of geoprocessing techniques, the work methodology initially sought to identify the main flooding points in the city of Belém, therefore, through the manipulation of the Digital Terrain Model, it was possible to simulate the effect of

the tides in the study area. , in addition, the main objective of the study aimed to reproduce the hydrodynamics in the Piry Basin, thus, after delimiting the area of contribution of the basin, the main physical factors that act in this dynamic were correlated: Geomorphology, River level variation and Precipitation. Resulting in the elaboration and production of maps and three-dimensional illustrations that helped in the understanding of this dynamics, thus, at the end of the study, the variation in the level of the river was identified as the main causative agent of the socio-environmental impacts related to the occurrence of floods and floods in the Piry, inferring based on the flooding data for the entire municipality of Belém, that this scenario is not exclusive to the Piry basin, and that climate change may accentuate the occurrence of these events, reaching a larger number of the population and further aggravating the situation. situation of those who are already affected by these events.

Keywords: flooding points; Piry basin; tidal variation; geoprocessing.

RESUMEN

La intensa relación entre urbanización y agua en la ciudad de Belém, fue fundamental para la configuración actual del territorio, porque, motivado por el expansionismo urbano, la fórmula utilizada para dárselo a Alagado do Piry, fue la Lo mismo se aplicó a otros cursos de agua, a medida que la ciudad se expandió. En este sentido, mediante la aplicación de técnicas de geoprocésamiento, la metodología de trabajo buscó inicialmente identificar los principales puntos de inundación en la ciudad de Belém, por lo tanto, a través de la manipulación del Modelo Digital de Terreno, fue posible simular el efecto de las mareas en el área de estudio., además, el objetivo principal del estudio tuvo como objetivo reproducir la hidrodinámica en la Cuenca del Piry, así, luego de delimitar el área de aporte de la cuenca, se correlacionaron los principales factores físicos que actúan en esta dinámica: Geomorfología, variación del nivel de los ríos y precipitación. Como resultado de la elaboración y producción de mapas e ilustraciones tridimensionales que ayudaron en la comprensión de esta dinámica, así, al final del estudio, se identificó la variación en el nivel del río como el principal agente causal de la socio- impactos ambientales relacionados con la ocurrencia de inundaciones e inundaciones en el Piry, infiriendo con base en los datos de inundaciones para todo el municipio de Belém, que este escenario no es exclusivo de la cuenca del Piry, y que el cambio climático puede acentuar la ocurrencia de estos eventos, alcanzando mayor número de la población y agravando aún más la situación de quienes ya se ven afectados por estos hechos.

Palabras-clave: puntos de inundación; cuenca de Piry; variación de las mareas; geoprocesamiento.

4.1 Introdução

A população amazônica sempre estabeleceu fortes laços com os cursos d'água que cortam a região a dentro, e isso pode ser observado desde os primórdios de sua ocupação até os dias atuais, uma vez que esta abundante rede hidrográfica é utilizada como fonte de recursos, via de circulação, espaço de lazer, sociabilidades, etc. (SILVA; ROCHA, 2019).

Com o desencadeamento da colonização amazônica, ocorrido a partir de século XVII, historicamente, apenas em meados do século XX (década de 1960), estimulada pela mineração e pelo avanço da agropecuária, esta região veio a ser interligada ao restante do país por meios de rodovias e estradas (SATHER; MONTE-MÓR; CARVALHO, 2009; AMAZON, 2015). Nesse contexto, este vínculo com as águas pode ser facilmente explicado, visto que durante aproximadamente 350 anos, contemplou-se a formação e a consolidação de numerosas cidades ribeirinhas e portuárias, envolvidas em intensos fluxos comerciais e migratórios na Bacia Amazônica. Não à toa, grandes cidades amazônicas se desenvolveram voltadas para o eixo do rio Amazonas (SATHER; MONTE-MÓR; CARVALHO, 2009; PONTE, 2015).

Belém foi uma dessas cidades que teve durante muito tempo seu desenvolvimento voltado para as águas, ademais, segundo Silva e Lima (2021), desde o início da implantação do pequeno núcleo urbano (em 1616), aqueles que ali viviam e que ali chegavam tinham que conviver com a dinâmica das águas da região. Isto porque, além da elevada precipitação, característica amazônica, havia um alagado – que em algumas literaturas é descrito como pântano – que durante muitos anos limitou a expansão do até então povoado.

Esta região alagada era denominada de Alagado do Piry de Jussara (nomenclatura de origem indígena), de acordo com o artigo “*Reconstituição espaço-temporal do Alagado do Piry de Jussara, Belém-Pa: evolução e impacto na urbanização*”, de Silva e Lima (2021), que reconstituiu a área do alagado e a ocupação urbana sobre o mesmo. Este espaço era composto por uma extensa área inundada, de aproximadamente 61 hectares, e dois braços de deságue, que acabavam por isolar uma pequena porção de terra, pois esta era inacessível por terra.

Tais características geográficas foram de suma importância para a fundação de Belém, uma vez que, a falta de acesso terrestre a esta área não alagável, foi vista como uma excelente estratégia de defesa militar pelos portugueses, com isso, o território que mais tarde viria se expandir e torna-se a cidade de Belém, naquele momento propiciava o comércio, a exploração

e defesa da colônia (PENTEADO, 1968; ARAÚJO JUNIOR; AZEVEDO, 2012; PONTE, 2015; SILVA; LIMA, 2021).

Entretanto, com o passar dos anos e com o aumento populacional, a área baixa e alagada, que até então era vista como uma vantagem para os colonizadores, se tornou um obstáculo para a expansão urbana do núcleo, desta forma, os séculos subsequentes (XVIII e XIX) foram marcados por grandes obras de drenagem, dessecamento e aterramento do Alagado do Piry – causando grandes alterações ao sítio natural daquela região, seguido da ocupação urbana sobre o mesmo (PENTEADO, 1968; ARAÚJO JUNIOR; AZEVEDO, 2012; PONTE, 2015; SILVA; LIMA, 2021).

Nesse sentido, a relação entre a urbanização e as águas foi fundamental para a atual configuração da ocupação do território belenense, pois, motivado pelo expansionismo urbano, a fórmula utilizada para lidar com o Alagado do Piry, foi a mesma aplicada a outros cursos d'água à medida que a cidade se expandia. Conforme o espaço urbano é irradiado, as populações mais vulneráveis tendem a ocupar áreas que até então não eram habitadas, e aquelas regiões que até então eram consideradas periféricas sofrem um processo de elitização, como foi o caso do Alagado do Piry de Jussara, que foi aterrado e drenado, e hoje abriga um canal de drenagem em conjunto com uma importante avenida do centro da cidade de Belém (JACOBI, 2000; SILVA; ROCHA, 2019).

Considerando tal processo de urbanização, para Costa et al. (2016, p.115), “a produção do espaço urbano na Região Amazônica pode ser considerada igualmente portadora de contradições e geradora de conflitos entre a população e o ambiente sobre o qual se instala”. Isto porque, inúmeras cidades foram implantadas sobre áreas de várzea, que podem ser descritas como áreas que sofrem influência direta dos rios amazônicos, e que por conta disso, estão sujeitas a inundações periódicas, quando a água transborda em seus leitos e margens, causando diferentes graus de inundações nas terras adjacentes.

Á vista disso, Rodrigues et al. (2012) apontam que a ocupação urbana sobre áreas de várzea propícia a instalação de usos do solo não condizentes com os princípios de preservação ambiental aplicados ao meio urbano, e que posteriormente esta forma de ação antrópica resultará em problemas socioambientais para a população que ali reside. Desta maneira, a falta de planejamento urbano nas áreas de grande concentração urbana na região amazônica, já apresenta consideráveis entraves, tais como degradação ambiental dos mananciais, contaminação dos rios pelos esgotos doméstico, industrial e comercial, enchentes urbanas geradas pela inadequada ocupação do espaço e pelo gerenciamento igualmente equivocado da drenagem urbana, entre outros (SILVA; ROCHA, 2019).

Nesse sentido, por estar situada em uma planície inundada de baixa cota altimétrica, circundada pelo Rio Guamá e pela Baía do Guajará, à medida que a cidade de Belém se expandiu, as áreas de várzea e os igarapés, ou sofreram processo de aterramento ou foram convertidos em canais de drenagem (TAVARES, 2008; SILVA; LIMA, 2021).

E sob tal ponto de vista, Belém já apresenta nítidos reflexos socioambientais resultantes da forma predatória de expansão do espaço urbano, uma vez que são recorrentes os cenários de alagamentos e inundações em diversos pontos da capital paraense, destacando a região que outrora era ocupada pelo já citado Alagado do Piry, que frequentemente sofre com alagamentos, causando significativos transtornos ao fluxo de veículos e pessoas na área (SILVA; ROCHA, 2019; CARDOSO et al., 2020; SILVA; LIMA, 2021).

Aliados a ocupação irregular em áreas sensíveis, deve-se ressaltar a geomorfologia da cidade, a elevada precipitação pluviométrica (principalmente no período conhecido como “inverno amazônico⁷”), a variação do nível da maré, e a ineficiência do sistema de drenagem e escoamento pluvial da cidade, ambos como variáveis influenciadoras na ocorrência de enchentes e alagamentos (TAVARES, 2008; AMANAJÁS; BRAGA, 2012).

Nesse seguimento, um importante agravante a este cenário é a ocorrência de eventos extremos, consequentes das mudanças climáticas globais. Em um relatório publicado pelo Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas, em 2016, é exposto que 60% da população brasileira habitam em cidades costeiras (faixa de 60 quilômetros da costa), e que as alterações climáticas em curso expõem as cidades litorâneas ao aumento do nível do mar e ao aumento na precipitação e na temperatura dos oceanos. Ademais, o relatório ressalta que Belém é uma das cidades que já sofrem com a elevação do nível do mar, e o agravamento dessa circunstância aponta para uma alta vulnerabilidade da capital paraense e região metropolitana (PBMC, 2016).

À vista disso, o presente estudo tem como objetivo principal delimitar a Bacia do Alagado do Piry, que vale citar, difere da geometria do Alagado do Piry, pois, a Bacia leva em conta toda a área que contribui hidrológicamente para a formação do Alagado. Isto posto, com a delimitação da bacia serão atribuídos os fatores físicos que compõe o complexo ciclo dinâmico das águas na região (precipitação, geomorfologia, variação do nível das marés e as alterações climáticas), assim, será permitido identificar os pontos de alagamento, bem como as manchas de inundação resultantes deste ciclo hidrodinâmico. E discorrer a respeito da ocupação sobre os cursos d’água e os riscos futuros ligados a eventos extremos consequentes das alterações climáticas.

⁷ **Inverno Amazônico:** Estação chuvosa que se estende de janeiro a abril, e é influenciada diretamente pela atuação da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) (AMANAJÁS; BRAGA, 2012).

4.2 Revisão Literária

4.2.1 Ocupação urbana sobre Recursos hídricos

Os eventos extremos de natureza climática, são os que mais repercutem nas atividades humanas em nosso país. Contudo, embora tais fenômenos sejam naturais, a recorrente ação antrópica tem contribuído para a maior frequência, intensidade e expansão destes. Pode-se afirmar que tais eventos estão diretamente relacionados às mudanças climáticas, que apresentam cenários catastróficos para as futuras gerações (SANTOS; ROCHA, 2013; SOUZA; IGNÁCIO; CARVALHO, 2019).

Com o avanço do processo de urbanização ocorrido principalmente nos últimos 50 anos, as alterações climáticas e o grau de vulnerabilidade das cidades, estão cada vez mais vinculadas ao processo de urbanização, reforçando que se por um lado tal processo tende a trazer avanços econômicos e industriais, por outro, o crescimento desordenado gera inúmeros impactos socioambientais (SOUZA; IGNÁCIO; CARVALHO, 2019).

Nesse sentido, a respeito da expansão urbana, França e Souza (2013) apontam que:

A expansão urbana constitui um dos processos de apropriação de novos espaços, cujas ações antrópicas são, na maioria das vezes, danosas tanto aos aspectos sociais quanto aos elementos da natureza. As ações antrópicas são transformadoras do meio ambiente, alterando o equilíbrio e a dinâmica dos sistemas naturais (FRANÇA; SOUZA, 2013, p. 16).

Com base nisso, Tucci (2006) expõe que no início do século XX, a população urbana compunha apenas 15% de toda a população mundial, já no Brasil, o processo de urbanização foi impulsionado a partir dos anos 60, com o avanço da industrialização, abertura de novas rodovias, mecanização da produção agrícola, entre outros fatores que estimularam um intenso processo de êxodo rural, incentivando a procura pelas grandes e médias cidades, bem como a ocupação de áreas com infraestruturas precárias e inadequadas. Atualmente, segundo o IBGE, estima-se que 84,72% da população brasileira resida em áreas urbanas, corroborando com o acelerado processo de urbanização que ainda ocorre no país, porém, em percentuais menores que os vistos no século XX (TUCCI, 2006; IBGE, 2015).

De acordo com Santos (1988):

As mudanças são quantitativas, mas também qualitativas. Se até mesmo nos inícios dos tempos modernos as cidades ainda contavam com jardins, isso vai tornando-se

mais raro: o meio urbano é cada vez mais um meio artificial, fabricado com restos da natureza primitiva crescentemente encobertos pelas obras dos homens (SANTOS, 1988, p. 16).

Lima e Amorim (2014) apontam que o crescimento urbano e as demandas geradas por ele, refletem os inúmeros problemas socioambientais que tendem a se repetir por todo o mundo. Entre estes pode-se citar a ocupação indiscriminada de áreas impróprias, em especial aquelas sobre ou às margens de cursos d'água.

Proveniente da expansão das cidades, a implantação de infraestrutura urbana acaba por impactar diretamente o ciclo d'água naquela determinada região ou cidade. Nesse cenário, Luz e Rodrigues (2020), e Tucci (2006), chamam a atenção para a relação predatória entre a expansão urbana e as intervenções antrópicas nas formas fluviais, uma vez que, ações como, construção de orlas e diques artificiais, disposição de aterros sobre planícies de inundação e ocupação generalizada de terrenos originalmente ocupados por inundações, ocasionam a obstrução e a redução do escoamento de um curso d'água, atenuando as ocorrências de enchentes.

Ainda segundo os autores, frequentemente, a redução e obstrução do escoamento é acompanhada de um correto dimensionamento para aumentar a área de seção transversal do sistema canal implantado no sentido de compensá-la. Porém, mesmo assim, o aumento da magnitude das vazões de pico gerados em bacias altamente urbanizadas e com altas taxas de condutos ultrapassa os valores adotados em projetos hidráulicos, isto sem considerar as obras de drenagem inadequadas.

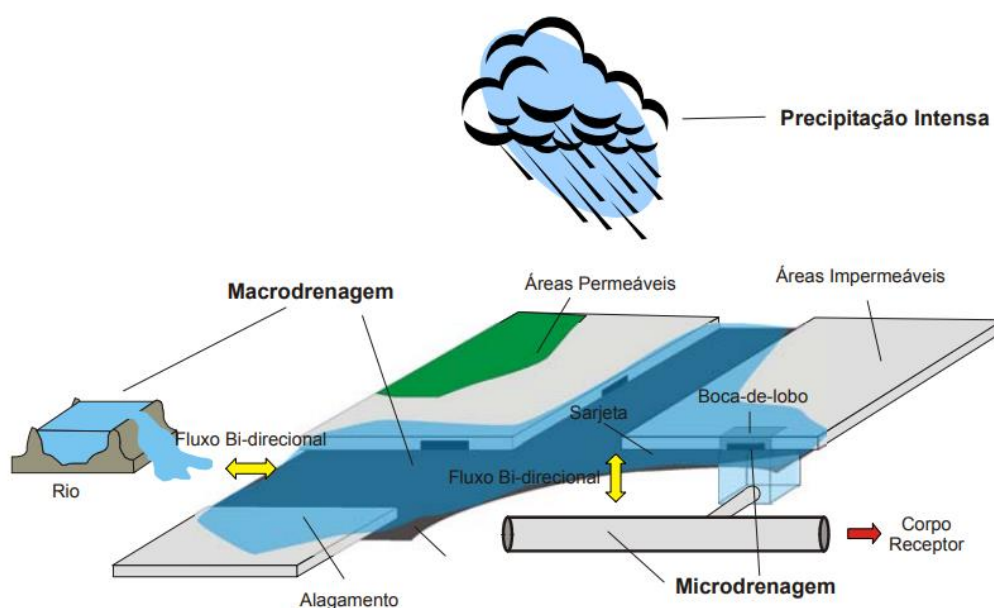
Desta forma, como consequência do crescimento das cidades, ocorre o aumento da impermeabilização do solo, reduzindo assim, as taxas de infiltração, recarga do lençol freático e o escoamento básico. Tais fatores vão influenciar diretamente na elevação do escoamento superficial, na velocidade, frequência e magnitude dos picos de cheias, ampliando os cenários de enchentes. Ressalta-se também que os sistemas de drenagem têm um papel significativo nesse processo, uma vez que, contribuem para a expansão da velocidade de escoamento, propiciando o aporte simultâneo de grandes volumes de água aos corpos hídricos, intensificando as inundações na área urbana (SILVA et al., 2016).

