



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS**

CAIRO EDUARDO CARVALHO BARRETO

**AS DIMENSÕES DO RISCO HIDROMETEOROLÓGICO NA CIDADE DE VIGIA DE
NAZARÉ-PA, ZONA COSTEIRA PARAENSE**

**BELÉM-PARÁ
2022**

CAIRO EDUARDO CARVALHO BARRETO

AS DIMENSÕES DO RISCO HIDROMETEOROLÓGICO NA CIDADE DE VIGIA DE
NAZARÉ-PA, ZONA COSTEIRA PARAENSE

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

Área de concentração: Clima e Dinâmica Socioambiental na Amazônia.

Linha de Pesquisa: Ecossistemas Amazônicos e Dinâmicas Socioambientais.

Orientador(a): Prof. Dra. Marcia Aparecida Pimentel.

Coorientador(a): Prof. Dra. Julia Clarinda Paiva Cohen.

BELÉM-PARÁ

2022

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)

B273d Barreto, Cairo Eduardo Carvalho.
As dimensões do risco hidrometeorológico na cidade de
Vigia de Nazaré-Pa, Zona Costeira paraense / Cairo Eduardo
Carvalho Barreto. — 2022.
162 f. : il. color.

Orientador(a): Prof^a. Dra. Marcia Aparecida da Silva Pimentel
Coorientação: Prof^a. Dra. Julia Clarinda Paiva Cohen
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará,
Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em
Ciências Ambientais, Belém, 2022.

1. Risco hidrometeorológico. 2. Precipitação. 3. Maré. 4. Zona
Costeira Paraense. 5. Vigia de Nazaré-Pa. I. Título.

CDD 551.57

CAIRO EDUARDO CARVALHO BARRETO

AS DIMENSÕES DO RISCO HIDROMETEOROLÓGICO NA CIDADE DE VIGIA DE
NAZARÉ-PA, ZONA COSTEIRA PARAENSE

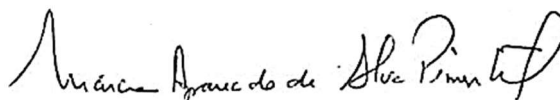
Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará em parceria com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Amazônia Oriental e Museu Paraense Emílio Goeldi, como parte das exigências para a obtenção do grau de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

Área de concentração: Clima e Dinâmica Socioambiental na Amazônia.

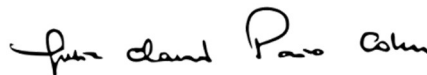
Linha de Pesquisa: Ecossistemas Amazônicos e Dinâmicas Socioambientais.

Data da defesa: 30 / 06 /2022

Banca Examinadora:



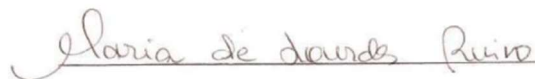
Prof. Dra. Marcia Aparecida Pimentel – Orientadora
Doutora em Geografia Física
Universidade Federal do Pará



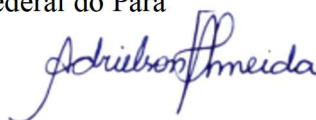
Prof. Dra. Julia Clarinda Paiva Cohen - Coorientadora
Doutora em Ciências Atmosféricas
Universidade Federal do Pará



Prof. Dra. Maria Isabel Vitorino - Membro Interno
Doutora em Meteorologia
Universidade Federal do Pará



Prof. Dra. Maria de Lourdes Pinheiro Ruivo - Membro Interno
Doutora em Agronomia
Universidade Federal do Pará



Prof. Dr. Adrielson Furtado Almeida - Membro Externo
Doutor em Ciências Ambientais
Faculdade Pan Amazônica

AGRADECIMENTOS

Agradecer primeiramente aos meus pais Maria Vanda e Orlando Barreto, pelo amor, afeto e todo suporte concedido a mim. Vocês são exemplos de determinação e honestidade, que me fizeram permanecer nesse caminho e ter forças para seguir. Todo e qualquer resultado sempre vai ser fruto dos seus esforços e tem a contribuição das suas lutas e dos seus direcionamentos.

As minhas três irmãs, Nathalia, Karoline e Julia, que independente das distancias sempre estão em meus pensamentos e em meus esforços para continuar fortalecendo nossa família. A minha namorada e companheira Maria Clara, por ser meu ponto de equilíbrio e me trazer calma quando mais preciso. A minha madrastra Silvia Barreto, pela sua tenacidade em torno das diversas situações difíceis que passamos, além da afetividade.

As minhas orientadoras Dra. Márcia Aparecida Pimentel e Dra. Julia Cohen, que se somam aos meus dois maiores exemplos de mulheres, minha mãe e minha vó Maria Ferreira, de determinação e inteligência a qual me espelho e pretendo seguir. Obrigado pelas orientações, palavras de tranquilidade e pelos puxões de orelha quando foi preciso.

Ao Dr. Flavio Altieri pela oportunidade de trabalho, por acreditar no meu potencial e por apoiar esta pesquisa dispondo de tempo seu e de sua equipe, por promover a parceria com o CENSIPAM que dispôs de cooperação técnica crucial aos resultados desse trabalho e que com certeza contribuirá para a gestão de risco na cidade de Vigia. Ao Dr. Marcos Ronielly por disponibilizar a metodologia de vulnerabilidade municipal ao risco, os dados e a orientação necessária para replicá-la neste trabalho. Ao Mestre Pedro Rolim pelos ensinamentos diários e contribuição para o entendimento referente as técnicas estatísticas dos dados de precipitação.

Aos meus amigos de infância Ronaldo Junior, Jean do Reis que me acompanham até hoje e me ajudam com palavras e conselhos relativo à pesquisa. Em especial a meu amigo e Dr. Jean dos Reis, um dos meteorologistas que mais admiro e que me socorre quando preciso de orientação em relação à pesquisa. A amiga querida Aline Aya por estar presente nos melhores e piores momentos, seu suporte é essencial e único. Também aos meus amigos mais recentes Joao Vitor e Igor Luiz, obrigado por dividirem um pedaço das suas vidas comigo. Os cinco são minhas referências de profissionais competentes e dedicados, quero crescer com vocês.

Agradecer a todo corpo docente e colaboradores do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais (PPGCA), da Universidade Federal do Pará (UFPA), do Museu Paraense Emílio Goeldi (MPEG) e da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), assim como a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa

concedida. Em especial aos Coordenadores e Docentes Dra. Julia Cohen, Dr. Everaldo Barreiros e aos docentes Dra. Maria Isabel Vitorino, Dra. Aline Meiguins e ao Dr. José Francisco Berrêdo. Sinto muito orgulho de pertencer a esse notável e respeitado programa, onde vivenciei o período mais enriquecedor da minha breve carreira acadêmica. Espero estar colaborando para o crescimento do programa.

RESUMO

A cidade de Vigia de Nazaré, localizada no Nordeste paraense, Setor Continental Estuarino da Zona Costeira paraense, possui uma problemática histórica de inundações, causadas principalmente por efeitos da maré, período chuvoso com consideráveis acumulados de precipitação e incorporação das planícies flúviomarinhas inundáveis à área urbana. O objetivo geral é compreender a relação entre a dinâmica das inundações e o processo de ocupação na cidade de Vigia de Nazaré-PA, produzindo um diagnóstico sobre risco aos eventos hidroclimáticos extremos considerando fatores temporais assim como os da dinâmica costeira, que em consonância convergem para a realidade vivida pela população local. Para tanto, será necessário compreender o processo de ocupação na cidade de Vigia, principalmente sobre área de planície de inundação, a dinâmica dos fenômenos hidrometeorológicos e definir as dimensões do risco em Vigia, a partir de dados socioambientais. Para produzir as análises a pesquisa dispôs dos dados do Centro de Hidrografia Marinha (CHM), para previsão de maré, da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), para entender o sazonalidade da precipitação, e ainda, foi realizado um aerolevante através de uma cooperação com o Centro Gestor e Operacional do Sistema de Proteção da Amazônia (CENSIPAM-CRBE), visando a produção de um Modelo Digital de Terreno (MDT) de altíssima resolução para determinação da área de abrangência da planície de inundação e um ortomosaico para visualização das feições urbanas, entre outros. Os dados socioeconômicos (IBGE, 2010; IFDM, 2010) e de saúde (DATASUS, 2014; 2016), para reconhecer a vulnerabilidade ao risco do município em relação aos demais da região costeira, foram adaptados de outro estudo, incorporando outros dados de saúde, de fonte do DATASUS. Ferramentas de estatística e geoprocessamento foram aplicadas nestes dados para compor as análises. Os principais resultados encontrados foram: trata-se de uma problemática histórica, decorrente de um risco socialmente construído, admitido pela população e negligenciado pelo poder público; $\frac{1}{3}$ da ocupação da área urbana está sobre a planície flúvio-marinha, sob influência de maré, sendo grande parte desta área, incorporada recentemente ao espaço urbano, mais fortemente a partir da década de 1980, no contexto da recente reestruturação do espaço regional amazônico. Sua dinâmica natural abrange marés semi-diurnas, podendo alcançar 4,56 m; possui intenso período chuvoso, para a característica regional da Amazônia oriental, com maiores acumulados de precipitação nos meses de janeiro a maio, entre 307,1 mm e 489,9 mm, sendo o trimestre chuvoso, FEV-MAR-ABR, passando os 400 mm de chuva e 25 dias de frequência diária de precipitação em média (FDPRP). Ainda, há registros de eventos de inundações atingindo mais

