

UFPA

PPGEC

Universidade Federal do Pará



Glênea Rafaela de Souza Costa

ESTIMATIVA DE PROBABILIDADE DIÁRIA DE INUNDAÇÃO PELO EFEITO COMBINADO CHUVA-MARÉ EM BELÉM/PA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Instituto de Tecnologia

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

Orientador: Professor Claudio José Cavalcante Blanco, Ph.D.

Glênea Rafaela de Souza Costa

**ESTIMATIVA DE PROBABILIDADE DIÁRIA DE INUNDAÇÃO PELO EFEITO
COMBINADO CHUVA-MARÉ EM BELÉM/PA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Pará, para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Área de concentração: Engenharia Hídrica

Orientador: Prof. Claudio José Cavalcante Blanco, Ph.D.

Belém – Pará – Brasil

2023

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)

C837e Costa, Glênea Rafaela de Souza.
Estimativa de probabilidade diária de inundação
pelo efeito combinado chuva-maré em Belém/PA /
Glênea Rafaela de Souza Costa. — 2023.
106 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. Claudio José Cavalcante
Blanco Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal
do Pará,
Instituto de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação
em Engenharia Civil, Belém, 2023.

1. Inundação. 2. Lâmina d'água (Chuva + Maré).
3. Probabilidade. 4. Intensidade e Duração da chuva.
5. Resíduos sólidos. I. Título.

CDD 333.91

ESTIMATIVA DE PROBABILIDADE DIÁRIA DE INUNDAÇÃO PELO EFEITO COMBINADO CHUVA-MARÉ EM BELÉM/PA

AUTORA:

GLÊNEA RAFAELA DE SOUZA COSTA

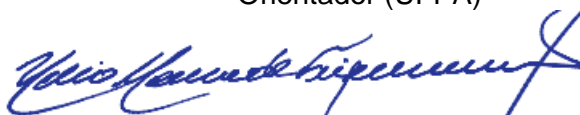
DISSERTAÇÃO SUBMETIDA À BANCA EXAMINADORA
APROVADA PELO COLEGIADO DO PROGRAMA DE PÓS-
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL DO INSTITUTO DE
TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ,
COMO REQUISITO PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE
MESTRA EM ENGENHARIA CIVIL NA ÁREA DE RECURSOS
HÍDRICOS E SANEAMENTO AMBIENTAL.

APROVADO EM: 01/12/2023

BANCA EXAMINADORA:



Prof. Claudio José Cavalcante Blanco, Ph.D.
Orientador (UFPA)



Prof. Dr. Nélcio Moura de Figueiredo
Membro Interno (UFPA)



Profa. Dra. Evanice Pinheiro Gomes
Membro Externo (UFPA)



Prof. Dr. Raviel Eurico Basso
Membro Externo (UFG)

Visto:

Prof. Dr. Dênio Ramam Carvalho de Oliveira
Coordenador do PPGE / ITEC / UFPA

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus pela saúde, sabedoria e força durante todo o percurso.

Aos meus pais, Jayme Costa e Zenaide Costa, e minhas irmãs, Leiliane Costa e Andreza Corrêa, pelo apoio e compreensão em todos os momentos.

Ao meu professor e orientador Claudio Blanco por seus incansáveis conselhos e por ter acreditado em mim.

Às minhas amigas, Cendy Monteiro e Cindy Torres, e aos amigos do GAES pelo apoio para prosseguir em frente.

RESUMO

A alteração na paisagem causada por ações antropogênicas e as mudanças climáticas são fatores que contribuem para o aumento na frequência de inundações. Belém, capital do Pará, sofre com as inundações compostas, ou seja, as causadas pelo efeito combinado de chuva e maré, principalmente, no período mais chuvoso. Assim, é importante o conhecimento sobre a variação do comportamento da precipitação e da maré na ocorrência de inundações. Nesse contexto, o objetivo é estimar a probabilidade diária de inundação em Belém a partir da ocorrência simultânea de precipitação e maré. Os dados de precipitação e de altura de maré utilizados correspondem ao período de 2003 a 2021, os quais foram organizados e analisados em planilhas eletrônicas. A série dos dados pluviométricos horários são provenientes do banco de dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e os dados das alturas de maré horários provenientes do Banco Nacional de Dados Oceanográficos (BNDO), da Diretoria de hidrografia e Navegação (DHN, 2021) da Marinha do Brasil. A definição da lâmina total mínima que provoca inundação, considerou o efeito combinado de lâmina d'água (chuva + altura de maré) em dois casos, inundação pela intensidade e duração da chuva. Para se estimar a probabilidade diária de inundação, baseou-se no estudo da probabilidade a priori deduzida pela razão entre o número de eventos de ocorrência de inundações e o número de inundações possíveis. Os resultados mostraram que determinadas regiões da cidade de Belém-PA são inundadas com valor mínimo de lâmina d'água de 640,4 mm desde que a intensidade da chuva seja de no mínimo 30 mm/h. Além disso, constatou-se que a maior probabilidade de inundação é no período considerado mais chuvoso da cidade, ou seja, de janeiro a maio. Observou-se, também, que o alto índice pluviométrico combinado com as características topográficas da cidade, agravam às condições de drenagem em áreas de baixada, penalizando as comunidades, que habitam de forma desordenada essas regiões sem a devida preocupação de órgãos governamentais. Preocupação que deve ser embasada em obras de engenharia exequíveis, como, por exemplo, a construção de comportas para isolar a cidade de chuvas fortes durante a ocorrência de marés altas.

Palavras-Chave: Inundação, Lâmina d'água (Chuva + Maré), Probabilidade, Intensidade e Duração da chuva, Resíduos sólidos.

ABSTRACT

Changes in the landscape caused by anthropogenic actions and climate change are factors that contribute to the increase in the frequency of floods. Belém, capital of Pará, suffers from compound floods, that is, those caused by the combined effect of rain and tide, especially during the rainiest period. Therefore, knowledge about the variation in precipitation and tide behavior in the occurrence of floods is important. In this context, the objective is to estimate the daily probability of flooding in Belém based on the simultaneous occurrence of precipitation and tide. The precipitation and tide height data used correspond to the period from 2003 to 2021, which were organized and analyzed in electronic spreadsheets. The hourly rainfall data series comes from the database of the National Institute of Meteorology (INMET) and the hourly tide height data comes from the National Oceanographic Data Bank (BNDO), from the Directorate of Hydrography and Navigation (DHN, 2021) of the Navy from Brazil. The definition of the minimum total depth that causes flooding considered the combined effect of water depth (rainfall + tide height) in two cases, flooding due to the intensity and duration of the rainfall. To estimate the daily probability of flooding, it was based on the study of a priori probability deduced by the ratio between the number of floods events and the number of possible floods. The results showed that certain regions of the city of Belém-PA are flooded with a minimum water depth of 640.4 mm if the rainfall intensity is at least 30 mm/h. Furthermore, it was found that the greatest probability of flooding is in the period considered the city's rainiest, i.e., from January to May. It was also observed that the high rainfall combined with the topographic characteristics of the city, worsen the drainage conditions in low-lying areas, penalizing the communities, which inhabit these regions in a disorderly manner without due concern from government bodies. This concern must be based on feasible engineering works, such as, for example, the construction of floodgates to isolate the city from heavy rain during the occurrence of high tides.

Keywords: Flood, Water depth (Rainfall + Tide), Probability, Intensity and Duration of rainfall, Solid waste.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Pluviômetro	21
Figura 2: Pluviógrafo	22
Figura 3: Forças geradoras de marés	23
Figura 4: Tipos de comportamentos de marés	24
Figura 5: Maré de Sizígia e Maré de Quadratura	25
Figura 6: Descarte inadequado de resíduos sólidos na Avenida Perimetral	28
Figura 7: Mapa de localização das bacias hidrográficas na cidade de Belém-PA	32
Figura 8: Mapa de localização da área de estudo, das estações maregráfica e pluviométrica e pontos de alagamentos baseados em CPRM, 2021.	44
Figura 9: Esquema das etapas metodológicas.....	48
Figura 10: Inundação devido à intensidade da chuva em Belém no dia 04/08/2015 (rua dos Mundurucus com a avenida Alcindo Cacela)	50
Figura 11: Efeito combinado de chuva + altura de maré relacionado à intensidade da precipitação em 04/08/2015	51
Figura 12: Inundação pela intensidade da chuva no dia 07/03/2017 (travessa Nove de Janeiro próximo à rua dos Pariquis).....	52
Figura 13: Comportamento da maré em relação à intensidade da chuva no dia 07/03/2017	52
Figura 14: Inundação pela intensidade da chuva em Belém-PA no dia 31/12/2012 (avenida Pedro Álvares Cabral próximo ao complexo viário)	53
Figura 15: Comportamento da maré em relação à intensidade da chuva no dia 31/12/2012	54
Figura 16: Inundação devido à duração da chuva no dia 20/02/2017 (rua dos Pariquis com a passagem Euclides da Cunha)	54
Figura 17: Comportamento da maré devido à duração da chuva na cidade de Belém-PA em 20/02/2017	55
Figura 18: Probabilidade diária de inundação em Belém para o evento conjugado chuva + maré no período de 01/01/2003 a 31/12/2021	56
Figura 19: Visualização e localização geográfica de áreas de inundações nos dias com maiores probabilidades de ocorrência de inundação em Belém do Pará.	57
Figura 20: Locais de inundações na bacia hidrográfica do Tucunduba.....	61

Figura 21: Locais de inundação na bacia hidrográfica da Tamandaré	63
Figura 22: Descarte inadequado de resíduos sólidos nas margens do canal da Tamandaré	64
Figura 23: Locais de inundação na bacia hidrográfica da Estrada Nova.....	65
Figura 24: Locais de inundação na bacia hidrográfica do Una.....	66
Figura 25: Locais de inundação na bacia hidrográfica do Una.....	67
Figura 26: Locais de inundação na bacia hidrográfica do Reduto.....	69
Figura 27: Locais de inundações na bacia hidrográfica do Mata Fome	70
Figura 28: Locais de inundação na bacia hidrográfica do Paracuri	71
Figura 29: Locais de inundação na bacia hidrográfica de Val de Cans	73
Figura 30: Locais de inundação na bacia hidrográfica do Arari.....	74
Figura 31: Locais de inundação na bacia hidrográfica do Murutucum	75
Figura 32: Bacia hidrográfica do Outeiro	76
Figura 33: Bacia hidrográfica do Anani	76
Figura 34: Bacia hidrográfica do Aurá	77
Figura 35: Bacia hidrográfica do Cajé	77
Figura 36: Probabilidade diária de inundação sem influência de maré	80
Figura 37: Inundação somente por maré alta no dia 17/04/2019	81
Figura 38: Comportamento da maré com registro da preamar às 10:00 em 17/04/2019	82
Figura 39: Inundação somente por maré alta no dia 19/04/2019	83
Figura 40: Comportamento da maré com registro da preamar às 11:00 em 19/04/2019	83
Figura 41: Inundação na rua Roberto Camelier, bairro Batista Campos no dia 17/10/2023	84
Figura 42: Inundação na rua dos Pariquis com a travessa Rui Barbosa no dia 17/10/2023	84

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Tipos de inundações conforme suas principais condicionantes no Brasil	27
Tabela 2: Relação das regiões da BH do Tucunduba com risco alto e muito alto de inundações	34
Tabela 3: Relação das regiões da BH da Tamandaré com risco muito alto de inundações	35
Tabela 4: Relação das regiões de Belém/PA com risco muito alto para inundações na BH da Estrada Nova	36
Tabela 5: Relação das regiões de Belém/PA com risco alto e muito alto para inundações na BH do Una.....	37
Tabela 6: Relação das regiões de Belém/PA com risco muito alto para inundações na BH do Reduto.....	38
Tabela 7: Relação das regiões de Belém/PA com risco muito alto para inundações na BH do Mata Fome	39
Tabela 8: Relação das regiões de Belém/PA com risco alto e/ou muito alto para inundações na BH do Paracuri.....	39
Tabela 9: Relação das regiões de Belém/PA com risco muito alto para inundações na BH de Val de Cans.....	41
Tabela 10: Relação das regiões de Belém/PA com risco muito alto para inundações na BH do Ariri.....	42
Tabela 11: Relação das regiões de Belém/PA com risco muito alto para inundações na BH do Murutucum	42
Tabela 12: Relação das regiões de Belém/PA com risco muito alto para inundações na BH do Outeiro	43
Tabela 13: Dados da Estação Meteorológica Automática da cidade	45
Tabela 14: Classificação da intensidade de chuva.....	47
Tabela 15: Quantidade de dias com a probabilidade diária de inundação pelo efeito combinado chuva e maré.	58
Tabela 16: Quantidade de dias com a probabilidade diária sem influência da maré	78

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
1.1 OBJETIVOS	18
1.1.1 Geral	18
1.1.2 Específicos	18
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	20
2.1 PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA	20
2.2 DINÂMICA DAS MARÉS	22
2.3 INUNDAÇÕES	25
2.4 BREVE HISTÓRICO DA HIDROGRAFIA DE BELÉM	29
2.5 BACIAS HIDROGRÁFICAS DE BELÉM	30
2.5.1 Bacia Hidrográfica do Tucunduba	33
2.5.2 Bacia Hidrográfica do Tamandaré	34
2.5.3 Bacia Hidrográfica da Estrada Nova	35
2.5.4 Bacia Hidrográfica do Una	36
2.5.5 Bacia Hidrográfica do Reduto	38
2.5.6 Bacia Hidrográfica do Mata Fome	38
2.5.7 Bacia Hidrográfica do Paracuri	39
2.5.8 Bacia Hidrográfica de Val de Cans	41
2.5.9 Bacia Hidrográfica do Ariri	41
2.5.10 Bacia Hidrográfica do Murutucum	42
2.5.11 Bacia Hidrográfica do Outeiro	42
2.5.12 Bacia Hidrográfica do Anani	43
2.5.13 Bacia Hidrográfica do Aurá	43
2.5.14 Bacia Hidrográfica do Cajé	43
3 MATERIAL E MÉTODOS	44
3.1 ÁREA DE ESTUDO	44
3.2 DADOS UTILIZADOS	45

3.3 VALOR MÍNIMO DA LÂMINA D'ÁGUA DE INUNDAÇÃO	45
3.4. INUNDAÇÃO CAUSADA PELA ALTURA DE MARÉ EM BELÉM/PA	47
3.5 PROBABILIDADE DIÁRIA DE INUNDAÇÃO EM BELÉM DO PARÁ	47
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	49
4.1 CHUVA E MARÉ CAUSANDO INUNDAÇÃO	49
4.1.1 Valor mínimo de lâmina de chuva + altura de maré	49
a) Pela intensidade da chuva	49
b) Pela duração da chuva	54
4.2 PROBABILIDADE DIÁRIA DE INUNDAÇÃO EM BELÉM DO PARÁ	55
4.3 ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DOS EFEITOS/CONSEQUÊNCIAS DAS INUNDAÇÕES EM FUNÇÃO DO EFEITO MARÉ E CHUVA NAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DE BELÉM/PA	60
4.4 PROBABILIDADE DIÁRIA DE INUNDAÇÃO EM BELÉM/PA SEM INFLUÊNCIA DA MARÉ	78
4.4 INUNDAÇÃO CAUSADA PELA ALTURA DE MARÉ EM BELÉM/PA	81
4.5 INUNDAÇÕES RECENTES EM BELÉM/PA	83
5 MEDIDAS MITIGATÓRIAS ÀS INUNDAÇÕES	85
6 CONCLUSÃO	87
REFERÊNCIAS	89

1 INTRODUÇÃO

A vulnerabilidade a inundações das cidades e das comunidades da Amazônia está aumentando devido à crescente frequência de eventos extremos, como o ocorrido em 2009, o qual foi associado ao fenômeno La Niña (MARENGO et al., 2012; ANDRADE e SZLAFSZTEIN, 2018). Existe também a prática do manejo insustentável do uso e ocupação da terra e condições sociais de alta vulnerabilidade, os quais contribuem para o aumento do risco de desastres por inundação na região (NAGY et al., 2016; HUMMEL et al., 2016). Segundo Marengo e Espinoza (2016), a Amazônia e o Nordeste são as regiões mais vulneráveis do país às mudanças climáticas. Por exemplo, na Amazônia, houve nas últimas décadas vários eventos hidrológicos extremos como as enchentes de 2009, 2012 e 2014 e as secas de 2005 e 2010, as quais alertaram sobre a vulnerabilidade climática da região. Ressaltando-se que as questões climáticas são reconhecidas como o principal problema ambiental contemporâneo devido aos impactos produzidos por eventos climáticos extremos (como as secas, inundações, ciclones, furacões) e pelos riscos previstos à vida humana e não humana (LIMA, 2017).

Outro fator contribuinte para as inundações, é a intensificação do processo de urbanização, a partir das transformações do uso e ocupação da terra, causando prejuízos humanos e econômicos à sociedade quando não se tem um planejamento adequado (SOUZA DIAS et al., 2021). Para Corrêa et al. (2012), o aumento de atividades sem planejamento, sejam elas em relação a moradias ou a atividades econômicas, causa a diminuição da cobertura vegetal e o aumento da impermeabilização do solo.

A impermeabilização do solo e um sistema de drenagem ineficiente potencializam as inundações, pois afetam diretamente o ciclo hidrológico, modificando o escoamento superficial, a infiltração de água no solo, o esgotamento do lençol freático, bem como diminui a evapotranspiração (RODRIGUES e BLANCO, 2018; WATRIN et al., 2020).

Estudos anteriores como os de Pegado et al. (2014), Watrin et al. (2020), Dias et al. (2021) e Gonçalves et al. (2021) relatam que Belém cresceu sem planejamento, gerando problemas de inundações urbanas. Pegado et al. (2014) afirmam que a cidade de Belém possui uma vasta rede de microbacias, formadas por inúmeros igarapés, as quais estão degradadas e ocupadas de forma

desordenada, pois o limite mínimo à nascente e às margens dos rios não é respeitado, e consequentemente há inundações.

De acordo com Gonçalves et al. (2021), Belém passa por forte crescimento populacional desde a década de 1960, e isto acarreta a modificação do ciclo hidrológico local a partir da construção de um espaço urbano impermeabilizado e desordenado. Assim como Tavares (2009) afirma que em Belém não há um sistema de drenagem eficiente, intensificando-se as inundações durante os eventos de chuvas fortes e ainda mais, quando associados à maré alta.

Costa e Blanco (2018) enfatizam que a erosão hídrica através da produção de sedimentos é preocupante, pois estes quando são arrastados provocam assoreamento na bacia hidrográfica e consequentemente diminui a seção da vazão dos canais de macrodrenagem e aumentam os riscos de inundações. Para Freitas et al. (2012), o aumento do escoamento superficial e o aumento da ocorrência de inundações são as principais alterações no ciclo hidrológico das bacias hidrográficas causadas pelo processo de urbanização.

As cidades amazônicas localizam-se e crescem às margens dos rios, assim o município de Belém apresenta uma localização bastante singular na região desde suas origens (SILVA e LIMA, 2021). Como se não bastasse esse fato, Belém apresenta uma alta desigualdade social destacada pela segregação socioespacial existente, sendo que nas áreas periféricas há uma forte concentração de assentamentos precários e irregulares, infraestrutura urbana insuficiente ou até mesmo inexistente (LOPES et al., 2017).

Assim, o município de Belém, principalmente no período mais chuvoso, conforme afirmam Soares e Carvalho (2018), é impactado pela ocorrência periódica de inundações. As inundações ocorrem em áreas de bacias hidrográficas urbanizadas com cotas mais baixas. Essas inundações são potencializadas pelos altos índices pluviométricos e ocorrência de preamar simultâneos, que tem como resultado a elevação do nível de água dos canais ocasionando o seu extravasamento (NYLANDER et al., 2021). Nesse contexto, é importante o estudo do efeito combinado Chuva-Maré, fato que nem sempre é contemplado, como no estudo de Zellou e Rahali (2019), que avaliaram o risco de inundações em áreas costeiras e não consideraram a dependência entre maré e precipitação para ocorrer inundações.

Logo, o conhecimento da combinação chuva-maré é necessário em áreas costeiras, visando uma melhor gestão urbana e contribuindo para a formação de cidades sustentáveis, as quais representam a união entre o planejamento urbano e as premissas de sustentabilidade (LIMONAD, 2013). Jacobi (2013) destaca que a sustentabilidade nas cidades deve propiciar qualidade de vida, a qual evite a continuidade da degradação dos recursos ambientais, essencialmente em áreas habitadas pela população mais carente. Nesse contexto, insere-se o termo cidades resilientes que são aquelas que estão preparadas para as vulnerabilidades associadas às mudanças climáticas (MARTINS e FERREIRA, 2011). Sgarbi (2020) conceitua cidades resilientes como a capacidade que uma cidade possui de resistir, enfrentar, adaptar-se e se recuperar da exposição aos desastres naturais.

Portanto, é de suma importância estimar a probabilidade diária de inundação na cidade de Belém-PA a partir do efeito combinado Chuva-Maré através da probabilidade a priori. Os resultados do trabalho podem ser usados pelos entes públicos para projetos de obras de contenção das inundações, como, por exemplo, comportas para isolar a cidade das marés durante a ocorrência de chuvas fortes.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Geral

Estimar a probabilidade diária de inundação na cidade de Belém-PA a partir do efeito combinado Chuva-Maré.

1.1.2 Específicos

- Determinar o valor mínimo de lâmina d'água (chuva + altura de maré) que provoca inundação;
- Definir eventos de inundação em função da intensidade ou duração da chuva;
- Definir a probabilidade diária de inundação em Belém-PA;
- Validar as evidências de inundações através de noticiários locais e registros fotográficos;

- Analisar a probabilidade diária de inundação sem influência da maré;
- Analisar espaço-temporalmente a inundação em função do efeito combinado maré + chuva ou somente com chuva.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA

A precipitação pluviométrica é considerada uma das principais componentes meteorológicas nos estudos sobre disponibilidade hídrica e exerce papel predominante sobre os padrões de respostas das condições ambientais e do balanço hídrico climatológico (SANTOS e SOUSA, 2018; SILVEIRA et al., 2016). É também um dos elementos climáticos mais variáveis, e suas anomalias como condições extremamente secas ou úmidas, relacionam-se à disponibilidade de recursos hídricos, podendo provocar abundância ou déficit de água (IRANNEZHAD et al., 2014). Ou seja, a precipitação é um elemento chave do ciclo hidrológico e um indicador das mudanças climáticas (CHEN et al., 2015; MEI et al., 2018).

Andersen e Shepherd (2013) afirmam que o aumento da umidade atmosférica, ou água total precipitável, por causa do aumento das temperaturas, tem consequências para a intensidade dos eventos de chuva. Observações indicam que eventos de chuvas extremas têm aumentado desde o século XX e os eventos de chuva de longa duração são atualmente mais úmidos que o normal.

Segundo Khaliq et al. (2014), há grandes impactos por causa dos eventos extremos de precipitação, os quais podem levar a sérias consequências para os regimes dos rios, padrões de inundação/seca e desenvolvimento agrícola e econômico. A precipitação é uma variável crucial à medida que altera a variação na umidade, e as mudanças na precipitação extrema de curto prazo incluem mudanças na quantidade, intensidade e frequência da precipitação (WANG et al., 2017).

Há três formas que podem originar a chuva nos trópicos, são elas: forma convectiva, forma frontal ou ciclônica e forma orográfica (FRANCA, 2015). Conforme Anjos et al. (2016), a precipitação convectiva caracteriza-se por altura elevada, desenvolvimento vertical acentuado, forte gradiente de refletividade horizontal e consideráveis variações no tempo e no espaço. São também consideradas intensas e de curta duração com restrita área de abrangência, ocorrendo mais frequentemente no final da tarde e provocando inundações em pequenas bacias (FRANCA, 2015). Já as chuvas frontais originam-se com o

deslocamento das massas de ar quente e frias para regiões com propriedades climatológicas diferentes tornando a superfície de descontinuidade atmosférica instável, propiciando assim, a ocorrência de chuvas de grande duração, as quais atingem diversas áreas com intensidade média. E as chuvas orográficas ocorrem com a subida de massas de ar úmidas em áreas de terreno elevado, as quais se resfriam e condensam o vapor para formar as nuvens que precipitarão, caracterizam-se por longa duração e baixa intensidade (FRANCA, 2015).

Os pluviômetros são instrumentos de leitura diária da precipitação que possuem como função medir a altura precipitada, sendo que é um registro observado em uma frequência padrão por um operador (WMO, 2010) (Figura 1). E os pluviógrafos são instrumentos automáticos instalados em solo dotados de mecanismos que são ativados pela concentração da água proveniente da chuva permitindo estimar não somente a altura do volume precipitado como também determinar a intensidade, a duração e a frequência das chuvas, que são variáveis importantes e fundamentais para a compreensão da precipitação (Figura 2) (TRENBERTH e ZHANG, 2018; WMO, 2010).



Figura 1: Pluviômetro

Fonte: IFSULDEMINAS, 2022.

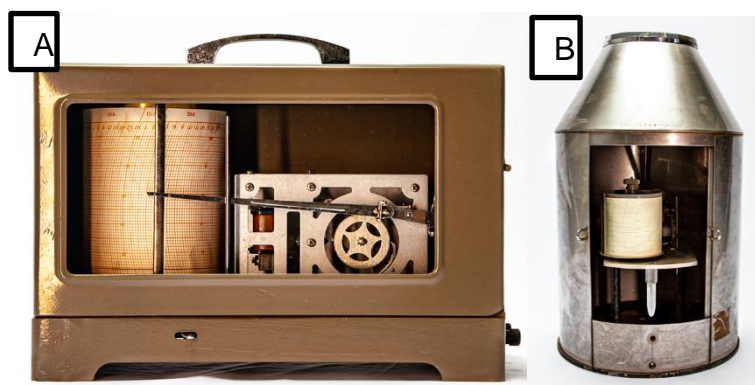


Figura 2: Pluviógrafo

Fonte: ANA, 2020.

Define-se intensidade da chuva através da divisão matemática da quantidade de água precipitada por unidade de tempo (mm.h^{-1}). Esta grandeza é importante para a análise do controle de alagamentos e erosão do solo, por exemplo. Já a duração da precipitação, é determinada pela diferença de tempo entre o início e o término do episódio pluvial (TUCCI, 2012).

Belém, por se localizar na região Amazônica (Zona Equatorial), possui homogeneidade espacial e sazonal de temperatura, diferentemente do que ocorre com a pluviosidade. Esta sofre a influência dos sistemas meteorológicos de meso (linhas de Instabilidade) e de grande escala (Zona de Convergência Intertropical, Oscilação de Madden Julian, Padrão de Dipolo no Oceano Atlântico, El Niño-Oscilação Sul/ENOS), além da convecção local (CAMPOS et al., 2015). Anualmente, em Belém, o volume de chuva é cerca de 3000 mm, distribuídos em período menos chuvoso (junho a dezembro) e período mais chuvoso de (janeiro a maio), com registros diários superiores a 25 mm, resultando em prejuízos e transtornos à sociedade (CAMPOS et al., 2015; PONTES et al., 2017).

2.2 DINÂMICA DAS MARÉS

Maré é definida como variação dos níveis de água nos oceanos, na forma de ondas com oscilações periódicas e tem, principalmente, como influência a atração gravitacional do sol e da lua (GONÇALVES, 2016). Segundo Miguens (2019), maré é a oscilação vertical da superfície do mar, a qual é causada pelas diferenças na atração gravitacional da lua e, em menor extensão, do sol sobre os diversos pontos da Terra.

A maré meteorológica é um fenômeno que ocorre com bastante frequência e é importante, pois se deve principalmente às variações de pressão atmosférica e aos efeitos locais do vento, causando níveis mais altos ou níveis mais baixos, refletindo nas diferenças entre maré observada e maré prevista pelas tábuas de marés (PINTO e GOMES, 2015).

Os ciclos astronômicos das marés estão relacionados à localização geográfica da região e condições morfológicas do continente, e com isso, observam-se maiores amplitudes das ondas de maré nas regiões que estão próximas à linha do Equador, devido ao ângulo de inclinação lunar (COELHO, 2016).

A maré astronômica é o movimento periódico de subida e descida do nível do mar, obedecendo a força do campo gravitacional no sistema Terra-Sol-Lua. Assim, a força centrífuga da Terra e a força gravitacional são denominadas forças geradoras de maré (Figura 3) (NEGRI et al., 2021).

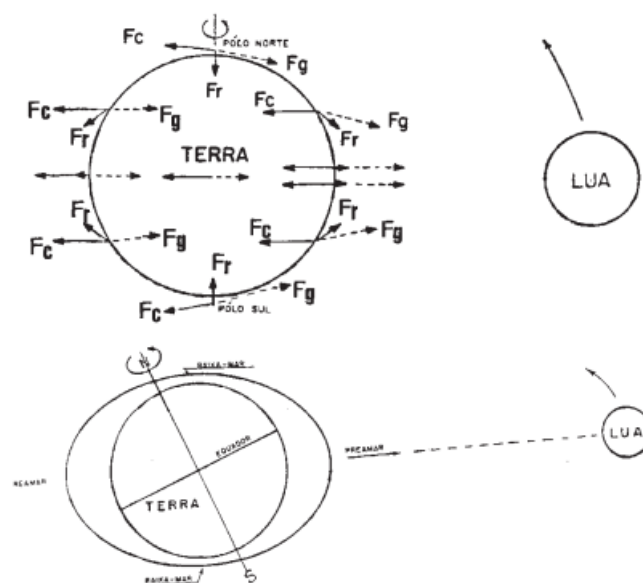


Figura 3: Forças geradoras de marés

Fonte: MIGUENS, 2019.