Além disso, Tucci (2006, p. 400) aponta que algumas das principais consequências resultantes da urbanização são: “o aumento das vazões máximas devido à elevação da capacidade de escoamento, através de condutos e canais e a impermeabilização das superfícies”; “aumento da produção de sedimentos devido à desproteção das superfícies e a

produção de resíduos sólidos” e “a deterioração da qualidade da água, devido ao transporte de material sólido e as ligações clandestinas de esgoto cloacal e pluvial”.

Ou seja, se considerarmos uma “Planície Fluvial” caracterizada por cotas altimétricas baixas, impactada diretamente pela ação antrópica, através da obstrução e canalização de curso d’água e impermeabilização do solo nas áreas circundantes, como exposto na Figura 23, a eminência de alagamentos, enchentes e/ou inundações será constante, a depender da precipitação e da cota do rio.

Figura 23 – Ilustração do ciclo hidrodinâmico em área urbana próxima a um curso d’água canalizado.



Fonte: Meller (2004).

Nessa conjuntura, chama-se a atenção para as classes menos favorecidas, que por conta da baixa disponibilidade de recursos financeiros tendem a ocupar as áreas de menor valor imobiliário que na maioria das vezes estão em locais com baixa disponibilidade de infraestrutura e serviços, e estão sujeitas a inundações. Em contrapartida, são poucos os municípios no Brasil possuem legislações (Plano Diretor) que venham delimitar as áreas inundáveis e que podem ser ocupadas, e quando as têm, adotam apenas medidas estruturais pontuais, em áreas já habitadas, para tentar reduzir os efeitos das cheias (SILVA et al., 2016).

Dentre essas ações pontuais citadas no parágrafo acima, a canalização de cursos d’água tem sido extremamente aplicada em vários centros urbanos do Brasil, como forma de transportar um determinado volume de água de um ponto a outro da bacia, sem que sejam avaliados os efeitos a jusante ou os reais benefícios das obras. Por fim, reforça-se que tal

situação se agrava ainda mais quando somada ao aumento de produção de sedimentos, que reduzem a capacidade dos condutos e canais e o despejo de efluentes domésticos nestes canais retificados (TUCCI, 2006; TARGA et al., 2012).

4.2.2 A Dinâmica das Águas nas cidades

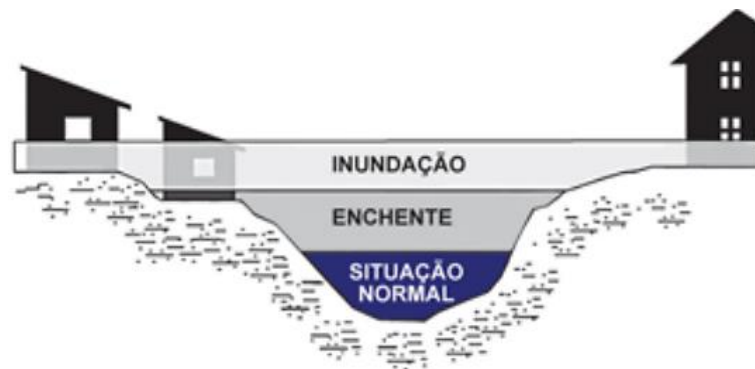
Os principais impactos socioambientais vinculados ao processo hidrológico que ocorrem nas cidades são: Alagamentos, Enchentes e Inundações; contudo, seus conceitos tendem a variar de acordo com a causa, o nível do acúmulo de água e a vazão⁸ do mesmo, como apresenta o Quadro 6 e a Figura 24.

Quadro 6 – Aspectos conceituais dos principais impactos vinculados ao escoamento superficial que ocorrem nas cidades.

Impacto	Conceito
Alagamento	Acúmulo momentâneo de águas em uma dada área decorrente de deficiência do sistema de drenagem.
Enchente	Elevação temporária do nível d'água em um canal de drenagem devida ao aumento da vazão ou descarga.
Inundação	Processo de extravasamento das águas do canal de drenagem para as áreas marginais, quando a enchente atinge cota acima do nível máximo da calha principal do rio.

Fonte: Adaptado de Ministério das Cidades/Instituto de Pesquisas Tecnológicas (2007).

Figura 24 – Perfil Esquemático do processo de enchente e inundação.



Fonte: Ministério das Cidades/Instituto de Pesquisas Tecnológicas (2007).

⁸ **Vazão:** “Quantidade de água que passa por uma dada seção em um canal de drenagem num período de tempo” (MINISTÉRIO DAS CIDADES/INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS, 2007, p. 92).

O processo hidrológico de enchente/inundação configura-se como um evento dinâmico, ou seja, ao longo de um curso d'água é possível observar ambas as situações (enchentes ou inundações). Onde além das ações antrópicas, os principais condicionantes naturais determinantes na ocorrência, frequência, tipologia e dinâmica do escoamento superficial, são as condicionantes climáticas e geomorfológicas (pluviometria, relevo, gradiente hidráulico do rio, tamanho e forma da bacia) de um determinado local (MINISTÉRIO DAS CIDADES/ INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS, 2007).

Outro elemento relevante de análise são os condicionantes geomorfológicos, pois o crescimento urbano tende a impactar diretamente estes, com: aterramentos com ocupação em áreas sazonalmente alagadas (planícies de inundação), implantação de habitações em áreas de encosta com modificação da declividade local, construção de obras de infra-estrutura viária com ajustes topográficos para sua integração e redução de custos, criação de espaços novos com a formação de ambientes que antes não existiam como lagoas, praias, canais e assim por diante, que implicam em elementos introduzidos na paisagem.

Em uma proposta de planejamento do espaço urbano, as feições topográficas e os processos morfogenéticos⁹ atuantes deveriam orientar as categorias de uso da terra; onde sem considerar estas variáveis, as ações antrópicas diretas ou indiretas, resultam em inúmeras alterações no meio físico, originando e impactando negativamente na incidência dos processos erosivos e de deposição sedimentar (GIRÃO; CORRÊA, 2004; FRANÇA; SOUZA, 2013).

Diante disso, as modificações advindas das ações humanas na superfície terrestre têm se tornado objetos de estudos da geomorfologia desde os últimos 50 anos, nessa conjuntura, Brown, em seu artigo intitulado “O homem modela a Terra”, publicado pelo Boletim Geográfico Brasileiro em 1971, hoje disponibilizado pelo IBGE, apresenta o termo “Antropogeomorfologia”, criado com a intenção de emancipar uma nova ciência que tem como intuito analisar os impactos nos solos e as alterações no relevo provocadas pela ação humana (BROWN, 1971; SOUZA; PEREIRA, 2015).

Nesse cenário, chama-se a atenção para a questão ambiental urbana, uma vez que, os grandes centros urbanos manifestam os mais diversos impactos ambientais, resultantes da intervenção antropogênica no equilíbrio dinâmico da natureza. Com isso, tal interferência acaba por afetar diretamente os processos geomorfológicos, com distintas implicações no que se refere aos danos naturais e sociais no ambiente urbano (PEDRO, 2011).

⁹ Estão associados as características climáticas e aos aspectos vinculados ao contexto tectônico, litológico e biogeográfico de uma região, influenciando diretamente a gênese e evolução das formas de relevo (PEDROSA, 2014).

Como exemplos de interferência humana pode-se citar, a degradação dos solos (por meio da erosão humana) e dos recursos hídricos (assoreamento), a represa de um rio ou a correção do seu curso, a abertura de túneis entre vales e montanhas, formação de novos tratos de terra (aterramento), canalização de rios, além da concentração populacional em locais ambientalmente inadequados, como topos de morro e em fundos de vale, inclusive aqueles identificados como áreas de preservação permanente (APP) (BROWN, 1971; PEDRO, 2011).

Diante disso, toma-se como exemplo a cidade de Recife, no estado de Pernambuco, que desde 1632 sofre com enchentes, e que segundo meteorologistas tendem a se agravar com a ocorrência de eventos climáticos extremos. Conforme uma matéria do Diário de Pernambuco publicada em 06 de junho de 2016, tal cenário ocorre devido ao processo de ocupação e crescimento da cidade, baseado na prática de aterramento dos obstáculos naturais (cursos d'água) que isolavam algumas ilhas da cidade. Com isso, o processo de aterramento da cidade influenciou no escoamento da água ao longo dos anos, causando alagamentos (Figura 25).

Figura 25 – Evolução da ocupação urbana da cidade de Recife-PE.



Fonte: Diário de Pernambuco (2016).

4.2.3 O Fenômeno das Marés e o Aumento do Nível do Mar

Banhando a costa norte e noroeste da capital paraense, e correspondendo a um estuário primário, de domínio fluvial, e do tipo “rio com maré”, a Baía do Guajará consiste em um sistema fluvial que recebe enormes contribuições dos rios Guamá, Acará e, secundariamente, Pará (GREGÓRIO, 2008).

Em virtude disso, a influência da salinidade oceânica na Baía não ultrapassa 1 no período de menor precipitação no ano, e é praticamente nula no período mais chuvoso da região, época esta representada pela máxima descarga fluvial dos rios.

Caracterizada por uma maré semi-diurna, com variação de 2,3 metros (quadratura) e 3,8 metros (sizígia), no período conhecido como “Águas de março” (Equinócio), a elevação do nível rio facilmente alcança a cota de 4 metros, inundando parte da cidade de Belém por pelo menos três ciclos semi-diurnais de maré (GREGÓRIO, 2008).

Segundo Gregório (2008), o movimento de subida do nível da maré dura cinco horas, distinguindo-se da vazante (movimento de seca), que leva oito horas para finalizar totalmente o ciclo. Tal cenário é resultado direto do efeito dinâmico das marés, que tendem a represar o escoamento em direção ao mar durante a vazante.

Nesse cenário, Souza e Almeida (2010) expõem a realidade amazônica, inferindo que os impactos naturais influenciados pelas mudanças climáticas, são refletidos principalmente na dinâmica de enchente e vazante dos rios. Dando maior enfoque para o movimento de cheias (enchentes), os autores afirmam que a cada ano as influências climáticas globais agravam mais os impactos na população que reside no litoral e nas margens dos rios.

Corroborando com o exposto por Souza e Almeida (2010), o Relatório Especial do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (2016) evidencia a vulnerabilidade das cidades costeiras brasileiras frente às mudanças climáticas. Nesse sentido, o referido estudo relata que,

Há evidências que sugerem que a mudança climática já mudou a magnitude e a frequência de alguns eventos extremos de condições meteorológicas e climáticas em algumas regiões globais, embora continue ainda muito difícil atribuir eventos individuais às mudanças climáticas. Eventos extremos, que em muitas cidades incluem ondas de calor, secas, chuvas intensas e inundações costeiras, são projetados para aumentar em frequência e intensidade (PBMC, 2016, p.24)

À vista disso, a crescente expansão urbana desordenada, resultante do aumento populacional, atenua esse processo, pois promove mudanças e intensificação no uso da terra e exercem mais pressão aos ambientes costeiro, causando alterações no microclima, podendo acentuar os efeitos dos eventos extremos, em especial os relacionados ao ciclo hidrodinâmico (enchentes e alagamentos, inundação costeira e movimentos de massa) (PBMC, 2016).

A falta de estratégia para adaptação ao aumento do Nível Relativo do Mar (NRM), possivelmente irá resultar em impactos catastróficos, com dezenas de milhões de pessoas nas condições de refugiados ambientais, com risco real de deslocamento forçado de até 187 milhões de pessoas ao longo deste século. Ademais, apenas na porção Atlântica da América do Sul, estima-se que até o ano de 2100 aproximadamente 8 milhões de pessoas serão atingidas pelo aumento de 2 metros no Nível Médio do Mar (NMM) (PBMC, 2016).

Assim, o Relatório desenvolvido pelo PBMC (2016), examinou as alterações no NMM, em conjunto com as variações dos níveis de marés, ressacas, e eventos extremos para diferentes séries históricas, em inúmeras cidades do país. Nesse sentido, a capital do estado Pará, apresentou uma taxa de variação do NMM de 3,4 mm/ano no período de 1950 a 1970, além disso, o resultado do estudo ainda apontou que a ocorrência do evento conhecido como *El Niño* afeta positivamente o NMM.

No que diz respeito a cidade Belém, o estudo ainda destaca que diversas áreas costeiras do país apresentam alta ou muito alta vulnerabilidade para a ocorrência de eventos extremos, entres estas a Região metropolitana de Belém, as capitais dos estados do Nordeste, o Rio de Janeiro e as cidades de Santos e Itajaí ganham relevância.

Além do mais, por estarem em um país em desenvolvimento, lidar com este cenário será um obstáculo maior para estas cidades, em relação a outras localizadas em nações desenvolvidas (PBMC, 2016).

4.3 Materiais e Métodos

4.3.1 Aquisição de Dados

Utilizando a plataforma SIG e as técnicas de geoprocessamento como principal ferramental, a metodologia do presente artigo exigiu a manipulação de diversos fatores físicos, uma vez que, o objetivo do estudo era representar, mapear e compreender a dinâmica das águas na área de estudo. Por conta disso, houve a necessidade de trabalhar com diversas bases de dados com fontes, formatos e escalas distintas.

Para isso, a aquisição destes dados foi de suma importância, pois subsidiaram os elementos primários da pesquisa. Desta forma, estão dispostos no Quadro 7 os dados empregados na metodologia deste trabalho, bem como as fontes dos mesmos.

Quadro 7 – Base de dados utilizada no presente trabalho.

Dado	Formato	Fonte
Modelo Digital de Terreno	<i>TIN</i>	Silva; Lima (2021)
Modelo Digital de Elevação	<i>Raster</i>	Companhia de Desenvolvimento e Administração da Área Metropolitana de Belém (CODEM)
Precipitação	<i>Raster</i>	Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station (CHIRPS)

Drenagem	<i>Shapefile</i>	Modificado de Companhia de Desenvolvimento e Administração da Área Metropolitana de Belém (CODEM).
Pontos de Alagamento	<i>Shapefile</i>	Superintendência de Desenvolvimento da Amazônia (SUDAM) e Defesa Civil
Nível das Marés	Texto	Centro de Previsões de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC – INPE).
Mapas de Bacias Hidrográficas	<i>Pdf</i>	Prefeitura Municipal de Belém (2014) e Santos (2017)

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Com base no Quadro 7, deve-se ressaltar que o dado de Modelo Digital de Terreno (MDE), foi adquirido recortado no formato de 16 cartas (*Geotiff*) na escala 1/100, que abrangiam a área de estudo, e é resultado do levantamento realizado em 2014 pela Prefeitura de Belém. O mesmo foi obtido por meio da submissão de ofício ao referido órgão, uma vez que este não está disponível em plataformas digitais.

Vale ressaltar, que além dos dados primários já citados, também foram utilizadas as bases cartográficas expostas no Quadro 8, que serviram de alicerce, e auxiliaram na produção cartográfica de mapas.

Quadro 8 – Base de dados secundária utilizada no presente trabalho.

Dado	Formato	Fonte
Limites Municipais	<i>Shapefile</i>	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).
Limites Estaduais	<i>Shapefile</i>	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).
Hidrografia	<i>Shapefile</i>	Secretaria de Meio Ambiente e Sustentabilidade do estado do Pará (SEMAS).