de 4000 residências, na área urbana, sendo esses eventos frequentes durante a série histórica pesquisada (1991-2020). O município ainda possui uma alta vulnerabilidade socioambiental ao risco, dentre os municípios da região costeira. Estes e os demais resultados podem formar um diagnóstico sobre risco hidrometeorológico da cidade de Vigia, dando subsídios para ações em diversas escalas, seja de monitoramento ambiental, disciplinando e orientando uso e ocupação do solo, e ainda em investimentos nas áreas sociais e no sistema de saúde, a fim de mitigar os efeitos dos eventos de inundação.

Palavras-chave: risco hidrometeorológico; precipitação; maré; Zona Costeira Paraense; Vigia de Nazaré.

ABSTRACT

The city of Vigia de Nazaré, located in the Northeast of Pará, Estuarine Continental Sector of the Coastal Zone of Pará, has a historical problem of flooding, caused mainly by the effects of the tide, the rainy season with considerable accumulations of precipitation and incorporation of the fluvial-marine floodplains to the urban area. The general objective is to understand the relationship between the dynamics of floods and the occupation process in the city of Vigia de Nazaré-PA, producing a diagnosis of risk to extreme hydroclimatic events, considering temporal factors, as well as those of coastal dynamics, which in line with converge to the reality experienced by the local population. Therefore, it will be necessary to understand the process of occupation in the city of Vigia, mainly on the floodplain area, the dynamics of hydrometeorological phenomena and define the dimensions of the risk in Vigia, based on socio-environmental data. To produce the analysis, the research had data from the Centro de Hidrografia Marinha (CHM) were used, for tidal prediction, from the National Agency for Water and Basic Sanitation (ANA), to understand the seasonality of precipitation, and still, an aerial survey was carried out through a cooperation with the Management and Operational Center of the Amazon Protection System (CENSIPAM-CRBE), aiming at the production of a very high resolution Digital Terrain Model (MDT) to determine the area covered by the floodplain and an orthomosaic to visualize the urban features, among others. The socioeconomic (IBGE, 2010; IFDM, 2010) and health (DATASUS, 2014; 2016) data, in order to recognize the municipality's vulnerability to risk in relation to others in the coastal region, were adapted from another study, incorporating other health data, from a DATASUS source. Statistical and geoprocessing tools were applied to these data to compose the analyses. The main results found were: it is a historical problem, resulting from a socially constructed risk, accepted by the population and neglected by the public power; $\frac{1}{3}$ of the occupation of the urban area is on the fluvial-marine plain, under the influence of the tide, with a large part of this area recently incorporated into the urban space, more strongly from the 1980s, in the context of the recent restructuring of the Amazon regional space. Its natural dynamics includes semi-diurnal tides, reaching 4.56 m; has an intense rainy season, for the regional characteristic of the eastern Amazon, with the highest accumulated precipitation in the months from January to May, between 307.1 mm and 489.9 mm, with the rainy quarter, FEB-MAR-ABR, passing 400 mm of rain and 25 days of average daily rainfall frequency (FDPRP). Still, there are records of flooding events affecting more than 4000 residences in the urban area, and these events were frequent during the researched historical series (1991-2020). The municipality still has a high

socio-environmental vulnerability to risk, among the municipalities in the coastal region. These and other results can form a diagnosis on the hydrometeorological risk of the city of Vigia, providing subsidies for actions at various scales, whether environmental monitoring, disciplining and guiding land use and occupation, and also in investments in social areas and in the health in order to mitigate the effects of flood events.

Keywords: hydrometeorological risk; precipitation; tide; Coastal Zone of Pará; Vigia de Nazaré.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Múltiplas Ameaças do Estado do Pará (M2A-Pará).	20
Quadro 1 – Zona Costeira Paraense segundo EL-Robrini et al. (2006)	22
Figura 2 – Composição dos municípios da Zona Costeira Paraense (ZCP).....	23
Figura 3 – Mapa da Altimetria Regional da ZCP e parte da Região Nordeste Paraense.	24
Quadro 2 – Conceitos de Inundação.	28
Quadro 3 – Estrutura dos dados, softwares e produtos.	35
Figura 4 – Registros do trabalho de campo.	43
Figura 5 – Elementos hidrológicos e continentais locais.	46
Quadro 5 – Característica da maré em Vigia para o ano de 2022.....	48
Gráfico 1 – Previsão de maré para fevereiro, março e abril de 2022.	49
Gráfico 2 – Box Plot das médias de precipitação mensal em Vigia-PA.	52
Quadro 6 – Estatística básica da climatologia da precipitação em Vigia-PA (mensal).	53
Gráfico 3 – Acumulados anuais de precipitação em Vigia-PA.	55
Gráfico 4 – Índice de precipitação padronizada dos acumulados anuais.	56
Figura 6 – Mapa de localização da cidade de Vigia de Nazaré-PA.	59
Quadro 7 – População residente no município de Vigia-PA por situação de domicílio.....	60
Figura 7 – Mapa dos elementos hidrográficos, morfológicos e pontos de referência.....	63
Figura 8 – Rua Noêmia Belém com Trav. Solimão, na Praça Argemiro Pantoja (Praça da Matriz) (s/d).....	64
Figura 9 – Águas de março invadindo o centro velho da cidade. Esquina da Rua Visconde de S. Franco com Travessa Solimão, na Praça Argemiro Pantoja (Praça da Matriz), em 1980. ..	64
Figura 10 – Centro Velho de Vigia na década de 1980.....	65
Figura 11 – Fotos da construção do cais na orla do núcleo Arapiranga, final da década de 1970.	65
Figura 12 – Igarapé da Rocinha em 1970.....	66
Figura 13 – Ponte que ligava o núcleo Arapiranga ao centro de Vigia em 1904.....	66
Figura 14 – Habitações na planície em pleno período chuvoso.	67
Figura 15 – Rua Nazaré, próximo ao Educandário, década de 1990. Habitações com nível adaptado às inundações.	68
Figura 16 – Casas sobre o leito do Igarapé da Rocinha, Travessa Jaguaribe.....	68
Figura 17 – Ocupação em área de planície e terraço.....	69

Figura 18 – Residências na Rua José Augusto Corrêa. Construção antiga e recente mantendo o nível acima das vias.	70
Figura 19 – Padrão das residências, novas e antigas, acima do nível das vias. Passagem São Marçal, entre a Rua Pedro Raiol e a Passagem São Pedro.	71
Figura 20 – Ocupações no leito do rio.	72
Figura 21 – Etapas da ocupação urbana em Vigia e sobre a planície.	73
Quadro 8 – Dimensões do Risco.	90
Figura 22 – Mapa de localização da área de estudo.	92
Gráfico 5 – Frequência de dias com Precipitação e Eventos Extremos de Precipitação em Vigia-PA (1991 a 2020).	120
Figura 23 – Fluxograma da metodologia.	94
Quadro 9 – Sensores ópticos e suas características.	96
Quadro 10 – Resolução espacial e escala de trabalho.	98
Quadro 12 – Variáveis do IVG.	101
Quadro 12 – Parâmetros da Regressão da FDC.	106
Quadro 13 – Postos de referência.	108
Quadro 14 – Parâmetros da R.L.M.	109
Figura 24 – A análise espaço-temporal da urbanização na cidade de Vigia.	112
Figura 25 – A análise espaço-temporal da urbanização na cidade de Vigia usando a técnica do NDVI.	113
Figura 26 – Espacialização dos índices de vulnerabilidade.	117
Figura 27 – Padrão mensal da precipitação em Vigia de Nazaré.	118
Gráfico 6 – Comparação de 12/05/2002 a 12/06/2002 de dados horários entre os medidos pelo DHN e o modelo harmônico produzido pelo SisBaHia.	121
Figura 28 – Ocorrências de inundação por registro de imprensa e redes sociais.	124
Figura 29 – Simulação do Risco de Inundação em 11/03/2020 e 21/03/2019.	125
Figura 30 – Simulação de eventos de inundação na cidade de Vigia-PA.	126