A força gravitacional é variável com o tempo devido às distâncias do sol e da lua em relação à Terra, uma vez que a movimentação dos astros produz uma alteração na gravidade. E com isso a rotação da Terra em torno do centro de massa do sistema gera uma força centrífuga que age junto com a força gravitacional. Logo, a resultante dessas duas forças é chamada de Força de

Maré, na qual ocorrem variações na direção e na intensidade do vetor gravidade, provocando alterações nos níveis dos mares (BENEDITO et al., 2017). As marés podem ser classificadas em semidiurnas, mistas e diurnas em relação ao tipo de comportamento de maré existente (CASTRO e HUBER, 2012).

As marés semidiurnas caracterizam-se por apresentarem período de 12h e 25min, com alturas parecidas das duas marés altas e duas marés baixas que ocorrem no mesmo dia. As marés diurnas possuem apenas uma maré alta e uma maré baixa no decorrer do dia apresentando período igual ao dia lunar (24h e 50min). E por fim, nas marés mistas são registrados valores diferentes em relação às duas marés altas e às duas marés baixas que ocorrem (GONÇALVES, 2015; ESPINDOLA, 2012) (Figura 4).

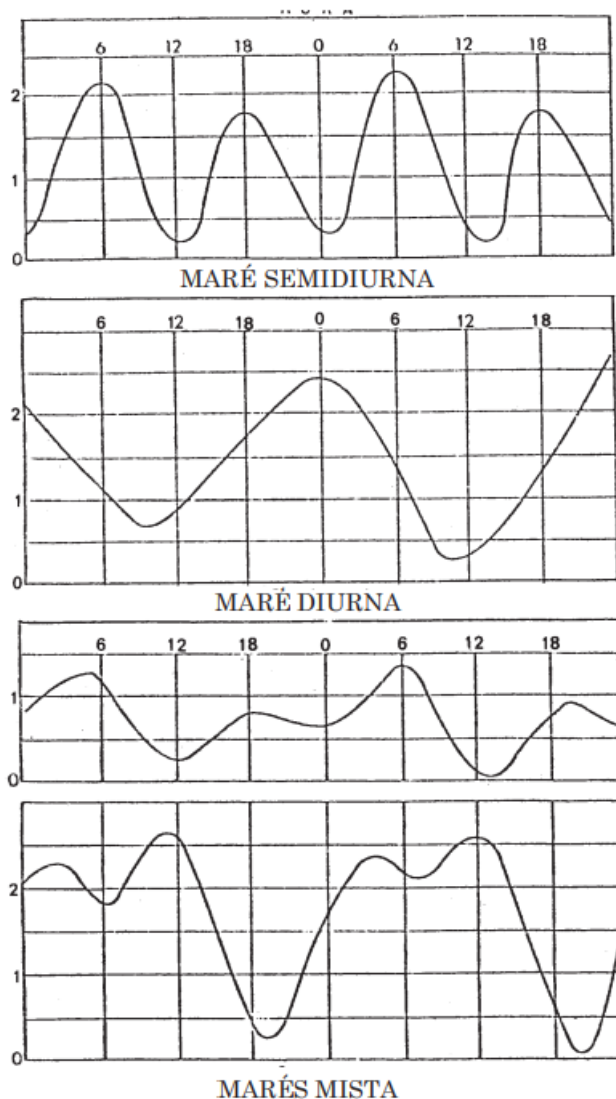


Figura 4: Tipos de comportamentos de marés

Fonte: MIGUENS, 2019.

Em relação à amplitude, as marés podem ser classificadas em marés de sizígia ou viva e marés de quadratura ou morta. As marés de sizígia ocorrem quando a lua e o sol estão no mesmo plano que a Terra (fases de lua cheia e lua nova), ou seja, estão em um mesmo alinhamento produzindo as maiores amplitudes de marés, as maiores preamares e as menores baixa-mares. Já as marés de quadratura ocorrem quando a força de atração do sol e da lua é perpendicular, registrado durante o quarto crescente e o quarto minguante, com preamares mais baixas e baixa-mares mais altas em relação à maré de sizígia como observado na Figura 5 (MEQUE, 2019).

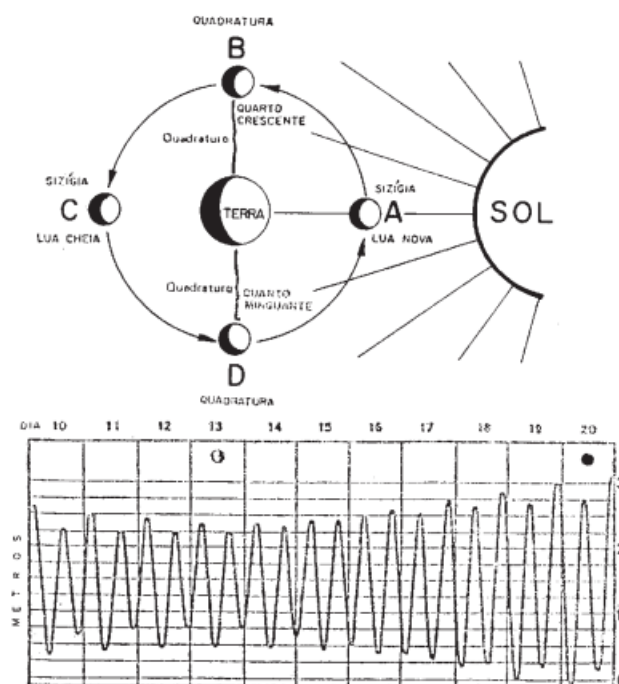


Figura 5: Maré de Sizígia e Maré de Quadratura

Fonte: MIGUENS, 2019.

Portanto, as marés são causadas por forças astronômicas além de sofrerem a influência de eventos meteorológicos e denominadas respectivamente de marés astronômicas ou oceânicas e marés meteorológicas ou atmosféricas (GONÇALVES, 2015; CARTACHO, 2013).

2.3 INUNDAÇÕES

Vários estudos a respeito de inundações foram realizados em várias partes do mundo, nos quais compreenderam bacias hidrográficas, áreas costeiras, zonas úmidas, estuários e ambientes urbanos nas mais variadas

escalas, servindo para identificar perigo, vulnerabilidades e riscos que subsidiam o gerenciamento de riscos e desastres (RAO et al., 2011; PEZZOLI e ALFREDINI, 2013; SINGH et al., 2018; SCHRÖTER et al., 2018).

De acordo com Guha-Sapir et al. (2012), as inundações são consideradas um dos desastres naturais principais em relação à ocorrência, às perdas econômicas e às vítimas. À medida que as mudanças climáticas alteram o ciclo hidrológico, haverá chuvas mais intensas, que somadas as alterações da superfície de uma bacia hidrográfica, devido às mudanças no uso e cobertura da terra, deixam estas suscetíveis a eventos extremos como inundações (ANDERSEN e SHEPHERD, 2013; NAIR et al., 2016; DEVI et al., 2019).

Assim, as inundações são áreas submersas fora dos limites normais de um curso d'água, sendo que o transbordamento ocorre de forma gradual geralmente ocasionado por chuvas prolongadas em áreas de planície (CENAD, 2019). Ackerman e Knox (2012) conceituam inundação como sendo um aumento substancial da água que cobre áreas não submersas, ou seja, a água flui mais rápido que a sua absorção (isto é, encharca o solo) ou é armazenada (em lagos, rios ou reservatórios) ou é escoada (via fluvial) em uma bacia de drenagem.

Um nível de maré alto pode bloquear ou retardar a drenagem da precipitação para o mar, assim como, o escoamento de um rio pode exigir certo tempo para drenar para o mar, mesmo que a precipitação ocorra bem antes do nível de maré (WAHL et al., 2015; BEVACQUA et al, 2017; VAN DER HUCK et al, 2015). Wahl et al. (2015) afirmam que os níveis de inundação de uma maré podem ser amplificados por qualquer quantidade relevante de precipitação e da mesma forma que uma inundação pode ocorrer ao cair a precipitação em solo úmido saturado por uma tempestade anterior.

Hsiao et al. (2021) enfatizam que há dois tipos de inundação induzida pela chuva, sendo elas, a inundação pluvial causada pelo acúmulo de água local e a inundação induzida por altas descargas fluviais. Logo a elevação do nível do mar aumentará as inundações provocadas por chuvas, diminuindo a drenagem do rio. O aumento das chuvas irá exacerbar as inundações pluviais em áreas baixas e as inundações fluviais em áreas ribeirinhas devido ao bloqueio da drenagem nas fases altas do rio.

Assim, a importância relativa desses mecanismos em um determinado local depende tanto do clima local quanto da topografia, entretanto, os itens acima implicam que os níveis de maré e o escoamento da precipitação extrema,

muitas das vezes, não são fenômenos independentes, e ao ignorar sua dependência, subestima-se o risco de uma inundação composta (BEVACQUA et al., 2019; MORFTAKHARI et al., 2017).

As inundações compostas, ou seja, as inundações causadas por chuvas e marés aumentaram nos últimos anos em decorrência das mudanças climáticas (WAHL et al., 2015; BEVACQUA et al., 2019). Assim, Hsiao et al. (2021) afirmam que devido aos efeitos compostos de chuvas e marés altas, a duração e a extensão das cheias aumentam e os impactos de fatores individuais são amplificados. As inundações são classificadas em graduais e bruscas no Brasil de acordo com Nina e Szlafsztein (2018), como se pode observar na Tabela 1.

Tabela 1: Tipos de inundações conforme suas principais condicionantes no Brasil

Condicionante Natural	Inundação	
	Gradual	Brusca
Velocidade de precipitação	Menor que a velocidade de infiltração no solo.	Maior que a velocidade de infiltração no solo.
Escoamento superficial	A água contribui para o escoamento superficial após infiltração e saturação do solo.	Água contribui diretamente para o escoamento superficial.
Origem	Chuvas frontais de baixa intensidade e longa duração.	Chuvas convectivas ou orogenéticas de alta intensidade e curta duração.
Geomorfologia regional	Altitude e declividade baixas, substrato permeável e cobertura vegetal densa.	Altitude e declividade altas, substrato pouco permeável e escassa cobertura vegetal.
Superfície afetada	Grande, provoca impactos ecológicos.	Reduzida, provoca processos de erosão.

Fonte: NINA e SZLAFSZTEIN, 2018

Segundo Licco e Dowel (2015), as inundações bruscas associam-se às elevações súbitas dos níveis de água dos canais ou cursos de águas que são geradas por fenômenos pluviométricos intensos. Geralmente, acontecem em regiões de relevo acidentado ou em fundos de vale, uma vez que a declividade do terreno mais acentuada faz com que as águas pluviais cheguem mais rápido à jusante. Já Alfieri e Thielen (2015) afirmam que as inundações bruscas resultam em impactos mais severos à população.

Para Tingsanchali (2012), as inundações urbanas são classificadas devido às seguintes condições: fortes chuvas locais, fluxo excessivo dos rios e marés altas. A primeira condição causa inundação devido ao sistema de drenagem ser ineficiente. Na segunda condição, a inundação ocorre devido ao nível das águas do rio transpor as margens. Na terceira, a inundação ocorre em cidades de regiões costeiras, com baixa altitude.

As inundações em Belém são caracterizadas pela terceira condição e, conforme Pontes et al. (2017), Pegado et al. (2014) e Santos e Rocha (2013), o município apresenta pontos de inundação, quando relacionados às tradicionais chuvas e ocorrência de preamares. Além disso, os efeitos das inundações são intensificados, por vezes, pelos precários serviços de saneamento básico, coleta de resíduos e falta de educação ambiental de parte da população local (Figura 6).



Figura 6: Descarte inadequado de resíduos sólidos na Avenida Perimetral

Pontes et al. (2017) observaram a influência da precipitação na formação de pontos de inundação em Belém através da espacialização das ocorrências do desastre de acordo com os limites topográficos, atuação conjugada chuva-maré e a variação na intensidade da chuva ao longo do dia. Os autores constataram que os locais onde mais se registraram inundações estão relacionados às baixas topografias e à inadequada infraestrutura urbana, dificultando o escoamento e a infiltração.

Neves e Tucci (2011) informam que a ocorrência de inundações e os prejuízos decorrentes desse fenômeno aumentaram em cidades de médio porte nos últimos anos, uma vez que a urbanização desordenada, o não cumprimento legal do Plano Diretor Municipal quando existente e a ineficiência dos

dispositivos de drenagem em relação ao manejo das águas pluviais são considerados como causa dessa problemática.

O município de Belém sofre com casos de inundações devido às características físicas e estruturais de suas bacias urbanas e à própria topografia do relevo. (SILVA JÚNIOR, 2018). Moreira et al. (2019) também explanam que a cidade de Belém-PA se localiza em um ambiente, no qual os aspectos geomorfológicos e climáticos convergem para uma situação constante de riscos de inundações, uma vez que chuvas superiores a 10 mm coincidindo com maré alta ou chuvas de 35 mm com maré baixa causam prejuízos à cidade. Já Campos et al. (2015) afirmam que precipitações maiores que 20 mm causam impactos à cidade de Belém-PA.

2.4 BREVE HISTÓRICO DA HIDROGRAFIA DE BELÉM

Inserida no estuário Amazônico (complexo hidrográfico formado por baías, furos e ilhas), Belém foi fundada em 12 de janeiro de 1616 por Francisco Caldeira Castelo Branco, sendo construída sob uma península fluvial contornada ao sul pelo rio Guamá e a oeste pela baía do Guajará (SANTOS e ROCHA, 2013). Segundo Pontes (2015), Belém é uma cidade próxima de rios, com chuvas frequentes, com formação de áreas alagadiças e com terrenos de cota baixa, assim a história da fundação, da estruturação e da expansão da cidade configurou-se através da presença dos cursos d'água.

No início do século XX, com o ciclo da borracha, a cidade foi ocupada em suas áreas mais elevadas, as que possuem cota altimétrica acima de 12 metros. Mas, por conta do crescimento populacional, as áreas mais baixas, com cota altimétrica abaixo de 4 metros, áreas sujeitas a inundações, foram gradativamente ocupadas com os primeiros processos de intervenção da população com a construção das docas, a qual deu origem aos processos de canalização e aterramento, como a Doca do Reduto e Doca de Souza Franco (CPRM, 2021). Desde então, iniciou-se a prática de aterramento de áreas alagadas e alagáveis até o século XX com o intuito de impedir as inundações a partir das marés altas e assim implementar um sistema de drenagem eficiente para a remoção das águas acumuladas (PINHEIRO, 2015).

A pressão populacional levou a construção de grandes obras de engenharia nas áreas mais baixas da cidade, como por exemplo, no ano de

1940, a construção do dique da Estrada Nova para evitar a inundação da orla da cidade entre os igarapés do Tucunduba e Tamandaré, com comportas nos igarapés intermediários, pelo rio Guamá. Entre 1962 e 1967, os igarapés da Tamandaré e Souza Franco foram canalizados; várias obras foram realizadas, no período de 1965 e 1979, nas bacias da Estrada Nova, Una, Val-de-Cães e Tucunduba; ocorreu também a retificação do igarapé São Joaquim na Bacia do Una entre 1979 e 1983 (CPRM, 2021).

Diante desse breve histórico, percebe-se que Belém teve uma ocupação desordenada, e em consequência, a ocorrência de chuvas fortes e/ou marés altas possuem efeitos danosos, como inundações (PEGADO et al., 2014). Logo, monitorar e acompanhar os fatores climáticos, como por exemplo, o volume pluviométrico e os processos de uso e ocupação das áreas de bacias urbanas da cidade de Belém são importantes. Principalmente, para o controle de inundações, sendo uma prevenção à população que reside em áreas de maior risco de inundações, no combate às doenças de veiculação hídrica, que são mais concentradas no período chuvoso (RODRIGUES e LUZ, 2021).

2.5 BACIAS HIDROGRÁFICAS DE BELÉM

Gálvez (2011) define bacia hidrográfica (BH) como um sistema integrado por várias sub-bacias e microbacias. Já Gaspari et al. (2013) compreendem a BH como um sistema de relações sociais e econômicas cuja base territorial e ambiental é uma rede de drenagem superficial, a qual é composta por rios que confluem para um rio principal e este para o mar. A importância de se abordar esta temática está relacionada aos estudos do espaço urbano e às alterações para o bom uso do espaço através de obras de engenharia.

Sousa e Nascimento (2015), Junior e Azevedo (2022) enfatizam que a bacia hidrográfica se destaca porque o seu estudo reconhece as interrelações entre os diversos componentes da paisagem como, biológicos, geomorfológicos, climatológicos e hidrológicos integrados com os elementos sociais, políticos e econômicos para identificar os problemas que ocorrem na bacia, bem como projetar cenários para prováveis impactos desencadeados pela ação humana para intervir e planejar soluções.

As bacias hidrográficas urbanas são espaços políticos-administrativos definidos e com intensos processos de apropriação e transformação, pois

materiais que não deveriam compor os sistemas fluviais, ocasionam assoreamento dos rios, estreitamento dos cursos d'água, ocupação urbana da planície de inundação e ocupação por outras atividades como industriais e agropecuárias. Assim, as alterações que ocorrem nas bacias hidrográficas são decorrentes de um conjunto de intervenções dispersas espacialmente, que possuem os cursos d'água como pontos de convergência (JUNIOR e AZEVEDO, 2022). Portanto, os efeitos negativos oriundos de inundações geram adaptações sociais que poderiam ser minoradas ao se considerar a paisagem como um todo do ponto de vista do planejamento para uso do solo e ocupação urbana (BERNHOFEN et al., 2021; NJOGU, 2021; SHIN et al., 2021).

Ao se considerar a BH como um sistema, e que os elementos naturais que a compõe, como nascentes, rios, relevo, solo, vegetação e outros, estão estruturados e relacionados entre si, deve-se considerar também como parte integrante desse sistema o processo de metropolização (elemento não natural). A metropolização é composta por variáveis sociais e econômicas, interagindo com a capacidade de suporte dos recursos naturais, formando a dinâmica territorial da BH, elemento fundamental no planejamento ambiental (SILVA e FERREIRA, 2014).

A compreensão das condições naturais das bacias hidrográficas pode garantir maior eficiência nas intervenções que venham a ser efetuadas, e nesse contexto o planejamento ambiental deve considerar elementos importantes evidenciados com a caracterização do ambiente em questão (CARELLI e LOPES, 2011).

Araújo e Santos (2020), Araújo et al. (2020), Silva et al. (2020) e Canil et al. (2020) desenvolveram estudos sobre a percepção do risco à inundação e associaram a percepção das populações que habitam áreas de risco a fatores não somente socioeconômicos, mas também a fatores físicos-naturais pois são emergências em relação ao uso e ocupação do solo urbano, o qual ao ser transformado pode gerar áreas perigosas.

Assim, a CODEM (2023) divide Belém em 14 bacias hidrográficas: da Estrada Nova, de Val de Cans, do Anani, do Ariri, do Aurá, do Cajé, do Mata Fome, do Murucutum, do Outeiro, do Paracuri, do Reduto, do Tamandaré, do Tucunduba e do Una (Figura 7).

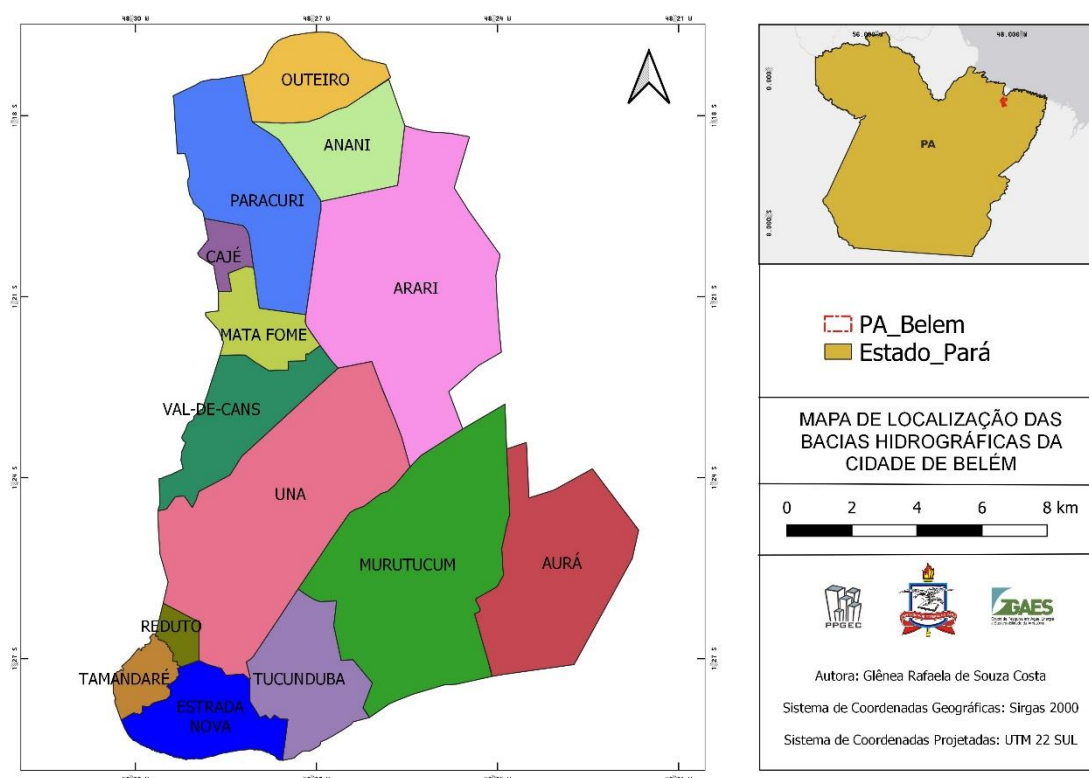


Figura 7: Mapa de localização das bacias hidrográficas na cidade de Belém-PA

O estudo de bacias hidrográficas através de suas características físicas permite identificar áreas de risco de ocupação, ambientes frágeis, impactos ambientais, interferência antrópica e a dinâmica da evolução natural da paisagem (BARBOSA e FURRIER, 2012). Destaca-se a classificação dos diferentes usos e ocupação do solo na área de abrangência de determinada BH. Ações antrópicas como desmatamento, manejo inadequado de áreas de pastagem, agricultura e crescimento urbano desordenado modificam as condições da BH em relação ao escoamento superficial, à infiltração e à evapotranspiração resultando em inundações, erosões, alta carga de transporte de sedimentos e eutrofização dos cursos de água (FENGLER et al., 2015; AGATON, et al., 2016; LEAL e TONELLO, 2016; SILVA e MEDEIROS, 2017).

Targa et al. (2012) afirmam que o uso do solo altera as características naturais e modifica a quantidade da água infiltrada, escoada e evaporada, com alteração no comportamento hidrológico de uma bacia, uma vez que o desmatamento e a urbanização são formas bastante agressivas de modificação do uso e ocupação de uma bacia hidrográfica (BH). Já Matos et al. (2011) destacam que na cidade de Belém é preocupante a situação das bacias hidrográficas já que os cursos d'água são transformados em canais retificados,

os quais recebem tanto a água pluvial quanto esgotos lançados sem tratamento. Rodrigues et al. (2012) afirmam que as bacias hidrográficas estão localizadas às margens da baía do Guajará e rio Guamá e apresentam cotas altimétricas abaixo de 4 metros, sendo denominadas como planícies naturais de inundação pela maré.

O uso e ocupação do solo ocorreram de forma diferenciada nessas bacias, sendo que na região sul e oeste a planície de inundação dos rios e canais são mais ocupados em relação a região norte e leste (COSTA et al., 2021). As BH da porção sul (Tamandaré, Reduto, Una e Tucunduba) concentram a maior parte da população e a partir disso possuem alta impermeabilidade das suas superfícies em decorrência do processo desordenado de urbanização e do intenso adensamento, relacionando-se algumas vezes aos projetos de macrodrenagem, os quais atraíram o interesse imobiliário, sendo que as áreas alagáveis foram espaços deixados para a população de baixa renda (CRUZ, 2018; COSTA et al., 2021).

Já as BH de Val de Cans, Mata Fome e Cajé possuem uma grande extensão de aglomerados subnormais ao redor dos rios e igarapés e se assemelham às bacias da porção norte (Outeiro, Anani e Paracuri), as quais são comprometidas por indústrias, estaleiros e transportadoras, apesar de ainda apresentar boa parte da cobertura vegetal (CRUZ, 2018).

2.5.1 Bacia Hidrográfica do Tucunduba

A bacia hidrográfica (BH) do Tucunduba está situada em uma área total de 9,42 km², aproximadamente 55% abaixo da cota topográfica de 4 m, ou seja, grande parte de área alagável. Possui catorze cursos d'água, num total de 13.985 km de canais drenando a bacia, sendo que o principal curso hídrico da bacia é o igarapé Tucunduba. Compreende parcialmente os bairros do Guamá, São Brás, Marco, Curió-Utinga e Universitário, e integralmente os bairros de Canudos e Terra Firme (COSTA et al., 2021). O igarapé do Tucunduba tem sua nascente na travessa Angustura, entre as avenidas Almirante Barroso e João Paulo II, no bairro do marco. E o exutório está localizado na margem direita do rio Guamá, mais especificamente, na Universidade Federal do Pará (SILVA, 2015).

Cristo e Luz (2014) e Silva Junior e Silva (2020) afirmam que no decorrer da BH nota-se o crescimento desordenado da cidade em relação ao conjunto com a geomorfologia local, a cobertura vegetal, os tipos de edificações, os problemas socioambientais, o uso indevido do solo, os riscos e a desigualdade social marcam a paisagem do Tucunduba. A Tabela 2 apresenta locais e o risco de inundação presentes nesta BH.

Tabela 2: Relação das regiões da BH do Tucunduba com risco alto e muito alto de inundações

Local	Tipologia	Grau de risco
Canal do Tucunduba, Bairro do Guamá	Inundação	Muito alto
Passagem e canal do Caraparú, Bairro do Guamá	Inundação	Muito alto
Bairros: Terra Firme e Universitário - Igarapé Lago Verde, R. Belo Horizonte e Paz	Inundação	Muito alto
Bairros: Terra Firme e Universitário - Rua José Priante, Igarapé Tucunduba	Inundação	Muito alto
Bairro: Marco - Canais da Angustura e José Leal Martins	Inundação	Alto

Fonte: CPRM, 2021.

2.5.2 Bacia Hidrográfica do Tamandaré

A bacia hidrográfica do Tamandaré possui uma área de 0,55 km², sendo a terceira menor BH da cidade, com 30% de área alagável e o canal da Tamandaré é o principal corpo receptor, de forma retangular e comprimento de aproximadamente 1,15 km o qual tem seu exutório na baía do Guajará. Esta BH é composta por zonas residenciais e comerciais, uma vez que compreende parte dos bairros da Cidade Velha, Campina e Batista Campos (PANTOJA et al., 2014; RIBEIRO et al., 2015; NYLANDER et al., 2017).

A BH do Tamandaré é constituída por um canal artificial de forma irregular e completamente revestido e sua marginal, a avenida Almirante Tamandaré, é totalmente pavimentada com livre circulação de veículos, sendo que à montante

se encontra a área comercial e à jusante, a área residencial, predominância de 94,57% de área urbanizada (PANTOJA et al., 2014; SILVA e SILVA, 2015).

A urbanização da cidade se iniciou nas regiões com cotas altimétricas mais elevadas dessa BH e a parcela mais baixa dessa bacia era formada pela área inundável conhecido com alagado do Piri (canal da Tamandaré) (BRITO, 2007). Desde a fundação no século XVII, as áreas próximas do canal da Tamandaré já sofriam com a influência da maré. A partir do século XIX desenvolveram-se projetos de terraplanagem e drenagem, com o aterramento de áreas mais baixas e a canalização de parte do curso de água, isso propiciou a ampliação de áreas disponíveis para serem habitadas próximas ao canal (ARAÚJO JUNIOR, 2014). A Tabela 3 apresenta locais e o risco de inundação presentes nesta BH.

Tabela 3: Relação das regiões da BH da Tamandaré com risco muito alto de inundações

Local	Tipologia	Grau de risco
Bairro: Campina - Boulevard Castilhos França e Av. Portugal	Inundação	Muito alto

Fonte: CPRM, 2021.

2.5.3 Bacia Hidrográfica da Estrada Nova

A bacia hidrográfica da Estrada Nova (BHEN) abrange 8 bairros em Belém (parcialmente os bairros do Guamá, Nazaré, Batista Campos, São Brás e Cidade Velha e integralmente os bairros do Jurunas, Condor e Cremação) com uma extensão territorial de 9,54 km², sendo que 72,7% em área alagável. Possui doze canais, totalizando 13.556 m de extensão. O processo de ocupação se efetuou de forma desordenada, caracterizado por casas construídas nas margens de igarapés sem tratamento de esgoto, lava jatos, vários postos de gasolina, escolas hospitais, cemitérios e feiras (BERINO, 2013). A BHEN drena a área mais populosa da cidade de Belém e está limitada ao sul pelo rio Guamá e a oeste pela baía do Guajará. Devido especificamente a essa aproximação com a baía do Guajará, a BHEN sofre muitas consequências do efeito de maré (LEÃO, 2013). A Tabela 4 apresenta locais e o risco de inundação presentes nesta BH.