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Nesse sentido, após a aquisição dos materiais, todos os elementos foram reprojetados para o Datum SIRGAS 2000 Sistema de Coordenadas UTM zona 22 S, bem como todos os outros dados que viriam a ser produzidos, adotando assim essa projeção para todo o projeto.

4.3.2 Procedimentos Metodológicos

4.3.2.1 Identificação dos Pontos de Alagamento

Identificar e mapear os pontos de maior transtorno para a população, no que diz respeito à ocorrência de alagamentos e inundações, e analisar a relação destes com os canais de drenagem da cidade, é de suma importância, pois, evidencia para o poder público quais áreas devem ser priorizadas. Nesse sentido, optou-se por identificar os pontos de maior frequência destes eventos, não apenas na área de estudo, mas para outras áreas da cidade também.

Inicialmente, através do manuseio de *softwares* de geoprocessamento, plotou-se a base de drenagem para município de Belém, contudo, foi observado que esta base não continha a geometria dos canais de drenagem da capital, apenas dos cursos d'água naturais (que não sofreram processo de canalização).

À vista disso, utilizando o mapa de bacias hidrográficas (ANEXO A), no formato PDF, elaborado por Santos (2017), foi realizada conversão deste material para o formato de imagem (JPEG), e posteriormente efetuou-se o georreferenciamento do mesmo, possibilitando a vetorização dos canais de drenagem da capital, e consequentemente a adição destes a base de drenagem em uso.

Após a espacialização da drenagem, foi realizada a importação dos dados de pontos de alagamentos para o *software*, vale ressaltar, que foram utilizadas mais de uma fonte de dados, pois, ambas as bases apresentavam pontos de divergência. Desta maneira, foi possível mapear os pontos de frequentes alagamentos de Belém, bem como a proximidade destes com os canais de drenagem e os cursos d'água da capital.

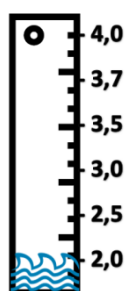
4.3.2.2 Variação do Nível do Rio

Para espacializar a variação da maré, e seus impactos na área de estudo, foi empregado o MDT no formato TIN. Desse modo, optou-se por utilizar as variações de maré ocorridas no ano de 2020, assim, foram levantadas as informações disponíveis na página do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC), referentes a enchentes e vazantes. Constatando que o maior nível identificado nesse ano (2020) foi de 3,7 metros.

Além disso, com base na literatura de Gregório (2008) e buscando simular cenários que retratassem a influência da elevação do NMM em Belém, optou-se por gerar modelos de até 4,0 metros de cota.

Com isso, no ambiente SIG delimitou-se a área de um polígono no formato *shapefile* e foram atribuídos a este vetor constantes Z referentes às cotas altimétricas que representariam a variação do nível do rio – 2 metros, 2,5 metros, 3 metros, 3,5 metros, 3,7 metros e 4 metros – (Figura 26). Por conseguinte, através da manipulação e aplicação de técnicas de geoprocessamento voltadas para o campo hidrológico, foi possível simular no MDT a elevação deste vetor de acordo com os valores Z atribuídos a este.

Figura 26 – Ilustração das cotas adotadas para representar a variação da Maré.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

Vale salientar, que os cenários apresentados não condizem fielmente com a realidade, pois pela falta de dados, não foi possível avaliar o sistema de drenagem e escoamento da cidade.

4.3.2.3A Bacia do Piry e a Dinâmica das águas

A terceira etapa do estudo é também a mais complexa, pois através do MDE vislumbrou-se delimitar e mapear a Microbacia Hidrografia do Piry, e posteriormente a dinâmica hidrográfica da mesma, abordando a geomorfologia da bacia, a precipitação pluviométrica (vazão e escoamento superficial), e a variação das marés durante o dia, além do volume acumulado durante o dia.

Para isto, devido à ausência de uma base cartográfica das bacias hidrográficas de Belém, em um primeiro momento, foi utilizado o mapa de localização das bacias hidrográficas do município, produzido pela Prefeitura, no formato PDF (ANEXO B). Com isso, houve a conversão deste material para o formato de imagem (JPEG), e posteriormente efetuou-se o georreferenciamento do mesmo, possibilitando a vetorização dos limites das bacias hidrográficas urbanas da cidade, e a inserção da Bacia do Piry neste mapeamento.

Por conseguinte, foi realizado o processamento e as correções das 16 cartas no formato *Geotiff*, que viriam compor o MDE, após o tratamento das mesmas, gerou-se o mosaico, com

resolução espacial de 60 cm. Isto posto, o próximo passo consistiu na delimitação da Bacia do Piry por meio do TauDEM.

Constituído de um conjunto de ferramentas que visa a construção de análises hidrológicas com base em Modelos Digitais de Elevação, o TauDEM (*Terrain Analysis Using Digital Elevation Models*) é considerado um dos principais algoritmos para delimitar bacias e sub-bacias hidrográficas, além disso, assim como outros algoritmos, o TauDEM também está inserido no ambiente SIG.

Desta forma, aplicando o algoritmo TauDEM sobre o MDE resultante da mosaicagem, o programa solicita que seja identificado através de um ponto georreferenciado, o exultório da bacia que se pretende delimitar. Assim, foi possível calcular o fluxo de direção e a declividade da bacia, bem como identificar a área de contribuição, a bacia hidrográfica e a rede drenagem como expõe a Figura 27 (a, b e c).

Figura 27 – Declividade da área de estudo (a), área da Bacia Hidrográfica (b) e Rede de Drenagem (c)



Fonte: Elaborado pelo Autor.

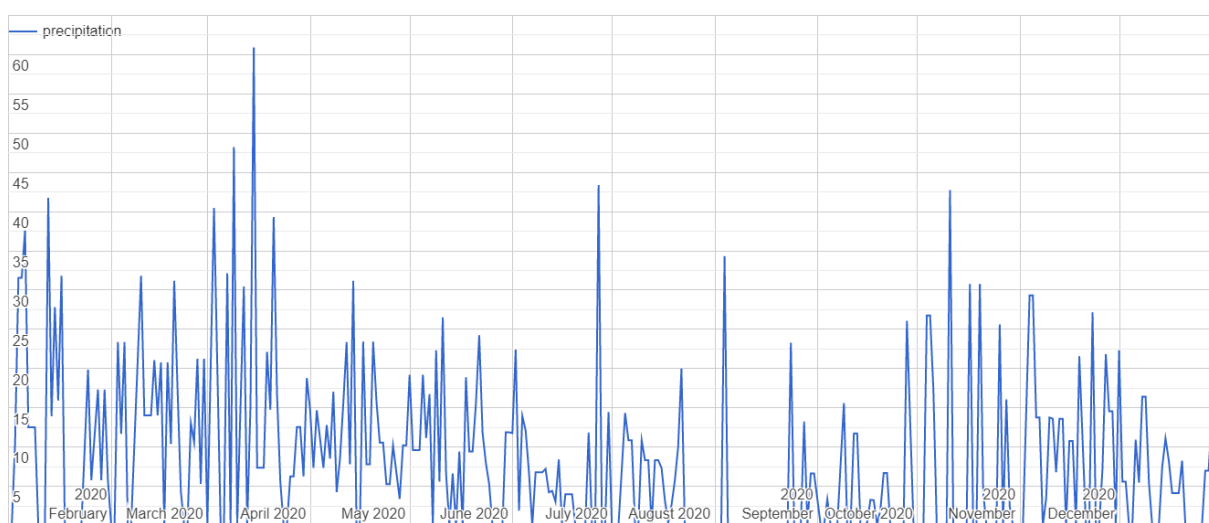
Assim sendo, após a delimitação da geometria da bacia do Piry, foi realizado recorte do MDT para o limite da bacia, objetivando identificar e analisar a geomorfologia da mesma.

Sucedendo a delimitação da Bacia do Piry, a próxima variável abordada foi a precipitação pluviométrica. Utilizando a plataforma do *Google Earth Engine* (GEE), foi possível ter acesso ao conjunto de dados do sensor CHIRPS, os dados de precipitação do sensor estão disponíveis diariamente (mm/dia), com atualização *in situ* e com resolução espacial de 0,05° (5 km).

Portanto, através da implementação do código na plataforma do GEE¹⁰, foi realizada a somatória dos dados das precipitações diárias para todo o ano de 2020, obtendo assim o acúmulo anual da precipitação para diversos pontos da capital paraense. Com isso, foi realizado o download destes dados no formato *raster*, e por conseguinte houve a extração destes dados para pontos no formato *shapefile*, permitindo assim a interpolação destes dados para um melhor mapeamento e análise das áreas com maior pluviometria de Belém. A vista disso, identificou-se que na área ocupada pela bacia do Piry, a média diária de precipitação durante o ano de 2020 foi de 8,497 mm/dia.

Buscando identificar um segundo cenário extremo de precipitação que contrastasse com a média diária anual de 2020, ainda no ambiente do GEE, foi consultado e listada a precipitação diária para cada dia do ano de 2020 apenas para a região de estudo (Bacia do Piry), assim como evidencia a Figura 28, notou-se que na região que abrange o Alagado do Piry, a ocorrência de maior precipitação foi no dia 15 de março (Figura 28).

Figura 28 – Gráfico da Precipitação diária (mm/dia) na área do Alagado do Piry de Jussara, durante o ano de 2020.



Fonte: (CHIRPS, 2021), retirada do GEE.

Vale ressaltar que para esta etapa da pesquisa foram consultadas duas fontes de dados pluviométricos, o sensor CHIRPS e os dados do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia). Optou-se por utilizar os dados de precipitação do sensor CHIRPS, uma vez que este possibilitaria a espacialização pluviométrica de forma mais detalhada dentro do território belenense, devido ao sensor apresentar resolução espacial de 5 quilômetros. Enquanto que em

¹⁰ <https://code.earthengine.google.com/a057cc7e50f13313eab0abab16864bde>

contrapartida, os dados disponibilizados pelo INMET são referentes a todo o território do município, visto que tais dados são coletados por uma única estação automática, a BELEM(A201).

Por conta disso, diferente do resultado indicado pelo sensor CHIRPS, os dados do INMET apontam que o maior acúmulo de precipitação diária no ano de 2020 ocorreu no dia 07 de Março (144 mm), sendo esta a segunda maior taxa de precipitação diária na capital, neste século.

Esta variação ocorre devido o sensor CHIRPS estimar a precipitação via satélite (SRE), consistindo em uma análise atmosférica que fornece conjuntos de dados de chuva em várias coberturas temporais e espaciais. Por outro lado, os dados coletados pelas estações pluviométricas (INMET) medem a quantidade de chuva precipitada em determinado ponto do espaço terrestre. Nesse cenário, Goshime, Absi e Ledésert (2019) apontam que estudos anteriores indicam que os SREs podem estar sujeitos a erros sistemáticos (ou seja, viés) e aleatórios (MILANESI; ALVES; GALVANI, 2017; GOSHIME; ABSI; LEDÉSSERT, 2019).

Dito isto, com base na Figura 28, observa-se que a precipitação ocorrida no dia 15 de março de 2020 foi de 60,914 mm/dia. A partir deste resultado, foram simulados dois cenários referentes aos efeitos da precipitação na bacia do Piry

Para determinar vazão do escoamento resultante da precipitação para cada cenário, adotou-se o Método Racional Modificado (TUCCI, 2006), que é indicado para áreas entre 80 ha e 200 ha, a vista disso, tal método estima a vazão máxima de escoamento de uma determinada área sujeita a uma intensidade X de precipitação, com base no tempo de concentração (Equação 1).

$$Q = \frac{C.I.A}{360} \cdot D \quad 1$$

$$D = 1 - 0,009 \cdot \frac{L}{2} \quad 2$$

Onde:

Q = vazão máxima de escoamento, em m³/s;

C = Coeficiente de *runoff*;

I = intensidade média máxima de precipitação, em mm/h;

A = área de contribuição da bacia, em ha;

D = Coeficiente Redutor (Equação 2);

L = comprimento axial da bacia, km.

O primeiro cenário com precipitação diária de 8,497 mm/dia apresentou uma vazão (Q) de 0,1195 m³/s, já o segundo cenário caracterizado pela precipitação de 60,914 mm/dia, resultou em uma vazão (Q) de 0,8665 m³/s.

A última variável a ser atribuída na análise hidrodinâmica da Bacia do Piry foi a variação das marés. Nesse contexto, a fim de representar um cenário mais preciso possível, decidiu-se por empregar a variação ocorrida no dia 15 de março de 2020, pois assim, seria possível comparar dois cenários com hidrodinâmicas bem distintas, uma vez que, ao adotar a precipitação ocorrida no dia 15 de março e a variação de marés do mesmo dia, este segundo modelo representará o pico do período chuvoso na região, enquanto que o primeiro cenário, irá espacializar uma precipitação mais branda, representando o período não chuvoso. Entretanto, vale elucidar que não se optou por utilizar a variação da maré referente ao período menos chuvoso no primeiro cenário, pois busca-se também comparar entre os dois cenários qual a variável de maior influência na ocorrência de alagamentos e enchentes, a precipitação ou o movimento de cheias dos rios.

Desta forma, através de consulta na página do CPTEC, foi observado que a variação de maré no dia supracitado variou entre 0,7 e 3,2 metros, como expõe o Quadro 9.

Quadro 9 – Variação da Maré no dia 15 de março de 2020.

Hora	Cota do Rio (metros)
03:34	3,2
10:09	0,8
15:45	3,1
23:23	0,7

Fonte: Adaptado de CPTEC (2020).

A partir das cotas expostas no Quadro 9, através do MDT foi possível calcular o volume de água que invade a Bacia do Piry de acordo com os horários contidos no Quadro 9, ademais, desconsiderando fatores como drenagem urbana e evaporação das águas pluviométricas, através das vazões calculadas para os cenários 1 e 2, foi possível somar os volumes acumulados para cada cenário em conjunto com os volumes da dinâmica das marés.

4.4 Resultados e Discussão

4.4.1 Ocorrências de Pontos de Alagamentos na Capital do Pará

Identificar os pontos de maior ocorrência dos problemas socioambientais de uma cidade é de suma importância para o poder público, uma vez que através destes apontamentos, é possível direcionar mão de obra e recursos com maior exatidão, para atender aos anseios da população.

À vista disso, com base nos dados adquiridos por meio da CODEM, SUDAM e Defesa Civil, o mapa exposto na Figura 29, espacializa os principais pontos de alagamento na cidade de Belém, bem como, a rede de drenagem que corta o território da capital – sendo composta por canais de drenagem e por cursos d'água naturais como os igarapés.