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Anomalias dos acumulados mensais de precipitação.	54
Tabela 2 – Estatística básica dos acumulados anuais.	54
Tabela 3 – Perda da cobertura vegetal.	114
Tabela 4 – Índices Sintéticos de Vulnerabilidade.	114
Tabela 5 – Frequência de ocorrências de chuvas diárias no posto pluviométrico de Vigia de Nazaré-PA, disponíveis para o período de 1991 a 2020.....	119
Tabela 6 – Parâmetros entre os dados modelados e observados de 12/05/2002 a 12/06/2002.	121
Tabela 7 – Eventos conjugados chuva-maré.	122
Tabela 8 – Tabela dos acumulados mensais de chuva para Vigia-PA, 1991-2020.	155

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA	Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
APS	Atenção Primária à Saúde
BNDO	Banco Nacional de Dados Oceanográficos
CadÚnico	Cadastro Único para Programas Sociais
CEPED/UFSC	Centro de Estudos e Pesquisas em Engenharia e Defesa Civil da Universidade Federal de Santa Catarina
CEMADEN	Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais
CENSIPAM	Centro Gestor e Operacional do Sistema de Proteção da Amazônia
CENSIPAM-CRBe	Centro Gestor e Operacional do Sistema de Proteção da Amazônia - Centro Regional Belém
CHM	Centro de Hidrografia da Marinha
CMMA	Costa de Manguezais de Macromaré da Amazônia
CNB	Corrente Norte Brasileira
CNES	Centro Nacional de Estudos Espaciais
COPPE/UFRJ	Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro
COPPETEC	Coordenação de Projetos, Pesquisas e Estudos Tecnológicos
CPTEC	Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
DIRDN	Década Internacional para a Redução dos Desastres Naturais
EE	Evento Extremo
SEM	Estação Meteorológica de Superfície
ENOS	El-Niño Oscilação Sul
FL	Furo da Laura
FUNASA	Fundação Nacional de Saúde
GIDES	Projeto de Fortalecimento da Estratégia Nacional de Gestão Integrada em Riscos de Desastres Naturais
GSV	Google Street View

IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICA	Índice de Capacidade Adaptativa
ICAB	Indicador de Cobertura da Atenção Básica
IDE	Índice de Doenças Endêmicas
IFDM	Índice Firjan de Desenvolvimento Municipal
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
ISe	Índice de Sensibilidade
JICA	Agência de Cooperação Internacional do Japão
IVM	Índice de Vulnerabilidade Municipal
LAPMAR-UFPA	Laboratório de Pesquisa em Monitoramento Ambiental Marinho
LIs	Linhas de Instabilidade
MDR	Ministério do Desenvolvimento Regional
MDT	Modelo Digital de Terreno
MLIT	Ministério da Terra, Infraestrutura, Transporte e Turismo
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
NOAA	Administração Nacional Oceânica e Atmosférica
NRM	Nível Relativo do Mar
OAN	Oscilação do Atlântico Norte
ODP	Oscilação Decadal do Pacífico
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
ONU	Organização das Nações Unidas
PEGC/PA	Política Estadual de Gerenciamento Costeiro
PHA	Preliminary Hazard Analysis
PNAD	Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios
PNGC	Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro
PNPDEC	Política Nacional de Proteção e Defesa Civil
REGIC	Regiões de Influência das Cidades
RHN	Rede Hidrometeorológica Nacional
RPCH	Rede de Previsão Climática e Hidrometeorológica
S/D	Sem data

SEDEC	Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil
SIGERCO	Sistema de Informações do Gerenciamento Costeiro
SIPAMHidro	Sistema Integrado de Monitoramento e Alerta Hidrometeorológico
SMA-ZC	Sistema de Monitoramento Ambiental da Zona Costeira Estadual
SNIRH	Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
SEAS	Setor Especial de Aglomerados Subnormais
SER	Situações de Emergências Recorrentes
SGB/CPRM	Serviço Geológico do Brasil
SisBaHiA®	Sistema Base de Hidrodinâmica Ambiental
SPI	Standardized Precipitation Index
SPOT	Systeme Probatoire d'Observation de la Terre
STUC	Sistema básico de classificação da cobertura e do uso da terra
SWH	SPOT World Heritage
TSM	Temperatura da Superfície do Mar
UNISDR	United Nations Office for Disaster Risk Reduction (Escritório das Nações Unidas para Riscos e Desastres)
ZC	Zona Costeira
ZCA	Zona Costeira Amazônica
ZCAS	Zona de Convergência do Atlântico Sul
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical
ZCP	Zona Costeira Paraense
ZCBE	Zonas Costeiras de Baixa Elevação

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO GERAL	19
1.1 A Zona Costeira paraense, dinâmica no setor continental estuarino	21
1.2 A Concepção do risco: a vulnerabilidade do lugar e a construção social do risco	25
1.3 Elementos do risco hidroclimático nas cidades do Setor Continental Estuarino	29
1.4 Vigia de Nazaré: ocupação e risco hidrometeorológico	30
1.5 Justificativa e interdisciplinaridade da pesquisa	32
1.6 Objetivos	33
1.6.1 Objetivo Geral	33
1.6.2 Objetivos Específicos	33
1.7 Hipóteses	34
1.8 Estrutura da dissertação	34
CAPÍTULO 2 – O RISCO SOCIALMENTE CONSTRUÍDO EM UMA CIDADE DA ZONA COSTEIRA PARAENSE, O CASO DE VIGIA DE NAZARÉ	37
2.1 Introdução	38
2.2 Materiais e métodos	40
2.3 Resultados e discussão	44
2.3.1 Características hidromorfodinâmicos em Vigia	44
2.3.2 Análise da Maré.....	48
2.3.3 Mecanismos e sistemas precipitantes regionais	50
2.3.4 Climatologia da precipitação para a Cidade de Vigia	51
2.3.5 A histórica Vigia de Nazaré: etapas e características da formação urbana	56
2.3.6 Problemática histórica da inundação e processo de ocupação das planícies: O risco socialmente construído.	61
2.4 Conclusão	75

CAPÍTULO 3 – AS DIMENSÕES DO RISCO EM VIGIA DE NAZARÉ: O USO DE TÉCNICAS DE GEOPROCESSAMENTO E DADOS SOCIOAMBIENTAIS	85
3.1 Introdução	86
3.1.1 Contexto local.....	87
3.1.2 Conceituando as dimensões do Risco.....	89
3.2 Materiais e métodos	91
3.2.1 Área do estudo	91
3.2.2 Metodologia.....	92
3.2.3 Espacialização dos Dados de Urbanização e Vulnerabilidade	95
3.2.3.1 Análise espaço-temporal da urbanização na cidade de Vigia.....	95
3.2.3.2 Vulnerabilidade municipal da ZCP	100
3.2.4 Variáveis hidrometeorológicas	104
3.2.4.1 Precipitação	104
3.2.4.1.1 Correção das falhas e testes de consistência.....	105
3.2.4.1.2 Testes de consistência.....	105
3.2.4.1.3 Correção de Falhas	106
3.2.4.2 Maré.....	110
3.2.4.3 Tabela de Evento Conjugado Chuva-Maré	110
3.2.5 Simulação do Evento de risco	111
3.3 Resultados	112
3.3.1 Análise Espaço-Temporal por imagens históricas.....	112
3.3.2 Vulnerabilidade municipal da ZCP	114
3.4 Dados hidrometeorológicos e tabela conjugada chuva x maré.....	117
3.4.1 Precipitação em Vigia de Nazaré.....	117
3.4.2 Previsão de Maré	120
3.4.3 Eventos conjugados chuva-maré	121
3.4.4 Simulação do evento de risco.	122

3.4.4.1 Registro dos eventos.....	122
3.4.4.2 Simulação dos eventos de inundação e estimativa de residências atingidas	124
3.5 Discussão	127
3.5.1 As dimensões do risco	127
3.5.1.1 Perigo.....	127
3.5.1.2 Vulnerabilidade	129
3.5.1.3 Desastre	129
3.5.1.4 Suscetibilidade.....	130
3.6 Conclusão	131
3.6.1 Síntese dos resultados	139
3.6.2 Perspectivas	140
REFERÊNCIAS	143
APÊNDICE A – CÁLCULOS	149
APÊNDICE B – CÁLCULOS	150
APÊNDICE C – CÁLCULOS	151
APÊNDICE D – CORRELAÇÃO ENTRE AS MARÉS MODELADAS E CALCULADAS	152
APÊNDICE E – CONSTANTES HARMÔNICAS DA MARÉ EM VIGIA	153
APÊNDICE F – ACUMULADOS MENSAIS DE CHUVA	155
ANEXO G – AEROLEVANTAMENTO	156

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO GERAL

O mundo começa a despender maiores esforços para compreensão e ação em torno dos desastres relacionados ao clima, intensificados por intervenções antropogênicas. Nas últimas décadas, desastres em escalas cada vez maiores têm impactado a sociedade. Como no Brasil, a seca no Rio Amazonas em 2005, deslizamentos na Região Serrana do Rio de Janeiro em 2011 e, em 2022, rompimento das barragens em Mariana-MG em 2015, e Brumadinho-MG em 2019, e enchentes no sul da Bahia em 2021. Para isso, em 2012, foi instituída a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDEC), Lei nº 12.608/2012 (BRASIL, 2012), instrumento que integra ações visando de prevenção, mitigação, preparação, resposta e recuperação, conforme também indicado pela Terceira Conferência Mundial sobre a Redução do Risco de Desastres, e registado no Marco de Sendai para Redução de Risco de Desastres (2015-2030) (BRASIL, 2021).