Tabela 4: Relação das regiões de Belém/PA com risco muito alto para inundações na BH da Estrada Nova

Local	Tipologia	Grau de risco
Bairro: Guamá, Av. Fernando Guilhon, Pass. Joaquim Veloso e R. Silva Castro	Inundação	Muito alto
Bairro: Cidade Velha, Vila Martins e Vila Rio	Inundação	Muito alto
Bairros: Jurunas e Cidade Velha, R.Cesário Alvim, Osvaldo de C. Brito e P. Marcílio Dias	Inundação	Muito alto
Bairro: Jurunas, Vila Santos, Vila Valério e Vila Passarinho.	Inundação	Muito alto
Bairro: Jurunas, Ruas Osvaldo de Caldas Brito, dos Tamoios, Mundurucus e Pariquis.	Inundação	Muito alto
Bairro: Jurunas, Rua dos Caripunas e Vila Caroço.	Inundação	Muito alto
Bairro: Jurunas, Rua dos Caripunas, Timbiras e Fernando Guilhon.	Inundação	Muito alto
Bairros: Batista Campos e Cremação, R. dos Pariquis e Padre Eutíquio - Área Ilha Bela.	Inundação	Muito alto
Bairro: Jurunas, Passagens Camapu, Helena Dias e Limoeiro	Inundação	Muito alto
Bairro: Guamá, Passagem Maciel e Av. José Bonifácio	Inundação	Muito alto
Bairro: Cremação, Travessa 14 de março, Rua dos Caripunas e Av. Generalíssimo Deodoro	Inundação	Muito alto

Fonte: CPRM, 2021.

2.5.4 Bacia Hidrográfica do Una

A BH do igarapé do Una possui uma área de 4.401 hectares e se estende desde a baía do Guajará até as áreas de ocupação mais atuais, rodovia BR-316

e rodovia Augusto Montenegro, é a maior bacia urbana de Belém-PA e sua área corresponde a 60% da área urbana da cidade. Compreende 20 bairros residenciais, sendo que quatro de forma parcial (Marco, Nazaré, São Brás e Umarizal) e dezesseis de forma integral (Benguí, Barreiro, Cabanagem, Castanheira, Fátima, Mangueirão, Maracangalha, Marambaia, Miramar, Parque Verde, Pedreira, Sacramento, Souza, Telégrafo, Una e Val de Cans (RIBEIRO et al., 2015; VINAGRE et al., 2017). A Tabela 5 apresenta locais e o risco de inundação presentes nesta BH.

Tabela 5: Relação das regiões de Belém/PA com risco alto e muito alto para inundações na BH do Una

Local	Tipologia	Grau de risco
Bairros: Pedreira, Umarizal e Fátima - Canais do Galo, 3 de maio e da Antônio Baena	Inundação	Muito alto
Bairros: Pedreira e Telégrafo - Canal do Galo, Travessas Timbó e Estrela	Inundação	Muito alto
Bairro: Pedreira - Canal da Pirajá, Rua Nova e Av. Pedro Miranda	Inundação	Muito alto
Bairro: Marco - Canal da Visconde de InhaÚma	Inundação	Muito alto
Bairro: Sacramento - Canal São Joaquim e Malvinas, R. Cláudio Bordalo e Ozimar Silva.	Inundação	Muito alto
Bairro: Sacramento - Canal São Joaquim, Pass. Santo Antônio e Bandeirante	Inundação	Muito alto
Bairro: Barreiro - Canal São Joaquim, Travessa Alferes Costa	Inundação	Alto
Bairro: Sacramento - Canal São Joaquim, Comunidade Nova Aliança	Inundação	Muito alto
Bairros: Benguí, Parque Verde e Mangueirão, Av. Mangueirão e R. São Bento	Inundação	Muito alto

Fonte: CPRM, 2021.

2.5.5 Bacia Hidrográfica do Reduto

A bacia hidrográfica do Reduto possui uma área de 0,96 km², sendo que cerca de 15% é área alagável, e o canal da Visconde de Souza Franco com 1250 m de extensão é o principal corpo receptor. Abrange parte dos bairros Umarizal, Nazaré, Campina, Batista Campos e totalmente o bairro do Reduto (SIQUEIRA e APRILE, 2013). A Tabela 6 apresenta locais e o risco de inundação presentes nesta BH.

Tabela 6: Relação das regiões de Belém/PA com risco muito alto para inundações na BH do Reduto

Local	Tipologia	Grau de risco
Bairros: Umarizal e Reduto - Av. e Canal da Doca de Souza Franco	Inundação	Muito alto
Bairro: Umarizal - Comunidade Vila São Pedro	Inundação	Muito alto
Bairro: Telegráfo - Comunidade Beira-Mar, Pass. São Pedro.	Inundação	Muito alto
Bairro: Telegráfo - Comunidade Vila da Barca, Pass. Cametá	Inundação	Muito alto
Bairro: Telegráfo - Comunidade Vila da Barca, Pass. Praiana	Inundação	Muito alto

Fonte: CPRM, 2021.

2.5.6 Bacia Hidrográfica do Mata Fome

A bacia hidrográfica urbana do Mata Fome engloba os bairros do Tapanã, Pratinha, Parque Verde, São Clemente e Val de Cans, compreendendo aproximadamente 6,6 km² e engloba cinco canais fluviais. O canal principal possui o mesmo nome da bacia, canal do Mata Fome, e tem sua nascente próxima a avenida Augusto Montenegro e suas águas correm em sentido Leste-Oeste, em direção à baía do Guajará (SILVA e RODRIGUES, 2019).

Mendes (2014) e Souza (2016) enfatizam que a BH do Mata Fome está localizada na atual área de expansão da cidade de Belém e o início da sua ocupação foi aproximadamente em 1980 resultante de ações do governo federal

e outros órgãos administrativos e visavam a utilização da área da bacia para a construção de conjuntos habitacionais. Adquiriu esse nome em decorrência da época de sua ocupação, cujas águas serviam de fonte de alimento para os moradores (SILVA e LUZ, 2016). A Tabela 7 apresenta locais e o risco de inundação presentes nesta BH.

Tabela 7: Relação das regiões de Belém/PA com risco muito alto para inundações na BH do Mata Fome

Local	Tipologia	Grau de risco
Bairros: Tapanã e Parque Guajará, Pass. Fio, Carmem e Rod. do Tapanã	Inundação	Muito alto

Fonte: CPRM, 2021.

2.5.7 Bacia Hidrográfica do Paracuri

A bacia hidrográfica do Paracuri corresponde a uma área de 14,60 km², predominantemente residencial, com áreas de uso industrial, comércio e serviços. Os bairros incluídos por essa BH são Parque Guajará, Agulha, Paracuri e parcialmente os bairros Parque Verde, Tapanã e Ponta Grossa (SIQUEIRA e APRILE, 2013). O solo é predominantemente argiloso e plíntico dificultando a infiltração da água e a drenagem, essas características inspiram a constante presença de áreas pantanosas e alagáveis. A rede de drenagem escoar em direção à baía do Guajará por dois rios, o rio Paracuri e o rio Livramento (ARAÚJO et al., 2020). A Tabela 8 apresenta locais e o risco de inundação presentes nesta BH.

Tabela 8: Relação das regiões de Belém/PA com risco alto e/ou muito alto para inundações na BH do Paracuri

Local	Tipologia	Grau de risco
Rio Paracuri, Icoaraci	Inundação	Muito alto
Distrito de Icoaraci, Bairros: Agulha, Ponta Grossa, Paracuri e Comun. Baixada Fluminense	Inundação	Muito alto
Distrito de Icoaraci, Bairro: Paracuri, Área	Inundação	Muito alto

da Fazendinha, Ruas Cumaú, Uxi e Opala.		
Distrito de Icoaraci, Bairro: Paracuri (III), Rodovia Artur Bernardes e Rua Guará.	Inundação	Muito alto
Distrito de Icoaraci, Bairro: Cruzeiro, Rua Pimenta Bueno.	Inundação	Alto
Distrito de Icoaraci, Bairro: Cruzeiro, Rua Pimenta Bueno	Inundação	Muito alto
Distrito de Icoaraci, Bairros: Paracuri e Parque Guajará, Rua Oito de Maio	Inundação	Muito alto
Distrito de Icoaraci, Bairro: Parque Guajará, Com. Buraco Fundo e Vila Riso.	Inundação	Muito alto
Distrito de Icoaraci, Bairro: Parque Guajará, Área Café Liberal, Polimix e Conj.Tocantins	Inundação	Muito alto
Distrito de Icoaraci, Bairro: Parque Guajará, Conjunto 26 de Outubro - Rua João Canuto.	Inundação	Muito alto
Distrito de Icoaraci, Bairro: Parque Guajará, Área da Piçarreira	Inundação	Muito alto
Distrito de Icoaraci, Bairros: Parque Guajará e Tapanã, Área do Canarinho, Rua da Mata.	Inundação	Muito alto
Distrito de Icoaraci, Bairro: Campina de Icoaraci, Al. Castelo Branco	Inundação	Muito alto
Distrito de Icoaraci, Bairro: Campina de Icoaraci, Pass. do Mangue	Inundação	Muito alto
Distrito de Icoaraci, Bairros: Campina de Icoaraci e Maracacuera Pass. Ameixeira	Inundação	Muito alto

Distrito de Icoaraci, Bairro: Campina de Icoaraci, Pass. Maguari	Inundação	Muito alto
Distrito de Icoaraci, Bairro: Campina de Icoaraci, Comunidade Itália	Inundação	Muito alto

Fonte: CPRM, 2021.

2.5.8 Bacia Hidrográfica de Val de Cans

A bacia hidrográfica de Val de Cans apresenta uma área total de 2,48 km², com cerca de 10% de área alagável. Compreende parte dos bairros da Pratinha, Benguí, Val de Cans, Miramar, Parque Verde, São Clemente e Maracangalha (RIBEIRO et al., 2015). A Tabela 9 apresenta locais e o risco de inundação presentes nesta BH.

Tabela 9: Relação das regiões de Belém/PA com risco muito alto para inundações na BH de Val de Cans

Local	Tipologia	Grau de risco
Bairro: Maracangalha, Conjunto Promorar Av. Norte	Inundação	Muito alto
Bairro: Maracangalha, Conjunto Promorar Av. Leste, Ruas 14 e 22	Inundação	Muito alto
Bairros: Maracangalha e Barreiro Conj. CDP 2, Ruas Sol nasce para todos e São Sebastião	Inundação	Muito alto
Bairros: São Clemente, Benguí e Parque Verde - Igarapé Val-de-Cães, Pass. Santo Antônio	Inundação	Muito alto

Fonte: CPRM, 2021.

2.5.9 Bacia Hidrográfica do Ariri

A bacia hidrográfica do Ariri possui uma área correspondente a aproximadamente 31,68 km² e o principal corpo receptor é o rio Maguari. Compreende os bairros do Coqueiro e Una e parte dos bairros do Tenoné, Cabanagem e Parque Verde (RIBEIRO et al., 2015). A Tabela 10 apresenta locais e o risco de inundação presentes nesta BH.

Tabela 10: Relação das regiões de Belém/PA com risco muito alto para inundações na BH do Ariri

Local	Tipologia	Grau de risco
Bairros: Tenoné e Coqueiro, Pass. El Salvador e Quinta linha	Inundação	Muito alto
Bairros: Cabanagem, Parque Verde e Coqueiro, R. do Fio, Est. do Benjamim	Inundação	Muito alto
Bairros: Cabanagem e Coqueiro, Av. Brasil	Inundação	Muito alto

Fonte: CPRM, 2021.

2.5.10 Bacia Hidrográfica do Murutucum

A bacia hidrográfica do Murutucum drena área de 13,10 km², com 13% de área alagável e 2.020 m de canais. A BH compreende parte dos bairros Universitário, Marco, Souza, Castanheira, Guanabara, Curió-Utinga e integralmente o bairro de Águas Lindas (RIBEIRO et al., 2015). A Tabela 11 apresenta locais e o risco de inundação presentes nesta BH.

Tabela 11: Relação das regiões de Belém/PA com risco muito alto para inundações na BH do Murutucum

Local	Tipologia	Grau de risco
Bairro: Curió Utinga - Canal do Mártir, Pass. Fé em Deus, Alberto Engelhardt, Elvira	Inundação	Muito alto

Fonte: CPRM, 2021.

2.5.11 Bacia Hidrográfica do Outeiro

A área compreendida pela bacia hidrográfica do Outeiro é de 5,10 km², e o principal corpo receptor é o igarapé do Outeiro. Engloba parte do bairro do Maracacuera (RIBEIRO et al., 2015). A Tabela 12 apresenta locais e o risco de inundação presentes nesta BH.

Tabela 12: Relação das regiões de Belém/PA com risco muito alto para inundações na BH do Outeiro

Local	Tipologia	Grau de risco
Distrito de Icoaraci, Bairro: Maracacuera, Comunidade Recanto Verde	Inundação	Muito alto

Fonte: CPRM, 2021.

2.5.12 Bacia Hidrográfica do Anani

A bacia hidrográfica do Anani possui área de aproximadamente 8,80 km², sendo o igarapé Anani, o principal corpo receptor. Compreende parcialmente os bairros de Águas Negras e Tenoné (SIQUEIRA e APRILE, 2013).

2.5.13 Bacia Hidrográfica do Aurá

A bacia do rio Aurá é a terceira maior em extensão da região metropolitana de Belém exercendo forte influência sobre os mananciais de captação de água para abastecimento público da cidade de Belém-PA (SIQUEIRA e APRILE, 2013).

2.5.14 Bacia Hidrográfica do Cajé

A bacia hidrográfica do Cajé corresponde a uma área de 5,82 km² com cerca 10% de área alagável. A BH abrange parte dos bairros da Pratinha, Tapanã, Parque Verde e São Clemente (RIBEIRO et al., 2015).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo compreende a cidade de Belém-PA (Figura 8), formada por 8 distritos e 71 bairros (CODEM, 2022), localizada ao nordeste do Estado do Pará, em uma área territorial que corresponde a 1059,466 km², em que 34,6% correspondem à porção continental e 65,4% à porção insular composta por 39 ilhas. Belém está situada na zona equatorial, às margens da baía do Guajará e rio Guamá (IBGE, 2022). Segundo Pegado et al. (2014), pertence à Bacia Amazônica e sofre a influência de 14 bacias hidrográficas existentes na cidade.

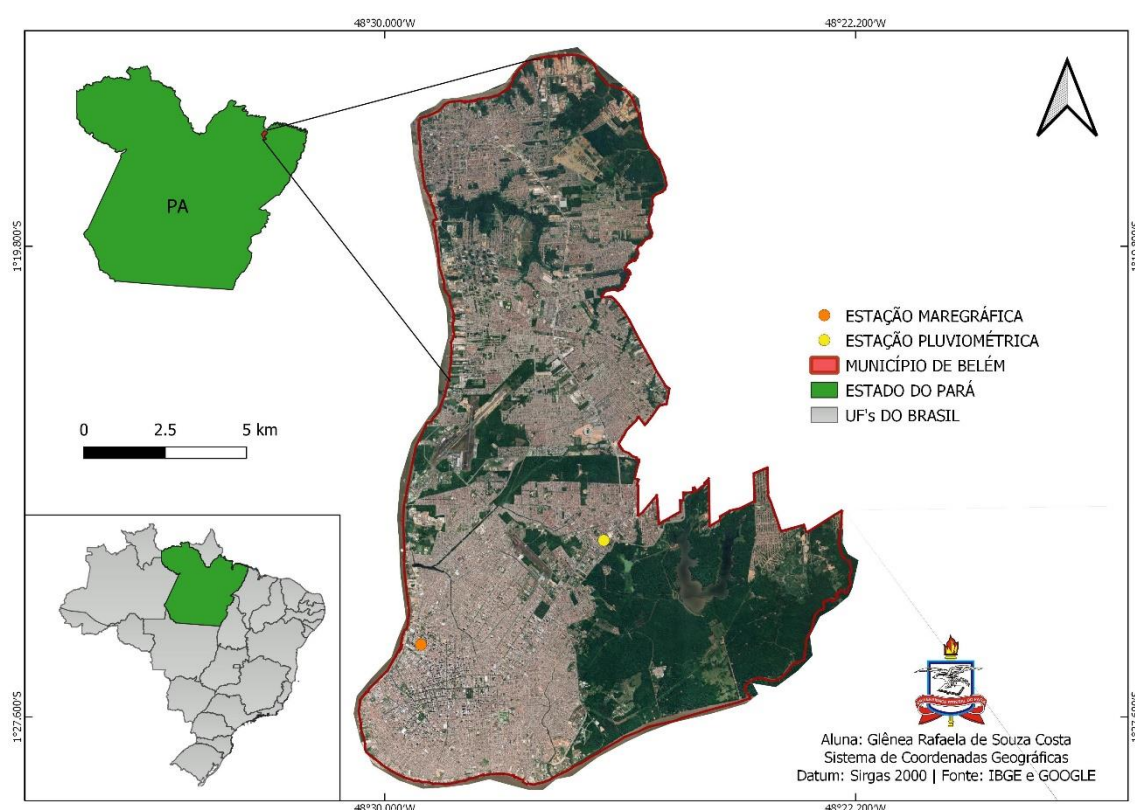


Figura 8: Mapa de localização da área de estudo, das estações maregráfica e pluviométrica e pontos de alagamentos baseados em CPRM, 2021.

O clima da cidade é do tipo tropical úmido, tipologia climática Af (segundo a classificação de Köppen), sendo um clima equatorial chuvoso ou de floresta equatorial, caracterizado por sua grande precipitação anual acumulada (DIAS et al., 2020). Quanto a hidrografia, é cercada por corpos hídricos, destacando-se o rio Guamá que desagua na baía do Guajará, interligando a sub-bacia Guamá-Moju e o estuário do rio Pará (SANTOS et al., 2012). A maré na cidade de Belém

é semidiurna, caracterizada por duas marés altas e duas marés baixas durante 24 horas.

3.2 DADOS UTILIZADOS

Para a realização do estudo, foram selecionadas duas estações: uma maregráfica e outra pluviométrica (Figura 8). A série dos dados pluviométricos horários (em milímetros) utilizados neste estudo são provenientes do banco de dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). O período da série histórica é de 19 anos (2003 a 2021), critério de escolha devido a maior quantidade de dados disponíveis, referente à estação automática Belém de código A201 (Tabela 3). As observações registradas na estação originaram um grande banco de dados composto por mais de 160.000 leituras de precipitação pluviométrica.

Tabela 13: Dados da Estação Meteorológica Automática da cidade

Nome	Belém
UF	PA
Situação	Operante
Latitude	-1,411228
Longitude	-48,439512
Altitude	21,17
Data de Instalação	19/01/2003
Código	A201

Fonte: INMET, 2021.

Os dados das alturas de maré em milímetros, também horários, são provenientes do Banco Nacional de Dados Oceanográficos (BNDO), da Diretoria de hidrografia e Navegação (DHN, 2021) da Marinha do Brasil. A estação maregráfica é denominada Porto de Belém com latitude 1° 26' 24" S e longitude 48° 29' 24" W (<https://www.marinha.mil.br/chm/estacoes-maregraficas>).

3.3 VALOR MÍNIMO DA LÂMINA D'ÁGUA DE INUNDAÇÃO

Os dados de precipitação e de altura de maré do período de 2003 a 2021 foram somados e a lâmina de água resultante foi utilizada para determinação da lâmina mínima que causa inundação. A definição da lâmina total mínima que provoca inundação, considerou o efeito combinado de lâmina d'água (chuva + altura de maré) em dois casos, inundação pela intensidade e duração da chuva.

Os dados foram organizados e analisados em planilhas eletrônicas. Para a determinação da lâmina mínima em relação à intensidade, utilizou-se a função SE combinada com a função E. A função SE (Equação 1) permite fazer comparações lógicas entre um valor e aquilo que se espera (MALHEIROS e PANOSSO, 2019). Sendo assim, a função SE pode ter dois resultados. O primeiro resultado se refere a comparação ser verdadeira e o segundo resultado, a comparação ser falsa.

$$SE = (\text{teste} - \text{lógico}; \text{valor} - \text{se} - \text{verdadeiro}; \text{valor} - \text{se} - \text{falso}) \quad (1)$$

Sendo:

Teste-lógico: condição a ser testada;

Valor – se – verdadeiro: se a condição for verdadeira, o valor verdadeiro é mostrado;

Valor – se – falso: se a condição for falsa, o valor falso é mostrado.

A função E (Equação 2) determina se uma ou mais condições são verdadeiras ao mesmo tempo. Logo retornará verdadeiro se todas as condições forem verdadeiras e retornará falso, caso pelo menos uma condição seja falsa.

$$E = (\text{lógico 1}; \text{lógico 2}) \quad (2)$$

Sendo:

Lógico: condições que se desejam testar e avaliar como verdadeiras ou falsas.

Portanto, ao utilizar a função SE combinada com a função E, elaborou-se a Equação 3. O resultado da aplicação da Equação 3 é verdadeiro se a condição 1 e a condição 2 forem verdadeiras; e falso, caso contrário.

$$SE = (E(\text{condição 1}; \text{condição 2};); \text{valor} - \text{se} - \text{verdadeiro}; \text{valor} - \text{se} - \text{falso}) \quad (3)$$

As planilhas fornecem informações referentes às alturas de marés e precipitações horárias, além da somatória dos dois parâmetros. A classificação da intensidade da chuva adotada no estudo foi de Lima et al. (2012), os quais basearam-se na Organização Meteorológica Mundial considerando as seguintes classes de intensidade identificadas na Tabela 14.

Tabela 14: Classificação da intensidade de chuva

Tipologia da chuva	Intensidade
Chuva fraca	1,1 mm/h até 5 mm/h
Chuva moderada	5,1 mm/h até 25 mm/h
Chuva forte	25,1 mm/h até 50 mm/h
Chuva muito forte	Acima de 50,1 mm/h

Fonte: Lima et al., 2012.

Já para a determinação do valor mínimo da lâmina para inundar regiões da cidade em relação à duração da chuva, registrou-se os valores de precipitação durante duas horas e depois se converteu em intensidades de chuva com no mínimo 28 mm de intensidade (CHOO et al., 2019). A comprovação desses eventos de inundação pela intensidade e duração da chuva foi feita por meio de avaliação dos dados de altura de maré e/ou precipitação, que ultrapassem os valores mínimos determinados via Equação 3 e em notícias de jornais locais e registros fotográficos que descrevam e mostrem a inundação.

3.4. INUNDAÇÃO CAUSADA PELA ALTURA DE MARÉ EM BELÉM/PA

Segundo et al. (2020) afirmam que independentemente de chuvas, se ocorrer altura de maré maior ou igual a 3500 mm, há inundação em locais que a cota altimétrica seja inferior a 3500 mm. Assim, adotou-se a altura de maré no valor de 3400 mm, visando aumentar o domínio de observação do presente estudo, para inundações sem chuvas na cidade de Belém-PA para localidades que possuam cotas altimétricas inferiores a 3400 mm (Equação 4).

$$SE = (\text{altura de maré} \geq 3400; \text{verdadeiro; falso}) \quad (4)$$

3.5 PROBABILIDADE DIÁRIA DE INUNDAÇÃO EM BELÉM DO PARÁ

A proposta metodológica para estimar a probabilidade diária de inundação é embasada no estudo da probabilidade a priori (Ayres, 2012), uma vez que é deduzida pela razão, antes de ser efetuado qualquer experimento (Equação 5).

$$p(A) = \frac{\text{número de eventos classificados como A}}{\text{número de eventos possíveis}} \quad (5)$$

Sendo:

P(A): representa a probabilidade da ocorrência de A, que no caso aqui apresentado, A seria a ocorrência de inundações.

Na Figura 9 observa-se o esquema das etapas metodológicas para a realização do estudo.

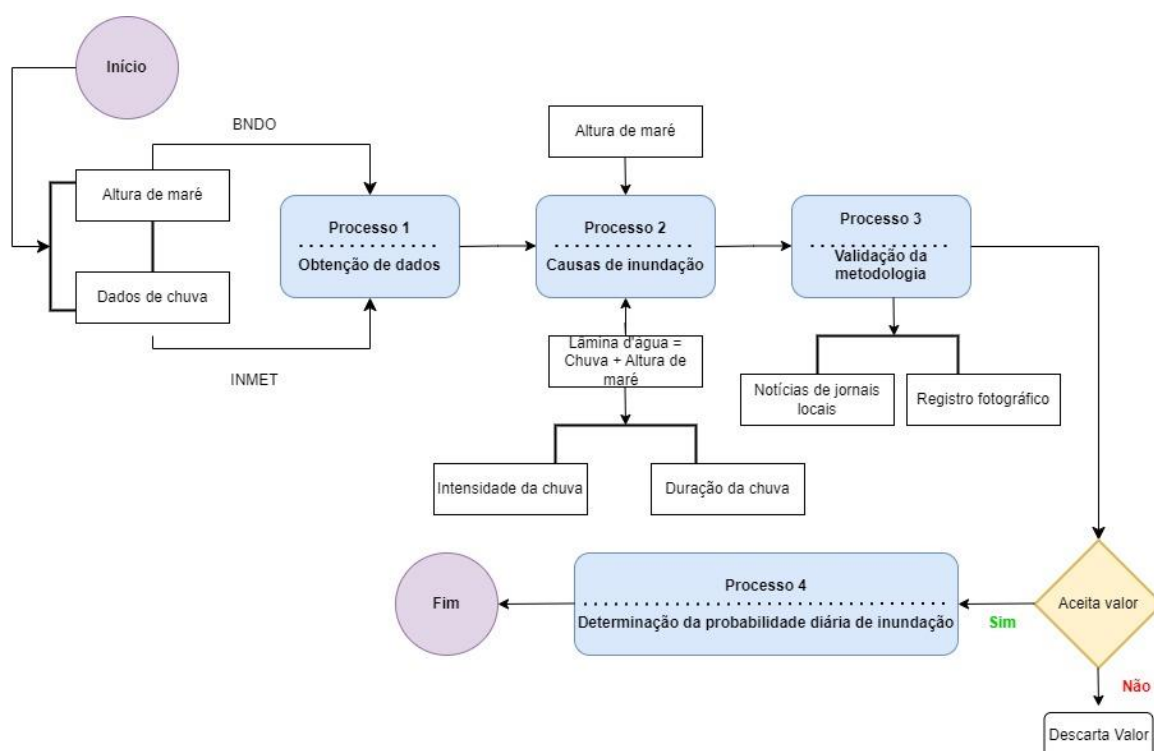


Figura 9: Esquema das etapas metodológicas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 CHUVA E MARÉ CAUSANDO INUNDAÇÃO

4.1.1 Valor mínimo de lâmina de chuva + altura de maré

a) Pela intensidade da chuva

Em relação à intensidade da chuva, foram determinados valores mínimos da lâmina d'água (chuva + altura de maré) baseado em Moreira et al. (2019), que afirmam que chuvas superiores a 10 mm/h coincidindo com maré alta ou chuvas de 35mm/h com maré baixa causam prejuízos a cidade. E, também, Campos et al. (2015), que afirmam que uma chuva de 20 mm/h já inunda a cidade. Assim, foram estabelecidas 3 condições de inundação: altura de maré baixa (menor que 1200 mm) com precipitação a partir de 30 mm/h; altura de maré intermediária (maior ou igual a 1200 mm e menor que 3000 mm), com precipitação a partir de 20 mm/h; e maré alta (maior ou igual a 3000 mm), com valor de precipitação a partir 10 mm/h. Portanto, ao substituir esses valores na Equação 3, obtiveram-se as seguintes condições:

$$SE = (E(\text{altura de maré} \leq 1200, \text{precipitação} \geq 30), \text{verdadeiro, falso})$$

$$SE = (E(\text{altura de maré} > 1200, \text{precipitação} \geq 20), \text{verdadeiro, falso})$$

$$SE = (E(\text{altura de maré} \geq 3000, \text{precipitação} \geq 10), \text{verdadeiro, falso})$$

O valor mínimo da lâmina d'água (chuva + altura de maré) é de 640,4 mm para certa região da cidade inundar, desde que a precipitação seja a partir de 30 mm/h e a maré de 610,4 mm. Valor próximo foi encontrado por Moreira et al. (2019). Nesse caso, para um evento conjugado de maré baixa, mas com precipitação a partir de 35 mm/h, certas regiões de Belém inundam.

Na Figura 10 é mostrado um episódio de inundação na rua dos Mundurucus com a avenida Alcindo Cacela devido à intensidade da chuva de 30,6 mm/h que ocorreu no dia 04/08/2015. Esse tipo de inundação é agravado pelas mudanças no uso e ocupação da terra, as quais causam modificações hidrológicas diversas, como por exemplo, a impermeabilização do solo, que

diminui a taxa de infiltração, aumentando o escoamento superficial (PEIXOTO et al., 2016).



Figura 10: Inundação devido à intensidade da chuva em Belém no dia 04/08/2015 (rua dos Mundurucus com a avenida Alcindo Cacela)

Fonte: GLOBOPLAY, 2015.