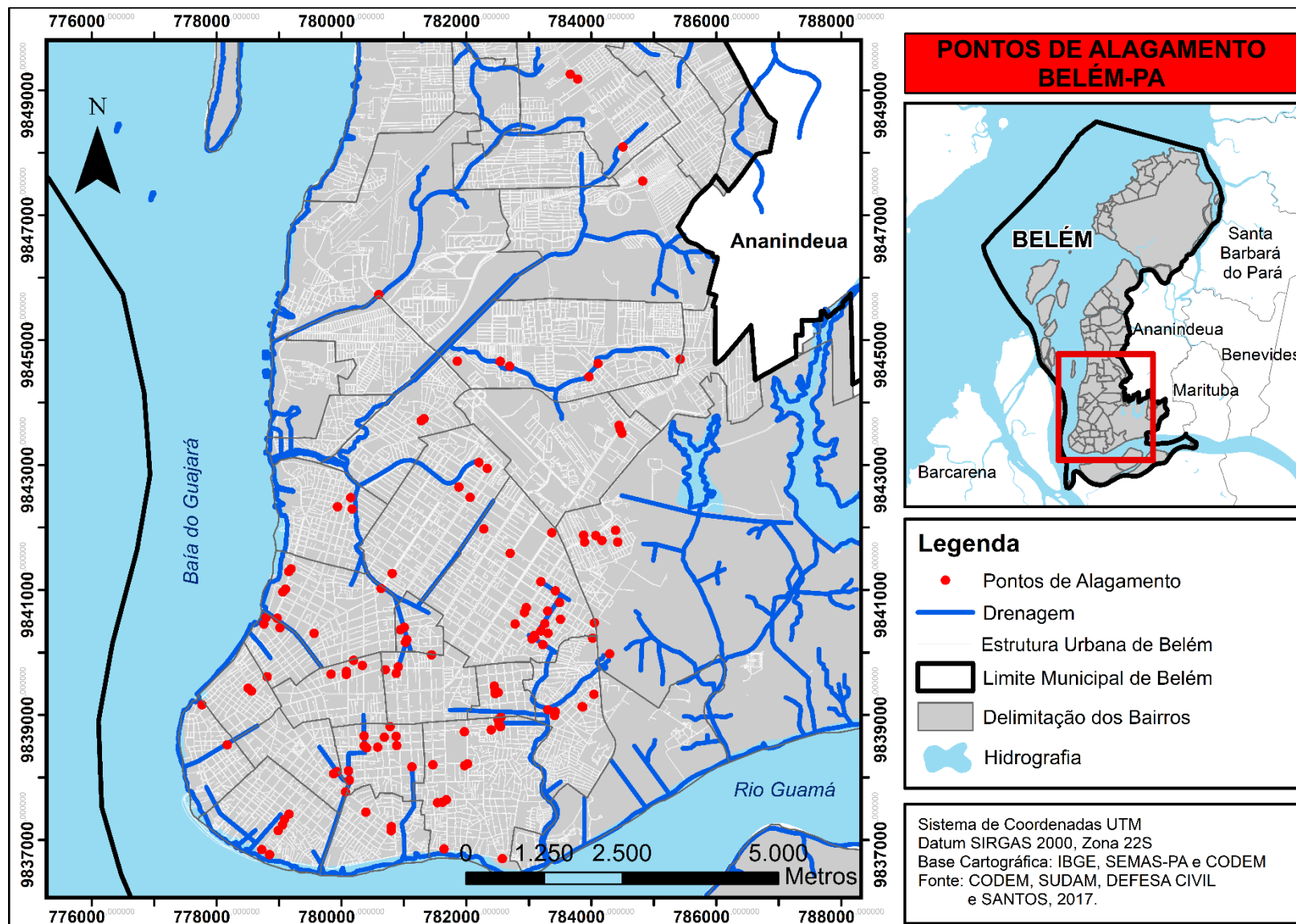
Com base no mapa exposto na Figura 29, em um primeiro momento, nota-se a concentração dos pontos de alagamento em algumas regiões da cidade, entre elas, a baixada no bairro do Marco, mais especificamente nas proximidades do canal da passagem José Leal Martins.

Outra área que chamou bastante atenção pela concentração de pontos de alagamento, se encontra no bairro da Cremação, é a região que abriga a bifurcação do canal da Quintino Bocaiúva, que após a Rua São Miguel, passa seguir dois fluxos (canais de drenagem), um delimitado pela Travessa Dr. Freitas e outro pela Avenida Generalíssimo Deodoro.

Tais análises apontam para o segundo fato notado na Figura 29, que é a proximidade entre os pontos de alagamento e a rede drenagem de Belém, evidenciando que em algumas vezes não é necessária uma elevada precipitação para que ocorra estes problemas socioambientais, visto que a rede de drenagem da capital sofre influência direta dos movimentos de cheia e vazante dos rios que banham a cidade.

A vista disso, corroborando com as análises já apontadas, a Figura 30 retrata o cenário diário nos principais pontos de ocorrência destes eventos.

Figura 29 – Mapa dos Pontos de Alagamento de Belém-PA.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

Figura 30 – Identificação dos principais pontos de alagamento da capital paraense.



Fonte: Elaborado pelo Autor, fonte das imagens utilizadas: Frente Bacia do Una (2014); Canais.... (2018); Em Belém.... (2019); Dias (2019); Ver-o-Fato (2020).

Observa-se que a ocorrência de pontos de alagamento está distribuída por boa parte da cidade, atingindo pelo menos 20 bairros distintos. Isto posto, diferentemente do que ocorre em outras cidades, em Belém os impactos socioambientais resultantes de alagamentos e inundações, não atingem apenas os bairros mais periféricos, como mostra a Figura 30. Uma vez que, a Avenida Visconde de Souza Franco, localizada no bairro do Reduto, culturalmente é vinculada a moradores com elevado poder aquisitivo, porém, a mesma sofre com constantes alagamentos.

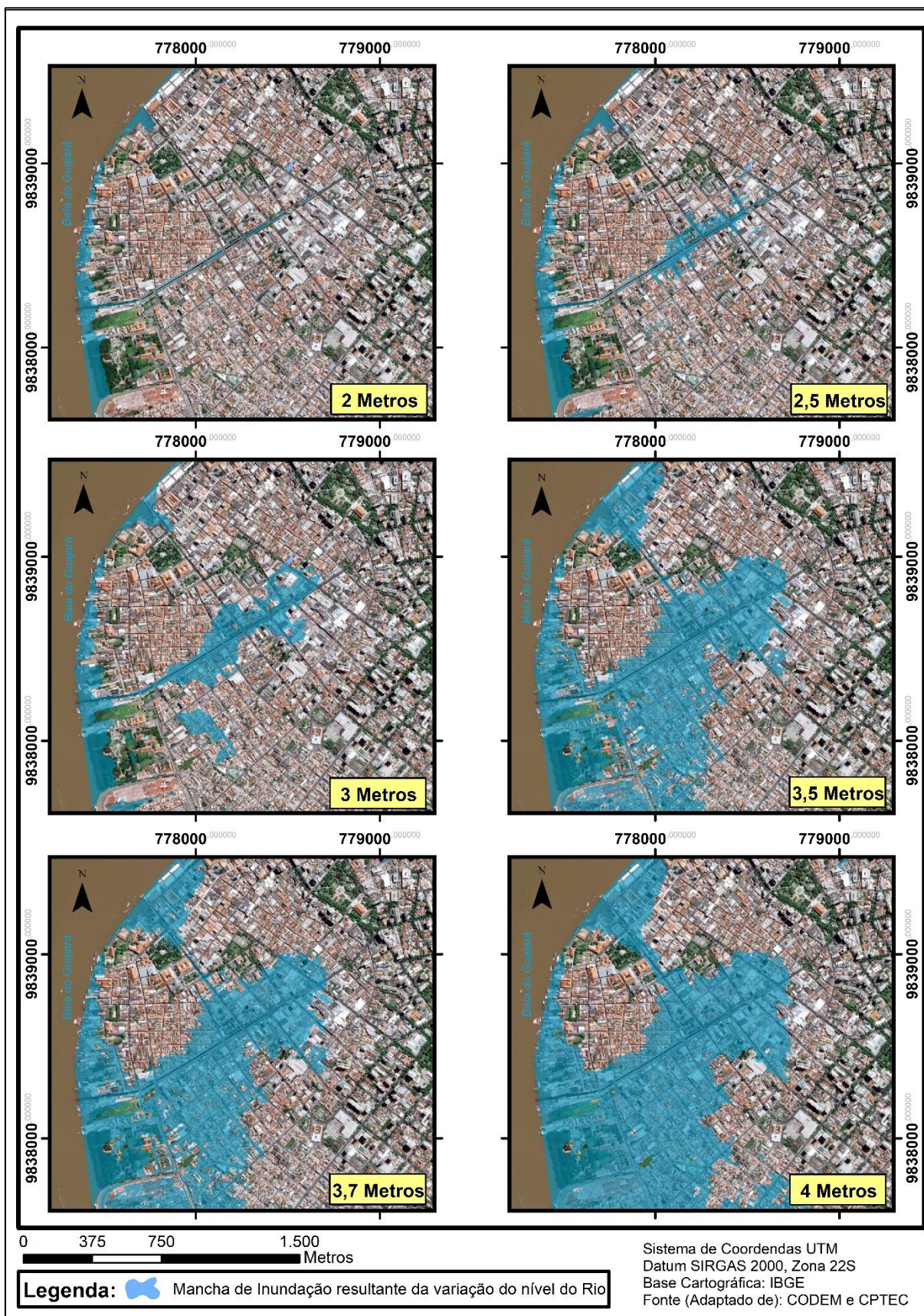
Ainda com base na Figura 30, estão destacados dois pontos que visualmente não há concentração de mais pontos próximos, que são a Avenida Tamandaré e a Doca do Ver-o-Peso. Tais pontos estão inseridos na área de estudo do presente artigo, e tem relação direta com a geomorfologia do Alagado do Piry e o processo de aterramento do mesmo.

4.4.2 Cheia e Vazante: a Variação do nível do Rio como fator de enchentes na área de estudo.

Como pôde ser observado no mapa de pontos de alagamento, as principais regiões que sofrem com eventos de inundações e alagamentos em Belém, estão nas proximidades da rede de drenagem. Tal cenário retrata uma das ideias exclamadas por Tucci (2006) e Luz e Rodrigues (2020), que apontam a relação predatória entre expansão urbana e intervenções antrópicas sobre os cursos d'água, como principal causador da obstrução e da redução do escoamento deste fluxo de d'água, influenciando na ocorrência de enchentes resultantes do transbordo dos canais de drenagem.

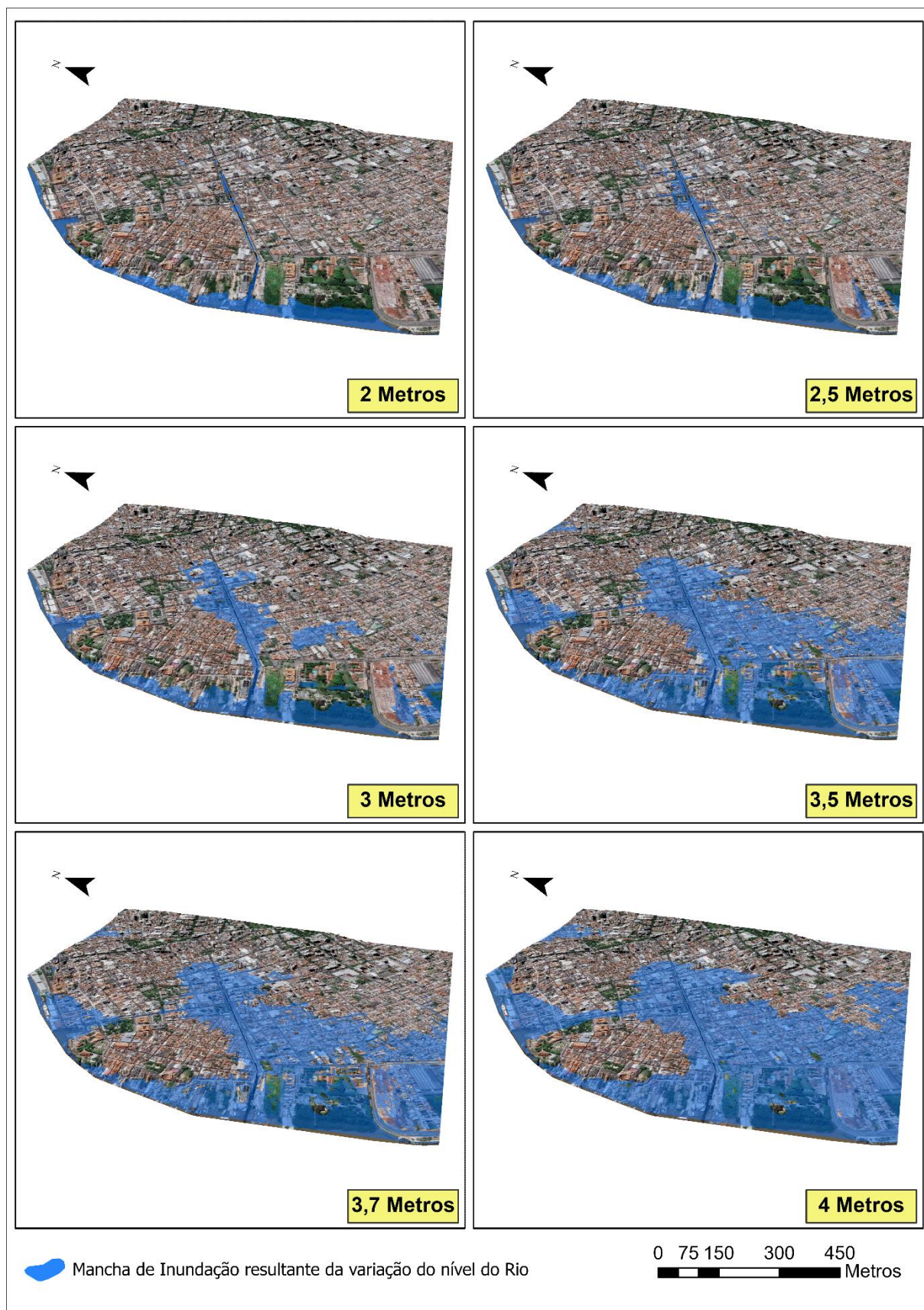
Nesse contexto, as Figuras 31 e 32 reproduzem as ocorrências do movimento de cheia do rio, sobre a região do Piry. Vale ressaltar que se optou por plotar o mesmo modelo de enchente no ambiente 2D e no ambiente 3D, buscando oferecer uma melhor visualização e análise dos resultados.

Figura 31 – Mapa de variação do nível de Maré na área de estudo.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

Figura 32 – Mapa Tridimensional de variação do nível de Maré na área de estudo.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

As Figuras 31 e 32, refletem as temáticas abordadas na literatura do estudo, referentes às intervenções antrópicas sobre cursos d'água, pois, é possível observar que o crescente aumento do nível da maré, segue a geometria do Canal da Avenida Almirante Tamandaré, tal reflexão fica mais evidente a partir do momento que o nível do rio ultrapassa 2 metros, ocorrendo assim o transbordo do limite do canal de drenagem.

Desta forma, à medida que o limite do rio aumenta, novas áreas vão sendo atingidas pela água.

É interessante frisar a ligação entre o transbordo que ocorre na região da Avenida Almirante Tamandaré e o que ocorre nas proximidades do Ver-o-Peso, destacando que na proporção que a cota do rio se eleva, fica mais evidente a identificação e a reconstituição do cenário descrito por Castelo Branco ao chegar em Belém, no ano de 1616, visto que a partir da cota de 3,5 metros já é possível observar a formação da geometria do Alagado do Piry, bem como as áreas marginais que outrora já foram alagadas ou submersas.

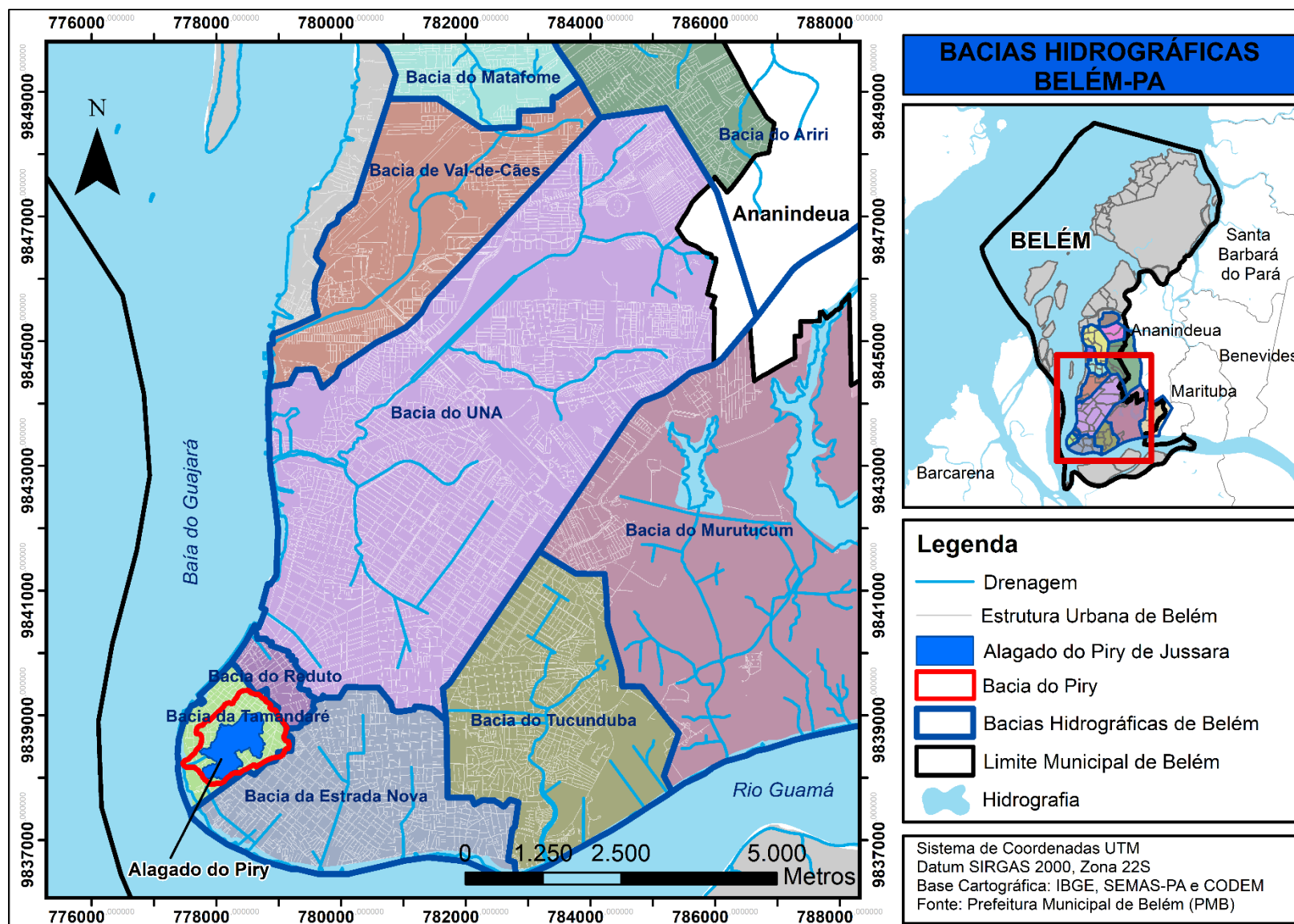
Ademais, o cenário reproduzido nas Figuras 31 e 32, aponta a favor das previsões do Relatório do PBMC (2016), pois, apesar das transformações antrópicas ocorridas nos últimos 400 anos na área de estudo, ainda assim, a elevação das cotas de nível do Rio já é o suficiente para reconstituir (mesmo que minimamente) parte da geometria da área que outrora foi ocupada pelo Alagado do Piry, ou seja, com o crescente aumento do NMM mais pessoas serão atingidas pelos movimentos de cheia do rio.