Por categorias no quadro nacional, os riscos de erosão e inundação são um dos quatro riscos que mais cresceram entre a década de 1990 e 2000, o número de ocorrências aumentaram¹ 80% para inundação, e junto com movimento de massa e geada, são os principais. Inundação é responsável por 12,04% dos afetados por algum tipo de desastre no Brasil e 13,40% de mortes por tipo de desastre. A região norte é responsável por 13% de ocorrências de inundações dentre as regiões brasileiras. Estas ocorrências possuem forte relação com o período chuvoso da região, resultando em pouco mais de 2 milhões de afetados de 1991 a 2012. Há de se destacar que as mudanças climáticas podem agravar esse quadro, principalmente nas Zonas Costeiras de Baixa Elevação (ZCBE) (BRAGA; PIMENTEL; ROCHA, 2020; CEPED; UFSC, 2013; IBGE, 2011).

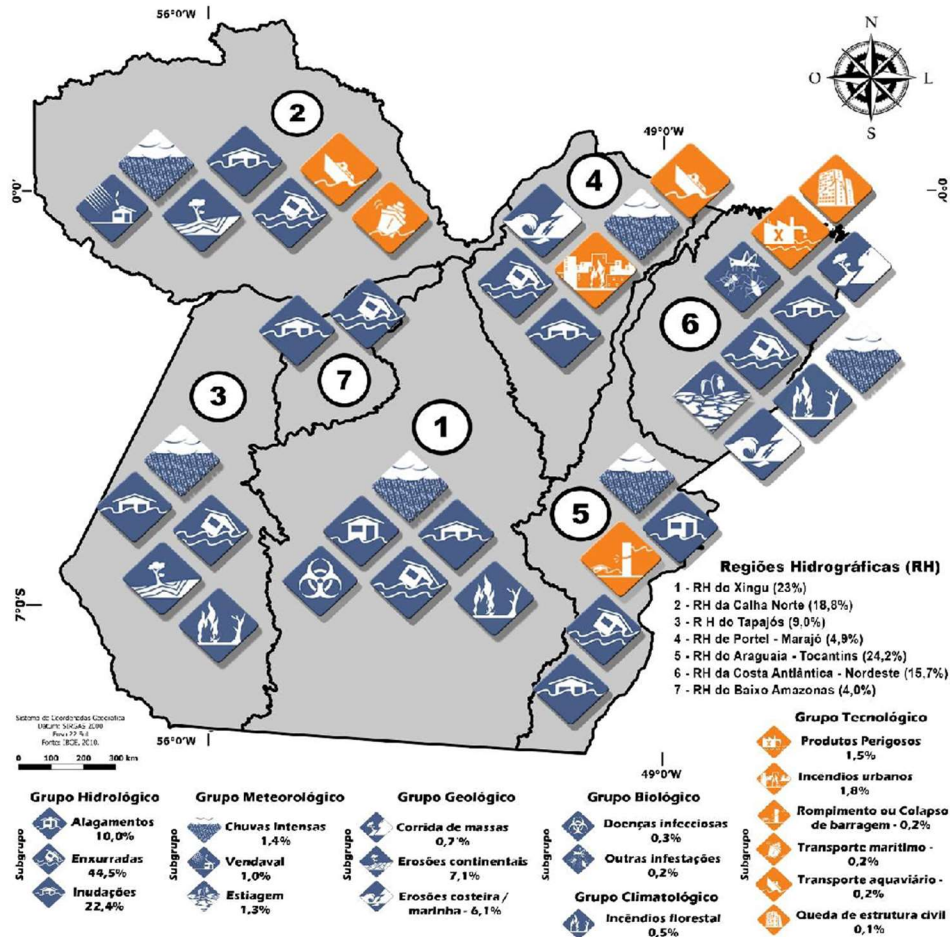
Confirmado por Santos, Silva Junior e Rocha (2019), em dados de levantamento, entre os anos de 2003 e 2018, os eventos de risco do grupo hidrometeorológicos são os mais recorrentes no Estado do Pará, correspondem a 77,1% das Situações de Emergências Recorrentes (SER) na região norte, em especial na Amazônia Paraense. As inundações, depois das enxurradas, são o segundo Evento Extremo (EE²) que mais ocorre no Pará (22,4%). As SER dos grupos geológicos e meteorológicos correspondem a 15% das emergências extremas no Pará, representando a terceira maior ameaça recorrente neste território Amazônico. A Figura 1

¹ É possível apenas afirmar que os desastres têm potencial crescimento, sabida a histórica fragilidade do Sistema de Defesa Civil em manter atualizados seus registros. O fortalecimento institucional e a maior responsabilidade sobre os desastres trouxe consigo fidelidade aos números e o compromisso no registro (CEPED, 2013, p. 34).

² Os autores não deixam claro a definição de evento extremo no decorrer do texto, interpreta-se que seja relacionado aos tipos de desastre, tendo como grupos: hidrológico, meteorológico, geológico, biológico e tecnológico.

traz o Mapa de Múltiplas Ameaças do Estado do Pará (M2A – Pará), uma perspectiva geral e regionalizada das múltiplas ameaças no Estado.

Figura 1 – Múltiplas Ameaças do Estado do Pará (M2A-Pará).



Fonte: Santos, Silva Junior e Rocha (2019).

O município de Vigia de Nazaré, no Nordeste Paraense, com 54.650³ mil habitantes, desses mais de 67% vivendo na cidade, é a localidade onde imprimiremos a investigação sobre esta temática, buscando a compreensão do risco socialmente construído e as dimensões do risco, classificado como hidrometeorológico. Localizada na Zona Costeira Paraense, Região Continental-Estuarina, a cidade está exposta periodicamente as inundações, em um cenário de alta degradação ambiental (BARBOSA; BENTES, 2016), onde a expansão urbana alterou drasticamente a paisagem natural, suprimindo a vegetação fluviomarina por habitações precárias (SANTOS, 2009). Sobretudo em uma posição regional de alta vulnerabilidade a desastres (SANTOS, 2021), em uma localidade de baixa altimetria e próxima a costa, requerendo atenção para estudos de risco (SZLAFSZTEIN; STERR, 2007), e ainda exposta a

³ Estimativa do IBGE para o ano de 2021, sendo um total de 47.889 habitantes no último Censo (IBGE, 2010).

um intenso regime de precipitação (ANDRADE et al. 2017) e a macromarés de altas amplitudes (CHM, 2002; IBGE, 2011).

1.1 A Zona Costeira paraense, dinâmica no setor continental estuarino

A Zona Costeira é um mosaico de paisagens, resultante da morfogênese marinha na zona de contato entre terras e mares. São ecossistemas integrados e animados, modelados por um composto sistêmico de fatores continentais, oceânicos e atmosféricos, atuando em diversas escalas temporais e espaciais (CHRISTOFOLETTI, 1980; FRANÇA; SOUZA FILHO, 2003; OLIVEIRA, 2010; SOUZA, 2013).

A vasta Zona Costeira Brasileira possui 8.698 km de extensão e área aproximada de 514.000 km² (OLIVEIRA; NICOLODI, 2012), agrega enorme potencial paisagístico, econômico e cultural. A subdivisão da Zona Costeira aqui estudada integra, em nível nacional, o litoral de macromarés na presença de Estuários, Planícies de Maré e Manguezais (MMA, 2008). No ambiente costeiro amazônico, esta região subdivide-se em dois grandes sistemas regionais: o sistema Amapá-Guianas e, o Sistema Pará-Maranhão, este último, entre as baías de Marajó, no Pará e São Marcos, no Maranhão (PROST; MENDES, 2011).