Na Figura 11 é representado, graficamente, o evento conjugado de precipitação intensa e altura de maré que ocorreu no dia 04/08/2015 (Figura 10). No horário de 19:00, a precipitação inicia-se levemente, no entanto, às 20:00, a precipitação intensificou-se com 30,4 mm/h e uma altura de maré de 580 mm, que mesmo sendo maré vazante desde as 15:00, proporcionou um efeito combinado suficiente para o registro de pontos de inundações em regiões da cidade.

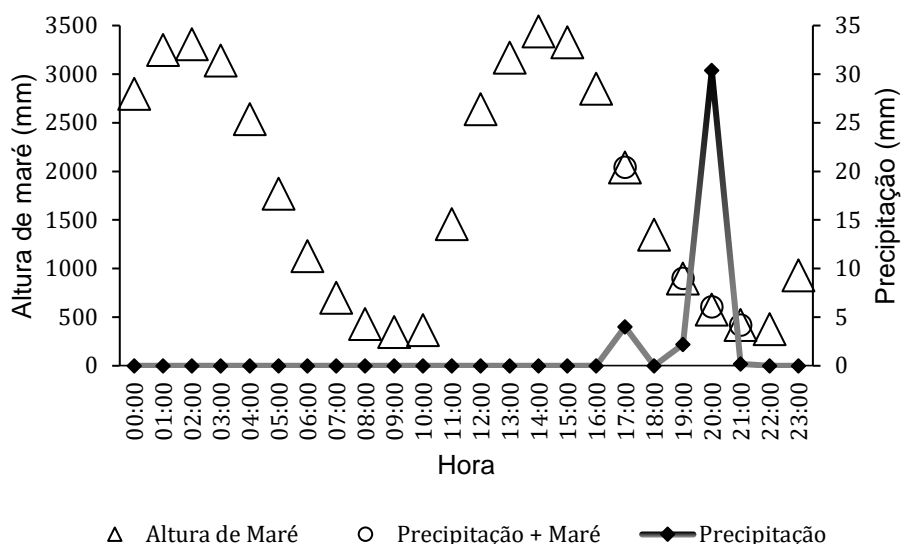


Figura 11: Efeito combinado de chuva + altura de maré relacionado à intensidade da precipitação em 04/08/2015

De acordo com Pegado et al. (2012), a precipitação do tipo convectiva com valores acima de 35 mm e em tempos curtos, mesmo sem a influência dos níveis elevados de maré, são suficientes para gerar prejuízos na cidade como inundações. Mas, observando-se a Figura 10, percebe-se que até com 30 mm/h, os prejuízos já ocorrem, isso enfatiza que o sistema de drenagem pluvial é insuficiente para receber a precipitação local.

Na Figura 12 é mostrada a inundação na travessa Nove de Janeiro próximo à rua dos Pariquis com intensidade de 19,8 mm/h, enfatizando o que Campos et al. (2015) afirmam, ou seja, que valores de precipitação a partir de 20 mm/h já causam inundações em Belém-PA. A seguinte notícia do G1 PA “chuva forte deixa diversos pontos de alagamento em Belém” valida a inundação no dia 07/03/2017.



Figura 12: Inundação pela intensidade da chuva no dia 07/03/2017 (travessa Nove de Janeiro próximo à rua dos Pariquis)

Fonte: G1 PARÁ, 2017.

Na Figura 13 é mostrado o comportamento da maré no início da precipitação às 14:00. Nesse momento, a maré estava subindo gradativamente e isso intensificou os impactos provocados pelas chuvas uma vez que ocorreu a invasão das águas fluviais nos sistemas de drenagem da cidade, impedindo o escoamento normal das águas pluviais como salientam Santana et al. (2018).

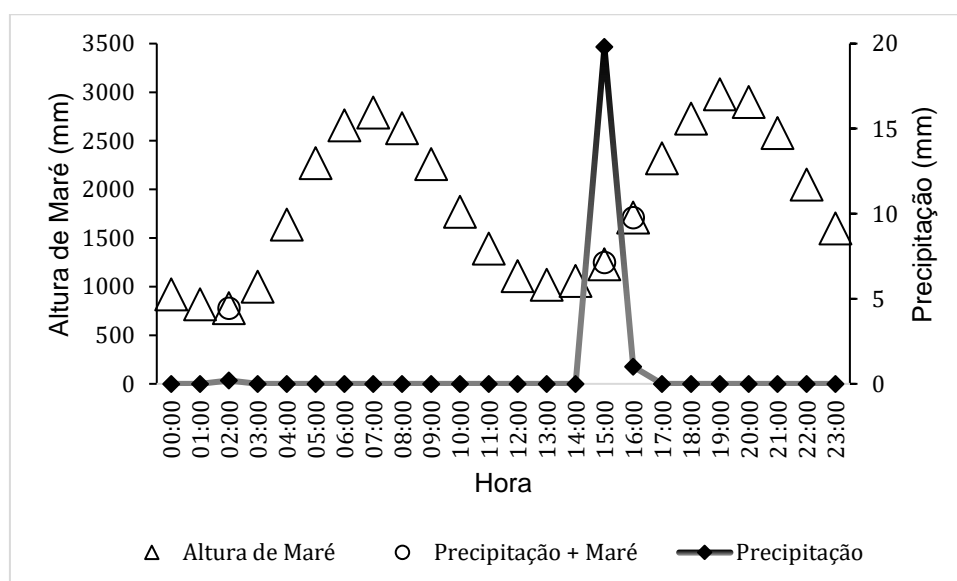


Figura 13: Comportamento da maré em relação à intensidade da chuva no dia 07/03/2017

Para uma maré considerada alta, a partir de 3000 mm, chuvas com intensidade a partir de 10 mm/h são suficientes para inundar regiões da cidade. Nesse caso, a Figura 14 apresenta a inundação que aconteceu na avenida Pedro Álvares Cabral próximo ao complexo viário no dia 31/12/2012 com a seguinte notícia “Chuva provoca alagamento na Avenida Pedro Álvares Cabral, em Belém”.



Figura 14: Inundação pela intensidade da chuva em Belém-PA no dia 31/12/2012 (avenida Pedro Álvares Cabral próximo ao complexo viário)

Fonte: SÓTER, 2012.

Na Figura 15 é representado, graficamente, o comportamento da maré no dia 31/12/2012 às 13:00 com uma altura de maré de 3040 mm e intensidade da chuva de 10 mm/h. Confirmando a análise de Moreira et al. (2019), na qual um evento conjugado de precipitação a partir de 10 mm/h com maré alta é suficiente para inundar certas áreas de Belém.

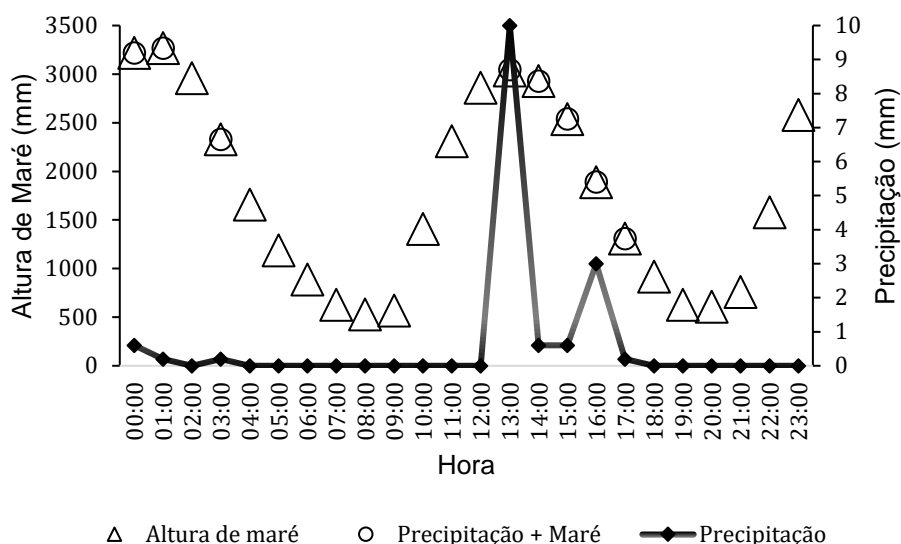


Figura 15: Comportamento da maré em relação à intensidade da chuva no dia 31/12/2012

b) Pela duração da chuva

Em relação à duração da chuva, o valor mínimo da lâmina d'água (chuva + altura de maré) é de 1398 mm para certas áreas da cidade inundarem, desde que a chuva dure pelo menos duas horas. A Figura 16 mostra a inundação na rua dos Pariquis com a passagem Euclides da Cunha em relação à duração da chuva de 2 horas como ressalta a notícia com o seguinte título: “Belém registrou vários pontos de alagamento com a chuva da tarde da última segunda, 20/02/2017”.



Figura 16: Inundação devido à duração da chuva no dia 20/02/2017 (rua dos Pariquis com a passagem Euclides da Cunha)

Fonte: GLOBOPLAY, 2017.

Na Figura 17 observa-se o comportamento da maré em relação à chuva do dia 20/02/2017. Às 12:00 ao se iniciar a precipitação, a maré estava subindo. À medida que a maré continuava a subir, a precipitação também aumentava a sua intensidade até atingir a máxima do dia de 20,4 mm/h. A precipitação total em duas horas foi de 28 mm, suficiente para inundar certas regiões da cidade.

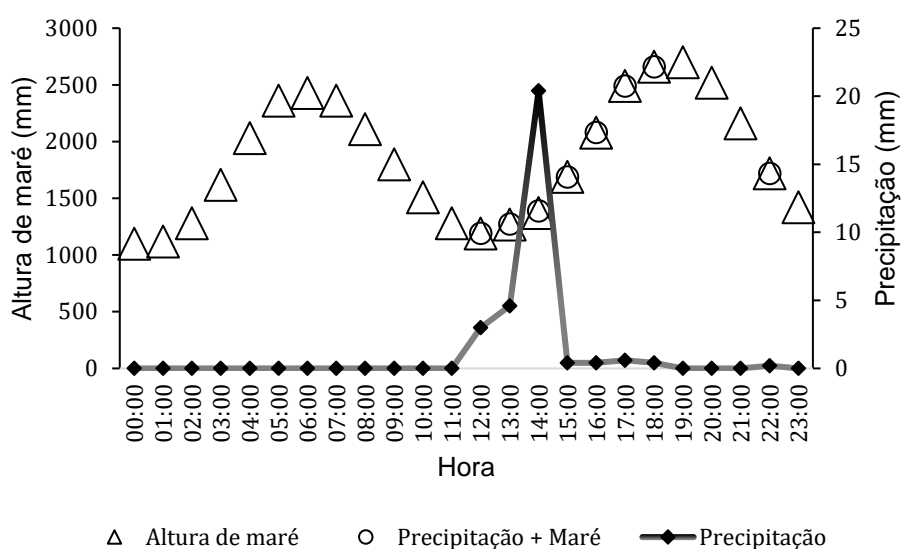


Figura 17: Comportamento da maré devido à duração da chuva na cidade de Belém-PA em 20/02/2017

4.2 PROBABILIDADE DIÁRIA DE INUNDAÇÃO EM BELÉM DO PARÁ

Visando prevenir situações de riscos e amenizar possíveis danos humanos e materiais, a probabilidade diária de inundação em Belém foi analisada a partir do evento conjugado chuva + altura de maré para o período de 2003 a 2021 (Figura 18).

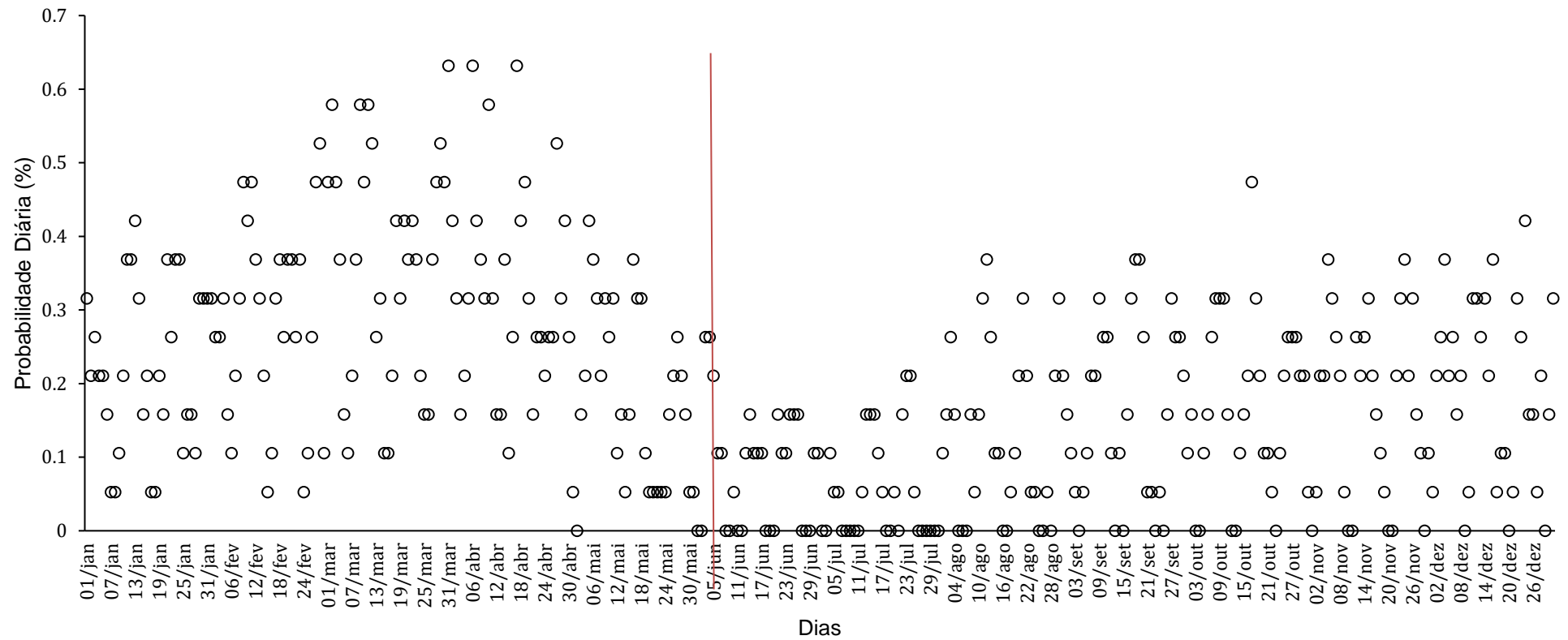


Figura 18: Probabilidade diária de inundação em Belém para o evento conjugado chuva + maré no período de 01/01/2003 a 31/12/2021

Analisando-se a Figura 18, a maior probabilidade de ocorrência de inundação é de 63,16% nos dias 31 de março, 06 e 17 de abril. Na Figura 19 as inundações, com maior probabilidade de acontecer, foram registradas em três locais da cidade de Belém pelos jornais locais: avenida Visconde de Souza Franco, travessa Quintino Bocaiúva com a avenida governador José Malcher e avenida Perimetral – UFPA portão 3.

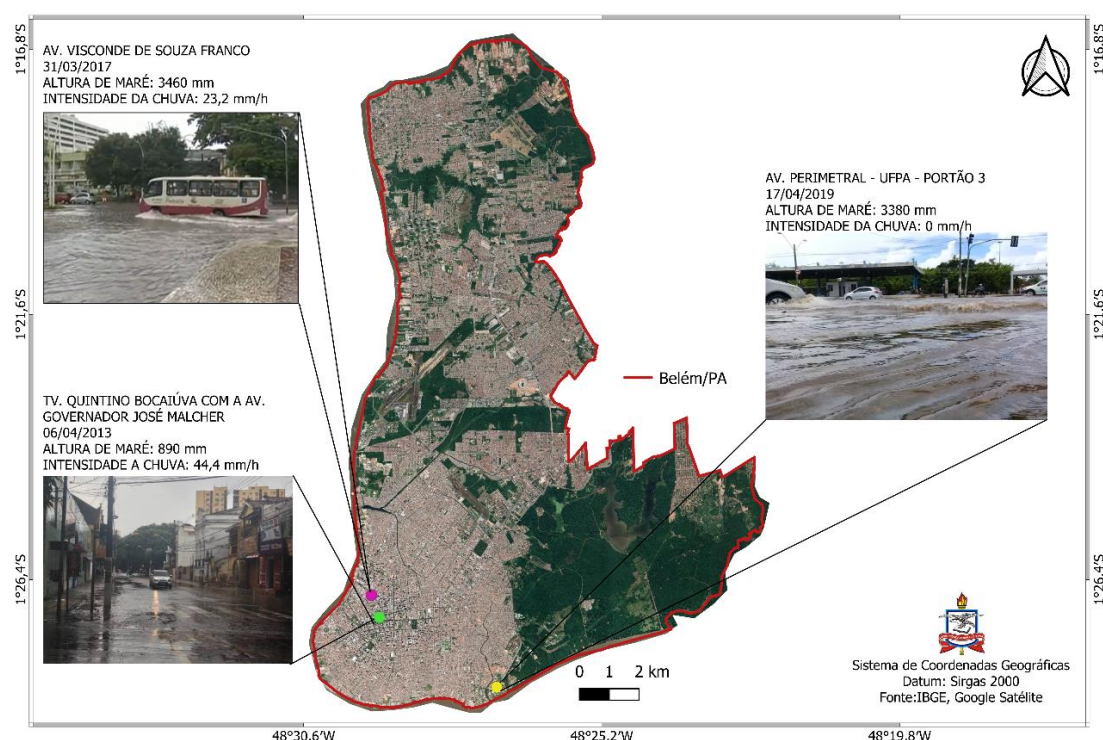


Figura 19: Visualização e localização geográfica de áreas de inundações nos dias com maiores probabilidades de ocorrência de inundação em Belém do Pará.

No dia 31/03/2017 (Figura 19), na avenida Visconde de Souza Franco, registrou-se uma inundação conjugada de chuva e maré, sendo que a altura da maré foi de 3460 mm e a intensidade da chuva foi de 23,2 mm/h. O mês de março em Belém-PA, além de ser um mês do período mais chuvoso, é também de marés de sizígia, nas quais as preamares são mais altas e as baixas mares são mais baixas. Assim, as inundações podem ser mais intensas quando ocorrem em condições de maré de sizígia (KLEIN et al., 2016; LEAL et al., 2018). Esteban et al. (2015) afirmam que a ação combinada das marés astronômicas em fase de sizígia e meteorológica pode causar inundação costeira. Já Vanz et al. (2021) enfatizam que marés altas anômalas e ressacas do mar provocam

inundação costeira e dano material, principalmente em locais considerados mais baixos.

No dia 06/04/2013 (Figura 19) foi registrada inundação na travessa Quintino Bocaiúva com a avenida governador José Malcher, uma vez que a intensidade da chuva foi 44,4 mm/h e altura de maré de 890 mm. E no dia 17/04/2019 (Figura 19), a inundação foi registrada principalmente em áreas com cotas altimétricas abaixo de 4 metros, como exemplo, a avenida Perimetral – UFPA portão 3, uma vez que não havia chuva no momento da inundação e a altura de maré era de 3380 mm. Pegado et al. (2012) e Soares e Carvalho (2018) afirmam que as áreas às margens do rio Guamá apresentam maiores possibilidades de sofrerem inundações, pois sofrem periodicamente a influência dos regimes de marés.

Tabela 15: Quantidade de dias com a probabilidade diária de inundação pelo efeito combinado chuva e maré.

Probabilidade	Quantidade de dias		Total de dias/ano	Exemplos de locais que inundam
	Período chuvoso	Período menos chuvoso		
0%	1	55	56	
<=10%	15	27	42	Av. Conselheiro Furtado com a Av. Roberto Camelier
>10% - <=20%	31	57	88	rua dos Mundurucus com a Av. Alcindo Cacela
>20% - <=30%	33	47	80	Tv. Nove de Janeiro próximo à rua dos Pariquis
>30% - <=40%	42	26	68	rua dos Pariquis com a pas. Euclides da Cunha; Av. Pedro Álvares Cabral próximo ao complexo viário
>40% - <=50%	17	2	19	rua dos Pariquis com a travessa Rui Barbosa
>50% - <=60%	8	0	8	Rua Municipalidade entre Tv. Rui Barbosa e Tv. Quintino Bocaiúva
> 60%	3	0	3	Av. Visconde de Souza Franco, TV. Quintino Bocaiúva com a Av. governador José Malcher Av. Perimetral – UFPA portão 3

Voltando a análise dos resultados de probabilidade para a ocorrência da inundação (Figura 18 e Tabela 15), pode-se analisar várias probabilidades de inundação na cidade de Belém-PA. Além dos três dias com maior probabilidade de inundação, outra percepção é que em apenas cinquenta e seis dias do ano, não há probabilidade de ocorrer inundação. E vale ressaltar que nesses dias, apenas um é no período mais chuvoso que seria o dia 02 de maio.

Há um total de quarenta e dois dias com probabilidade de inundação menor ou igual a 10%. Nesse caso, quinze dias foram no período mais chuvoso. Já, os dias que têm probabilidade de inundação maior que 10% e menor ou igual a 20% são trinta e um dias no período chuvoso, totalizando oitenta e oito dias no ano. A probabilidade de 20% a 30% tem um total de oitenta dias anualmente, sendo que trinta e três dias são no período considerado mais chuvoso.

Quanto mais aumenta a probabilidade de inundação, aumenta a quantidade de dia desses eventos serem no período mais chuvoso. Quarenta e dois dias do período chuvoso tem a probabilidade de 30% a 40% de inundação, totalizando sessenta e oito dias anualmente.

A partir de 40% de probabilidade de ocorrer inundação há somente dois dias no período menos chuvoso. Prosseguindo em relação à probabilidade de inundação ser de 40% a 50%, há dezenove dias no ano com essa probabilidade. Já os dias com probabilidade de inundar entre 50% e 60% são oito, com cinco deles no mês de março. E ressaltando os três dias com probabilidade acima de 60% de chance de ocorrer inundação.

O período mais chuvoso na cidade de Belém tem relação com as altas temperaturas, a instabilidade do ar e a alta umidade relativa do ar que favorecem a formação de nuvens convectivas, as quais originam o alto índice pluviométrico de Belém com chuvas diárias e alto volume de precipitação (INMET, 2015). O alto índice pluviométrico combinado com as características topográficas da cidade, agravam às condições de drenagem em áreas de baixada em Belém, uma vez que o elevado volume de precipitações, a variação do nível de maré e a presença das bacias hidrográficas que entremeiam Belém, provocam inundações, mais agravantes nas áreas de baixada uma vez que há o descarte inadequado de resíduos sólidos nas margens dos canais como afirma SNIS (2020). Portanto, a situação torna-se mais grave em razão de uma provável deficiência no sistema de drenagem pluvial proporcionando inundação em eventos de chuvas fortes.

Pelas análises de probabilidade de inundação (Figura 18), nota-se que em setenta e dois dias do primeiro semestre, há a probabilidade de inundação de mais de 30%. E no segundo semestre, observa-se que com essa mesma probabilidade, há apenas vinte e oito dias. A inundação no primeiro semestre é maior devido à intensidade das chuvas formadas pela ZCIT na região.

4.3 ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DOS EFEITOS/CONSEQUÊNCIAS DAS INUNDAÇÕES EM FUNÇÃO DO EFEITO MARÉ E CHUVA NAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DE BELÉM/PA

A Figura 20 representa eventos de inundações na BH do Tucunduba, associados ao efeito combinado de maré e chuva. No dia 08/04/2016, a maré era de 3630 mm e sem chuva no momento da inundação na Universidade Federal do Pará. No dia 07/03/2020, destaca-se a duração da chuva de 13 horas. No período da chuva, a maré chegou até 3020 mm e a intensidade da chuva foi de 11 mm/h, sendo que a lâmina de chuva foi de 144,2 mm. Já no dia 27/06/2020 a chuva durou 6 horas com maré atingindo 2580 mm e a intensidade da chuva foi 12,5 mm/h, destacando uma lâmina de 75 mm, ocasionando vários pontos de inundação na cidade de Belém, dentre eles a Passagem Perpétuo Socorro. No dia 20/02/2020, a maré foi de 1900 mm quando a intensidade da chuva era de 11,4 mm/h. Dia 04/04/2019 a maré máxima no período da chuva foi de 3250 mm com intensidade da chuva de 15 mm/h, sendo que o acumulado foi 33 mm no dia. E no dia 22/02/2018 a maré chegou a 2700 mm com intensidade de 21,6 mm/h, e uma lâmina acumulada de 56,4 mm. Na Tabela 2 são mostrados esses e outros locais de inundação na BH do Tucunduba segundo CPRM (2021).

Matos et al. (2011) enfatizam a evolução da urbanização nesta bacia, a qual ocasionou o adensamento populacional e a consequente redução de 75% na área de vegetação do igarapé do Tucunduba no período de 1972 a 2006.

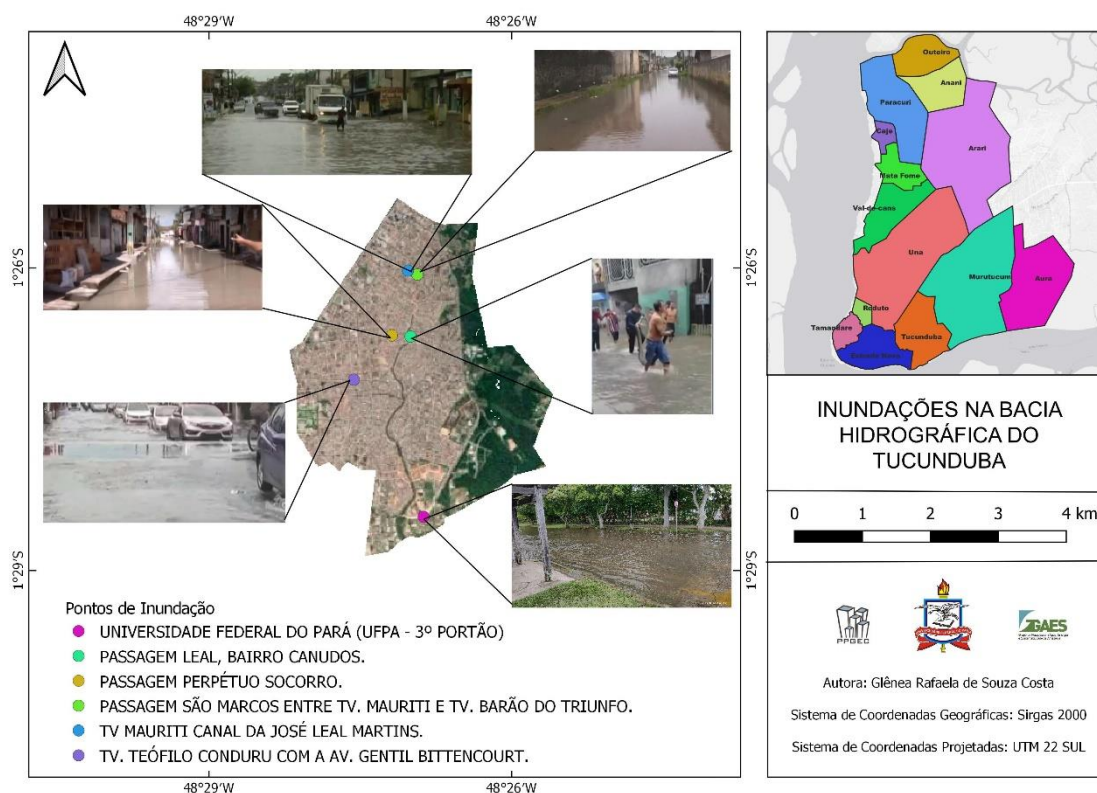


Figura 20: Locais de inundações na bacia hidrográfica do Tucunduba.

As inundações na BH do Tucunduba estão relacionadas à ocupação desordenada ou inadequada nas áreas a jusante da bacia pela população de baixa renda e de forma ilegal, e das áreas a montante pela população de média e alta renda, incluindo atividades comerciais e industriais legais. Relaciona-se também, nas áreas mais elevadas, o uso indiscriminado de tubulações e canalizações pelo poder público e como consequência a transferência do escoamento superficial agravando rapidamente as inundações nas áreas mais baixas. Além disso, a erosão do solo e o assoreamento dos canais e das galerias reduzem suas capacidades de condução do excesso de água (TARGA et al., 2012).

Cristo e Luz (2014) constataram que a ocupação da BH interfere na dinâmica morfológica e hidrológica do igarapé do Tucunduba, afetando de forma negativa as condições de vida e bem-estar da população local. Botelho (2011) destaca que áreas planas e baixas sofrem mais frequentemente com inundações e, nesses espaços, o rio mantém uma dinâmica fundamental que é de transmitir e depositar energia e matéria. Entretanto, ao haver intervenções antrópicas nos canais fluviais, a dinâmica dos rios tende a mudar, e processos como erosão e acumulação se tornam mais intensos.

Pontes (2017) enfatiza que a ocorrência de inundação na BH do Tucunduba e em outras da cidade também é avaliada a partir do efeito conjugado entre precipitação pluviométrica e marés, rede de drenagem ineficiente e impermeabilização do solo. Portanto, o quadro da ocupação urbana intensa e desordenada agregada as condições de terrenos alagadiços da bacia, permitindo que precipitações extremas provoquem sérios problemas a população em qualquer período.