4.4.3 A Dinâmica das Águas na Bacia do Piry.

Delimitar e Identificar uma bacia hidrográfica é o primeiro passo para que se possa estudar e analisar os fatores deste acidente geográfico. Vale ressaltar que a geometria do Alagado do Piry, não deve ser confundida com a geometria da Bacia do Piry (Figuras 33 e 34), pois, o conceito de Bacia Hidrográfica consiste no conjunto de superfícies com cotas altimétricas distintas entre si, cujas as áreas funcionam como receptores naturais de precipitação (UFSCAR, 2010).

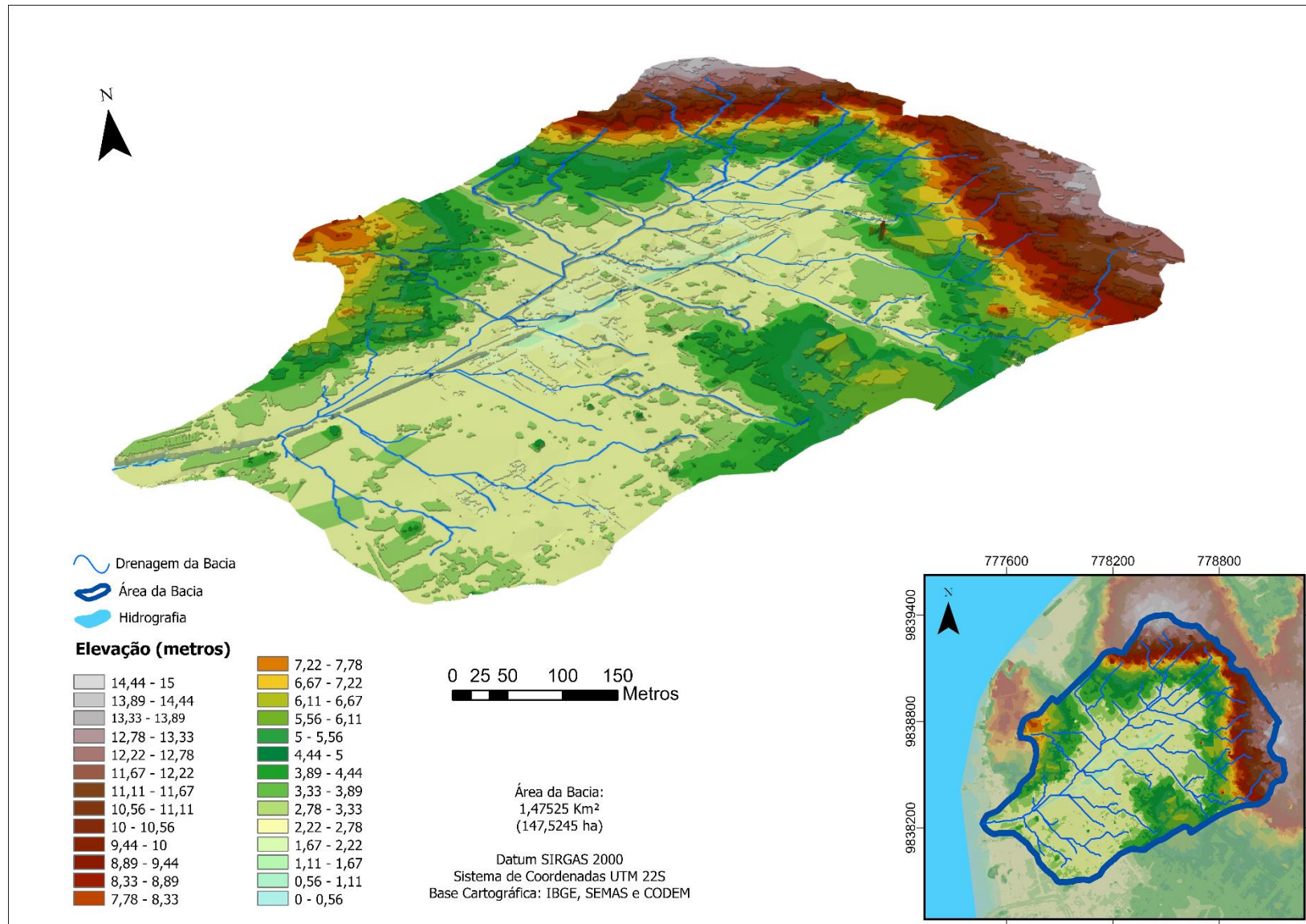
Além do mais, todo o volume de água captado que não sofre infiltração, automaticamente é escoado por meio da rede de drenagem natural que compõe a bacia, este escoamento parte do ponto de maior cota da bacia para o de menor cota, fazendo com que esta água se concentre em um único ponto, formando o curso d'água principal daquela bacia (UFSCAR, 2010).

Figura 33 – Mapa da localização da microbacia do Piry, em relação às Bacias Hidrográficas de Belém.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

Figura 34 – Mapa da delimitação e da espacialização tridimensional da Bacia do Piry.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

No referente a Figura 34, a rede de drenagem gerada deve ser observada com as seguintes considerações: (1) o modelo digital de elevação e processamento gerado, responderam as mudanças impostas pelos sucessivos aterramentos que a região sofreu; (2) o comportamento linear indicado não reflete um comportamento geológico-geomorfológico e sim uma resposta à leitura do modelo das áreas de escoamento geradas. Assim, entende-se que a região por apresentar uma topografia suave, típica de planície de inundação, a rede de drenagem responderia de uma forma menos “controlada”, tendendo a padrões mais alongados, típicos deste ambiente. Observa-se que a interpretação da delimitação das bacias hidrográficas da Figura 33, derivada da base da Prefeitura Municipal de Belém, também faz a mesma leitura, quando impõe limites retilíneos aos divisores topográficos, que passam a ser concordantes com o traçado do arruamento da cidade. Esta interpretação advém da leitura do planejamento associado às práticas de saneamento básico, uma vez que os sistemas de drenagem atuais foram canalizados, compondo formas retilíneas de escoamento.

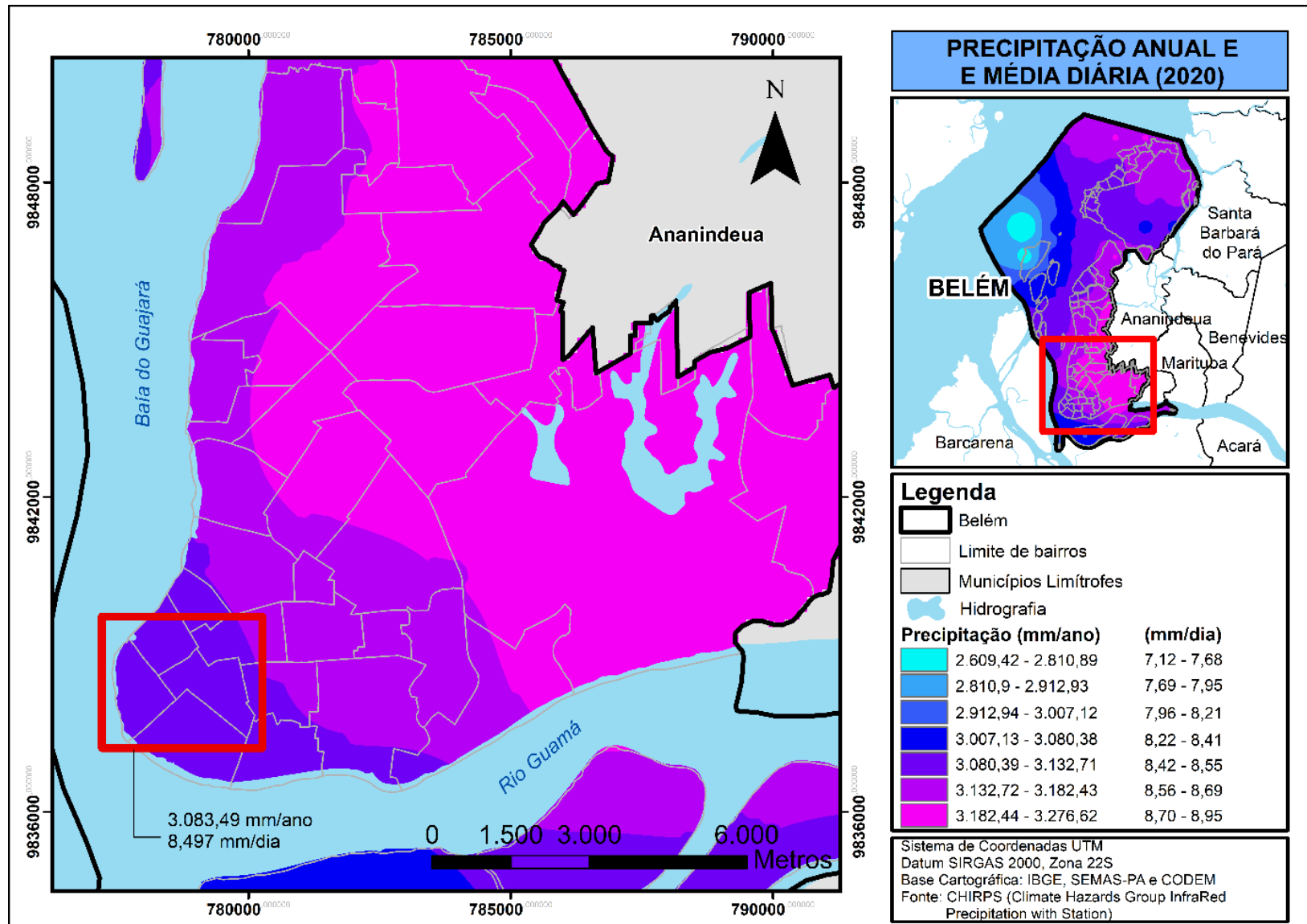
Com uma área de 147 hectares, a microbacia do Piry está inserida na Bacia Hidrográfica Urbana da Tamandaré (Figura 33). Composta por cotas altimétricas que variam de 0 a 15 metros de elevação, a partir da rede de drenagem extraída da bacia, nota-se que o principal eixo da drenagem segue o traçado do canal da avenida Tamandaré, sendo este o principal destino das águas resultantes do escoamento superficial urbano da bacia. Ademais, é possível inferir que o exultório da bacia consiste no ponto de deságue do canal da Tamandaré na Baía do Guajará.

Desta forma, após a delimitação da área da Bacia que compreende o Alagado do Piry de Jussara, foram aplicados os dois modelos de cenário produzidos para a bacia do Piry, a fim de analisar o ciclo hidrodinâmico nesta bacia urbana.

Através dos dados do sensor CHIRPS, disponibilizados na plataforma do *Google Earth Engine*, foi possível realizar o *download* dos dados de Precipitação acumulada para todo o ano de 2020, bem como a média diária para o mesmo ano, além disso, também foi adquirido os dados da precipitação diária apenas para o 15 de março de 2020, visto que na região que abrange a bacia do Piry, este foi o dia de maior precipitação ano.

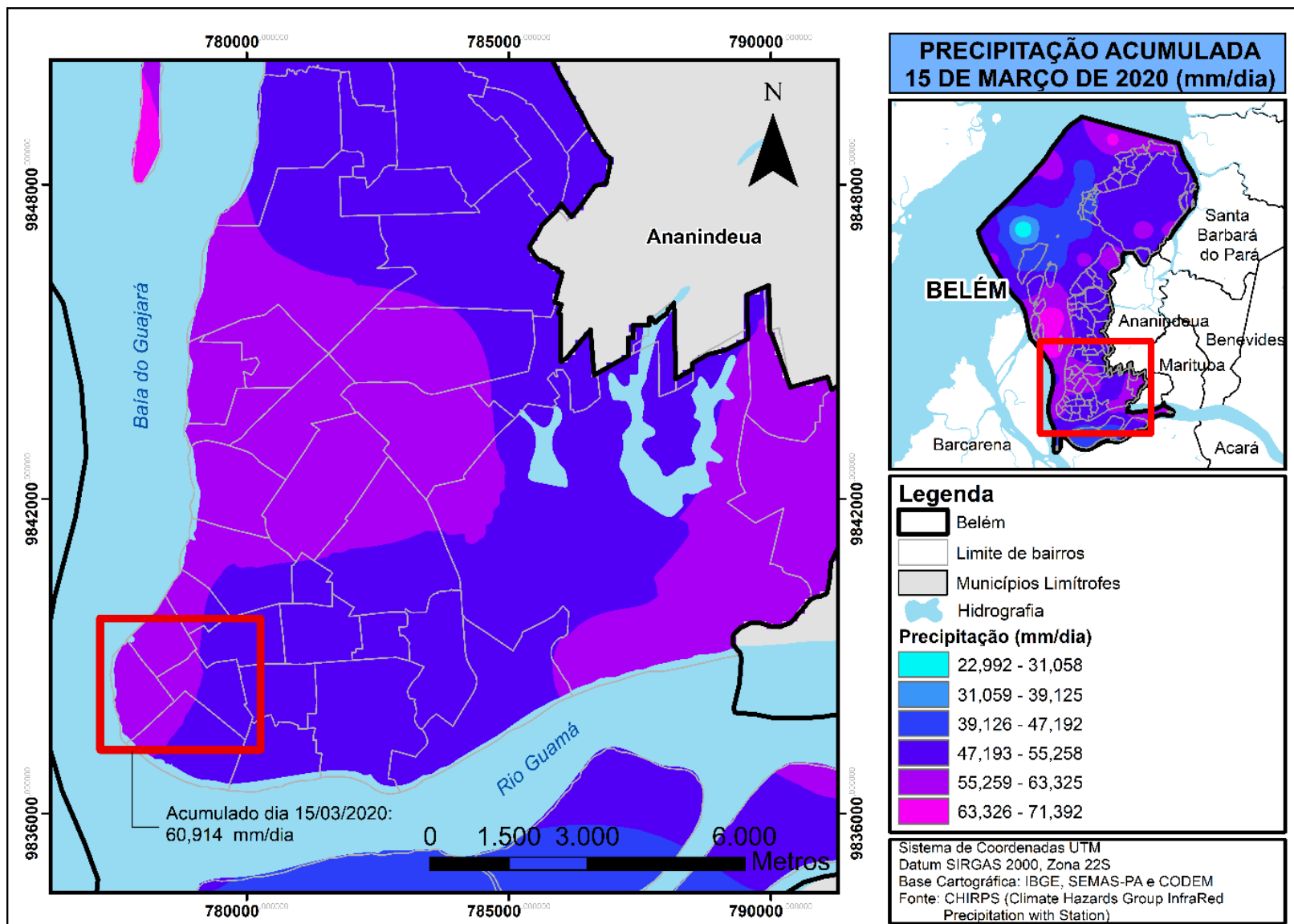
Assim, através de técnicas de processamento, tais dados foram interpolados e plotados, como ilustram as Figuras 35 e 36.