Existem algumas subdivisões feitas para Zona Costeira (ZC) Paraense, que levam em consideração características físicas da dinâmica flúvio-estuarina, continental e costeira, e critérios da legislação vigente. Esses e outros aspectos levam a uma indefinição dos limites da ZC (SZLAFSZTEIN, 2009). A subdivisão descrita por El-Robrini et al. (2006) (Quadro 1), nos aspectos físicos, e a de Szlafsztein (2009), nos aspectos políticos administrativos, são as que serão levadas em consideração para a maioria das interpretações aqui.

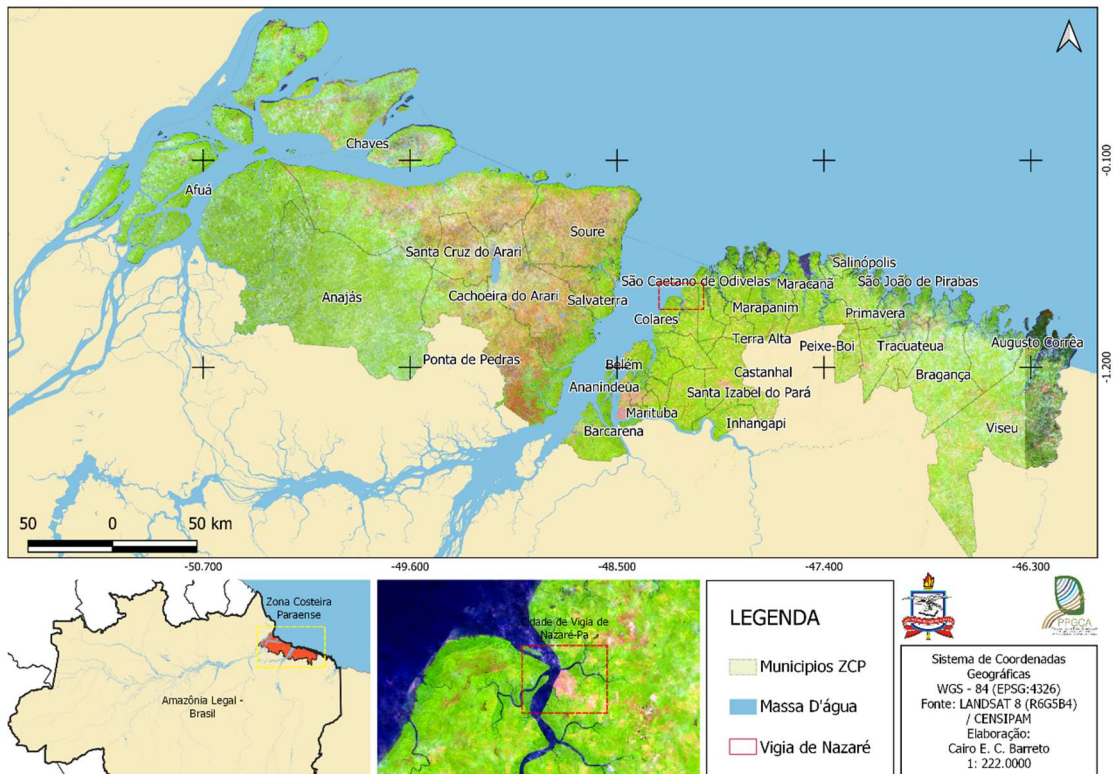
Quadro 1 – Zona Costeira Paraense segundo El-Robrini et al. (2006).

Microrregião Paraense	Área (km²)	População	Densidade (hab/km²)	Municípios
Salgado	5.784,561	264.612 (Est. 2014)	45,7	Colares, Curuçá, Magalhães Barata, Maracanã, Marapanim, Salinópolis, São Caetano de Odivelas, São João da Ponta, São João de Pirabas, Terra Alta, Vigia.
Bragantina	8.710,774	401.708 (Est. 2014)	46,11	Augusto Corrêa, Bonito, Bragança, Capanema, IgarapéAçu, Nova Timboteua, Peixe-Boi, Primavera, Quatipuru, Santa Maria do Pará, Santarém Novo, São Francisco do Pará, Tracuateua
Guamá	3.333,35	90.701 (Est. 2014)	11,52	Cachoeira do Piriá, Viseu
Insular Estuarino	21.457,651	56155 (IBGE, 2010)	2,62	Afuá, Chaves
Continental Estuarino	15.850,934	1.813.764	114,42	Belém (Distritos Icoaraci, Mosqueiro, Outeiro), Barcarena, Abaetetuba, Cachoeira do Arari, Ponta de Pedras, Muanã, São Sebastião da Boa Vista

Fonte: El-Robrini et al. (2006).

Dentro das considerações específicas de sub-regionalização, em Szlafsztein (2009), é definida pela Lei Federal nº 7.661/1988 (BRASIL, 1988); Decreto Federal nº 5.300/2004 (BRASIL, 2004), a cidade de Vigia integra a zona II (Continental Estuarino), e em El-Robrini et al. (2006) do Salgado. A Figura 2 mostra uma composição da Zona Costeira Paraense (ZCP), contendo os principais municípios que constam na maioria das regionalizações.

Figura 2 – Composição dos municípios da Zona Costeira Paraense (ZCP).



Fonte: Elaborado pelo autor.

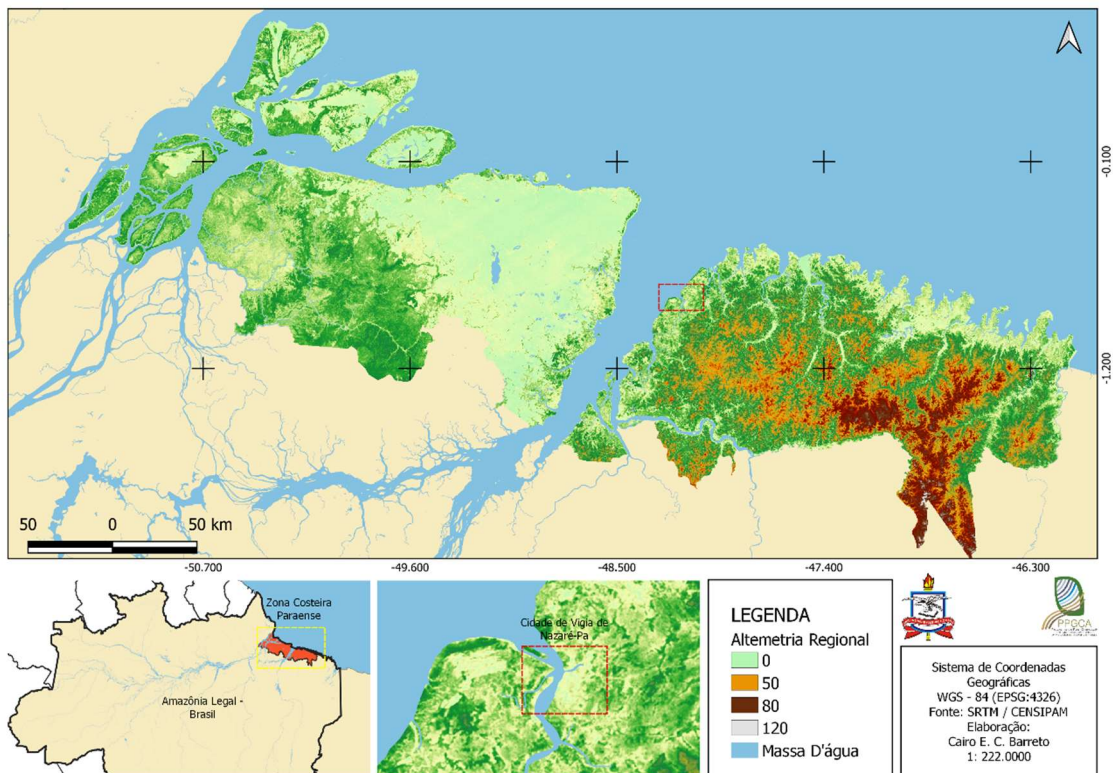
Considerando sua dinâmica hidrológica, trata-se da zona de transição da continental estuarina, abrange a porção oriental do golfo marajoara, constituída pelo estuário do Rio Pará, um ambiente costeiro resguardado da ação das ondas e da deriva litorânea, em comparação com outros setores da Zona Costeira Amazônica (ZCA) (BARBOSA, 2007). Na divisão de regiões estuarinas, tratasse da segunda zona, a de Mistura, o estuário propriamente dito, caracterizado pelo aporte hídrico dos rios de maré, a primeira zona, indo até a terceira zona, a linha de costa do mar (KJERFVE, 1990).