A Figura 21 representa a BH da Tamandaré, para a qual são registradas inundações recorrentes da área, como exemplo, nos dias 11/03/2019 e 20/03/2019. No dia 11/03/2019, a altura da maré foi de 3080 mm com intensidade da chuva de 22,2 mm/h, sendo que a duração da chuva foi de 4 horas e com um acumulado de 69 mm, ocasionando vários pontos de inundação na cidade. Já no dia 20/03/2019 a maré foi de 2680 mm e intensidade da chuva de 9,8 mm/h. As constantes inundações são ocasionadas pela sobrecarga do canal com as fortes chuvas da cidade, sendo que as atuais condições de drenagem são ineficientes. A BH da Tamandaré é suscetível a picos de inundação devido a sua forma circular e a velocidade de escoamento do canal, que é baixa, uma vez que está inserido em uma área de relevo plano (SOUZA, 2019). Na Tabela 3 são mostrados esses e outros locais de inundação na BH da Tamandaré segundo CPRM (2021).

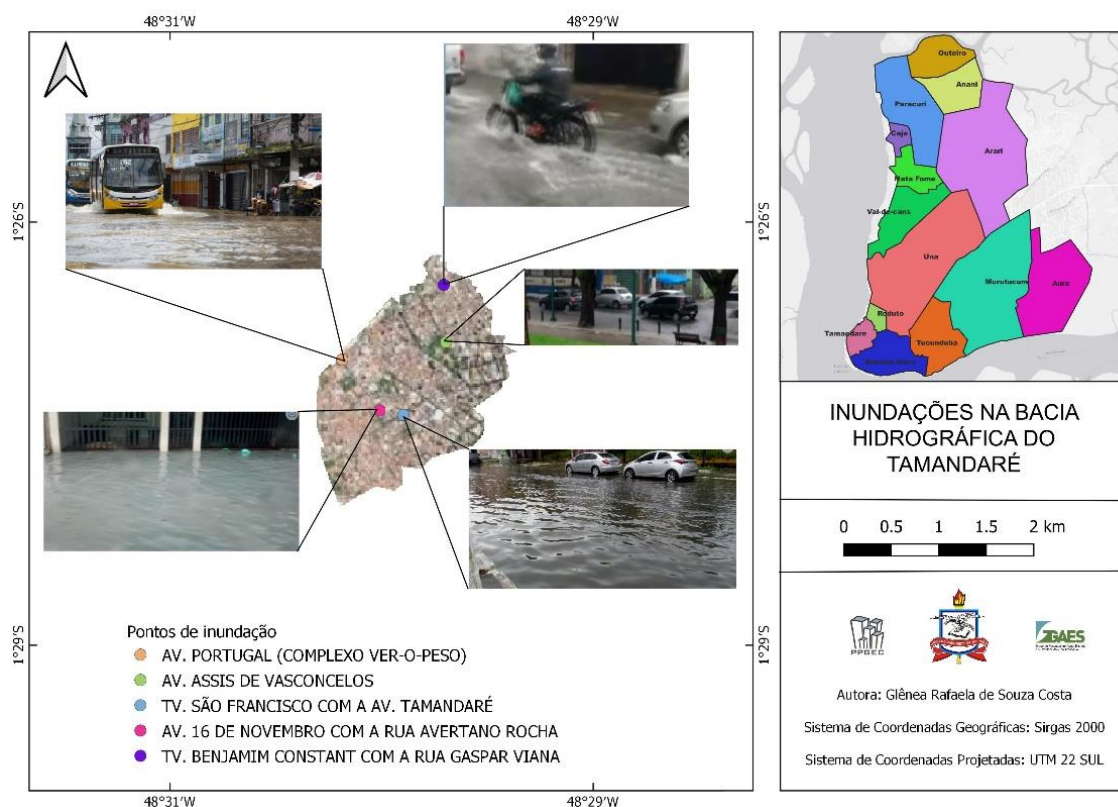


Figura 21: Locais de inundação na bacia hidrográfica da Tamandaré

Silva et al. (2020) enfatizam os problemas que prejudicam o funcionamento do sistema de drenagem na bacia, contribuindo para a inundação do canal da Tamandaré. Sendo eles, a presença de resíduos sólidos no sistema de drenagem favorecendo a obstrução de boca de lobos, a deficiência na manutenção das estruturas de drenagem, o acúmulo de grande volume de sedimentos no canal e os resíduos sólidos grosseiros nas margens do canal (Figura 22).



Figura 22: Descarte inadequado de resíduos sólidos nas margens do canal da Tamandaré

Fonte: NYLANDER, 2019.

Leão (2017) afirma que as águas da baía do Guajará, por receber o escoamento pluvial do canal da Tamandaré, em momentos de cheia, invadem o sistema de drenagem da Tamandaré, dificultando a drenagem e favorecendo a ocorrência de inundações, principalmente, ao coincidir com precipitações pluviométricas intensas ocorridas no período mais chuvoso.

Silva et al. (2020) ainda destacam que o acréscimo de esgoto reduz o volume disponível para o escoamento das águas pluviais, ocorrendo o acúmulo indevido em pontos a montante da rede de macrodrenagem e favorecendo o extravasamento do canal pelo esgoto, acentuando-se no período de chuva intensa e, principalmente, ao coincidir com a maré alta.

Tavares (2017) destaca um outro problema em relação à inundação das vias em torno do canal, o qual está relacionado às comportas quando são submetidas a marés com cheias a partir de 3,6 m e coincidindo com chuvas fortes, essas não têm capacidade de suportar a força da maré e cedem, ocorrendo o transbordamento do canal.

Nylander et al. (2021) ressaltam que o escoamento de águas pluviais é direcionado para as regiões mais baixas da bacia, áreas em que a cota topográfica é menor e como consequência, ocorre o acúmulo de águas da chuva, agravando a situação por inundações decorrentes do aumento do nível das águas da baía do Guajará, as quais invadem o canal de drenagem da bacia.

Na Figura 23 são mostradas as inundações na BH da Estrada Nova. No dia 12/08/2021, a maré foi de 3050 mm com intensidade da chuva de 29,6 mm/h,

causando prejuízos na cidade com vários locais inundados como o extravasamento do canal da travessa 14 de março com a rua dos Caripunas e a inundação na rua dos Pariquis entre a travessa 14 de março e avenida Alcindo Cacela. Dia 17/02/2020, a maré foi de 1630 mm com alta intensidade pluviométrica de 44,2 mm/h inundando a travessa dos Apinagés entre a rua dos Timbiras e a rua eng. Fernando Guilhon. Já no dia 20/02/2020, destaca-se a inundação também na travessa dos Apinagés com a rua dos Tambés, quando a intensidade da chuva foi de 11,4 mm/h e a maré registrada de 1900 mm continuamente subindo. Dia 19/03/2019, a maré foi de 1300 mm com intensidade pluviométrica de 30,8 mm/h, suficiente para causar inundação na rua dos Caripunas com a travessa Quintino Bocaiuva. E no dia 22/02/2018, houve maré com 2070 mm e intensidade de chuva de 34,8 mm/h. A maré subia e a chuva durou cerca de 2 horas, acumulando 56,4 mm. Na Tabela 4 são mostrados esses e outros locais de inundação na BH da Estrada Nova segundo CPRM (2021).

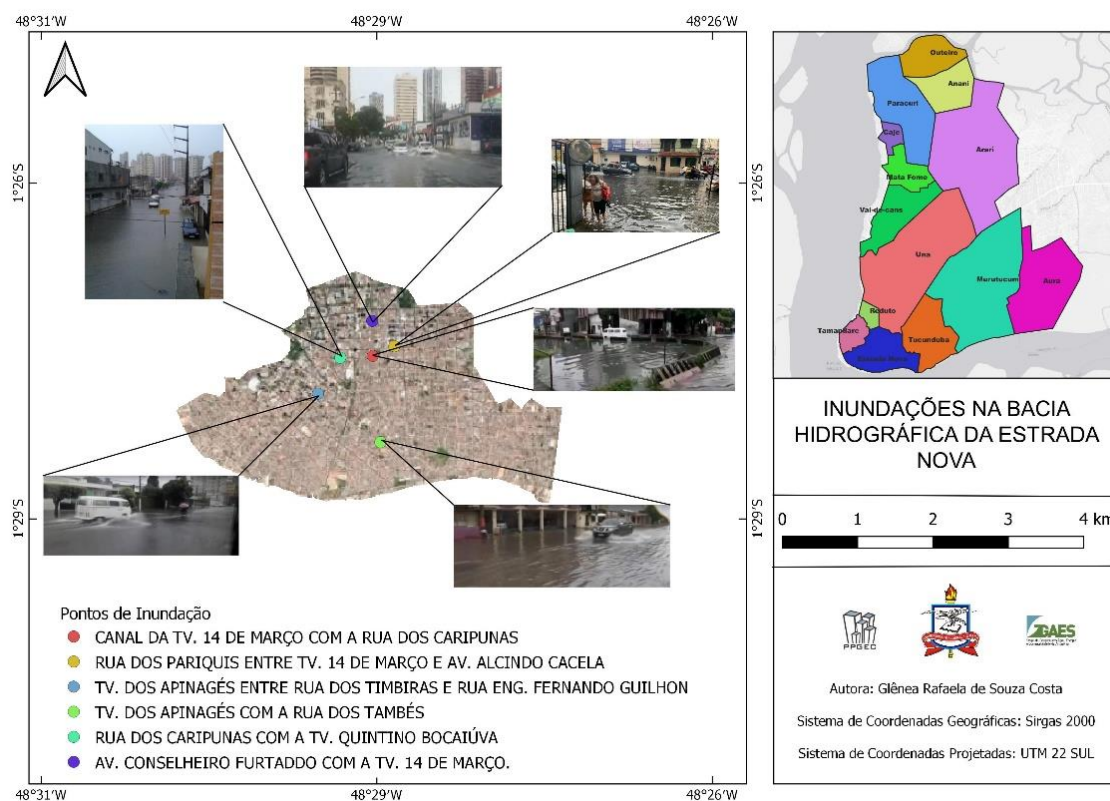


Figura 23: Locais de inundação na bacia hidrográfica da Estrada Nova

Santos (2010) afirma que esta BH possui o índice de drenagem de aproximadamente 0,71 km sendo considerado muito baixo e consequentemente tornando esta bacia suscetível a inundações. O autor ainda enfatiza a questão

Nesta BH, um dos bairros que mais sofre com os eventos extremos de precipitação é o bairro da Cremação, pois possui vários canais, que transbordam, por mais que a chuva não seja tão forte, causando prejuízos à sociedade. Outro bairro prejudicado é o do Jurunas, pois além de possuir canais, está localizado na região costeira do rio Guamá. Já no bairro de Batista Campos ocorrem inundações nos locais próximos ao canal localizado na travessa Quintino Bocaiúva (CAMPOS et al., 2015).

The figure is a map of the Una Hydrographic Basin, showing the Una River and its tributaries. The map is bounded by coordinates 48°31'W to 48°24'W and 1°29'S to 1°22'S. A central map shows the basin's extent, with five points marked for flooding: Rua Domingos Marreiros (yellow), Tv. 9 de Janeiro (purple), Av. Pedro Miranda (blue), Tv. Antônio Baena (green), and Av. Almirante Barroso (red). Surrounding this central map are five photographs showing flooded areas: a street with trees, a tunnel entrance, a car in a flooded street, a flooded street with buildings, and a flooded street with a car. To the right, a map of the Una Municipality shows the location of the basin within the municipality. Below the map, a scale bar indicates distances from 0 to 4 km. At the bottom, the author's name, Glénea Rafaela de Souza Costa, is listed, along with the coordinate systems used: UTM 22 S for geographic coordinates and UTM 22 S for projected coordinates.

Pontos de Inundação

- RUA DOMINGOS MARREIROS COM TV. TRÊS DE MAIO.
- TV. 9 DE JANEIRO COM A AV. GOV. JOSÉ MALCHER.
- AV. PEDRO MIRANDA.
- TV. ANTÔNIO BAENA
- AV. ALMIRANTE BARROSO (TÚNEL ENTRONCAMENTO)

Autora: Glénea Rafaela de Souza Costa

Sistema de Coordenadas Geográficas: Sirgas 2000

Sistema de Coordenadas Projetadas: UTM 22 S

Figura 24: Locais de inundação na bacia hidrográfica do Una

Os dias destacados na Figura 25 são 14/04/2019, 11/05/2019 e 29/03/2020. No dia 14/04/2019 a maré era de 2760 mm com intensidade da chuva de 23,6 mm/h. Dia 11/05/2019 houve alta intensidade pluviométrica com 53,2 mm/h e maré de 2910 mm, nesse dia o acumulado de precipitação foi de 73 mm totalizando 36,5 mm/h de intensidade. Já no dia 29/03/2020 a maré era de 2570 mm com intensidade da chuva de 29,4 mm/h, mas já havia um acumulado de 50 mm. Na Tabela 5 são mostrados esses e outros locais de inundação na BH do Una segundo CPRM (2021).

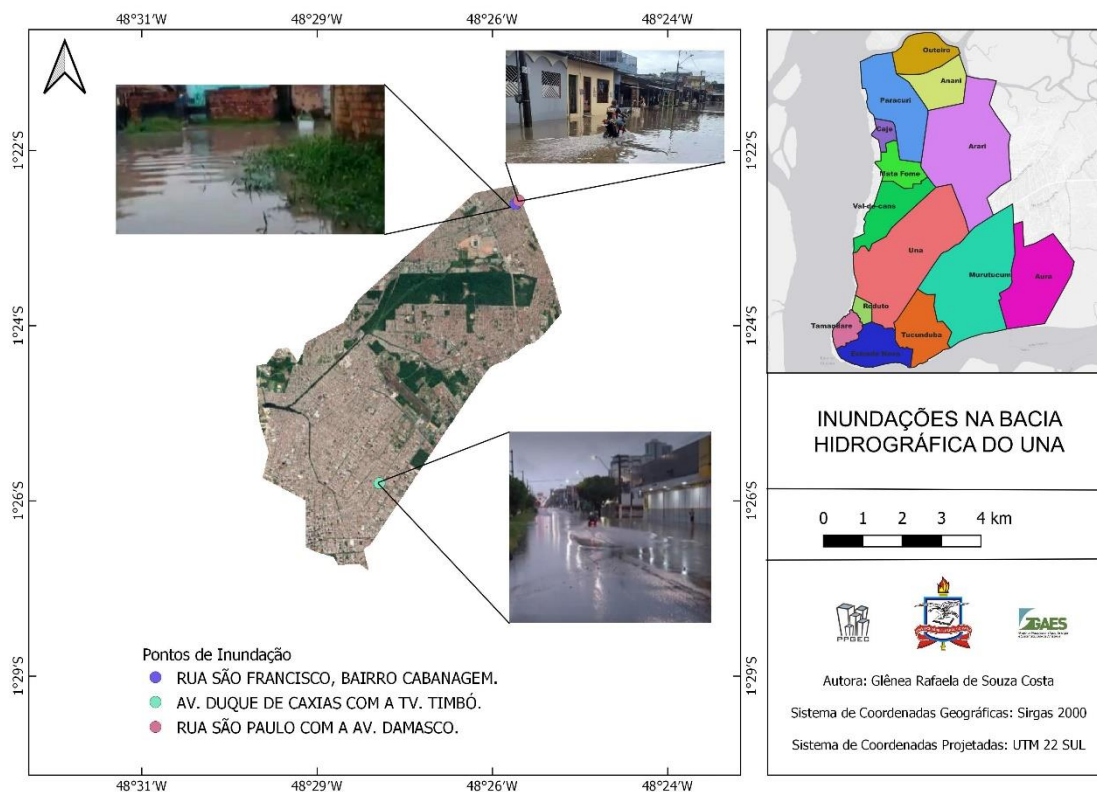


Figura 25: Locais de inundação na bacia hidrográfica do Una

Segundo Ribeiro et al. (2015) a BH do Una apresenta amplitude altimétrica de 35 m, com altitude mínima de 5 m, média de 22,5 m e máxima de 40 m, e a relação de relevo é de 4,46 m/km, em que 60% é plano (declividade de 0 a 3%), apresentando escoamento lento, pois a amplitude altimétrica e relação de relevo definem, em parte, a velocidade de escoamento.

Destaca-se que, por essa BH apresentar área predominantemente plana e quase toda urbanizada, é muito propícia a inundações. Carvalho e Neto 2012 afirmam que amplitude altimétrica e relação de relevo influenciam a velocidade de escoamento, pois quanto menores os valores, mais lento é o escoamento e com isso aumenta o acúmulo de água no interior da bacia.

A BH do Una apresenta problemas decorrentes da crescente urbanização como ocupação desordenada e imprópria em áreas suscetíveis a inundações devido às baixas cotas altimétricas, ao aumento da área impermeabilizada e à diminuição da infiltração, e consequentemente, o aumento da vazão e do escoamento superficial. Além disso, ainda há o lançamento de resíduos sólidos urbanos no entorno e dentro dos canais pela população (VINAGRE et al., 2017).

Soares e Cruz (2019) afirmam que a especificidade das inundações em Belém-PA, principalmente na BH do Una, reside no fato de que o problema não é a falta de políticas públicas, porém dos efeitos dessas políticas, uma vez que as intervenções realizadas nesta BH, não foram capazes de promover o direito à moradia digna e ao saneamento básico de forma satisfatória.

Soares (2017) ainda destaca que mesmo em locais da BH do Una que se beneficiaram integralmente com saneamento básico, ainda há problemas de inundações, pois os canais encontram-se assoreados e sem capacidade de acumulação devido à falta de manutenção técnica do conjunto de obras do projeto de macrodrenagem do Una.

A Figura 26 apresenta locais de inundações na BH do Reduto. No dia 02/04/2014 a maré chegou a 3450 mm e intensidade da chuva a 10,4 mm/h, e a chuva durou 5 horas com um acumulado de 46,6 mm, inundando a avenida Visconde de Souza Franco. No dia 11/03/2020 a maré chegou a 3560 mm, sem registros de chuva, mas inundando a rua Municipalidade entre as travessas Rui Barbosa e Quintino Bocaiúva. Já no dia 26/05/2016, a rua Antônio Barreto com a avenida Visconde de Souza Franco ficou inundada ao registrar 40,2 mm/h de chuva com uma maré baixa de 630 mm. Na Tabela 6 são mostrados esses e outros locais de inundação na BH do Reduto segundo CPRM (2021).

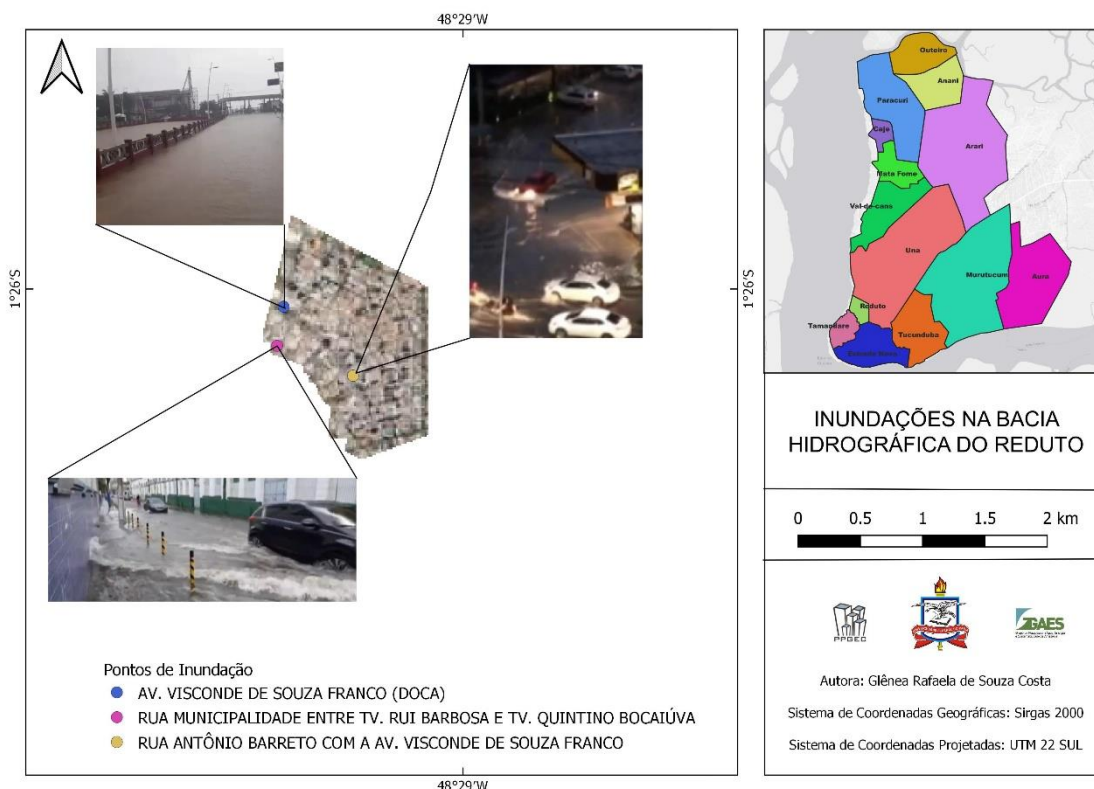


Figura 26: Locais de inundação na bacia hidrográfica do Reduto

Soares e Carvalho (2018) enfatizam que as transformações antropogênicas ligadas ao ideário de modernização e salubridade do espaço, com relação ao aterramento e drenagem da bacia do Reduto, manifestada em intervenções, que enfatizaram o uso da terra sem responsabilidade. Responsabilidade que deveria cobrir a manutenção da dinâmica ambiental vigente antes da ocupação do espaço pelo homem, as quais se refletiram em externalidades ambientais, afetando as frequências e magnitudes de eventos extremos de chuva, potencializando as inundações.

A Figura 27 apresenta locais de inundações da BH do Mata fome. No dia 14/04/2019 com precipitação de 27,6 mm/h e maré de 2340 mm, a alameda 23 de outubro no bairro do Benguí inundou. Já no dia 14/03/2018 a maré chegou a 3190 mm com uma intensidade de precipitação de 17,2 mm, com acumulado de 30,2 mm, inundando a rua São Clemente com a rua Aquariquara, bairro do Tapanã. Na Tabela 7 são mostrados esses e outros locais de inundação na BH do Mata Fome segundo CPRM (2021).

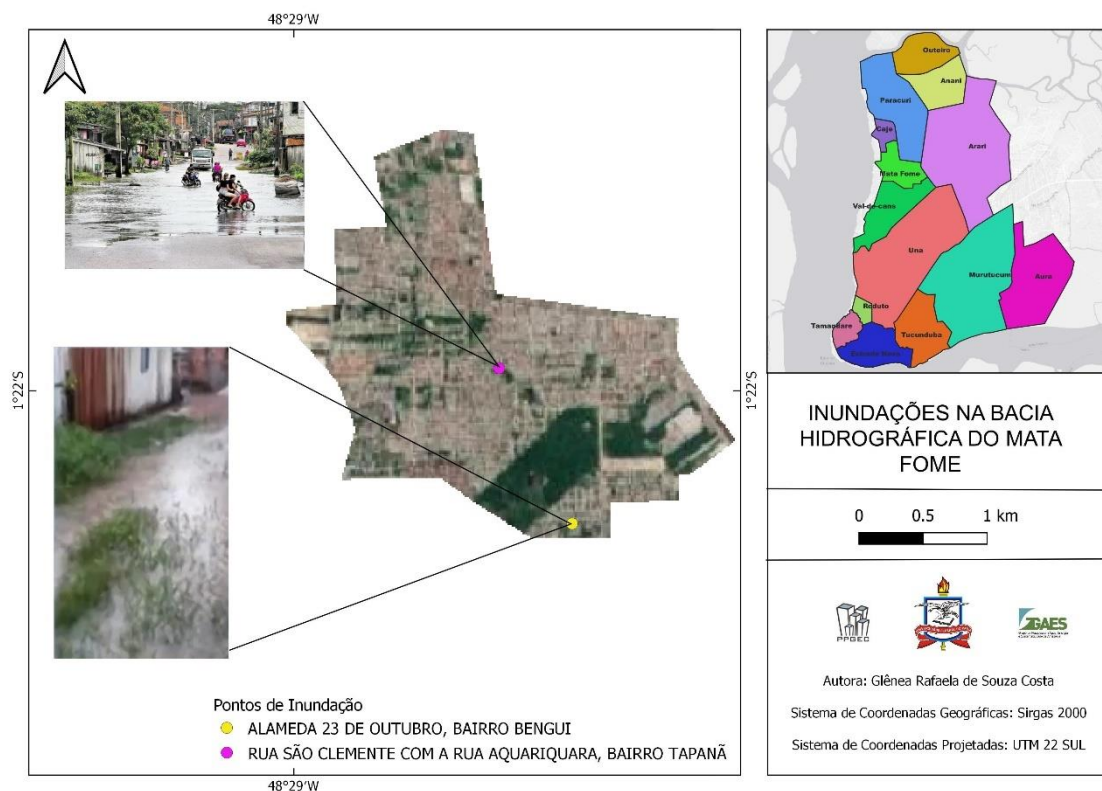


Figura 27: Locais de inundações na bacia hidrográfica do Mata Fome

Lima et al. (2014) destacam que as mudanças no uso da terra através do aterramento de áreas da bacia para a construção de residências, assim como o aumento das superfícies impermeáveis têm ocasionado desequilíbrios ecológicos e aumento periódico de inundações na BH do Mata Fome. Além do assoreamento do leito do rio, a partir da modificação das condições naturais, diminuindo a área de escoamento e provocando o transbordamento do igarapé em períodos de cheia. Silva e Luz (2016) enfatizam que o aumento da concentração da população na várzea do Mata Fome é um agravante para as inundações, uma vez que alteram a drenagem natural, já que são áreas aterradas, mudando a topografia e impedindo o escoamento da água da chuva.

Além disso, o aumento de áreas impermeabilizadas na bacia devido à ocupação da terra, condiciona ao igarapé o recebimento de maior volume escoado das precipitações pluviais. Aliado à situação anteriormente descrita, o assoreamento interfere no regime de fluxo do corpo d'água, em que nos períodos de elevada precipitação podem causar inundações na bacia (LIMA et al., 2014). Botelho (2011) e Moruzzi et al. (2012) confirmam que a impermeabilização dos solos ao dificultar a infiltração e ao acelerar a velocidade do escoamento em direção aos cursos fluviais intensificam as inundações.

Silva e Luz (2016) ainda destacam o problema do depósito de lixo em via pública na BH do Mata Fome, pois a água da chuva ao transportar o lixo, entope os bueiros e as bocas de lobo, contribuindo substancialmente para o aumento das inundações. Um outro agravante é a redução da cobertura vegetal na BH do Mata Fome, porque a redução da mata ciliar contribui para aumentar os processos erosivos, causando assoreamento, complementado pelo lançamento de detritos, o que ocasiona a diminuição da profundidade e da capacidade de contenção do volume d'água do igarapé, intensificando as inundações na várzea do Mata Fome (SILVA e LUZ, 2016).

A Figura 28 mostra locais de inundações da BH do Paracuri. No dia 09/11/2021 a intensidade e duração da chuva com a maré alta contribuíram para inundação nas travessas Souza Franco e Soledade, ambas em Icoaraci. Neste dia a maré chegou a 3050 mm com intensidade da chuva de 15,8 mm/h. No dia 14/12/2020 a rua Padre Júlio Maria foi inundada, pois a maré chegou a 3520 mm com 10 mm/h de precipitação. No dia 27/08/2020 houve inundação na avenida Augusto Montenegro com a rua oito de maio e na avenida Augusto Montenegro (estação BRT), cuja maré era de 1760 mm e intensidade da chuva de 34,4 mm/h. Na Tabela 8 são mostrados esses e outros locais de inundação na BH do Paracuri segundo CPRM (2021).