Figura 35 – Mapa do acumulo da Precipitação anual e da média diária para o município de Belém-PA, no ano de 2020.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

Figura 36 – Mapa precipitação diária para o município de Belém-PA, no dia 15 de Março de 2020.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

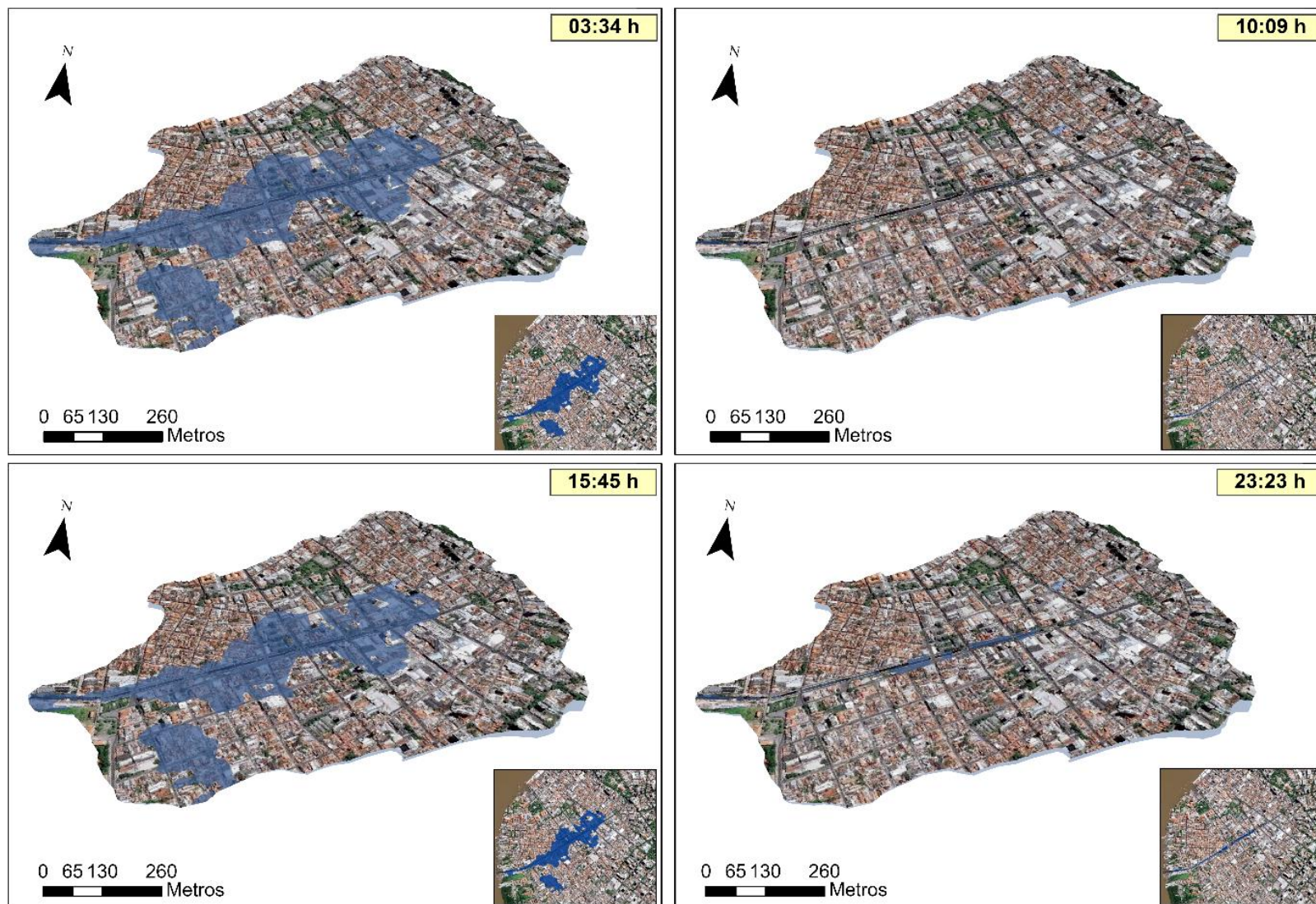
Percebe-se que pelo menos no ano de 2020, a precipitação no município de Belém não foi homogênea, variando no acumulado total anual mais de 500 mm de um ponto da capital para o outro. Ademais nota-se que as regiões mais ao leste de Belém obtiveram uma maior precipitação se comparado a outras localidades do município.

Nesse sentido, com base nos mapas de precipitação expostos nas Figuras 35 e 36, é informado que na região da Bacia do Piry, o acumulo da precipitação anual para 2020 foi de 3.083,49 mm/ano, enquanto a média diária para a região que abriga a bacia, foi de 8,497 mm/dia, já no dia 15 de março do referido ano, a precipitação diária foi de 60,914 mm/dia, compreendendo o dia de maior precipitação na Bacia do Piry.

Assim, através da equação do método racional modificado, foram determinadas as vazões da bacia para os dois cenários. Nesse contexto, com base na média da precipitação diária, foi obtido uma vazão de 0,1195 m³/s, já no que diz respeito a precipitação ocorrida no dia 15 de março, a vazão calculada foi de 0,8665 m³/s.

Por conseguinte, simulou-se a variação da maré, com os dados obtidos no CPTEC para o dia 15 de março de 2020, nos horários de 03:34 h, 10:09 h, 15:45 h e 23:23 h, correspondendo respectivamente a 3,2 metros, 0,8 metros, 3,1 metros e 0,7 metros. Com isso, utilizando o MDT da Bacia do Piry, foram plotadas as duas variáveis (vazão e cota altimétrica do rio), de acordo com cada cenário que seria representado, resultando nos mapas expostos nas Figuras 37 e 38.

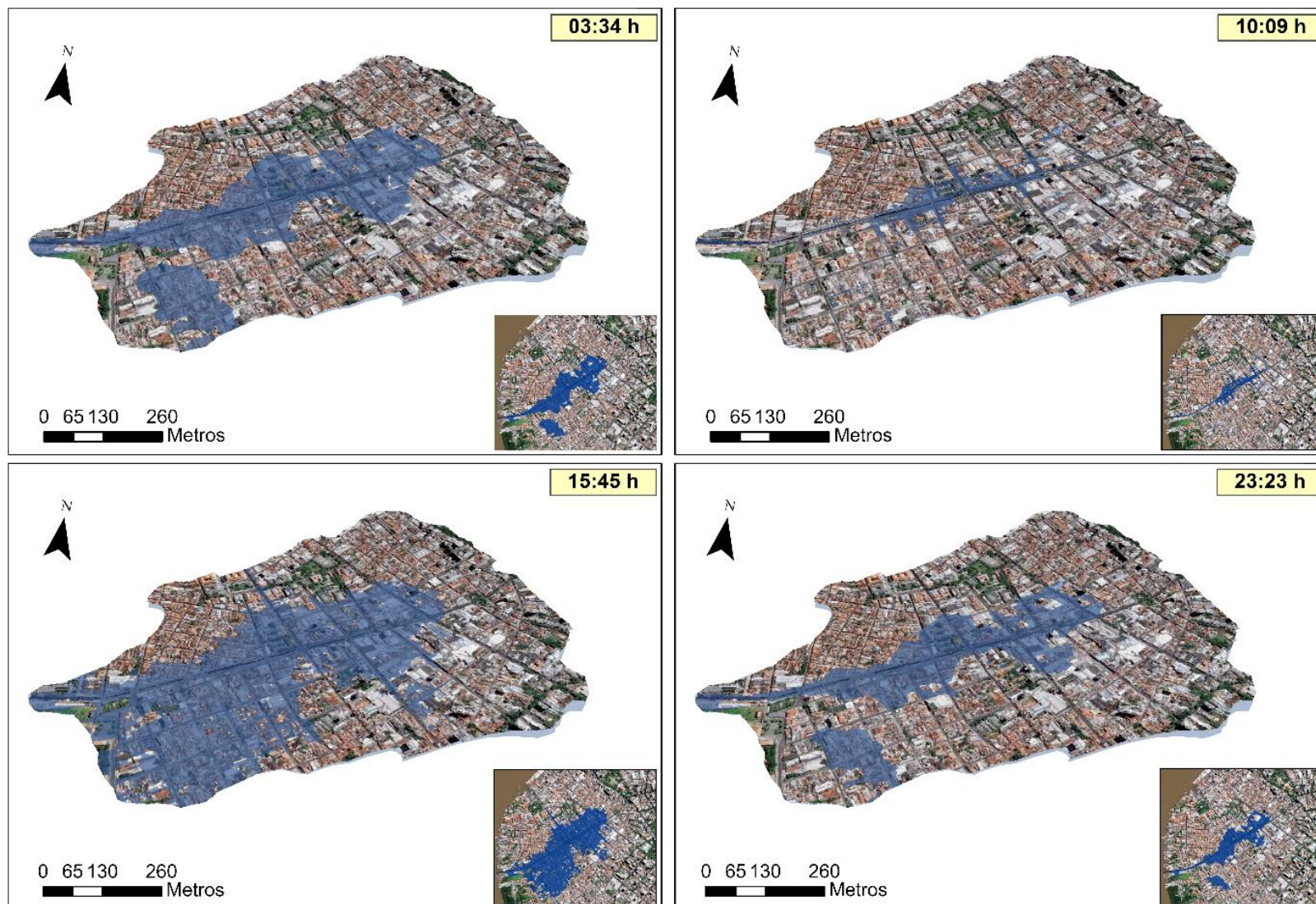
Figura 37 – Mapa da dinâmica hídrica na Bacia do Piry, para o cenário 1.



Cenário 1: Precipitação: 8,4248 mm/dia; Vazão: 0,1195 m³/s; Nível da maré (15/03/2020): 03:34h: 3,2m, 10:09h: 0,8m, 15:45h: 3,1m e 23:23h: 0,7m.

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Figura 38 – Mapa da dinâmica hídrica na Bacia do Piry, para o cenário 2.



Cenário 2: Precipitação: 60,914 mm/dia; Vazão: 0,8665 m³/s; Nível da maré (15/03/2020): 03:34h: 3,2m, 10:09h: 0,8m, 15:45h: 3,1m e 23:23h: 0,7m.

Fonte: Elaborado pelo Autor.

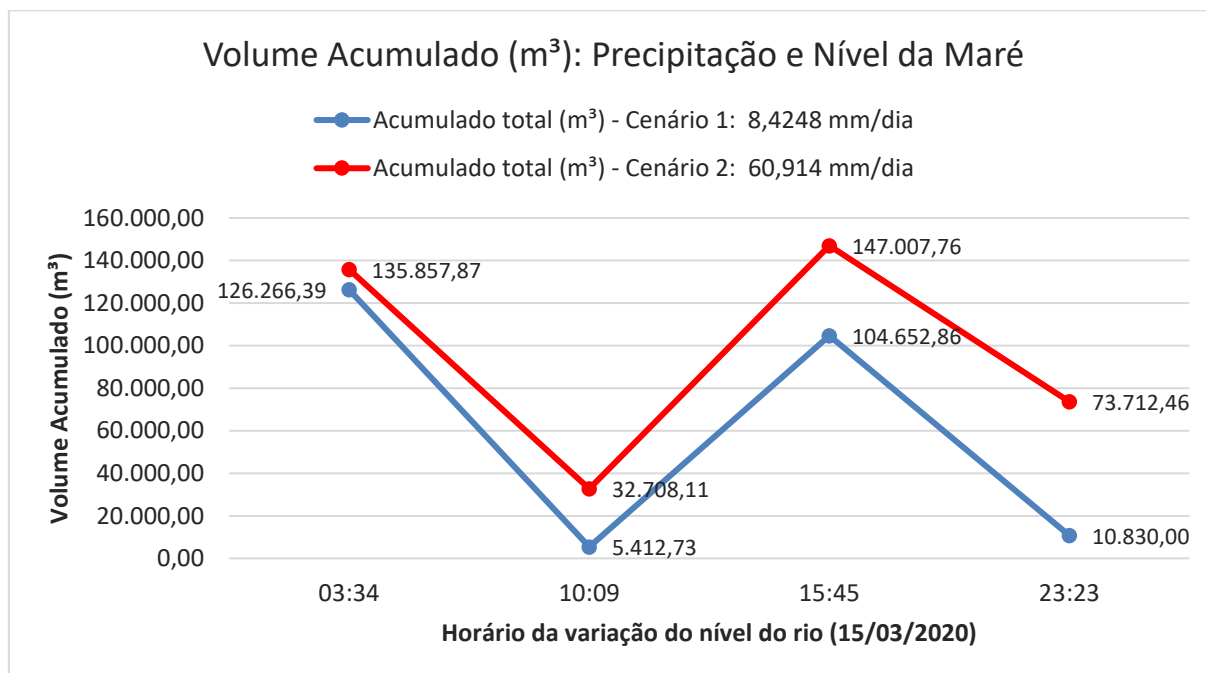
Com o objetivo de simular a dinâmica das águas na bacia do Piry, ao analisar as Figuras 37 e 38, referentes aos cenários 1 e 2, respectivamente, observa-se que no instante da primeira cheia, às 03:34 h, ambos os cenários apresentam a mesma geometria de inundação, isto deve-se ao fato de que mesmo com vazões distintas, nos dois modelos o acumulado da precipitação até este horário não apresenta um volume hidrológico considerável, nesse sentido, o volume de inundação corresponde quase em sua totalidade apenas ao quantitativo referente a maré de 3,2 metros.

Porém, a partir das 10:09 h o segundo cenário começa a apresentar uma mancha de inundação superior à do cenário 1, e assim se repete às 15:45 h, ressaltando que no segundo cenário este horário de 15:45 h é o que apresenta maior mancha de inundação. Isto ocorre, porque, apesar de não ser a maior variação da maré no dia (3,1 metros), o volume acumulado resultante do escoamento superficial da precipitação até esse horário já está elevado, fazendo com que a soma dos volumes da maré de 3,1 metros e da vazão acumulada no ponto mais baixo da bacia ultrapasse o volume da maré de 3,2 metros, ocorrido às 03:34.

Ao fim do dia, às 23:23 h, o rio atinge a cota de 0,7 metros, retornando para o valor próximo do nível regular de 40 centímetros. Com isso, no cenário 1 nota-se ainda um pequeno transbordo do canal da Tamandaré que corresponde ao ponto mais baixo da bacia, isto deve-se ao acumulado do escoamento superficial até esse horário. Já o cenário 2, as 23:23 h ainda apresenta uma mancha de inundação elevada, porém não superior à das 03:34 h e 15:45 h.

O gráfico plotado na Figura 39, apresenta a variação do volume acumulado na bacia do Piry durante o dia do experimento (15/03/2020), contribuindo assim para um entendimento mais sucinto e completo da dinâmica das águas na Bacia.

Figura 39 – Gráfico da variação do volume acumulado na Bacia do Piry durante a aplicação dos modelos.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

Como resultado da análise hidrodinâmica na Bacia do Piry, a Figura 39 reafirma o que já pôde ser observado nos mapas das Figura 37 e 38, no primeiro, por haver pouco tempo para acúmulo do volume de vazão, em ambos os cenários, às 03:34 h o volume acumulado total é bem próximo, pois é composto quase que em sua totalidade apenas pelo volume do efeito da maré de 3,2 metros. Porém a partir desse momento é perceptível a discrepância no acumulado entre os dois cenários.

Isto posto, conclui-se que no caso da Bacia do Piry, o principal agente causador dos impactos socioambientais referentes às ocorrências de alagamento e inundações é a elevação do nível do rio, não descartando a influência da precipitação como agravante, entretanto, foi possível constatar que o movimento de cheia do rio apresenta risco a curto prazo (para não se dizer eminente) e com maior poder de impacto no âmbito social.