O padrão hidrodinâmico do estuário do Rio Pará é composto principalmente pela circulação de correntes de maré e marés semidiurnas, um representativo aporte continental produto da descarga fluvial e transporte sedimentar de seus inúmeros tributários e uma forte corrente oceânica, a Corrente Norte Brasileira (CNB) (PRESTES; SILVA; JEANDEL, 2018). É formado por um conjunto hidrográfico onde os principais afluentes são os rios da sua margem direita, o Tocantins, Capim, Acará, Moju e Guamá e da margem esquerda os rios com cursos na zona meridional da ilha do Marajó e pelo Rio Amazonas, através dos furos de Breves (LIMA; TOURINHO; COSTA, 2001). Em Prestes (2016), é nos passada a compreensão do aporte hidrológico do estuário do Rio Pará e dos principais tributários, a partir de suas vazões, na

ordem, o Rio Tocantins e Amazonas possuem enorme representatividade na vazão total, seguidos de Rio Guamá e Rio Capim e os demais com menor contribuição.

A altimetria regional (Figura 3), segundo seus processos, possuem características de acumulação e erosão. A planície costeira (acumulação), é formada por um intercalado de ambientes lamosos, arenosos e estuarinos (sedimentação de idade holocênica e em curso) com recorrência e configuração espacial bem distintas. As características e variação da vegetação ficam por conta da natureza do solo e do regime de inundação, influenciada pela salinidade que leva a montante do rio Pará e seus canais de maré. A composição vegetal, próxima a linha de costa, é a de manguezais, que reduzem junto com os teores de cloreto no estuário, dando lugar a florestas de várzea alta, baixa e igapó. O Baixo Planalto Costeiro (erosão), é sustentado por conglomerados do Grupo Barreiras e descontinuamente capeados pelos sedimentos Pós-Barreiras, caracterizando um relevo suave ondulado. A composição vegetal original, era uma extensa floresta ombrófila densa que deu lugar a uma floresta secundária degradada de uso para plantações e pastos (BARBOSA, 2007; EL-ROBRINI et al., 2006; LIMA; TOURINHO; COSTA, 2001).

Figura 3 – Mapa da Altimetria Regional da ZCP e parte da Região Nordeste Paraense.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A diversidade de feições das unidades morfoesculturais, são resultantes da atuação de processos geomorfológicos ligados a variações eustáticas, paleoclimáticas e tectônica durante o Cenozoico superior. A atual dinâmica costeira constitui-se de processos predominantemente erosivos que determinam a variação de linha de costa e a constante gênese das formas das feições costeiras. A inundação é integrante permanente e essencial dessas inter-relações continental fluvio-oceânica. Áreas de risco e degradação devem ser ambientes em constante observação e objetos de gestão (FRANÇA; SOUZA FILHO, 2003).

O terreno a qual está assentado a sede municipal de Vigia se assemelha muito ao de Belém-PA, assim como nas problemáticas experimentadas pelas duas cidades, em escalas diferentes. Na área que corresponde à Belém, a geomorfologia pode ser classificada em quatro níveis: Os Tabuleiros Continentais, superiores a 15 metros, tratando-se de plataformas interfluviais separando as duas principais bacias de drenagem, para oeste (baía do Guajará) e para o Sul (rio Guamá); dois terraços intermediários que viram de 10 a 15 metros e de 5 a 10 metros; e o quarto a própria planície de inundação das bacias hidrográficas (LUZ et al. 2015).

1.2 A Concepção do risco: a vulnerabilidade do lugar e a construção social do risco

Os ambientes que incorporam processos hidrogeológicos possuem uma dinâmica que aponta instabilidade ambiental por morfogênese, por serem sistemas não isolados abertos, onde a ação humana acentua as retroações positivas, assim intensificando os processos de degradação (CHRISTOFOLETTI, 1980; TRICART, 1977). Cabe às gestões públicas em cada esfera e por responsabilidade de atuação, investirem em medidas de conservação e ou controle (estruturais e não estruturais), para impedir ou amenizar estes efeitos (TOMINAGA; SANTORO; AMARAL, 2009; TUCCI, 2012).

Ao introduzirmos gestão de riscos em qualquer estudo, entende-se que esta seja inerente ao surgimento da sociedade, ou seja, que ao subjugar a natureza à sua necessidade de reprodução, também se compreende que o ser humano é um elemento recente, em um sistema que possui suas próprias leis. Dessa forma, ao entender que a natureza é finita e indissociável das relações humanas e seus impactos tornam-se destrutivos quanto ao funcionamento dos geossistemas, esse contexto é refletido na realidade de uma crise socioambiental em escala planetária (SANTOS, 2012).

Ao tratar das dimensões do risco, é pertinente reconhecer que a ameaça decorre a partir do momento em que uma dada população está exposta a um fenômeno natural, essa exposição torna seu resultado não tão natural e a ameaça socialmente produzida, uma ameaça, por vezes, institucionalizada. As abordagens das mais antigas até as mais recentes utilizam termos novos

e em comum para qualificar essas duas componentes principais e seus efeitos. Assim, resumidamente o risco do desastre é um produto proporcional à ameaça, a vulnerabilidade e a ação⁴, e ao depender da resiliência ou a capacidade de enfrentamento, podem agir para minimização do risco (UNISDR, 2017).

$$\frac{\text{Ameaça x Vulnerabilidade x Exposição}}{\text{Resiliência ou Capacidade de Enfrentamento}} = \text{Risco de Desastre} \quad (1)$$

A união de esforços para com essa preocupação atingiu seu ápice na década de 1990. A Assembleia Geral das Nações Unidas estabeleceu um marco no histórico da gestão de risco internacional, ao definir a Década Internacional para a Redução dos Desastres Naturais (DIRDN) para o período de 1990 a 1999. A principal preocupação torna-se a gestão do risco e não mais a de responder ao desastre, que converge então para uma visão e gestão sistêmica da problemática, afinal, conhecer e prever requer conhecimento multidisciplinar integrado da diversidade dos fatores (SEDEC, 2018).

No Brasil, a articulação multissetorial na esfera federal, foi iniciada durante a elaboração do Plano Plurianual 2012-2015. Foram reunidos diversos órgãos, que trabalhavam de maneira isolada, para a construção de um programa de governo que abordasse a questão dos desastres naturais com foco voltado à prevenção. Isso resultou em um modelo multissetorial com implementação de ações coordenadas de objetivos, metas e iniciativas, para o Programa Gestão de Riscos e Resposta a Desastres. A partir disso alguns órgãos ganharam destaque e passaram a ser referência de informação (estudos e monitoramento) e ação, como Centro de Estudos e Pesquisas em Engenharia e Defesa Civil da Universidade Federal de Santa Catarina (CEPED/UFSC), Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN), Defesa Civil, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais/Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (INPE/CPTEC) e Serviço Geológico do Brasil (SGB/CPRM) (BERTONE; MARINHO, 2013).

A ciência do risco tem avançado em termos de pesquisa e de gestão institucional, devido a integração de diversas áreas da ciência e a sua necessidade advinda de suas inúmeras

⁴ Existe uma rica literatura no campo geográfico e demográfico que expandem o debate sobre o risco. Nesse momento, o interessante é identificar essas categorias em torno do problema central para operacionalizá-los. “Desastre: resultado de eventos adversos, naturais, tecnológicos ou de origem antrópica, sobre um cenário vulnerável exposto a ameaça, causando danos humanos, materiais ou ambientais e consequentes prejuízos econômicos e sociais.” “Ameaça: Fenômeno natural, tecnológico ou de origem antrópica, com potencial de causar danos humanos, materiais e ambientais e perdas socioeconômicas públicas ou privadas”. “Vulnerabilidade: exposição socioeconômica ou ambiental de cenário sujeito à ameaça natural, tecnológica ou de origem antrópica.” (SEDEC, 2018, p. 90-91). “Exposição de pessoas e bens a essa ameaça.” (UNISDR, 2017, p. 9).

de consequências dos desastres vistos atualmente. Estas consequências também têm gerado impacto fiscal e orçamentário ao executivo (NINA; SZLAFSSTEIN, 2014), além do maior registro de perdas materiais, afetivas e de vida. Foram 38.996 registros de ocorrências de desastres reconhecidos pela União de 1991 a 2012 no Brasil, sendo que somente os anos de 2010, 2011 e 2012 igualam os registros de toda década de 1990 (CEPED, 2013). O maior emprego de investimento científico e financeiro nessa área tende a alterar um cenário institucional que aparenta estar sempre atrás desses desastres, onde os ambientes costeiros, parecem ser o termômetro dessa mudança, pela suscetibilidade do seu ambiente, principalmente expresso principalmente no aumento médio no nível dos oceanos e a intensidade de extremos climáticos (Braga et al., 2020; IPCC, 2014; PBMC, 2016).