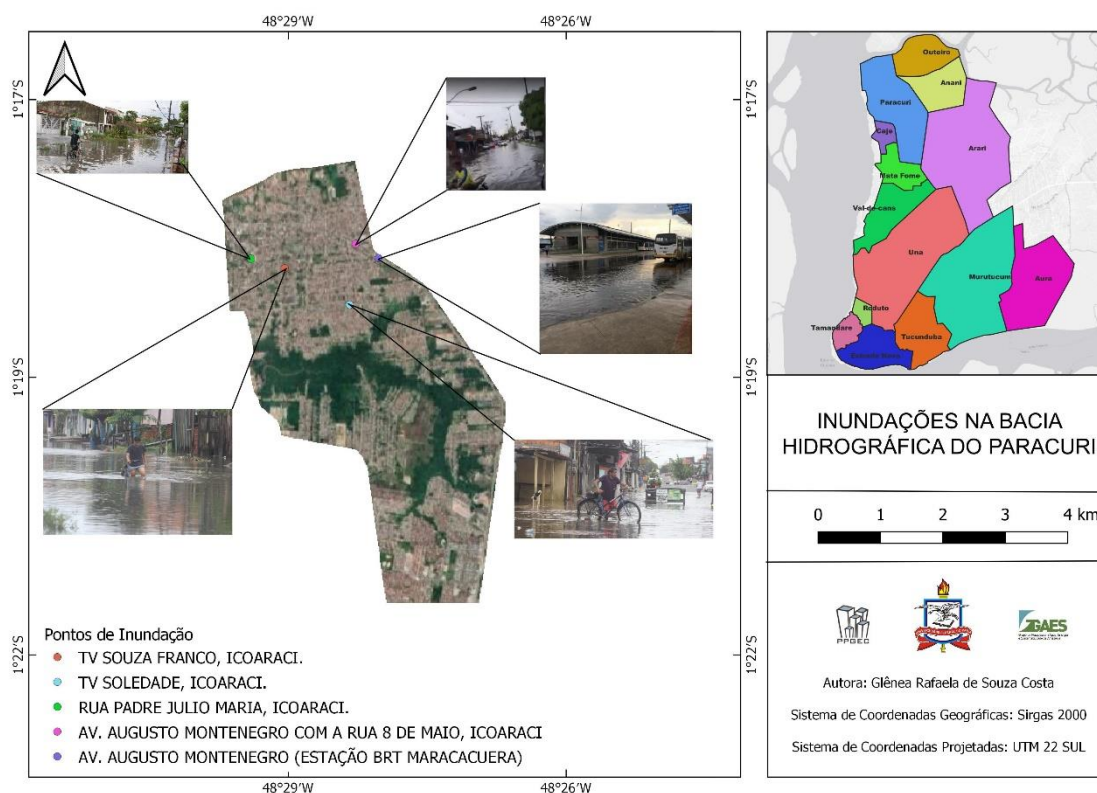


Figura 28: Locais de inundação na bacia hidrográfica do Paracuri

Botelho (2011) afirma que a área em que está localizada a BH do Paracuri é considerada uma área de altas precipitações e com isso as inundações são ameaças recorrentes como se observa na Figura 28. Pensador et al. (2021) destacam que no curso d'água da BH do Paracuri há uma área de várzea ocupada, sem manutenção, com vários pontos de descartes de lixo com ruas próximas asfaltadas, mas sem um sistema de drenagem e esgoto completo devido à ocupação desordenada do local. Portanto, esses são pontos que mais corroboram para a ocorrência de inundações durante ou após a precipitação e o aumento do assoreamento do canal, diminuindo sua vazão. Silva et al. (2016) enfatizam que a falta de serviços de coleta seletiva de lixo e a inexistência de saneamento básico acarretam sérios problemas como inundações na BH do Paracuri, uma vez que o lixo é levado para a rua durante as cheias da maré.

A Figura 29 mostra locais de inundações da BH de Val de Cans. No dia 07/03/2020 a área da avenida Júlio Cesar com a rodovia desembargador Paulo Frota foi inundada. Neste dia foram 10 horas de chuva, com acumulado de 144,2 mm. A maré chegou a atingir 3020 mm e a intensidade da chuva foi de 14,42 mm/h. No dia 10/03/2020 a maré atingiu 3360 mm com intensidade da chuva de 10,2 mm/h ocasionando inundação na avenida Norte, conjunto Promorar e avenida Pará com a avenida Arthur Bernardes. Na Tabela 9 são mostrados esses e outros locais de inundação na BH do Val de cans segundo CPRM (2021). Souza (2020) destaca que as inundações na BH do Val de Cans referem-se ao processo de ocupação desordenado e estão associadas ao fato da BH ser cercada pela baía do Guajará e pelo igarapé Val de Cans, sujeitando-se ao aumento do nível da água (maré cheia) juntamente ao regime de chuvas intensas.

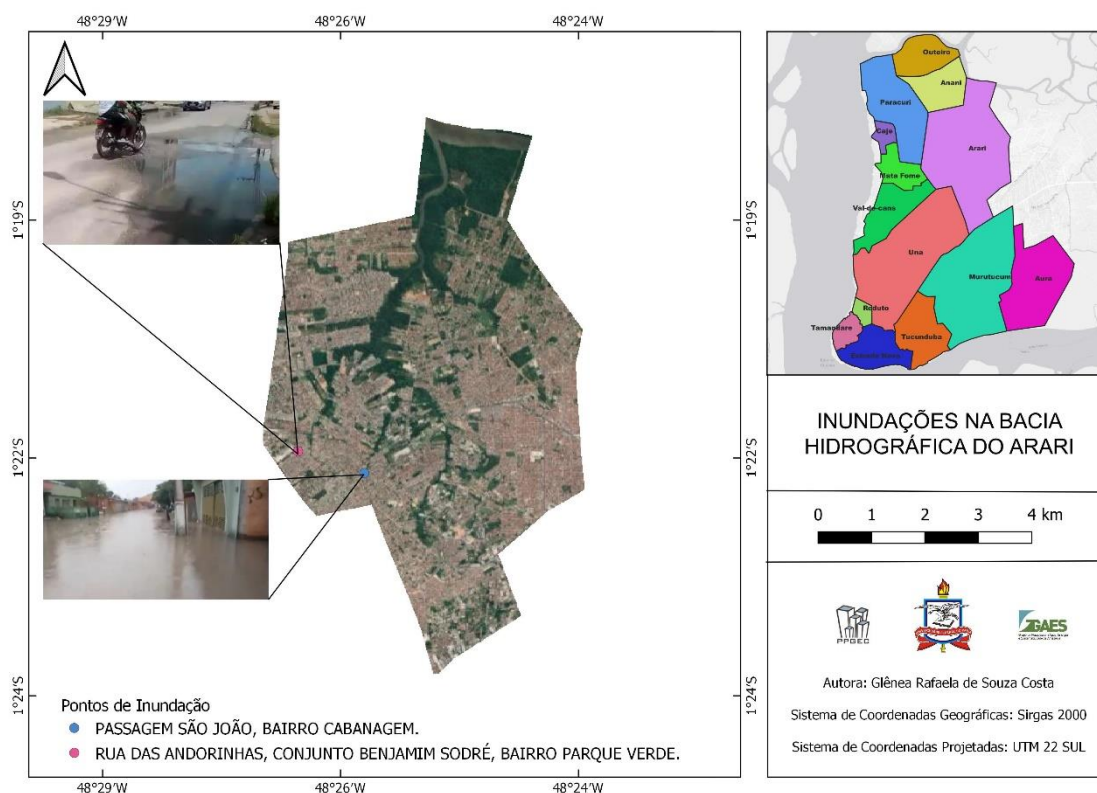


Figura 30: Locais de inundação na bacia hidrográfica do Arari

A Figura 31 apresenta locais de inundação na BH do Murutucum. No dia 11/03/2019 o conjugado maré alta, intensidade e duração da chuva contribuíram para a inundação na avenida João Paulo II com a passagem Elvira. Neste dia a maré chegou a atingir 3080 mm e a chuva teve intensidade de 22,2 mm/h com uma duração de 4 horas. Já no dia 19/03/2019 a intensidade da chuva foi de 30,8 mm/h com altura de maré de 1330 mm, causando inundação na rua Bernardo Sayão com a rua Santa Maria. No dia 03/03/2021 a maré atingiu 2860 mm com intensidade de chuva de 34,2 mm/h, inundando a passagem coronel Moisés. Na Tabela 11 são mostrados esses e outros locais de inundação na BH do Murutucum segundo CPRM (2021).

Souza et al. (2017) afirmam que as inundações na BH do Murutucum são causadas pelo aumento do volume das águas que invadem a planície das bacias, que por estarem ocupadas pela população, acabam sofrendo as consequências devido à inadequada ocupação, em áreas de risco, ou seja, leito maior da BH. Logo, as populações estão sujeitas a situações em que a água extravasa a calha principal da BH em eventos de chuvas intensas. E, além disso, há a falta de planejamento do uso da terra, não considerando a topografia e as condições naturais do local.

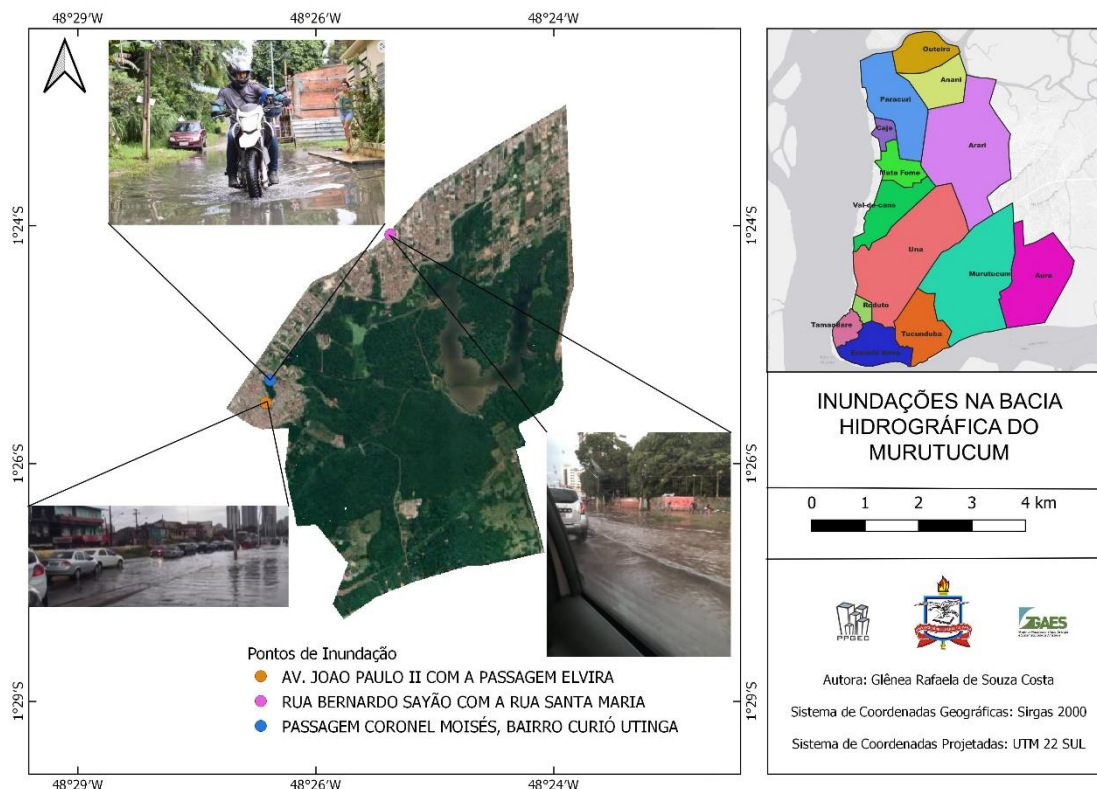


Figura 31: Locais de inundação na bacia hidrográfica do Murutucum

As Figuras 32, 33, 34 e 35 apresentam as bacias hidrográficas do Outeiro, Anani, Aurá e Cajé respectivamente. Nessas BH não foram encontrados registros fotográficos e nem reportagens da mídia local, eletrônica ou impressa, com ocorrências de inundações. Contudo, é notório que as bacias hidrográficas da cidade de Belém/PA sofrem um intenso processo de saturação em relação à forte pressão exercida pelo processo de urbanização desordenado, acarretando situações complexas de riscos e vulnerabilidades a inundações. Assim, a atividade antropogênica se fez presente nas intervenções do espaço urbano ao longo da evolução de Belém, tratando-se do principal elemento causador na incidência de riscos socioambientais (CARVALHO e ROCHA, 2020).

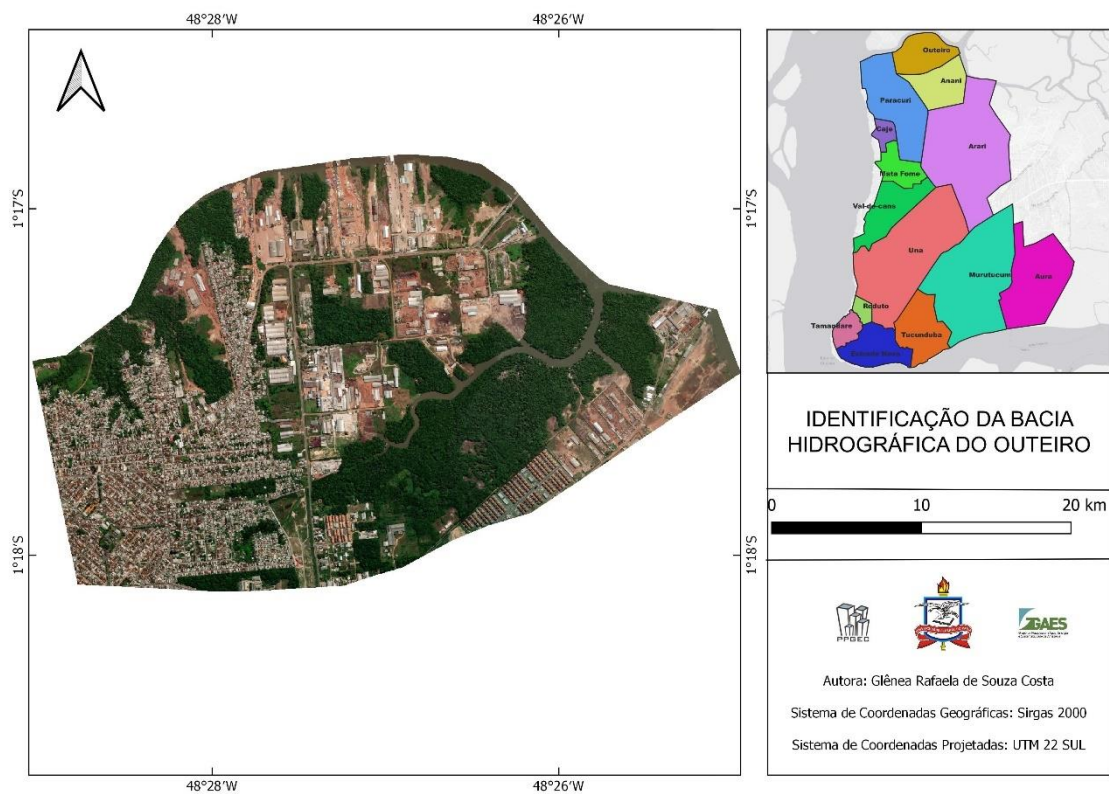


Figura 32: Bacia hidrográfica do Outeiro

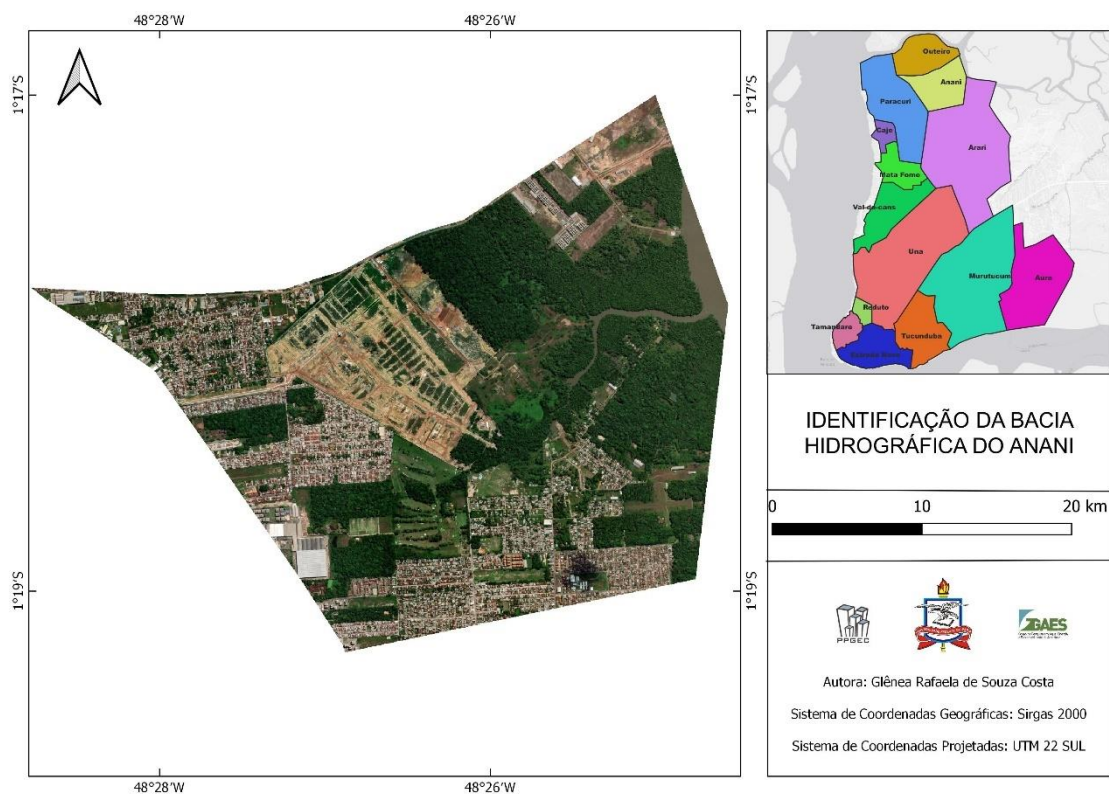


Figura 33: Bacia hidrográfica do Anani

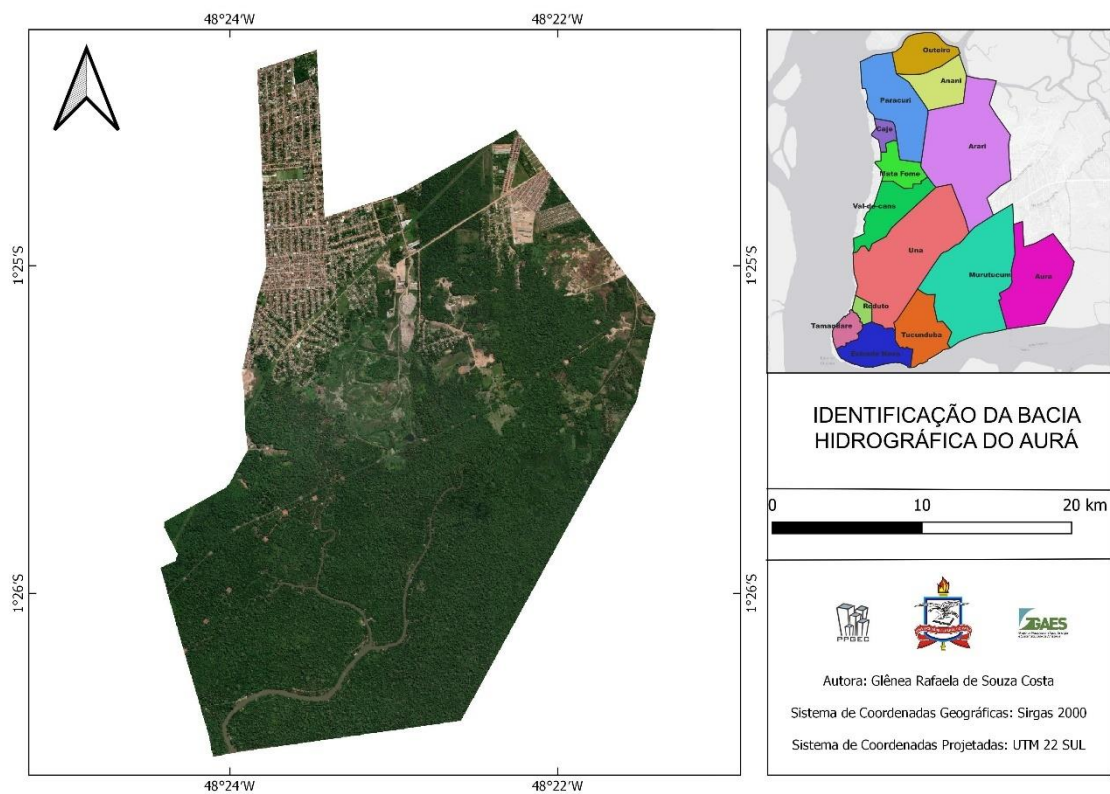


Figura 34: Bacia hidrográfica do Aurá

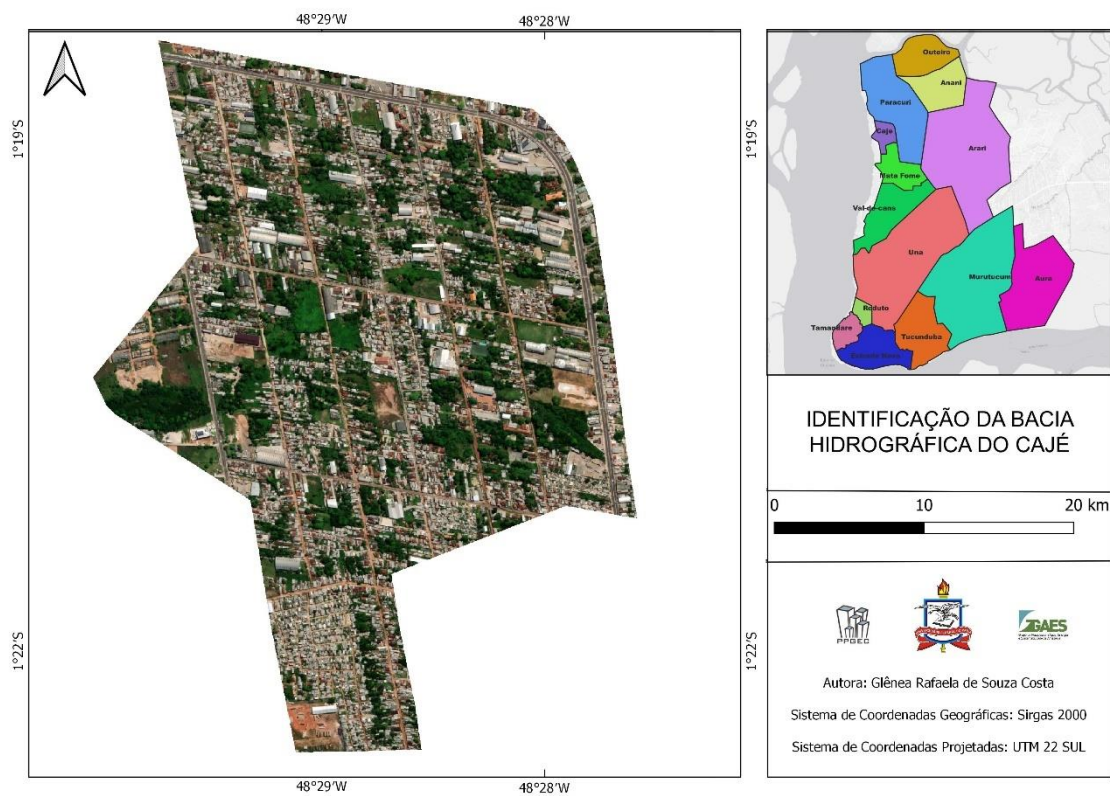


Figura 35: Bacia hidrográfica do Cajé

4.4 PROBABILIDADE DIÁRIA DE INUNDAÇÃO EM BELÉM/PA SEM INFLUÊNCIA DA MARÉ

A Figura 36 apresenta a probabilidade diária de inundação a partir da precipitação, sem influência de maré. Observa-se que o primeiro semestre registra a maioria dos dias com probabilidades diárias de inundação sem influência de maré, devido ser o período mais chuvoso em Belém/PA. Os dias 16/01, 07/02, 26/02 e 09/03 (Figura 36) aparecem como os dias de maior probabilidade de inundação com 31,58%. Com probabilidade acima ou igual a 25% são dezoito dias e somente um dia no segundo semestre (17/10 com 26,32% de probabilidade).

Analisando-se os dados da Figura 36 e da Tabela 16, a qual representa a quantidade de dias tanto no 1º quanto no 2º semestre com probabilidade de inundação, foi possível contabilizar que 137 dias do ano possuem probabilidade 0 (zero) de inundação, sendo que 29 dias são no primeiro semestre, período de maior número de dias chuvosos. Severo et al. (2019) afirmam que a precipitação é de grande relevância entre as variáveis climáticas, uma vez que as chuvas em excesso causam inundações e comprometem a infraestrutura da cidade. Rodrigues e Luz (2021) afirmam que a combinação do alto índice pluviométrico de Belém-PA e a falta de concretização das metas estabelecidas no planejamento urbano repercutem em problemas como o aumento da frequência e magnitude das inundações dos canais urbanos em decorrência da falta de dimensionamento das bacias urbanas para receber o volume das chuvas na cidade.

Tabela 16: Quantidade de dias com a probabilidade diária sem influência da maré

Probabilidade	Quantidade de dias		Total de dias/ano	Exemplos de locais que inundam
	1º Semestre	2º Semestre		
0%	29	108	137	
<=10%	57	51	108	Tv. 14 de março com a rua dos Caripunas
>10% - <=20%	64	23	87	Rua Domingos Marreiros com Tv. Três de maio
>20% - <=30%	17	1	18	Passagem Leal com a Av. Cipriano Santos
>30%	4	0	4	Av. Pedro Miranda com a Tv. Antônio Baena

As inundações em áreas urbanas em consequência de falhas dos sistemas de drenagem causam grandes danos em infraestruturas públicas e privadas. Além disso, inundações nas ruas limitam ou atrapalham completamente o funcionamento do trânsito, bem como possíveis consequências sociais que estão relacionadas às propriedades físicas da inundação como o nível da água acima do solo, a extensão da inundação em termos de volume de água que entra no sistema de drenagem e a duração da inundação (SCHMITT e SCHEID, 2020).

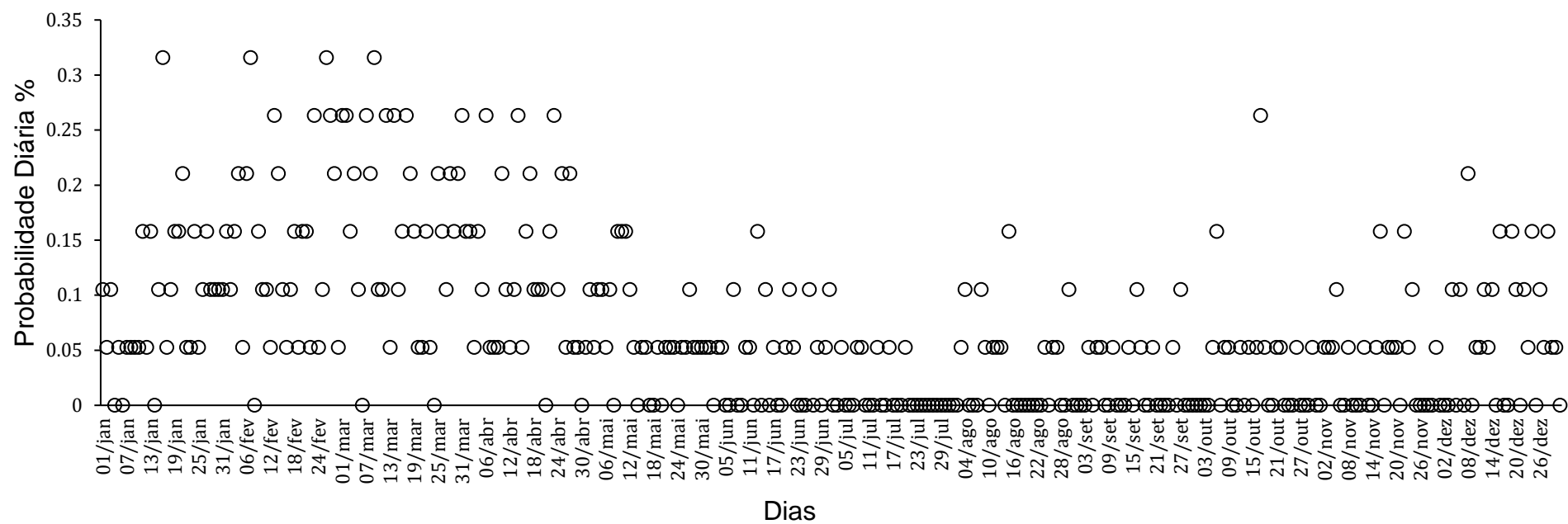


Figura 36: Probabilidade diária de inundação sem influência de maré

4.4 INUNDAÇÃO CAUSADA PELA ALTURA DE MARÉ EM BELÉM/PA

A Figura 37 apresenta inundação somente por maré alta, às 10:00 no dia 17/04/2019, uma vez que a altura de maré atingiu aproximadamente o mínimo de 3400 mm, sendo noticiada pelo Jornal O Liberal, da seguinte forma “Mesmo sem chuva, UFPA está alagada” (Souza, 2019).



Figura 37: Inundação somente por maré alta no dia 17/04/2019

Fonte: SOUZA, 2019.

Em relação à inundação da Figura 37, Pegado et al. (2012) afirmam que as áreas às margens do rio Guamá apresentam maiores possibilidades de sofrerem inundações. Essas possibilidades ocorrem por serem áreas de cota baixa, menores que 4 m. Já a Figura 38, ilustra graficamente o comportamento da maré com registro da preamar no dia 17/04/2019 às 10:00 atingindo 3380 mm, um pouco abaixo do valor adotado como o que ocorre inundação sem registro de chuvas.