A precipitação por si só, só virá a causar transtornos socioambientais, a partir de um determinado ponto T no dia de chuva, isto dependendo da quantidade de mm/h. Visto que nos resultados da comparação entre os dois modelos, se no cenário 1 fosse retirado o volume acarretado pelas marés, os efeitos de transbordo do canal da Tamandaré só seriam perceptíveis após mais de 23 horas de chuva constante. Contudo, chama-se a atenção para o cenário 2, que nesse contexto representaria um dia do período chuvoso, conhecido como “inverno amazônico”, em que após aproximadamente 12 horas de chuvas constantes os efeitos do volume

acumulado apenas pelo escoamento da precipitação já seriam prejudiciais para o que residem próximos da cota mais baixa da bacia.

4.5 Considerações Finais

Ao classificar a hidrodinâmica da Bacia do Piry como complexa, no que refere-se ao seu entendimento, ao fim deste trabalho foi possível apontar o efeito das marés como principal agente causador dos eventos de alagamento e transbordo do canal na Bacia do Piry, além do mais, se considerarmos a proximidade dos pontos de alagamento com a rede drenagem em outras áreas de Belém, expostos nas Figuras 29 e 30, infere-se que este processo não é exclusividade da Bacia do Piry, ocorrendo assim, em outros pontos da cidade.

Nesse sentido, a partir dos alertas apontados pelo Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas, referentes ao aumento do Nível médio do mar ainda neste século, o risco de acentuação dos impactos socioambientais inerentes a variação do nível do rio só tende a aumentar, atingindo mais pessoas e agravando a situação daquelas que já são impactadas com este cenário atual.

Persistindo nos apontamentos do PBMC, como impacto direto da elevação do NMM, a população que reside nas áreas baixas da cidade (cota até 5 metros) e que até então não eram atingidas pelo movimento de cheias do rio, poderão passar a ter que lidar com esse transtorno, mesmo que periodicamente, no período mais chuvoso da região. Enquanto que a população que já é atingida periodicamente passará a ver esses eventos cada vez mais frequentes, não estando vinculados apenas ao período de maior precipitação da região.

Outro ponto bastante pertinente que foi notado no resultado deste trabalho é a geometria formada pela ligação entre o transbordo que ocorre na região da Avenida Almirante Tamandaré e o que ocorre nas proximidades do Ver-o-Peso, à medida que as águas da maré adentram o território de Belém, ratificando e reconstituindo o cenário descrito por Castelo Branco ao chegar em Belém, no ano de 1616.

Isto posto, deve-se ressaltar a importância das geotecnologias na presente pesquisa, uma vez que em todas as etapas metodológicas deste artigo as técnicas de geoprocessamento fizeram-se presente e subsidiaram o ferramental necessário para a produção dos mapas e dos produtos resultantes do estudo. Ratificando ainda mais a importância das geotecnologias no âmbito das mais diversas relações entre o meio e o homem, uma vez que como pôde ser observado nos resultados, a dinâmica que envolve os fatores físicos naturais e antropológicos tende a ser bastante complexa.

Referências

- AMANAJÁS, J. C.; BRAGA, C. C. Padrões espaço-temporal pluviométricos na Amazônia Oriental utilizando análise multivariada. **Revista Brasileira de Meteorologia**. São Paulo, v. 27, n. 4, p. 423-434, dez. 2012.
- ARAÚJO JUNIOR, A. C. R.; AZEVEDO, A. K. A. Formação da cidade de Belém (PA): área central e seu papel histórico e geográfico. **Revista Espaço Aberto**, v. 2, n. 2, p. 151-168, 2012.
- BELÉM. Prefeitura Municipal – PMB. **Mapa de localização das bacias hidrográficas do município de Belém**. Belém: PMB, 2014. Escala 1:22.000.
- BRASIL. Ministério das Cidades; Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT. **Mapeamento de riscos em encostas e margens de rios**. Brasília, DF: Ministério das Cidades; Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT, 2007. 176 p.
- BROWN, E. H. O homem modela a Terra. *In*: INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Boletim Geográfico do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**, n. 222, p. 03-18, 1971.
- CANAIS transbordam e vias ficam alagadas após chuva forte de 1 hora em Belém. Belém-PA. **G1 Pará**, 02 abril de 2018. Disponível em: <https://g1.globo.com/pa/para/noticia/vias-ficam-alagadas-e-cana-is-transbordam-apos-chuva-forte-de-1-hora-em-belem.ghtml>. Acesso em: 20 abril 2021.
- CARDOSO, A. C. D.; LIMA, J. J. F.; PONTE, J. P. X.; VENTURA NETO, R. S.; RODRIGUES, R. M. Morfologia urbana das cidades amazônicas: a experiência do Grupo de Pesquisa Cidades na Amazônia da Universidade Federal do Pará. **Revista Brasileira de Gestão Urbana**, v. 12, p. 1-18, 2020.
- CENTRO DE PREVISÃO DE TEMPO E ESTUDOS CLIMÁTICOS – CPTEC. **Tabuas de Marés de 03/2020**: Porto de Belém-PA. Disponível em: <http://ondas.cptec.inpe.br/~rondas/mares/index.php?cod=10520&mes=03&ano=20>. Acesso em 01 abril 2021.
- COSTA, S. M. F.; VALOTA, E. C. S.; OLIVEIRA, I. G.; MONTAIA, G. R. M.; SANTOS, E. A. Crescimento urbano e ocupação de várzea em pequenas cidades da Amazônia: uma discussão premente. **Revista Geografia, Ensino & Pesquisa**, v. 20, n. 1, p. 114-129, 2016.
- DIAS, João Thiago. Alagamento demora mais de 24 horas para escoar no Marco. **O Liberal**, Belém, 13 mar. 2019. Disponível em: <https://www.oliberal.com/belem/alagamento-demora-mais-de-24-horas-para-escoar-no-marco-1.89843>. Acesso em: 20 abr. 2021.
- EM BELÉM, canal da avenida Tamandaré transborda e deixa motoristas ‘ilhados’. **Roma News**, Belém-Pa., 04 abr. de 2019. Disponível em: <https://www.romanews.com.br/cidade/em-belem-canal-da-avenida-tamandare-transborda-e-deixa-motoristas/35474/>. Acesso em: 04 dez. 2019.

FRANÇA, L. G.; SOUZA, C. J. O. Conhecimento geomorfológico para o Planejamento municipal: Estudo de caso do município de Juatuba-MG. **Caderno de Geografia**, v. 23, n. 40, 2013.

FRENTE BACIA DO UNA. “**A maior reforma urbana da América Latina**”, ocorrida em **Belém, capital do estado do Pará**. Belém-PA, 11 fev. de 2014. Disponível em: <http://frentebaciadouna.blogspot.com/2014/02/a-maior-reforma-urbana-da-america.html>. Acesso em: 20 abril 2021.

GIRÃO, O.; CORRÊA, A. C. B. A contribuição da geomorfologia para o planejamento da ocupação de novas áreas. **Revista de Geografia**, v. 21, n. 2, p. 36-58, 2004.

GOSHIME, D. W.; ABSI, R.; LEDÉSER, B. Evaluation and bias correction of CHIRP rainfall estimate for rainfall-runoff simulation over Lake Ziway watershed, Ethiopia. **Hydrology**, v. 6, n.3, p. 68, 2019.

GREGÓRIO, A. M. S. **Contribuição à gestão ambiental da baía de Guajará (Belém-Pará-Amazônia) através de estudo batimétrico e sedimentológico**. 2008. 128 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2008.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Dicionário cartográfico**. Rio de Janeiro, 1980, 451 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Manuais técnicos em geociências**. Acesso e uso de dados Geoespaciais. Rio de Janeiro, 2019. v. 14, 147 p.

INSTITUTO DO HOMEM E MEIO AMBIENTE DA AMAZÔNIA-IMAZON. **A floresta habitada: história da ocupação humana na Amazônia**. 2015. Disponível em: <https://imazon.org.br/A-FLORESTA-HABITADA-HISTORIA-DA-OCUPACAO-HUMANA-NA-AMAZONIA/>. Acesso em: 15 fev. 2021.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA – INMET. **Fortes chuvas atingem Belém-PA**. Brasília-DF, 10 mar. 2020. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/noticias/fortes-chuvas-atingem-bel%C3%A9m-pa>. Acesso em: 14 jul. 2021.

JACOBI, P. Do centro à periferia – meio ambiente e cotidiano na cidade de São Paulo. **Ambiente & Sociedade**. v. 3, n. 6/7, p. 145-162, 2000.

LIMA, A. P.; AMORIM, M. C. C. T. Análise de episódios de alagamentos e Inundações urbanas na cidade de São Carlos a partir de notícias de jornal. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 15, p. 182-204, 2014.

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. ISSN 2179-0892.

MELLER, A. **Simulação hidrodinâmica integrada de sistema de drenagem de Santa Maria – RS**. 2004. 152 f. Dissertação (Mestrado em engenharia civil) – Universidade Federal de Santa Maria – UFMS, Santa Maria, 2004.

MILANESI, M. A.; ALVES, R. R.; GALVANI, E. Comparativo entre instrumentos pluviométricos experimentais e automáticos. **Em Os Desafios da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento**, UNICAMP, v.1, p. 2251-2261, 2017. <https://doi.org/10.20396/sbgfa.v1i2017.2453>.

NASCIMENTO, A. Recife, uma cidade construída sobre aterros. **Diário de Pernambuco**. Recife-PE, 06, jun. 2016. Disponível em: <https://www.diariodepernambuco.com.br/noticia/vidaurbana/2016/06/recife-uma-cidade-construida-sobre-aterros.html>. Acesso em: 10 jan. 2020.

PAINEL BRASILEIRO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS – P BMC. **Impacto, vulnerabilidade e adaptação das cidades costeiras brasileiras às mudanças climáticas: Relatório Especial do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas** [Marengo, J.A., Scarano, F.R. (eds.)]. P BMC, COPPE - UFRJ. Rio de Janeiro, Brasil. 2016. 184 p. ISBN: 978-85-285-0345-6.

PEDRO, L. C. Geomorfologia urbana: impactos no ambiente urbano decorrente da forma de apropriação, ocupação do relevo. **Revista Geografia em Questão**, v. 4, n. 1, p. 153-172, 2011.

PEDROSA, A. S. A geomorfologia perante a ciência geográfica: algumas reflexões. **Soc. & Nat.**, v. 26, n. 3, p. 409-417, 2014.

PENTEADO, A. R. **Belém** - estudo de geografia urbana. Belém-Pa: Universidade Federal do Pará, 1968. v. 1, 183 p.

PONTE, J. P. X. Belém do Pará: Cidade e Água. **Caderno Metropolitano**. São Paulo, v. 17, n. 33, p.41-60, maio 2015.

PONTES, M. L. C.; LIMA, A. M. M.; SILVA JÚNIOR, J. A.; SADECK, C. C. A. Dinâmica das áreas de várzea do município de Belém/PA e a influência da precipitação pluviométrica na formação de pontos alagamentos. **Caderno de Geografia**, v. 27, n. 49, p. 285-303, 2017.

RODRIGUES, R. M.; LIMA, J.J. F.; PONTE, J. X.; LEÃO, M. B. M. S.; LOPES, R. S. N.; BARROS, N. S. APP's urbanas e intervenções públicas em áreas de Baixadas em Belém (PA): implicações das intervenções públicas nas margens de cursos d'água. In: SEMINÁRIO NACIONAL SOBRE ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE EM MEIO URBANO – APP URBANA. 2., 2012, Natal. **Anais[...]**. Natal: UFRN, 2012. Disponível em: <https://docplayer.com.br/27067481-App-s-urbanas-e-intervencoes-publicas-em-areas-de-baixas-em-belem-pa-implicacoes-das-intervencoes-publicas-nas-margens-de-cursos-d-agua.html>

SANTOS, C. M. S. **O uso da drenagem como método de avaliação de desempenho da ocupação urbana: uma reflexão sobre a Avenida Augusto Montenegro**. 2017. 135 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal do Pará – UFPA, Belém, 2017.

SANTOS, F. A. A.; ROCHA, E. J. P. Alagamento e inundação em áreas urbanas. estudo de caso: cidade de Belém. **Revista GeoAmazônia**, Belém, v. 2, n. 2, p. 33-55, 2013.

SANTOS, M. **Metamorfoses do espaço habitado, fundamentos teóricos e metodológicos da geografia**. São Paulo: Hucitec, 1988, 28 p.

SATHLER, D.; MONTE-MOR, R. L.; CARVALHO, J. A. M. As redes para além dos rios: urbanização e desequilíbrios na Amazônia brasileira. **Revista Nova Economia**, Belo Horizonte, v. 19, n. 1, p. 11-39, abril 2009.

SILVA, A. L. A.; ROCHA, G. M. Cidade e água: a produção do espaço na Bacia do Igarapé do Tucunduba em Belém-PA. **Revista Brasileira de Desenvolvimento Regional**, v. 7, n. 1, p. 91-114, 2019.

SILVA, M. V. S.; LIMA, A. M. M. DE . Reconstituição espaço-temporal do Alagado do Piry de Jussara, Belém-PA: evolução e impacto na urbanização. **Revista Cerrados**, v. 19, n. 01, p. 113-139, 10 fev. 2021.

SILVA, P. V. R. M.; CARDOSO JÚNIOR, R. A. F.; NORONHA, G. C. Mapeamento e análise de risco de inundação da bacia do Rio Paraíba/AL: estudo de caso. **Sistemas & Gestão**, v. 11, n. 4, p. 431-443, 2016.

SOUZA, F. F. Bacias hidrográficas. **Aprender**, Universidade Federal de São Carlos – UFSCAR, 2010. Disponível em: <http://www.ufscar.br/aprender/aprender/2010/06/bacias-hidrograficas/>. Acesso em: 15 abril 2021.

SOUZA, J. C. R.; ALMEIDA, R. A. Vazante e Enchente na Amazônia Brasileira: Impactos Ambientais, Sociais e Econômicos. In: SEMINÁRIO LATINO-AMERICANO DE GEOGRAFIA FÍSICA, 6., 2010, Coimbra. **Anais[...]**. Coimbra: Universidade de Coimbra, 2010.

SOUZA, J. C.; PEREIRA, U. C. Antropogeomorfologia - o homem como agente geomorfológico: base teórica e análise acerca da extração do amianto crisotila em Minuaçu (GO). **Revista GeoAmbiente**, n. 24, p. 32-48, 2015.

SOUZA, S. B.; IGNÁCIO, C. F.; CARVALHO, C. G. C. Áreas de Riscos: Pontos de inundações impactos no processo de urbanização em Campinas/SP. In: ENCONTRO NACIONAL DA ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA EM PLANEJAMENTO URBANO REGIONAL- ENANPUR, 18, 2019, Natal. **Anais[...]**, Natal, 2019, p. 01-20.

TARGA, M. S.; BATISTA, G. T.; DINIZ, H. D.; DIAS, N. W.; MATOS, F. C. Urbanização e escoamento superficial na bacia hidrográfica do Igarapé Tucunduba, Belém, PA, Brasil. **Revista Ambiente & Água**, v. 7, n. 2, p. 120-142, 2012.

TAVARES, J. P. N. Enchentes repentinas na cidade de Belém-PA: condições climáticas associadas e impactos sociais no ano de 1987. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 9, n.28, p. 1-6, dez. 2008.

TUCCI, C. E. M. Água no meio urbano. In: REBOUÇAS, A. C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. **Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. 3. ed. São Paulo: Escrituras, 2006. Cap. 12, p. 399 - 433.

VER-O-FATO. **Tive contato com água da enchente. E agora, doutor?** Belém-PA, 27 fev. 2020. Disponível em: <https://ver-o-fato.com.br/tive-contato-com-agua-da-enchente-e-agora-doutor/>. Acesso em: 20 abril 2021.