Os riscos naturais no Brasil em sua maioria são de origem geológica e hidrológico⁵, associados e potencializados pelos impactos antropogênicos gerados pela urbanização ou mudança do uso da terra. As Situações de Emergências Recorrentes (SER) dos grupos geológicos e meteorológicos, correspondem a 15% das emergências extremas no Pará, representando a terceira maior ameaça recorrente neste território Amazônico (SANTOS; SILVA JUNIOR; ROCHA, 2019). Desse modo, seu entendimento torna-se uma estratégia que permite compreender os elementos que interferem na produção, aceitação e mitigação dos perigos. Para definir inundação, usaremos as seguintes conceituações (Quadro 2):

⁵ Há uma diversidade de nomenclaturas para descrever os riscos relacionados aos efeitos da precipitação e da dinâmica hidrológica. Em artigos a respeito desse tipo de risco, usados como referência nesse trabalho, além deste, a descrição de risco hidroclimático também aparece.

Quadro 2 – Conceitos de Inundação.

Autores	Descrição
Tucci (2003)	Quando a precipitação é intensa e o solo não tem capacidade de infiltrar, grande parte do volume escoava para o sistema de drenagem, superando sua capacidade natural de escoamento. O excesso do volume que não consegue ser drenado ocupa a várzea inundando de acordo com a topografia das áreas próximas aos rios. Estes eventos ocorrem de forma aleatória em função dos processos climáticos locais e regionais. Este tipo de inundação é denominado neste livro de inundação ribeirinha.
Amaral e Ribeiro (2009)	A magnitude e frequência das inundações ocorrem em função da intensidade e distribuição da precipitação, da taxa de infiltração de água no solo, do grau de saturação do solo e das características morfométricas e morfológicas da bacia de drenagem... Inundação representa o transbordamento das águas de um curso d'água, atingindo a planície de inundação ou área de várzea.
NWS/NOAA (2005) adaptado por CEPED/UFSC (2013)	A inundação de uma área normalmente seca causada pelo aumento do nível das águas em um curso d'água estabelecido como um rio, um córrego, ou um canal de drenagem ou um dique, perto ou no local onde as chuvas precipitaram.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Existem pelo menos quatro correntes de pensamento científico que integram a historicidade da teoria do risco. Atualmente, as abordagens sistêmicas ou holísticas empreendem sobre diversas dimensões, objetivando dar um caráter integrador ao produto risco do desastre. Estas dimensões são de caráter físico, biológico, ecológico, econômico social, cultural, político históricos e institucionais (MDR, 2021). A complexidade dessa corrente demanda ampla pesquisa e busca por bancos de dados socioambientais mais diversos e robustos.

Uma das abordagens que se entende necessária para nossa compreensão deste estudo e a construção social do risco é a de a vulnerabilidade do lugar e a vulnerabilidade sociodemográfica. Estas possuem uma dimensão espacial, de forma que, entender o lugar existencial e sociodiverso torna-se uma dimensão incorporada à dinâmica ecológica e dos processos naturais pré-existentes (MARANDOLA JÚNIOR; HOGAN, 2009). Dessa forma, as dimensões do espaço natural em conflito com o espaço socialmente produzido, tornam-se chave para entender o risco e suas componentes.

A análise da construção social do risco para esta pesquisa parte de uma composição da referida vulnerabilidade do lugar e seu processo de ocupação, fazendo relações com a noção de que certa parcela da população, incorpora menor poder de resposta ou capacidade de absorção sobre as situações de perigo, como Marandola Júnior e Hogan (2005) interpretam a questão, para o modo de concepção de vulnerabilidade para Geógrafos e Demógrafos, respectivamente.

Ainda, Canil, Lampis e Santos (2020), qualificando conceitos de vulnerabilidade, também abordam um ponto chave quando analisam a “vulnerabilidade inerente”, sendo origem de modelos socioeconômicos, dessa forma, risco e desastre seriam processos construídos socialmente e politicamente. A ausência do estado é um prejulgamento que se faz nestes casos, justamente porque esse contexto é produto da negligência de todos os níveis da administração pública, quando se pensa em combate à pobreza, educação básica e ambiental e gestão territorial do espaço regional a local, esta última, entregue ao mercado imobiliário a lógica de ocupação nas cidades, entre outros fatores. (TRINDADE, 1998)

Como a temática envolve inúmeras questões, iremos nos aprofundar apenas na dinâmica natural do ambiente, com ênfase no nível geomorfológico de planície de inundação, e no processo histórico de ocupação dessas áreas. O adensamento da discussão sobre ordenamento territorial urbano sob a perspectiva de uma análise de Políticas e Legislação de Planejamento Territorial, ficará para um próximo debate, sem desconsiderar aqui sua capital relevância.

1.3 Elementos do risco hidroclimático nas cidades do Setor Continental Estuarino

A ZCP Continental-Estuarina, possui algumas áreas críticas quando apontamos os riscos hidrometeorológicos. As unidades morfológicas costeiras de baixo gradiente topográfico, em uma região de considerável amplitude de maré, são um cenário propício para ocorrências de inundações, e podem alcançar centenas de quilômetros para o interior (BARBOSA, 2007). Dentro desse contexto, temos a ocupação das suas planícies em áreas urbanas, e apesar das intervenções, não conseguiram contrariar esse ciclo de inundação por efeito da maré e águas pluviais em algumas áreas (LUZ *et al.*, 2015).

A identificação e qualificação desses ambientes é uma metodologia essencial para compreensão dos fatores locais, que incidem em todo esse sistema, e suas consequências para os assentamentos humanos. A planície costeira se reproduz por uma ampla região, inclusive na região do trabalho, que está disposta em uma planície de maré com intensos processos fluviais. El-Robrini *et al.* (2006) identifica para a planície Flúvio-Marinha da ZCP, três subdivisões geomorfológicas: (1) uma planície aluvial, com canal fluvial, diques marginais e planícies de inundação; (2) uma planície estuarina, com canal estuarino, apresentando curso superior, segmento meandrante e funil estuarino; (3) uma planície costeira com ambientes de pântano salino, planície de maré e *cheniers*.

A identificação, feita por Barbosa (2007), de oito unidades de relevo nos municípios de Colares e Santo Antônio do Tauá, vizinhos e desmembrados da antiga Vigia, foi realizada

de acordo com a literatura disponível, observações de campo, e interpretação de imagens de sensoriamento remoto, e nos dão noção da composição geomorfológica da nossa área de estudo. As duas primeiras unidades de relevo, do Rio Pará, para o continente são, *o leito estuarino* e os *bancos e planícies de maré*. Após, vem a *praia estuarina* e os cordões *arenosos*, este último com altimetria de 5 a 10 metros e vegetação de campo. As planícies estão divididas em três, a *planície de maré lamosa* e *planície aluvial sob influência de maré* chegam até 4.4 m, que é o nível de maré de sizígia, e possuem posições de intermaré e supramaré, com vegetação aluvial de várzea e igapó, e ocorrência de espécies de mangue e somente mangue com espécies de várzea na primeira. A terceira é a *planície aluvial*, possui relevo suave acima de 4.4 m, estando assim superior aos níveis de maré, detêm vegetação aluvial. Por último o tabuleiro, já com depósitos do grupo Barreiras e pós barreiras, detêm topografia suave ondulada, vertentes convexizadas e falésias e altimetria de 4 a 50 m. Algumas semelhanças devem ser observadas no município de Vigia.

Será possível identificar e sempre fazer comparações com o contexto da ocupação de Belém, e por proximidade, com as unidades de relevo de Colares e Santo Antônio do Tauá. Vigia foi um dos primeiros núcleos de povoamento da Amazônia em 1639 a partir de Belém (TRINDADE JR., 2015), freguesia criada com a denominação de Nossa Senhora de Nazaré, em 1693 e elevado à categoria de vila com a denominação Vigia em 1698 (IBGE, 1957). Na década de 1960, Colares e Santo Antônio do Tauá foram desmembrados de seu território dando origem a sua atual configuração. Os três municípios ainda fazem parte da mesma região considerando a regionalização da ZCP.

1.4 Vigia de Nazaré: ocupação e risco hidrometeorológico

Há quatro fases principais da formação urbana de Vigia, mas por enquanto destacamos duas. A primeira com a ocupação predominante litorânea até a década de 1980 com dois núcleos, o de Vigia e do Arapiranga, dentro da atual cidade de Vigia. A segunda, após a década de 1980, quando houve uma interiorização da ocupação na direção da rodovia PA-412 e no entorno do núcleo tradicional da cidade, portanto a criação e ocupação de novos bairros. Nesse contexto houve a ocupação da planície de inundação das sub-bacias que compõem esse ambiente no entorno do centro, terreno mais elevado. A acanhada faixa de terra firme que se direciona do centro antigo, até se expandir mais, próximo a PA-412 (Leste-Sudoeste), funciona como divisor de águas para as microbacias que compõem a cidade: as sub-bacias que alimentam o Igarapé do Tujal, a sul, a sub-bacia do Igarapé da Rocinha, parte central, e uma sub-bacia do Rio Açai, a nordeste (BARBOSA; BENTES, 2016; BENTES; RAIOL, 2017).