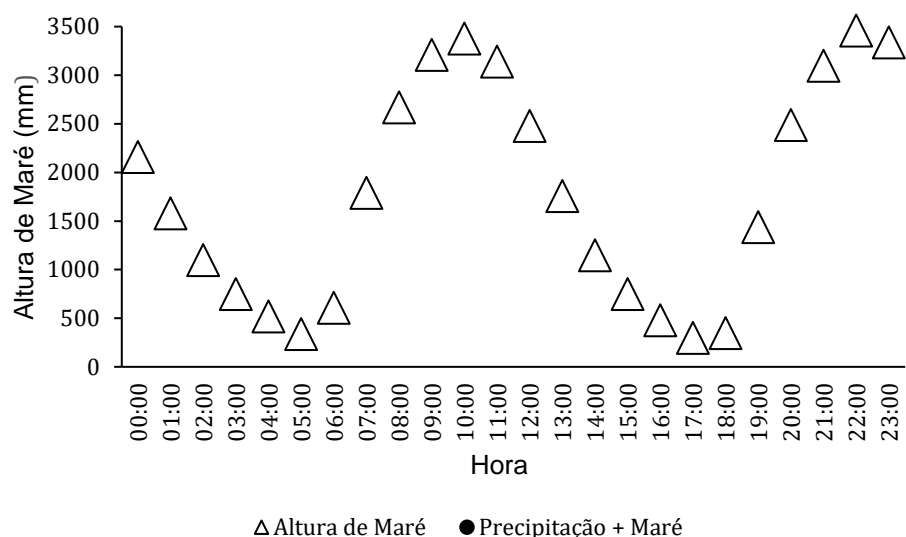


Figura 38: Comportamento da maré com registro da preamar às 10:00 em 17/04/2019

Outro caso de inundação por maré alta (Figura 39), foi observado no complexo do Ver-o-Peso localizado na Avenida Boulevard Castilhos França, no bairro da campina, no dia 19/04/2019, quando a maré atingiu mais de 3500 mm de altura às 11:00. Isso está de acordo com Souza (2019), que registrou a inundação no complexo Ver-o-Peso com a seguinte notícia “Maré alta inunda Ver-o-Peso nesta manhã de Sexta-Feira Santa”. Em consequência da localização do complexo, às margens da Baía do Guajará, ele sofre periodicamente a influência dos regimes de marés, ocorrendo inundações anuais de acordo com Soares e Carvalho (2018).



Figura 39: Inundação somente por maré alta no dia 19/04/2019

Fonte: SOUZA, 2019.

A Figura 40 mostra, graficamente, a variação da maré com registro da preamar de 3520 mm às 11 horas. Observa-se também, que somente duas horas depois se iniciou a chuva e a maré já havia iniciado o processo de vazante, mas com cota ainda acima de 3000 mm.

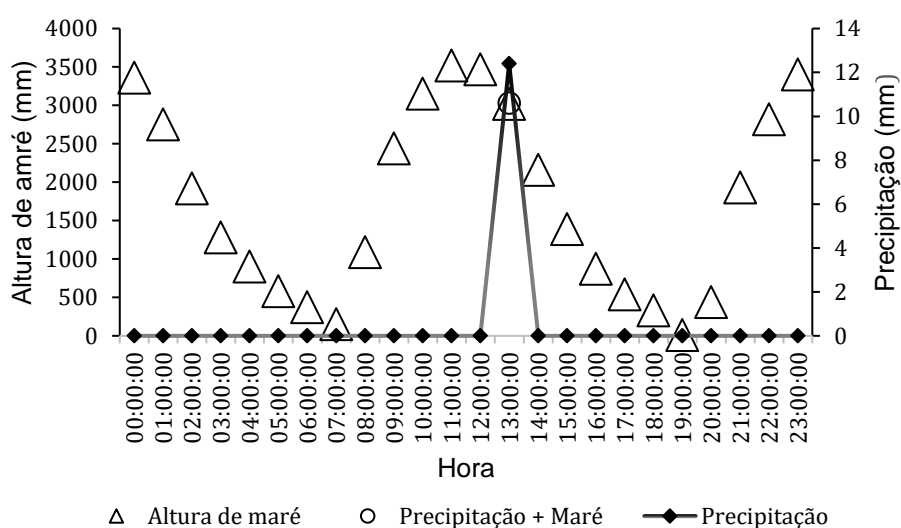


Figura 40: Comportamento da maré com registro da preamar às 11:00 em 19/04/2019

4.5 INUNDAÇÕES RECENTES EM BELÉM/PA

A título de demonstração da continuação do problema de inundações da cidade, pois o período dos dados analisados termina em 2021, as Figuras 41-42

apresentam as inundações do último dia 17/10/2023. Nesse caso, a probabilidade de ocorrência de inundação na cidade pelo efeito combinado maré-chuva é de quase 50% (47,37% - Figura 18). Observa-se nas Figuras 41-42 que a inundação ocorre no período vespertino e se estende até o período noturno, coincidindo com o período de vazante da maré (DHN, 2023).



Figura 41: Inundação na rua Roberto Camelier, bairro Batista Campos no dia 17/10/2023

Fonte: ROMA NEWS, 2023.



Figura 42: Inundação na rua dos Pariquis com a travessa Rui Barbosa no dia 17/10/2023

Fonte: MELO, 2023.

5 MEDIDAS MITIGATÓRIAS ÀS INUNDAÇÕES

Há alguns documentos que apresentam estratégias de resiliência de adaptação às inundações que podem ser aplicados na cidade de Belém/PA. Por exemplo, o Guia de Construção Resiliente às Inundações para Habitações em Queensland fornece informações de como melhorar a resiliência em escala urbana ou paisagem através da redução de áreas de superfície impermeável; do uso de materiais de pavimentação permeável; trincheiras de infiltração; reservatório de infiltração/contenção; jardins de chuva; reservatório para água da chuva; muros e portões permeáveis. Já na escala da habitação adotar estratégias como a construção com blocos de concreto e o uso do reboco impermeável em partes inundáveis; portas e janelas externas com permeabilidade para facilitar a entrada e saída da água são algumas soluções para se evitar prejuízos com as inundações (QUEENSLAND GOVERNMENT, 2019).

Barsley (2020) enfatiza que o aumento da urbanização e a resistência estão intensificando o risco de inundação, uma vez que reduzem a permeabilidade dos solos e sobrecarregam as redes de drenagem. O autor destaca como estratégia sistemas sustentáveis de drenagem urbana, que envolvem desde o planejamento urbano ao tipo de pavimento, sendo eles: telhados verdes; paredes verdes; cisternas e captação da água da chuva; pavimentação permeável; áreas de biorretenção; valas ou canais rasos com vegetação, entre outras.

UNEP (2021) destaca que quando não for possível evitar construções em áreas que inundam, é fundamental elevar as habitações acima do nível de inundação. Esse guia enfatiza três tipos de habitações, são elas: anfíbia, flutuante e contêiner anfíbio. A habitação anfíbia é um sistema flutuante elevado por palafitas permitindo a flutuação da habitação em caso de inundação; já a habitação flutuante é indicada para áreas com inundações frequentes e consiste em uma fundação de concreto armado com vazios internos que funcionam como bolsa de ar e permite que a habitação flutue em caso de inundação; e o contêiner anfíbio consiste em uma base feita com pallets e pneus para que o contêiner possa flutuar em caso de inundação.

Melbourne Water (2020) é um guia com estratégias para habitações já existentes localizadas em áreas inundáveis, sendo que para áreas externas traz

como solução a criação de jardins de chuva; a instalação de tanque de retenção de água abaixo da garagem; e aumentar as áreas de superfície permeável no terreno. O guia também recomenda a aplicação de reboco de cimento nas paredes de tijolo para auxiliar na impermeabilização da habitação. Além de sempre que possível, optar por grama, pavimento permeável ou cascalhos e pedras, aumentando a área permeável.

Portanto, há necessidades de medidas para minimizar os problemas causados pelas inundações nas bacias de Belém, tais como:

- Construção de comportas nas saídas dos canais de Belém, evitando a entrada da maré em eventos de chuva;
- Aumento da conscientização da população sobre a importância de se preparar para uma inundação, acreditando que a disseminação da informação acelera o processo;
- Planejamento adequado através da implementação de políticas públicas na cidade de Belém/PA para a construção de habitações levando em consideração a cota altimétrica de determinados locais;
- A avaliação de diferentes tipologias de habitação para a população de baixa renda, principalmente as que estão em área de risco de inundação;
- Desenvolvimento de projetos imobiliários para áreas inundáveis com materiais resistentes à água e sistemas de fácil desmontagem;
- O Plano Diretor como ferramenta para melhorar a gestão e organização da infraestrutura urbana e ordenamento do espaço, para evitar eventos sazonais, relacionadas as variáveis hidrológicas.

Vale ressaltar, que além da adoção de medidas estruturais em escalas urbanas de paisagem ou habitacionais, com obras para remediação ou prevenção dos problemas, salientam-se as medidas não estruturais, como por exemplo, a educação ambiental, que são de extrema importância na melhoria da saúde e qualidade ambiental.

6 CONCLUSÃO

O estudo permitiu estimar a probabilidade diária de inundação em determinadas regiões da cidade de Belém/PA em função de chuva e maré bem como também sem influência de maré com base em séries históricas de eventos pluviométricos (intensidade e duração da precipitação); e maregráficos (alturas de maré) validados em matérias jornalísticas locais e registros fotográficos.

As probabilidades de inundação da cidade foram determinadas de acordo com duas suposições: evento conjugado chuva-maré e somente com chuva, mas vale ressaltar que há regiões na cidade que também inundam somente com maré alta. A maior probabilidade de ocorrência de inundação através do efeito combinado chuva-maré foi nos dias 31 de março, 06 e 17 de abril com 63,16%. Esses dias fazem parte do primeiro semestre, período mais chuvoso da região.

Em relação ao período menos chuvoso, o dia 17 de outubro possui maior probabilidade de ocorrência de inundação via efeito combinado chuva-maré, sendo igual a 47,37%. Inclusive, em 17 de outubro de 2023, houve inundação na cidade, conforme os resultados apresentados. Destaca-se, também, que em apenas 56 dias do ano, não há probabilidade de ocorrer inundação pelo efeito combinado chuva-maré.

Os dias 16 de janeiro, 07 e 26 de fevereiro; e 09 de março são os que apresentam a maior probabilidade de inundação sem influência da maré e essa maior probabilidade é igual a 31,58%. Enfatiza-se, também, que em 137 dias do ano não há probabilidade de inundação somente com chuva. Outra constatação importante, é em relação às maiores probabilidades de inundações ocorrerem, principalmente, nos meses de fevereiro e março, meses do período mais chuvoso da região e, também, quando acontecem as marés de sizígia. Inundações somente pelo efeito da maré são observadas na cidade, principalmente, por alguns locais da cidade possuírem cotas altimétricas menores que as maiores alturas de maré, a exemplo do complexo Ver-o-Peso e a Universidade Federal do Pará.

O panorama apresentado, agrava-se em relação à população que habita a periferia da cidade, pois essa parcela sofre com a ocupação desordenada por moradias construídas em áreas de várzea. Além da população dessas áreas conviverem com uma rede de drenagem ineficiente, impermeabilização do solo e lançamento de resíduos sólidos urbanos no entorno e dentro dos canais.

Os bons resultados do estudo estimulam o desenvolvimento de novas pesquisas. Por exemplo, atualizar constantemente a série de dados analisadas para registrar a mudança na probabilidade diária ao decorrer do tempo. Outro trabalho a ser realizado é como o impacto das mudanças climáticas poderão influenciar futuramente às inundações em Belém/PA. Sugere-se também determinar as curvas intensidade-duração-frequência (IDF) para avaliar o impacto desses possíveis cenários de mudanças climáticas. Além, desses dois trabalhos, um terceiro seria o projeto de um sistema automático de comportas para evitar a inundação da rede de drenagem pela maré em eventos de chuvas intensas.

REFERÊNCIAS

ACKERMAN, S. A. KNOX, J. A. (eds.) (2012). Meteorology: understanding the atmosphere. Sudbury: Jones & Bartlett Learning, LLC.

AGATON, M.; SETIAWAN, Y.; EFFENDI, H.; 2016. Land use/land cover change detection in an urban watershed: a case study of upper Citarum Watershed, West Java Province, Indonesia. *Procedia Environmental Sciences* 33, 654-660.

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. 2020. Pluviógrafo. Disponível em: https://biblioteca.ana.gov.br/sophia_web/acervo/detalhe/84294. Acesso em: 14 de out. 2022.

ALFIERI, L; THIELEN, J. A European precipitation index for extreme rain-storm and flash flood early warning. *Meteorological Applications*. n. 22. p. 3-13, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1002/met.1328>.

ANDERSEN, T. K.; SHEPHERD, J. M. Floods in a changing climate. *Geography Compass*, v. 7, n. 2, p. 95-115, 2013. DOI: <https://doi-org.ez3.periodicos.capes.gov.br/10.1111/gec3.12025>.

ANDRADE, M. M. N.; SZLAFSZTEIN, C. F. Vulnerability assessment including tangible and intangible componentes in the index composition: an Amazon case study of flooding and flash flooding. *Science of the Total Environment*, v. 630, p. 903-912, 15 de jul, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.02.271>.

ANJOS, R. S. DOS; CANDEIAS, A. L. B.; NÓBREGA, R. S. Caracterização das chuvas através do satélite TRMM em Petrolândia-PE. *Revista Brasileira de Climatologia*, v. 18, n. 12, 2016. DOI: <https://doi.org/10.5380/abclima.v18i0.44652>.

ARAÚJO JÚNIOR, A. C. R. Natureza da Modificação e Modificação da Natureza: antropogênese da bacia hidrográfica da Estrada Nova. Belém (PA). *Geo UERJ*. Rio de Janeiro, ano 16, v. 1, n. 25, p. 39-61, 2014.

ARAÚJO, W. R.; SANTOS, C. A. M. 2020. Percepção ao risco de inundação em Rondonópolis -MT. *Biodiversidade* -19, 107 -122.

ARAÚJO, A. S.; SILVA, G. A. da; SILVA, M. F. da; SILVA, F. L. 2020. Percepção de risco dos moradores de área com inundações recorrentes: análise nos bairros da baixada do Sobral - Rio Branco/AC. UÁQUIRI, 2, 61-79.

AYRES, M. Elementos de Bioestatística. 2º edição (revisada). 2012.

BARBOSA, T. S.; FURRIER, M., 2012. Avaliação morfológica e morfométrica da bacia hidrográfica do rio Marés – PB, para verificação de influência neotectônica. Cadernos de Geociências 9, 112-120.

BARSLEY, E. Retrofitting for Flood Resilience: a guide to building & community design. 1 ed. London: RIBA Publishing, 2020.

BENEDITO, P. M. P.; ALBARICI, F. L.; TRABANCO, J. L. A. Determinação preliminar do modelo de maré terrestre para Presidente Prudente/SP. Revista Brasileira de Geomática, Curitiba, v. 5, n. 3. p. 420-432, 2017. DOI: 10.3895/rbgeo.v5n3.5419.

BERINO, M. O. Comportamento de fluxo hídrico subterrâneo na área da bacia hidrográfica da Estrada Nova, Belém-PA. 2013. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geologia) – Faculdade de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2013.

BERNHOFEN, M. V. et al. 2021. Global flood exposure from different sized rivers. Natural Hazards and Earth System Sciences, 2829 - 2847.

BEVACQUA, E.; MARAUN, D.; HAFF, I. H.; WIDMANN, M.; VRAC, M. Multivariate statistical modelling of compound events via pair-copula constructions: Analysis of floods in Ravenna (Italy). Hydrology Journal of Earth System Sciences, 21, 2701–2723 (2017).

BEVACQUA, E.; MARAUN, D.; VOUSDOKAS, M. I.; VOUKOUVALAS, E.; VRAC, M.; MENTASCHI, L.; WIDMANN, M. Higher probability of compound flooding from precipitation and storm surge in Europe under anthropogenic climate change. Science Advances, v. 5. N. 9, 2019. DOI: 10.1126/sciadv.aaw5531.

BOTELHO, R. G. M. Bacias Hidrográficas Urbanas. Geomorfologia urbana. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011, p. 71-115.

BOTELHO, M. H. C. (2011). *Águas de Chuva: Engenharia das Águas Pluviais nas Cidades*. 3. Ed. São Paulo: Editora: EDGARD BLÜCHER.

BRITO, L. S. A. *Intervenção no Centro Histórico e a Reorganização Sócio-espacial do Bairro da Cidade Velha – Belém/PA*. 2007. 158 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Federal do Pará, Belém, 2007.

CAMPOS, T. L. O. B.; MOTA, M. A. S.; SANTOS, S. R. Q. Eventos extremos de precipitação em Belém-PA: uma revisão de notícias históricas de jornais. *Revista Ambiente e Água, Taubaté*, v. 10, n. 1, p. 182-194, 2015.

CANIL, K.; LAMPIS, A.; SANTOS, K. L. S. 2020. Vulnerabilidade e a construção social do risco: uma contribuição para o planejamento na macrometrópole paulista. *Cadernos Metrópole, São Paulo*, 397 -416.

CARELLI, L.; LOPES, P. P. Caracterização Fisiográfica da Bacia olhos d'água em Feira de Santana/Ba: Geoprocessamento aplicado à análise ambiental. *Boletim Goiano de Geografia. Goiânia*, v. 31, n. 2, p. 43-54, jul./dez. 2011.

CARTACHO, D. L. *Análise probabilística chuva-maré para a bacia do rio Santo Antônio em Caraguatatuba (SP)*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

CARVALHO, K. F. NETO, R. M. Análise Morfométrica da Bacia Hidrográfica do Córrego Humaitá (juiz de fora, mg) como subsídio à investigação de riscos a inundações: resultados preliminares. *Revista Geonorte, Edição Especial, V.2, N.4*, p.138 – 149, 2012.

CARVALHO, M. E. S. Riscos e vulnerabilidades socioambientais na bacia costeira do rio Vaza Barris/Sergipe/Brasil: Contribuições para o planejamento e gestão ambiental. VIII Congresso sobre Planeamento e Gestão das Zonas Costeiras dos Países de Expressão Portuguesa. Aveiro. 2015. Disponível em: https://www.aprh.pt/ZonasCosteiras2015/pdf/2B1_Artigo_056.pdf. Acesso em: 12 out 2023.

CARVALHO, A. C. L.; ROCHA, G. de M. Análise dos riscos e da vulnerabilidade socioambiental urbana, face ao desenvolvimento desordenado e a pressão aos recursos hídricos em Belém-PA. *Brazilian Journal of Development, Curitiba*, v. 6, n. 4, p. 18127-18142, 2020. DOI: DOI:10.34117/bjdv6n4-108.

CASTRO, P.; HUBER, M. E. *Biologia marinha*. 8 ed. Porto Alegre: AMGH, 2012.

CENAD - CENTRO NACIONAL DE GERENCIAMENTO DE RISCOS E DESASTRES. 2019. Entenda os desastres: codificação brasileira de desastres (COBRADE). Disponível em: <https://antigo.mdr.gov.br/protecao-e-defesa-civil/centro-nacional-de-gerenciamento-de-riscos-e-desastres-cenad/entenda-os-desastres>. Acesso em: 07 de jun. 2022.

CHEN, F. L.; CHEN, H. M.; YANG, Y. Y. (2015). Annual and seasonal changes in means and extreme events of precipitation and their connection to elevation over Yunnan Province, China. *Quaternary International*, 374(10), 46– 61. DOI: <https://doi-org.ez3.periodicos.capes.gov.br/10.1016/j.quaint.2015.02.016>.

CHOO, Y. M.; JO, D. J.; YUN, G. S.; LEE, E. H. A study on the improvement of flood forecasting techniques in urban areas by considering rainfall intensity and duration. *Revista water*, v. 11 (9), 2019. DOI: <https://doi.org/10.3390/w11091883>.

COELHO, A. de L. Método de previsão de maré oceânica, utilizando análise harmônica em séries de 18,69 anos. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil - Recursos Hídricos, Energéticos e Ambientais) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Campinas, São Paulo, 2016.

CODEM - COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO DA ÁREA METROPOLITANA DE BELÉM. 2022. Distritos administrativos. Disponível em: <https://codem.belem.pa.gov.br/mapas/distritos-administrativos/>. Acesso em: 19 abr 2022.

CODEM - COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO DA ÁREA METROPOLITANA DE BELÉM. 2023. Bacias Hidrográficas. Disponível em: <https://codem.belem.pa.gov.br/mapas/bacias-hidrograficas/>. Acesso em: 30 mai 2023.

COSTA, C. E. A. de S.; BLANCO, C. J. C. Influência da variabilidade climática sobre a Erosividade em Belém (PA). *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 33, n. 3, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1590/0102-7786333010>.

COSTA, F. E. V.; SOARES, D. A. S.; BRASIL, A. de P. de M. dos S.; SILVA, S. L. B. da; RODRIGUES, V. V.; CYRUS, A. R. C.; PAZ, M. M. (2021). A complexidade da questão dos rios urbanos nas cidades amazônicas: o caso de

Belém/PA. Cidades amazônicas: formas, processos e dinâmicas recentes na região de influência de Belém. Belém: EDUEPA, 240-274.

CORRÊA, P. B.; CORRÊA, J. A. J.; ANDRADE, S. C. DE P. (2012) Análise da temperatura de superfície da área urbana de Santarém através de imagens termais do Landsat 5. Revista Geonorte, v. 2, n. 4, p. 714-722, 2012. Disponível em: <https://periodicos.ufam.edu.br/index.php/revistageonorte/article/view/2126/2006>. Acesso em: 20 abr 2022.

CPRM - Serviço Geológico do Brasil. 2021. Setorização 2021: relatório. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/20761>. Acesso em 12 de maio 2022.

CRISTO, L. A.; LUZ, L. M. Morfologia e uso do solo na Bacia Urbana do Tucunduba, Belém/PA. Revista Brasileira de Geografia Física, v. 7, n. 3, p. 466-475, 2014.

CRUZ, C. C. C. S. Uso e ocupação do solo nas bacias hidrográficas da região metropolitana de Belém: Uma análise urbanístico-ambiental. Dissertação de Mestrado (Arquitetura e Urbanismo), UFPA, 2018.

DEVI, N. N.; SRIDHARAN, B.; KUIRY, S. N. (2019). Impact of urban sprawl on future flooding in Chennai city, India. Journal of Hydrology, 574, 486-496.

DIAS, D. S.; BLANCO, C. J. C.; COSTA, C. E. A. de S.; ALBUQUERQUE, R. L. de O. Uso de pluviômetro artesanal como instrumento aplicado à modelagem de cheia em Belém-PA. Geo Ambiente on line, Jataí-GO, n 41, 2021.

DIAS, L. C.; VALENTE, A. M. da C.; FERNANDES, L. L. Análise e correlação de variáveis climatológicas com fenômenos climáticos e urbanização no Município de Belém, Estado do Pará, Norte do Brasil. Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento. [S. l.], v. 9, n. 8, pág. e972986790, 2020. DOI: 10.33448/rsd-v9i8.6790. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/6790>. Acesso em: 25 mar. 2022.

DHN - Diretoria de hidrografia e Navegação da Marinha do Brasil. 2021. Disponível em: <https://www.marinha.mil.br/chm/tabuas-de-mare>. Acesso em: 10 dez. 2021.

DHN - Diretoria de hidrografia e Navegação da Marinha do Brasil. 2023. Disponível em: <https://www.marinha.mil.br/chm/tabuas-de-mare>. Acesso em: 20 out. 2023.

ESPINDOLA, R. L. Desenvolvimento e testes de uma ferramenta computacional para previsão da maré astronômica. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2012.

ESTEBAN, M.; TAKAGI, H.; SHIBAYAMA, T. Handbook of coastal disaster mitigation for engineers and planners. Elsevier, New York, U.S. 2015. 780p.

FENGLER, F. H.; DE MORAES, J. F.; RIBEIRO, A. I.; PECHE FILHO, A., STORINO, M.; MEDEIROS, G. A. D. 2015. Qualidade ambiental dos fragmentos florestais na Bacia Hidrográfica do Rio Jundiaí-Mirim entre 1972 e 2013. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental 19, 402-408.

FRANCA, R. R. Eventos pluviais extremos na Amazônia Meridional: riscos e impactos em Rondônia. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2015.

FREITAS, L. F.; GUIMARÃES, R. F.; de CARVALHO JUNIOR, O. A.; GOMES, R. A. T. Relacionamento entre a mudança da rede de drenagem devido à construção de estruturas urbanas e o surgimento de voçorocas e ravinas no bairro do Jardim Botânico no Distrito Federal. Revista Brasileira de Geomorfologia, Brasília, v.13, n.4, p.419-433, 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v13i4.294>.

GÁLVEZ, J. J. O. (2011). Cartilha Técnica: águas subterrâneas – aquíferos. Lima-Peru: Sociedad Geográfica de Lima, 43p.

GASPARI, F. J. et al. (2013). Elementos metodológicos para el manejo de cuencas hidrográficas. La Plata: Universidad Nacional de la Plata, 188p.

G1 PARÁ. (2017). Chuva forte deixa diversos pontos de alagamento em Belém. Disponível em: <https://g1.globo.com/pa/para/noticia/2017/03/chuva-forte-deixa-diversos-pontos-de-alagamentos-em-belem.html>. Acesso em: 12 de fev. 2022.

GLOBOPLAY (2015). “Forte chuva provocou alagamentos na região metropolitana de Belém na noite de terça (4)”. Disponível em: <https://globoplay.globo.com/v/4370500/>. Acesso em: 15 de jan. 2021.

GLOBOPLAY (2017). “Belém registrou vários pontos de alagamento com a chuva da tarde da última segunda, 20”. Disponível em: <https://globoplay.globo.com/v/5669579/>. Acesso em: 12 de fev. 2022.

GONÇALVES, A. Análise da influência gravitacional lunar sobre os complexos convectivos de mesoescala na região Nordeste brasileira. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2015.

GONÇALVES, R. S. Metodologias de determinação de alturas de onda para dimensionamento de obras marítimas. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade da Madeira, Funchal, Portugal, 2016.

GONÇALVES, E. D.; BLANCO, C.; WATRIN, V. D. R.; COSTA, C. E. A. d. S. (2021). Análise experimental e custos de telhados verdes comerciais e fabricados com garrafas pet para redução de cheias urbanas na Amazônia. *Mix Sustentável*, v. 7, n 2, p. 57-66, 2021. DOI: <https://doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2021.v7.n2.57-66>.

GUHA-SAPIR, D.; VOS, F.; BELOW, R.; PONSERRE, S. (2012). Annual disaster statistical review 2011: the numbers and trends. Brussels: CRED, pp. 1–52. Disponível em: <http://lib.riskreductionafrica.org/bitstream/handle/123456789/1141/annual%20disaster%20statistical%20review%202011.%20the%20numbers%20and%20trends.pdf?sequence=1>. Acesso em: 08 de jun. 2022.

HSIAO, S. C.; CHIANG, W. S.; JANG, J. H.; WU, H. L.; LU, W. S.; CHEN, W. B.; WU, Y. T. Flood risk influenced by the compound effect of storm surge and rainfall under climate change for low-lying coastal areas. *Science of the Total Environment*, 764 (2021), p. 144439. DOI:10.1016/j.scitotenv.2020.144439.

HUMMEL, B.; CUTTER, S.; EMRICH, C. Social vulnerability to natural hazards in Brazil. *International Journal of Disaster Risk Science*. 7, 111–122, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13753-016-0090-9>.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. 2022. Cidades e Estados. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/pa/belem.html>. Acesso em: 21 mar. 2022.

IFSULDEMINAS - INSTITUTO FEDERAL SUL DE MINAS. 2022. Medição de Chuva. Disponível em: <https://portal.ifs.ifsuldeminas.edu.br/index.php/noticias/81-destaques/1561-medicao-de-chuva>. Acesso em: 14 de out. 2022.

INMET - INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. 2015. Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/>. Acesso em 25 mar. 2022.

INMET - INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. 2021. Dados Pluviométricos. Disponível em: <https://bdmep.inmet.gov.br>. Acesso em: 10 dez. 2021.

IRANNEZHAD, M.; TORABI HAGHIGHI, A.; CHEN, D. et al. Variability in dryness and wetness in central Finland and the role of teleconnection patterns. *Theoretical and Applied Climatology*, 122, 471–486 (2014). <https://doi.org/10.1007/s00704-014-1305-x>.

JACOBI, P. R. São Paulo metrópole insustentável: como superar esta realidade? *Cadernos Metrópole*, v. 15, n. 29, p. 219-239, 2013.

JUNIOR, A. C. R. A.; AZEVEDO, A. K. A. de. Bacia hidrográfica da Estrada Nova: dinâmica física e social em Belém (PA). *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 15, n.05, 2022, 2178-2193.

KHALIQ, M. N.; SUSHAMA, L.; MONETTE, A.; WHEATER, H. 2014. Seasonal and extreme precipitation characteristics for the watersheds of the Canadian Prairie Provinces as simulated by the NARCCAP multi-RCM ensemble. *Climate Dynamics*, 44: 255– 277. <https://doi-org.ez3.periodicos.capes.gov.br/10.1007/s00382-014-2235-0>.

KLEIN, A. H. da F.; SHORT, A. D.; BONETTI, J. Santa Catarina Beach Systems. In: SHORT, A. D., KLEIN, A. H. da F. *Brazilian Beach Systems*. Switzerland: Springer, 2016.

LEAL, K. B.; OLIVEIRA, U. R.; ESPINOZA, J. M. A. Beach dune limit variation on Mostardense, Mar Grosso, Cassino and Barra do Chuí beaches, in the south of Brazil between 2003-2015. *Quaternary Environmental Geosciences*, v. 9, n. 1, p. 25-37, 2018.

LEAL, M. S.; TONELLO, K. C., 2016. Análise da morfometria e do uso e cobertura da terra da microbacia do córrego Ipaneminha de Baixo, Sorocaba/SP. *Floresta* 46, 439-446.

LEÃO, M. B. M. S. Paisagem ribeirinha nas baixadas de Belém/PA: usos e apropriações na bacia da Estrada Nova. In: XVII ENCONTRO NACIONAL DA

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA EM PLANEJAMENTO URBANO E REGIONAL. 17., 2017, São Paulo, Anais... São Paulo: XVII ENANPUR, 2017.