CAPÍTULO 5 CONCLUSÃO GERAL

A forma com que o homem ocupa e se instala no território muitas vezes se dá por meio de atividades predatórias para aquele ambiente. Na Amazônia essa relação ocorre através da apropriação de áreas em ambientes sensíveis denominados de várzea, na região a interação entre a população e as águas é secular e cultural além de social. Durante muito tempo as cidades amazônicas tiveram seus eixos de desenvolvimento voltados para os Rios, Isto porque, a proximidade dos com estes cursos d'água proporcionava a pesca, trazendo para o pescador o alimento e uma fonte de renda, além disso, os grandes rios amazônicos servem como rota de transporte, principalmente no deslocamento inter-região.

Como resultado deste processo secular, hodiernamente muitas cidades amazônicas localizadas às margens de rios sofrem com o período de cheia, Manaus, Marabá, Belém, Abaetetuba, Altamira, entre outras, acarretando na ocorrência de problemas socioambientais.

Dentro deste cenário, no que diz respeito a Belém, em um primeiro momento, a presente pesquisa buscou identificar e compreender como ocorreu a ocupação sobre a área alagada, que já se sabe que se tratava de um igapó, denominada de Alagado do Piry de Jussara, e qual a relação deste elemento natural com a ocorrência de alagamentos e enchentes na região.

À vista disso, o Capítulo 2 do referido trabalho abordou a forma equivocada com que os colonizadores lhe-deram com a super abundância de água característica da região, chamando a atenção para o pensamento ortodoxo expansionista que predominava naquele momento. Nesse sentido, através da construção de uma linha temporal que parte desde a colonização até a ocupação urbana em toda a área do Alagado, o Capítulo 2 delimitou a área do Alagado, possibilitando identificar uma geometria de 61 hectares ocupada por este elemento natural, bem como apontar que hodiernamente a área que outrora foi ocupada pelo alagado, abriga a Avenida Almirante Tamandaré, e o canal de mesmo nome da avenida foi o principal meio utilizado pelos colonizadores durante os séculos XVIII e XIX para dessecar o Alagado.

Já o capítulo 3 do presente artigo, buscou compreender o acidente geográfico em que o Piry estava inserido, isto posto, com o auxílio de um Modelo Digital de Terreno foram observadas no território cotas de 0 a 15 metros de elevação, enquanto que na área correspondente ao Alagado, a cota máxima identificada foi de aproximadamente 4,5 metros, podendo inferir que no período que antecede o dessecamento do Alagado, o fluxo hídrico entre a Baía do Guajará e o Alagado era constante. Tal suposição fica mais evidente ainda, quando nota-se que o relevo do alagado, bem como os pontos de deságue do mesmo, apresentam as

mesmas geometrias descritas preteritamente, mesmo após aproximadamente 300 anos do início das obras de dessecamento.

Ainda no Capítulo 3, é abordado o conceito de unidade geomorfológica, possibilitando classificar a área de estudo em duas unidades: Tabuleiros Paraense e Planície de Inundação, sendo esta última composta por duas tipologias: Várzea alta, que é atribuída às áreas que são afetadas pela cheia das marés pontualmente, e Várzea baixa, que são áreas caracterizadas por cheias constantes e pela presente umidade do solo durante o ano inteiro. Vale ressaltar, que esta classificação levou em conta a geomorfologia e os eventos recentes, visto que provavelmente a área do Alagado do Piry outrora seria classificada como Igapó.

Dentro desta discussão a respeito da dinâmica hídrica na área estudo, o Capítulo 4 da presente dissertação, concentrou-se em analisar a dinâmica das águas na Bacia do Piry, para isso, foram considerados três fatores: variação de marés, escoamento superficial resultante da precipitação e a geomorfologia da bacia. Assim, fora extraída a área de contribuição da bacia do Piry, e por conseguinte por meio do método racional modificado foi calculada a vazão da bacia para um cenário de precipitação elevada (60,914 mm/dia) e um regular (8,4248 mm/dia). Ao fim do experimento foi possível concluir que o agente de maior peso na ocorrência de enchentes e alagamentos é a variação do nível das marés.

Nesse sentido, chama-se a atenção para os pontos de alagamento que foram mapeados para toda a cidade de Belém, no Capítulo 4. Em virtude das principais zonas concentração destes eventos estarem próximas dos cursos d'água e dos canais de drenagem, que assim como o canal da Avenida Almirante Tamandaré, estão interligados com a Baía. Ou seja, os eventos de cheia do rio continuarão a afetar essas áreas, não obstante, tais eventos podem ser agravados com o avanço das mudanças climáticas, que tem como consequência a elevação do Nível médio do mar.

Tal cenário, destaca ainda mais a forma de ocupação equivocada e predatória sobre os cursos d'água adotada na cidade de Belém, bem como na Região Metropolitana desde os primórdios da colonização, como foi evidenciado no Capítulo 2, e que perpetua até os dias de hoje. Visto que com o avanço da urbanização na cidade de Belém, a mesma não tem para onde expandir-se, com isso um novo vetor de ocupação chama a atenção: A região às margens do Furo do Maguari, no município de Ananindeua.

Diante disso, faz-se necessário exaltar a importância das geotecnologias em todas as etapas deste trabalho, pois, através da aplicação de técnicas de geoprocessamento foi possível gerar dados e análises de cunho ambiental e social, que destacaram a fragilidade da relação entre o homem e o meio em que está inserido.

Em contrapartida, vale destacar dois fatores que podem ter implicado nos resultados obtidos na presente pesquisa, mas especificamente no capítulo 4: A ausência de dados referentes à drenagem urbana de águas pluviais, e a desconsideração do efeito da evaporação na dinâmica das águas na bacia de estudo.

Por fim, o presente trabalho cumpre a função de identificar e apontar as causas de um problema que infelizmente já é conhecido da população belenense, porém, com o risco de ser acentuado pelas alterações climáticas que cada vez mais, parecem ser inevitáveis.

Diante desse cenário, faz-se algumas recomendações para tentar minimizar os impactos já recorrentes dos eventos de alagamento e enchentes:

I. Aperfeiçoamento no sistema de drenagem da capital:

Aperfeiçoar o sistema de drenagem na cidade de Belém, sobretudo nas áreas de maior incidência de alagamentos e enchentes, consiste em melhorar a estrutura física de escoamento das águas pluviais, acelerando a vazão deste fluxo em direção ao rio, impedindo ou diminuindo o acúmulo hídrico na área urbana.

II. Adoção de sistema de comportas nos principais canais de drenagem:

Tal medida é voltada para a ocorrência do movimento de preamar (maré alta), que como exposto no referido trabalho, tem influência direta nos impactos socioambientais que acometem as áreas baixas da cidade. A implantação destas comportas nos canais mais atingidos pelo avanço da maré, reduziria significativamente os impactos causados por esse cenário, uma vez que impediria o acréscimo dessa massa d'água nos canais de drenagem, consequentemente reduzindo o risco de transbordo destes canais.

III. Aplicação de Política Habitacional que zoneie as áreas de maior risco de enchentes;

O Estatuto das cidades (Lei nº 10.257/2001) estabelece como instrumento de gestão urbana o Plano Diretor do município, bem como o Parcelamento do Uso e ocupação do solo e o Zoneamento Ambiental. Tais ferramentas são essenciais para a gestão do território urbano.

Nesse sentido, assim como nas cidades serranas do centro-sul do país, que adotam sirenes e mapeiam áreas suscetíveis a movimentos de massa, como deslizamento de terra e erosão. A estratégia adotada em Belém seguiria este princípio, zoneando e mapeando as áreas já ocupadas e que sofrem com situações de alagamentos, bem como aquelas áreas que estão

próximas de cursos d'água, mas que ainda não foram ocupadas. Estas últimas estariam incluídas na política habitacional, como áreas restritas, ou seja, que não são propícias para ocupação populacional.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, C. M. R. Belém do Pará, uma cidade entre as águas: história, natureza e definição territorial em princípios do século XIX. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE HISTÓRIA, 26., 2011, São Paulo. **Anais[...]**. São Paulo: Associação Nacional de História, 2011. Disponível em: http://www.snh2011.anpuh.org/resources/anais/14/1300673503_ARQUIVO_ANPUH2011BelendoParauacidadeentreasaguas.pdf.

ARAÚJO JUNIOR, A. C. R. Fatores de risco a inundação na bacia hidrográfica da Estrada Nova Belém – PA. **Revista Geografia**, v. 22, n. 2, p. 57-78, 2013.

ARAÚJO JUNIOR, A. C. R.; AZEVEDO, A. K. A. Formação da cidade de Belém (PA): área central e seu papel histórico e geográfico. **Revista Espaço Aberto**, v. 2, n. 2, p. 151-168, 2012.

COMPANHIA DOCAS DO PARÁ - CDP; Secretaria de Porto - SEP. **Diagnóstico ambiental do porto organizado de Belém**. Belém-PA, 2016. 10p.

COSTA, C. P. W.; SOUZA, E. B.; ALVES, L. M.; MEIRA FILHO, L. G.; FERREIRA, D. B. S.; KUHN, P. A. F.; FRANCO, V. S.; OLIVEIRA, J. V.; SODRÉ, G. R. C. Avaliação de simulação histórica da precipitação e temperatura na Amazônia Oriental utilizando um modelo de alta resolução. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 24, p. 612-642, 2019.

EM BELÉM, canal da avenida Tamandaré transborda e deixa motoristas ‘ilhados’. **Roma News**, Belém-Pa., 04 abr. de 2019. Disponível em: <https://www.romanews.com.br/cidade/em-belem-canal-da-avenida-tamandare-transborda-e-deixa-motoristas/35474/>. Acesso em: 04 dez. 2019.

FRANCO, V. S.; SOUZA, E. B.; COSTA, C. P. W.; FERREIRA, D. B. S.; OLIVEIRA, J. V.; SODRÉ, G. R. C.; KUHN, P. A. F.; AZEVEDO, F. T. M. Prognóstico sazonal da precipitação para o verão e outono austral da Amazônia Oriental. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 12, n. 1, p. 057-070, 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Panorama cidades**: Belém, Pará. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pa/belem/panorama>. Acesso em: 10 jan. 2021.

LUZ, L. M.; RODRIGUES, J. E. C.; PONTE, F. C. Impactos Antropogênicos em bacias urbanas da área central da cidade de Belém-PA. **Revista GeoAmazônia**, v. 3, n. 6, p. 96-109, 2015.

PENTEADO, A. R. **Belém** - estudo de geografia urbana. Belém-Pa: Universidade Federal do Pará, 1968. v. 1, 183 p.

PONTE, J. P. X. Belém do Pará: cidade e água. **Cad. Metrop.**, v. 17, n. 33, p.41-60, 2015.

PONTES, M. L. C.; LIMA, A. M. M.; SILVA JUNIOR., J. A.; SADECK, C. C. A. Dinâmica das áreas de várzea do município de Belém/PA e a influência da precipitação pluviométrica na formação de pontos alagamentos. **Caderno de Geografia**, v. 27, p. 285-303, 2017.

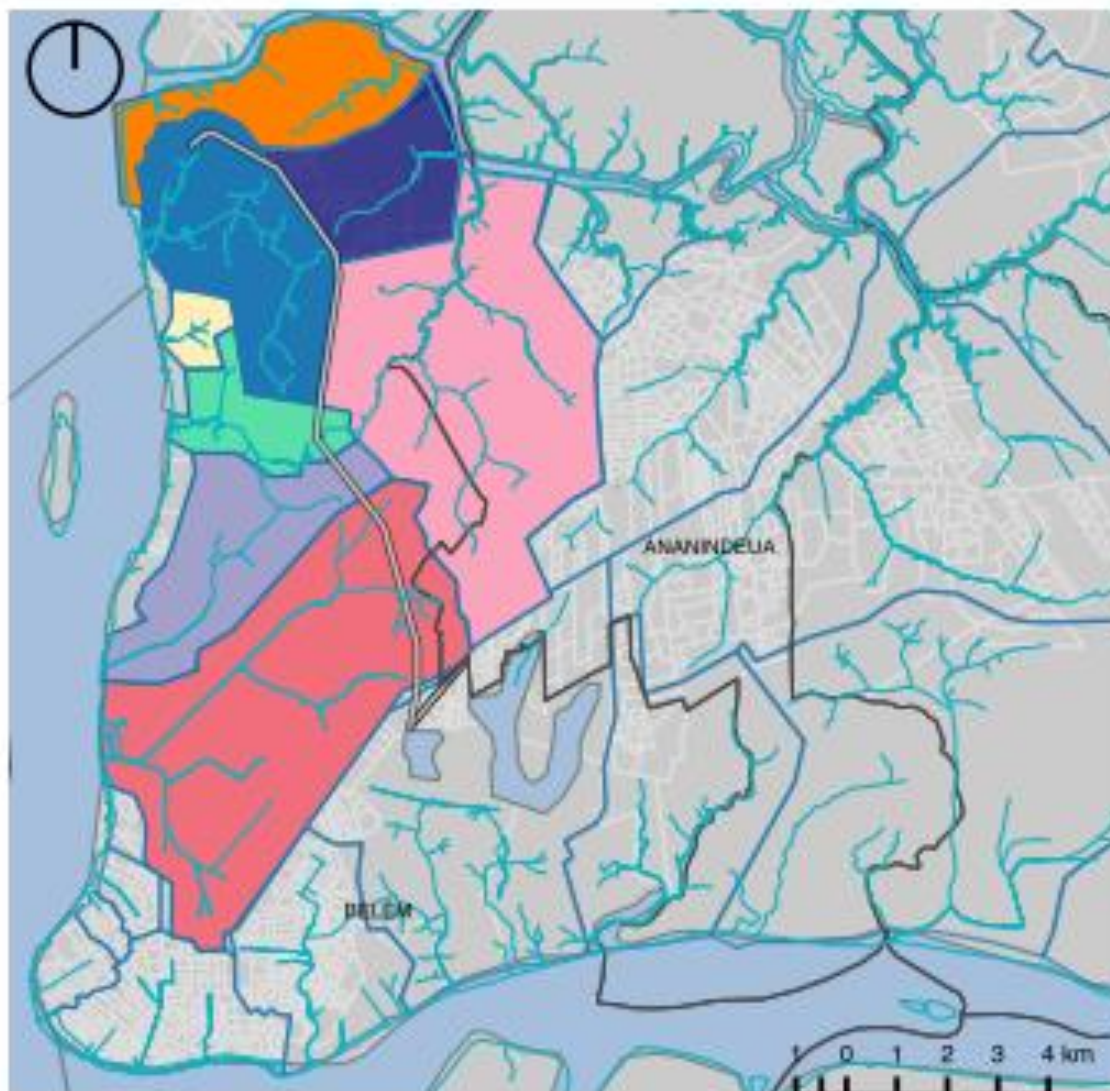
SADECK, C. C. A. **Vulnerabilidade socioambiental de áreas urbanizadas no entorno de bacias hidrográficas em Belém-Pará**. 2015. 68f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2015.

SANTOS, K. A.; RUFINO, I. A. A.; BARROS FILHO, M. N. M. Impactos da ocupação urbana na permeabilidade do solo: o caso de uma área de urbanização consolidada em Campina Grande – PB. **Revista Eng. Sanit. Ambient.**, v. 22, n. 5, p. 943-952, 2017.

SILVA, F. J. L. T.; ROCHA, D. F.; AQUINO, C. M. S. Geografia, geotecnologias e as novas tendências da geoinformação: indicação de estudos realizados na região Nordeste. **InterEspaço: Revista de Geografia e Interdisciplinaridade**, v. 2, n. 6, p. 176-197, 2016.

TARGA, M. S.; BATISTA, G. T.; DINIZ, H. D.; DIAS, N. W.; MATOS, F. C. Urbanização e escoamento superficial na bacia hidrográfica do Igarapé Tucunduba, Belém, PA, Brasil. **Revista Ambiente & Água**, v. 7, n. 2, p. 120-142, 2012.

ANEXO A – BACIAS HIDROGRÁFICAS PRESENTES NA AVENIDA AUGUSTO MONTENEGRO, BELÉM - PA.



Legenda

— Avenida Augusto Montenegro

— BR-316

— Curso d'água

□ Delimitação de Municípios

□ Hidrografia

□ Bacias Hidrográficas

Bacias Hidrográficas em análise

□ Cajó

□ Piracuri

□ Mata Fome

□ Outeiro

□ Una

□ Ariri

□ Val de Cans

□ Ananin

ANEXO B – MAPA DE LOCALIZAÇÃO DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DO MUNICÍPIO DE BELÉM.