LEÃO, E. A. S. Análise comparativa hidroambiental das bacias do Uma e Estrada Nova e suas implicações socioeconômicas. Pará, Brasil. 2013. Dissertação (Mestrado) Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2013.

LICCO, E. A.; DOWELL, S. F. M. Alagamentos, enchentes, enxurradas e inundações: Digressões sobre seus impactos socioeconômicos e governança. Iniciação, v. 5, p. 159-174, 2015.

LIMA, A. M. de; ROCHA, J. R. R.; MARIANO, Z. de F.; CABRAL, J. B. P. Intensidade as chuvas na bacia de Caçu-GO. Revista Geonorte, edição especial 2, V.2, N.5, p. 1089-1097, 2012.

LIMA, S. R. M.; SANTOS, J. I. N. dos; BRILHANTE, A. L.; PACHECO, P. R. C. (2014). Avaliação do impacto da ocupação desordenada sobre o igarapé Mata Fome, Belém-PA. X Encontro Nacional de Águas Urbanas (ISSN 2359-196X). Disponível em: <https://eventos.abrh.org.br/xenau/apresentacoes.php>. Acesso em: 12 out. 2023.

LIMA, G. F. da C. A crise climática, a onda conservadora e a educação ambiental: desafios e alternativas aos novos contextos. REMEA-Revista Eletrônica do Mestrado em Educação Ambiental, p. 40-54, 2017. Disponível em: <https://seer.furg.br/remea/article/view/7141>. Acesso em: 09 mai. 2022.

LIMONAD, E. A insustentável natureza da sustentabilidade: da ambientalização do planejamento às cidades sustentáveis. Cadernos Metrôpole, v. 15, n. 29, p. 123-142, 2013.

LOPES, Y. K. L.; NEU, V.; FELIZZOLA, J. F.; TEIXEIRA, L. C. G. M.; COSTA, C. E. A. S. Variabilidade hidrogeoquímica em águas do Estuário Amazônico. Ambiência. v. 13, n. 2, p. 326 – 342, 2017.

MALHEIROS, E. B.; PANOSSO, A. R. Planilha eletrônica Microsoft Excel. Disponível em: https://www.fcav.unesp.br/Home/departamentos/cienciasexatas/alanrodrigopanosso/apostilamsexcel_2019.pdf. Acesso em: 20 jan. 2023.

MARENGO, J.; TOMASELLA, J.; SOARES, W.; ALVES, L.; NOBRE, C. Extreme climatic events in the Amazon basin. *Theoretical Applied Climatology*, 107 (1–2), 73–85, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00704-011-0465-1>.

MARENGO, J. A.; ESPINOZA, J. C. Extreme seasonal droughts and floods in Amazonia: causes, trends and impacts. *International Journal of Climatology*, v. 36, n. 3, p. 1033-1050, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1002/joc.4420>.

MARTINS, R. D'A.; FERREIRA, L. da C. Uma revisão crítica sobre cidades e mudança climática: vinho velho em garrafa nova ou um novo paradigma de ação para a governança local. *Revista de Administração Pública-RAP*, Rio de Janeiro, v. 45, n. 3, p. 611-641, maio/jun. 2011.

MATOS, F. C.; TARGA, M. S.; BATISTA, G. T.; DIAS, N. W. Análise temporal da expansão urbana no entorno do Igarapé Tucunduba, Belém, PA, Brasil. *Revista Biociências*, v. 17, n. 1, p. 7-16, 2011.

MEI, C.; LIU, J. H.; CHEN, M. T.; WANG, H.; LI, M.; YU, Y. D. (2018). Multi-decadal spatial and temporal changes of extreme precipitation patterns in northern China (Jing-jin-ji district, 1960–2013). *Quaternary International*, 476, 1– 13. <https://doi-org.ez3.periodicos.capes.gov.br/10.1016/j.quaint.2018.03.008>.

MELBOURNE WATER. Flood resilient guide to retrofitting your home. Melbourne: Melbourne Water, 2020.

MELO, A. (2023). Forte chuva provoca alagamentos em Belém. Disponível em: <https://diariodopara.dol.com.br/belem/forte-chuva-provoca-alagamentos-sem-belem-90448/>. Acesso em: 10 out 2023.

MENDES, L. A. S. Espaços elitizados de moradia e consumo: a reestruturação urbana da Avenida Augusto Montenegro no quadro das centralidades da Região Metropolitana de Belém. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Pará, Instituto de Filosofia e Ciências Humanas, Programa de Pós-graduação em Geografia, Belém, 2014, 210 f.

MEQUE, H. F. (2019). Análise de maré para o Porto de Nacala. Monografia submetida para a obtenção do grau de licenciatura em Oceanografia.

MIGUENS, A. P. Navegação: a ciência e arte. Volume I, 1ª revisão atualizada, 2019. Disponível em: <https://www.marinha.mil.br/dhn/?q=pt-br/npublicacoes>. Acesso em: 10 nov. 2022.

MORFTAKHARI, H. R.; SALVADORI, G.; AGHAKOUCHAK, A.; SANDERS, B. F.; MATTHEW, R. A. Compounding effects of sea level rise and fluvial flooding. *Proceedings of the National Academy of Science U.S.A.* 114, 9785–9790 (2017). DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.1620325114>.

MOREIRA, F. da. S. de A.; DIAS, G. F. de M.; VITORINO, M. I.; SILVA, G. C. C. da S. Efeitos da precipitação e topografia para o risco de inundações na cidade de Belém-PA. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 12, n. 07 (2019), p. 2716-2728.

MORUZZI, R. B; CUNHA, C. M. L; CONCEIÇÃO, F. T. Princípios básicos para a modelagem de cheias em bacias hidrográficas urbanizadas. In: GUIMARÃES, S. T. L. et al.(Org.). *Gestão de áreas de riscos e desastres ambientais*. Rio Claro, IGCE/UNESP/RIO CLARO, 2012. p. 305-327.

NAGY, L.; ARTAXO, P.; FORSBERG, B. 2016. Interactions between biosphere, atmosphere, and human land use in the Amazon Basin: an introduction. In: Nagy, L., Forsberg, B., Artaxo, P. (Eds.), *Interactions Between Biosphere, Atmosphere and Human Land Use in the Amazon Basin*. *Ecological Studies (Analysis and Synthesis)* vol. 227. Springer, Berlin, Heidelberg.

NAIR, A. M.; MOHANLAL, L.; AYISHATH NABEELA, C. R.; ANEESH, T. D.; SRINIVAS, R. (2016). Study on the Impact of Land Use Changes on Urban Hydrology of Cochin, Kerala, India. In: A.K. Sarma, V.P. Singh, S.A. Kartha, & R.K. Bhattacharjya (Orgs.), *Urban Hydrology, Watershed Management and Socio-Economic Aspects*. (Cap. 23, pp. 69-82). Switzerland: Springer International.

NEGRI, R.; RICHTER, M. A. B.; REIMER, M. E.; LUZ, G de A. da; DREVEK, F. A.; IZIDORO, C.; NIEDZVIESKI, E.; GOMES, V. E. A. Definição do nível altimétrico da estação maregráfica da EPAGRI-CIRAM e proposição de leitura de alerta de eventos de alagamento por maré para Joinville-SC. *Conhecimento em Construção*, Joaçaba, v. 8, p. 79-92, 2021. ID: <https://orcid.org/0000-0002-2523-399X>.

NEVES, M. G. F. P; TUCCI, C. E. M. Composição de resíduos de varrição e resíduos carregados pela rede de drenagem, em uma bacia hidrográfica urbana. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 16, p. 331-336, 2011.

NINA, A. S.; SZLAFSZTEIN, C. F. As inundações de 2009 na Amazônia e suas relações com o desenvolvimento sustentável: impactos ao produto interno bruto municipal. *Geographia*, v. 20, n. 43, 2018.

NJOGU, H. W. 2021. Effects of floods on infrastructure users in Kenya. *Journal of Flood Risk Management*, [s.v.], n. 12746, p. 1 - 10.

NYLANDER, J. D. A.; FERREIRA, J. F. H.; PEREIRA, J. A. R. Avaliação de alternativa para amortização de eventos de inundação em bacia de drenagem urbana. In: SEMINARIO IBEROAMERICANO DE REDES DE AGUA Y DRENAJE. 7., 2017, Bogotá, Anais...Bogotá - Colômbia: Universidad de Los Andes, 2017, p. 90-98.

NYLANDER, J. D. A. Avaliação da utilização de comporta em eventos extremos de precipitação pluviométrica e de maré no canal de drenagem da Tamandaré. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal do Pará, 2019.

NYLANDER, J. D. A.; BARROS, A. J. A.; MESQUITA, K. F. C.; BEZERRA, G. C. M.; PEREIRA, J. A. R. Análise das causas e consequências de inundações e alagamentos na bacia hidrográfica da Tamandaré do município de Belém/PA. *Brazilian Journal of Development*, v. 7, n. 5, p.49335-49348, 2021.

PANTOJA, M. A. L.; RIOS, E. G.; PEREIRA, B. W. de F.; CORREA, D. L.; SOARES, J. A. C.; FIGUEIREDO, D. B. (2014). Detecção de canais e rios impactados pelo despejo irregular de efluentes na cidade de Belém. Disponível em: www.cartografia.org.br/cbc/trabalhos/1/653/CT01-331404422932.pdf. Acesso em: 30 mai. 2023.

PEGADO, R. S.; BLANCO, C. J. C.; ROEHRIG, J.; CAROÇA, C.; COSTA, F. S.; TOSTES, W. S. The importance of physical indicators in areas of urban flood: the case of the metropolitan region of Belém. *International Journal of Civil & Environmental Engineering*, v. 12, n. 2, p. 42-48, 2012.

PEGADO, R. S.; BLANCO, C. J. C.; ROEHRIG, J.; CAROÇA, C.; COSTA, F. da S. Risco de cheia e vulnerabilidade: uma abordagem às inundações urbanas de

Belém/Pará/Brasil. Revista Territorium, n. 21, p.71-76, 2014. DOI: https://doi.org/10.14195/1647-7723_21_6.

PEIXOTO, F. S.; STUDART, T. M. de C., CAMPOS, J. N. B. Gestão das águas urbanas: questões e integração entre legislações pertinentes. Revista de Gestão de Águas da América Latina, Campo Grande, v. 13, n. 2, p. 160-174, 2016.

PENSADOR, M. L.; MESQUITA, D. A.; BARROSO, D. E. dos S.; SANTANA, M. W. A.; SILVA, D. G. S. da. (2021). Análise da eficiência do canal de drenagem do Paracuri na região metropolitana de Belém-PA. XXIV SBRH – Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos (ISSN 2318-0358). Disponível em: <https://anais.abrhidro.org.br/job.php?Job=7401>. Acesso em: 13 out 2023.

PEZZOLI, A.; ALFREDINI, P. 2013. Impacts of Climate Changes on Management Policy of the Harbors, Land Areas and Wetlands in the Sao Paulo State Coastline (Brazil). Journal of Climatology & Weather Forecasting, 01(02): 1–7.

PINHEIRO, A. C. L. Aglomerados subnormais em Belém: risco e vulnerabilidade socioambiental. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal do Pará, Belém, 2015.

PINTO, F. T.; GOMES, F. V. (2015). Análise das Marés Meteorológicas em Leixões, (October).

PONTES, J. P. X. Belém do Pará: cidade e água. Cadernos Metrópole, São Paulo, 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 de alagamentos. Caderno de geografia, v. 27, n. 49, p. 285-303, 2017.

QUEENSLAND RECONSTRUCTION AUTHORITY. Flood Resilient Building Guidance for Queensland Homes. [S. l.]: Queensland Government, 2019.

RAO, K. H. V. D.; RAO, V. V.; DADHWAL, V. K.; BEHERA, G.; SHARMA, J. R. 2011. A distributed model for real-time flood forecasting in the Godavari Basin using space inputs. International Journal of Disaster Risk Science, 2(3): 31–40.

RIBEIRO, E. G. P.; FERREIRA, B. M.; MACIEL, M. de N. M.; PEREIRA, B. W. de F.; SOARES, J. A. C. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do

Igarapé do Uma por meio de geotecnologias. Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer, Goiânia, v.11, n. 21, p.2960, 2015.

RODRIGUES, R. M.; LIMA, J. J. F.; PONTE, J. P.; LEÃO, M. B.; LOPES, R. S.; BARROS, N. S. (2012). APP's urbanas e intervenções públicas em áreas de baixadas em Belém (PA): implicações das intervenções públicas nas margens de cursos d'água. Disponível em: <http://unuhospedagem.com.br/revista/rbeur/index.php/APP/article/view/4030/3935>. Acesso em: 23 jun. 2023.

RODRIGUES, L. L.; BLANCO, C. J. C. Vazão de pico em uma bacia hidrográfica com diferentes níveis de urbanização em Santarém/PA. Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais, v.9, n.7, p.62-75, 2018. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2018.007.0007>.

RODRIGUES, J. E. C.; LUZ, L. M. DA; Risco hidroclimático e impacto das precipitações em planícies urbanas de Belém-PA. Revista do Instituto Histórico e Geográfico do Pará (IHGP), (ISSN: 2359-0831 - on line), Belém, v. 08, n. 01, p. 165– 183, jan.-jun. / 2021.

ROMA NEWS. (2023). Chuva forte provoca vários pontos de alagamento em bairros de Belém. Disponível em: <https://romanews.com.br/cidades/chuva-forte-provoca-varios-pontos-de-alagamento-em-bairros-de-belem-assista/>. Acesso em: 19 out 2023.

SANTANA, D. W. S.; SANTOS, M. C. L.; BARBOSA, J. M. A.; NASCIMENTO, E. J. JUNIOR; DUARTE, C. C. Análise da relação entre a intensidade da chuva e ocorrências de alagamentos nos meses de abril e maio de 2016 na cidade de Recife, Pernambuco. Paisagens & Geografias, v. 3, n. Esp 2, 2018.

SANTOS, F. A. A. Alagamento e inundação urbana: modelo experimental de avaliação de risco. 2010. 165f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais)- Universidade Federal do Pará/Museu Paraense Emílio Goeldi/Embrapa, Belém, 2010.

SANTOS, S. N.; LAFON, J. N.; CORRÊA, J. A. M.; BABINSKI, M.; DIAS, F. F.; TADDEI, M. H. T. Distribuição e assinatura isotópica de Pb em sedimentos de fundo da foz do rio Guamá e da baía do Guajará (Belém – Pará). Química Nova, São Paulo, v. 35, n. 2, p. 249 – 256, 2012.

SANTOS, F. A. A.; ROCHA, E. J. P. Alagamento e inundações em áreas urbanas. Estudo de caso: Cidade de Belém. Revista GeoAmazônia, Belém, v. 2, n. 2, p. 33-5. 2013.

SANTOS, E. F. N.; SOUSA, I. F.; 2018. Análise estatística multivariada da precipitação do estado de Sergipe através dos fatores e agrupamentos. Revista Brasileira de Climatologia, 23, 205-222. <http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v23i0.58267>. Acesso em 24 mai. 2022.

SCHMITT, T. G.; SCHEID, C. Evaluation and communication of pluvial flood risks in urban areas. Wiley Interdisciplinary Reviews: Water, v. 7, n. 1, p. e1401, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1002/wat2.1401>.

SCHRÖTER, K.; LÜDTKE, S.; REDWEIK, R.; MEIER, J.; BOCHOW, M.; ROSS, L. 2018. Flood loss estimation using 3D city models and remote sensing data. Environmental Modelling and Software, 105(1): 118–131.

SEGUNDO, A. A. das M.; PAIXAO, G. do V.; BASTOS, L. C. da S.; SANTOS, R. F.; LIRA, B. R. P.; BITTENCOURT, G. M.; FERNANDES, L. L. Avaliação de pontos de alagamento no setor profissional da cidade universitária professor José da Silveira Netto. Research, Society and Development, v. 9, n. 9, p. e21996525-e21996525, 2020.

SEVERO, D. L.; SANTOS, S. H.; TACHINI, M. (2019). Flutuações da precipitação no Vale do Itajaí (SC). Revista de Estudos Ambientais, 20(2),37-48.

SGARBI, A. C. Redução de risco de desastres: uma análise da subprefeitura do Butantã SP pela perspectiva da ISO 37123 - Desenvolvimento Sustentável de Comunidades - Indicadores de Cidades Resilientes. Dissertação de mestrado. Escola Politécnica da USP. Biblioteca Digital de Teses e Dissertações da Universidade de São Paulo: São Paulo, 2020. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3146/tde-20102020-125902/publico/AllyneCarolineSgarbiCorr20.pdf>. Acesso em: 16 mai. 2023.

SHIN, E. T.; LEE, S.; LEE, J.; GEUN, C. de C. 2021. Effectiveness of na adaptive flood management strategy using riparian risk assessment and a tolerability criterion. Journal of Flood Risk Management,[s.v.], 1 – 13. DOI: <https://doi.org/10.1111/jfr3.12756>.

SILVA, M. V. A. da; FERREIRA, N. C. Avaliação da ocupação e uso da terra nas bacias hidrográficas da Região Metropolitana de Goiânia/GO (2010). *Ateliê Geográfico*, Goiânia-GO, v. 8, n. 2, p. 150-167, ago/2014.

SILVA, A. L. A. (2015). O uso social da água na bacia urbana do Tucunduba/Be-
lém –PA. In *Anais do XIV Simpósio Nacional de Geografia Urbana*, 2015.

SILVA, Al.; SILVA, S. Dimensionamento de sistema de drenagem: estudo de caso do canal Arruda. In: *Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, 21., 2015, Brasília.

SILVA, M. J. D. da; LUZ, L. M. da. Uso do solo e degradação ambiental: estudo de caso da bacia do mata fome em Belém, Pará. *Revista InterEspaço*, Grajaú/M A, v. 2, n. 7, p. 162-178, set./dez. 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.18764/2446-6549.v2n7p162-178>.

SILVA JUNIOR, A. R.; SILVA, M. L. Riscos e educação ambiental na bacia hidrográfica do Tucunduba: um estudo sobre o bairro Montese, Belém/PA. *Revista Ambiente e Educação*, v. 25, n. 3, 2020. <https://doi.org/10.14295/ambiente.v25i3.9788>. Disponível em: https://repositorio.ufpa.br/jspui/bitstream/2011/16078/1/Artigo_RiscosEducacaoAmbiental.pdf

SILVA JÚNIOR, A. R. da. Indicadores de vulnerabilidade, risco socioambiental e educação ambiental para prevenção e mitigação de desastre natural na bacia hidrográfica do Tucunduba, Belém-PA. 2018. 90 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Belém, 2018. Programa de Pós-Graduação em Gestão de Risco e Desastre na Amazônia. Disponível em: <<http://repositorio.ufpa.br/jspui/handle/2011/10070>>. Acesso em: 10 mai. 2022.

SILVA, J. A. S. da; RODRIGUES, J. E. C. (2019). Análise da cobertura vegetal na bacia hidrográfica “Mata-Fome”, Belém/PA. *Revista do Instituto Histórico e Geográfico do Pará (IHGP)*, v. 06, n.02, p. 73-91, 2359-0831.

SILVA, S. L. A.; MARTINS, M. H. M.; SPINK, M. J. P. (2020). Percepção e hierarquia de riscos de inundação recorrente em área urbana regularizada: uma análise discursiva. *Saúde Debate*. 44, 202 -213.

SILVA, B. de A. da; NYLANDER, J. D. A.; PEREIRA, J. A. R. Análise do lançamento de esgoto sanitário no canal de drenagem da bacia hidrográfica da

Tamandaré/Belém-Pará. Revista Gestão e Sustentabilidade Ambiental, Florianópolis, v. 9, n. 3, p. 92-109, 2020. DOI: 10.19177/rgsa.v9e3202092-109.

SILVA, A. R. S. da; SANTANA, M. D. S.; PASCOAL, R. M.; SILVA, R. N. L. da. Urbanização desordenada: consequências socioambientais na bacia hidrográfica do Paracuri II, distrito de Icoaraci-PA. Revista do Instituto Histórico e Geográfico do Pará (IHGP), (ISSN: 2359-0831 - on line), Belém, v. 03, n. 01, p. 31-50, 2016.

SILVA, C. D. O. F., MEDEIROS, G. A., 2017. Avaliação ambiental e morfométrica da bacia do rio Jundiá-Mirim: diagnósticos e subsídios para gestão ambiental. Boletim Campineiro de Geografia, 7, 441-454.

SILVA, M. V. S. da; LIMA, A. M. M. de. (2021). Reconstituição espaço-temporal do alagado do Piry de Jussara, Belém-PA: evolução e impacto na urbanização. Revista Cerrados, v. 19, n. 1, p. 113-139.

SILVEIRA, C. S.; SOUZA FILHO, F. A.; MARTINS, E. S. P. R.; OLIVEIRA, J. L.; COSTA, A. C.; NOBREGA, M. T.; SOUZA, S. A.; SILVA, R. F. V. 2016. Mudanças climáticas na bacia do rio São Francisco: Uma análise para precipitação e temperatura. Revista Brasileira de Recursos Hídricos 21, 416-428. <http://dx.doi.org/10.21168/rbrh.v21.n2.p416-428>. Acesso em: 24 mai. 2022.

SINGH, P.; SINHA, V. S. P.; VIJHANI, A.; PAHUJA, N. 2018. Vulnerability assessment of urban road network from urban load. International Journal of Disaster Risk Reduction, 28(1): 237–250.

SNIS - Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. 2020. Diagnóstico temático, drenagem e manejo das águas pluviais urbanas. Disponível em: SNIS — Português (Brasil) (www.gov.br). Acesso em: 23 ago. 2022.

SIQUEIRA, G. W.; APRILE, F. Avaliação de risco ambiental por contaminação metálica e material orgânico em sedimentos da bacia do Rio Aurá, Região Metropolitana de Belém – PA. Revista Acta Amazônica Vol. 43 (1) p. 51-62. Belém: 2013.

SOARES Pedro P. M. A. Drenagem, saneamento e transformações urbanas: acervos fotográficos como expressão da Memória Ambiental na Bacia do Una em Belém (PA). Revista Visagem, Belém, v. 3, p. 110, 2017.

SOARES, A. A. S.; CARVALHO, A. C. Desafios da governança do espaço urbano na era do antropoceno, e o caso das inundações e alagamentos em Belém-PA. *Revista GeoAmazônia*, Belém, v. 6, n 11, p. 105-142, 2018. Disponível em: <https://periodicos.ufpa.br/index.php/geoamazonia/article/view/12514>. Acesso em 22 de out. 2022.

SOARES, P. P. de M. A.; CRUZ, S. H. R. A. Ecologia política das inundações urbanas na bacia do Una em Belém (PA) (The Political Ecology of urban flooding in the Una Watershed in Belém, state of Pará). *Revista Emancipação*, Ponta Grossa-PR, Brasil, v. 19, n. 1, p. 1-15, e10947, 2019. DOI: 10.5212/Emancipacao.v.19.0005. Disponível em: <https://revistas.uepg.br/index.php/emancipacao/article/view/10947>. Acesso em: 14 out. 2023.

SÓTER, G. (2012). “Chuva provoca alagamento na avenida Pedro Álvares, em Belém”. Disponível em: G1 - Chuva provoca alagamento na avenida Pedro Álvares, em Belém - notícias em Pará (globo.com). Acesso 15 de jan. 2021.

SOUSA, M. L. M.; NASCIMENTO, F. R. 2015. Estudos geoambientais de bacias hidrográficas em áreas suscetíveis à desertificação no Nordeste do Brasil. *Cuadernos de geografía – Revista Colombiana de Geografía*, 24, 13-27, 2015.

SOUZA, R. D. de. A área de expansão de Belém: um espaço de múltiplas vivências. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Pará, Instituto de Tecnologia, Programa de PósGraduação em Arquitetura e Urbanismo, Belém, 2016, 155 p.

SOUZA, L. da P. de; TORRES, E. E. S. A.; XAVIER, B. V. M. P.; SOUTO, C. K. B.; BARROS, K. da C.; TELES, A. I. L.; PRATA, L. K. F.; DIAS, E. C.; ANDRADE, A. A.; GOMES, N. C. da R.; BITTENCOURT, G. M.; FERNANDES, L. L. Abordagem da atual situação do sistema de drenagem urbana e resíduos sólidos do bairro Curió Utinga-Belém/PA. IX Simpósio Brasileiro de Engenharia Ambiental, 2017. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Germana-Bittencourt/publication/320938073_ABORDAGEM_DA_ATUAL_SITUACAO_DO_SISTEMA_DE_DRENAGEM_URBANA_E_RESIDUOS_SOLIDOS_DO_BAIRRO_CURIO_UTINGABELEMPA/links/5ee3974892851ce9e7dced99/ABORDAGEM-DA-ATUAL-SITUACAO-DO-SISTEMA-DE-DRENAGEM-URBANA-E-RESIDUOS-SOLIDOS-DO-BAIRRO-CURIO-UTINGA-BELEM-PA.pdf. Acesso em: 13 out. 2023.

SOUZA, R. C. O. de. Análise dos instrumentos de planejamento e das condições de drenagem de águas pluviais da área central do município de Belém/PA. Revista GeoAmazônia, Belém, v. 7, n. 14, p. 197-216, 2019.

SOUZA, M. Articulando ambiente, território e lugar: a luta por justiça ambiental e suas lições para a epistemologia e a teoria geográficas. AMBIENTES: Revista de Geografia e Ecologia Política, [S. l.], v. 2, n. 1, p. 16, 2020. Disponível em: <https://erevista.unioeste.br/index.php/ambientes/article/view/25277>. Acesso em: 15 out. 2023.

SOUZA DIAS, D.; BLANCO, C. J. C.; AGUIAR DE SOUZA COSTA, C. E.; OLIVEIRA ALBUQUERQUE, R. L. de. Uso de pluviômetro artesanal como instrumento aplicado à modelagem de cheia em Belém-PA. Geoambiente Online, Goiânia, n. 41, 2021. DOI: 10.5216/revgeoamb.i41.6 9100. Disponível em: <https://www.revistas.ufg.br/geoambiente/article/view/69100>. Acesso em: 13 abr. 2022.

TARGA, M. dos S.; BATISTA, G. T.; DINIZ, H. N.; DIAS, N. W.; MATOS, F. C. de. 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, v. 9, n. 28, p. 1-6, 2009.

TAVARES, L. C. Análise do Sistema de Macrodrenagem da Bacia Hidrográfica da Tamandaré em Belém-PA. 2017. 17 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental) – Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará, Belém, 2017.

TINGSANCHALI, T. Urban flood disaster management. Procedia Engineering. v. 32, p. 25-37, 2012.

TRENBERTH, K. E.; ZHANG, Y. How often does it really rain? Journal Bulletin of the American Meteorological Society, v. 99, n. 2, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-17-0107.1>.

TUCCI, C. E. M. Hidrologia: ciência e aplicação. Organizado por Carlos E. M. Tucci et al. 4 edição, v. 4. – Porto Alegre: UFRGS/ABRH, 2012.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME (UNEP). A Practical Guide to Climate-resilient Buildings & Communities. Nairobi: UNEP, 2021.

VAN DEN HURK, B.; VAN MEIJGAARD, E.; DE VALK, P.; VAN HEERINGEN, K.-J.; GOOIJER, J. Analysis of a compounding surge and precipitation event in the Netherlands. *Environmental Research Letters*, 10, 035001 (2015).

VANZ, A.; RODRIGUES, M. L. G.; BOLL, M. G.; ARAÚJO, C. E. S. de; GARBOSSA, L. H. P. Principais eventos de inundação costeira na costa de Santa Catarina registrados pela rede maregráfica da Epagri entre 2012 e 2020. *Agropecuária Catarinense*, Florianópolis, V.34, N 3, 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.52945/rac.v34i3.827>.

VINAGRE, M. V. de A.; BELLO, L. A. L.; CARDOSO, A. do S. C. de S.; FOLHA NETO, P. G. P. de O.; RABELO, V. G. Modelo de gestão de drenagem urbana aplicado à bacia do Una em Belém-PA. *Revista Vale do Rio Verde, Três Corações*, v.15, n.1, p. 253-267, jan/jul. 2017.

WAHL, T.; JAIN, S.; BENDER, J.; MEYERS, S. D.; LUTHER, M. E. Increasing risk of compound flooding from storm surge and rainfall for major US cities. *Nature Climate Change*. 5, 1093–1097 (2015).

WANG, R.; CHEN, J.; CHEN, X.; WANG, Y. Variability of precipitation extremes and dryness/wetness over the southeast coastal region of China, 1960-2014. *International Journal of Climatology*, v. 37, n. 13, p. 4656-4669, 2017. DOI: <https://doi-org.ez3.periodicos.capes.gov.br/10.1002/joc.5113>.

WATRIN, V. R.; BLANCO, C. J. C.; GONÇALVES, E. D. Thermal and hydrological performance of extensive green roofs in Amazon climate, Brazil. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers – Engineering Sustainability* 173(3): 125–134, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1680/jensu.18.00060>.

WMO - WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. Guide to meteorological instruments and methods of observation. Geneva, World Meteorological Organization, 2010.

ZELLOU, B., RAHALI, H., 2019. Assessment of the joint impact of extreme rainfall and storm surge on the risk of flooding in a coastal area. *Journal of Hydrology*, 569, 647–665.