A área ocupada por baixadas urbanizadas em 2014 era de cerca de 0,95 km², que corresponde, aproximadamente, a 22,17% da zona urbana de Vigia de Nazaré (4,28 km²) (BARBOSA; BENTES, 2016; IBGE, 2021). Santos (2009) relata que a expansão urbana em Vigia destruiu o que a cidade possuía de patrimônio ecológico. É ainda importante destacar como a atividade pesqueira possui reflexo direto nos modos de produção e de vida e na transformação da paisagem da região, haja vista que sua produção envolve uma relação entre a sociedade e a natureza, caracterizando assim a identidade e as diversas formas pelas quais se organiza a sociedade local (ARAÚJO; SILVA; DINIZ, 2021).

Nesse contexto, observa-se vários elementos da contraditória ocupação do espaço e da crise socioambiental das cidades nas planícies amazônicas, os relatos de inundações no núcleo urbano e erosão da orla da cidade são frequentes e anuais, acompanhando o período chuvoso. Portanto, a paisagem atual da cidade é resultado dos mais diferentes processos naturais e antropogênicos ocorridos espaço-temporalmente (ARAÚJO; SILVA; DINIZ, 2021).

Apesar de um menor acervo bibliográfico sobre as cidades da ZCP, o trabalho preocupou-se em gerar produtos inéditos para melhor compreensão da temática para a cidade de Vigia, dispondo sempre da bibliografia, que apesar de limitada em número de publicações, possui ótima descrição sobre aspectos socioambientais, como os trabalhos de Araújo, Silva e Diniz (2021); Barbosa (2007); Barbosa e Bentes (2016); Bentes e Raiol (2017); Bentes (2020); e Palheta (1980). Estes trabalhos somados aos demais para ZCP, nos darão direcionamento relativo aos principais aspectos que envolvem a problemática socioambiental na cidade de Vigia com investigação das inundações.

O entendimento do clima regional será um elemento crucial para desvendarmos os principais aspectos da problemática. Os meses chuvosos na região, por exemplo, atuam como os principais controladores de salinidade, através das descargas das principais bacias, no rio Pará, sendo assim um importante elemento da biodinâmica estuarina deste rio (ROSÁRIO, 2016). Existem outros inúmeros motivos para se entender a variabilidade temporal da precipitação na nossa área de estudo, o exemplo anterior é apenas um em meio a outros de origem física e socioeconômica. Ademais, o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2014) classificou a área de estudo como uma região de médio potencial de agressividade climática⁶ onde a precipitação pluviométrica foi tomada como variável básica, ao introduzir a alta evidência de impactos antropogênicos na região o quadro fica mais crítico.

⁶ “A carta do Potencial de Agressividade Climática representa um dos indicadores necessários à compreensão da dinâmica do subsistema natural, voltada à avaliação da vulnerabilidade do mesmo. Considerando que o equilíbrio dos sistemas ambientais depende da intensidade e duração dos fluxos de energia efetivados por intermédio da

Os episódios extremos diários de precipitação possuem maior visibilidade por causarem prejuízos à população, seus efeitos tornam-se potencializados. Estatisticamente são eventos que apesar de serem pouco numerosos, são responsáveis por uma grande porcentagem do total de chuva em um certo período para uma região. Pode ser por exemplo, um evento ocorrido em uma tarde de um certo dia, e esse percentual acentuado gerou prejuízos para a população. A técnica mais utilizada para identificar esses eventos é a de Xavier, Xavier e Alves (2007), que consiste em dividir a série, organizada em ordem crescente, em partes iguais, sendo usada tanto para períodos quanto para quantitativos diários.

Para Belém-PA, Tavares e Mota (2011), bem como Campos, Mota e Santos (2015), usaram decís aplicados a série de dados diários de chuva para encontrarem o nono decil, e dessa forma, classificar os eventos a partir daquele quantitativo de extremos de precipitação diária. Barbosa e Bentes (2016) evidenciam que no período para a região de Vigia as ocorrências de inundações se intensificam, portanto ainda é necessário classificar e quantificar os extremos de chuva para a localidade e como ele potencializa os efeitos das grandes marés.

Os fatores dos riscos que deverão ser apresentados neste estudo são aquelas apenas ligados às marés de grandes amplitudes na cidade que, por vezes, somados a altos volumes e intensidade das precipitações no período chuvoso, geram diversas situações de risco. Fatores tectônicos ou neotectônicos, por exemplo, serão citados apenas como elementos da morfogênese.

1.5 Justificativa e interdisciplinaridade da pesquisa

A motivação do estudo nessa área advém de três principais temas: o histórico de inundações na cidade de Vigia, de característica sazonal, e fortemente integrado à rotina da cidade. A intensa dinâmica natural de um setor estuarino e suas componentes hidrográficas, oceanográficas, atmosféricas e geomorfológicas que, associadas ao tema anterior, acabam impactando ocupações humanas que se dispõem sobre esse contexto nas cidades da ZCP. E a escassa literatura sobre os impactos socioambientais gerados em decorrência do uso das diferentes paisagens costeiras do município de Vigia (ARAÚJO; SILVA; DINIZ, 2021), e ainda pouquíssima explorada também por relatórios oficiais regionais, o que torna a necessidade de um diagnóstico local imprescindível, inclusive para compor materiais mais robustos sobre Risco, que possuem nas outras cidades da ZCP, como Belém, Bragança e Salinópolis.

dinâmica entre seus componentes, priorizou-se a análise da intensidade dos regimes atuantes com o objetivo de identificar áreas onde os processos de desestabilização podem ser desencadeados ou acelerados em casos de interferências antrópicas.” (IBGE, 2014, p. 4-5).

Ainda, no cenário das mudanças climáticas, por se tratar e estar em uma ZC, se destacam problemáticas como aumento do Nível Relativo do Mar (NRM)⁷; aumento da frequência, intensidade e magnitude das inundações costeiras; perdas de terrenos naturais e urbanizados; fragmentação e até perda completa de ecossistemas lindeiros à linha de costa oceânica e estuarina/lagunar (PBMC, 2016). Desse modo, compreender as variáveis componentes da dinâmica local e o processo de ocupação e construção do risco na cidade de Vigia de Nazaré, e as dimensões do risco geradas por essa diversidade de situações, é o objeto deste trabalho e a partida para uma eficiente gestão dos riscos das cidades que compõem a zona costeira.

Esta pesquisa está em concordância com a propriedade interdisciplinar exigida pelo programa. Sob a linha de pesquisa “Ecossistemas Amazônicos e Dinâmicas Socioambientais”, o trabalho apresenta considerações sobre o processo de ocupação de ecossistemas costeiros se utilizando de dados socioambientais climatológicos, hidrológicos, de sensores remotos, de saúde e populacionais, objetivando abranger o entendimento sobre uma situação de exposição ao risco, de certa população de uma área urbana na Zona Costeira Amazônica, apresentada em uma introdução geral e dois capítulos em formato de artigo.

1.6 Objetivos

1.6.1 Objetivo Geral

Compreender a relação entre a dinâmica das inundações e o processo de ocupação na cidade de Vigia de Nazaré-PA para produzir um diagnóstico sobre o risco aos eventos hidroclimáticos extremos.

1.6.2 Objetivos Específicos

- Analisar o processo de ocupação na cidade de Vigia, principalmente sobre área de planície de inundação assim como a dinâmica dos fenômenos hidrometeorológicos.
- Definir e apresentar as dimensões do risco em Vigia, a partir de dados socioambientais.

⁷ É importante destacar que mudanças climáticas e aumento relativo do nível do mar serão conceitos apenas ilustrativos para indicar a importância do estudo, não será feita uma análise dos conceitos ou haverá apresentação de estudos temáticos sobre eles. Nestes cenários o monitoramento constante das condicionantes do risco são uma importante ferramenta para adaptação à mudança climática, que podem ser previstas nas atividades de adaptação: mudança ou reforço institucional e comportamental; sistemas de informação; prevenção de extremos de tempo, clima e ressacas (PBMC, 2016).

1.7 Hipóteses

I – O risco hidrometeorológicos em Vigia foi socialmente construído, resultado da ocupação sobre a planície de inundação, de intensa dinâmica hidroclimática e ineficiência dos poderes públicos em gerir o espaço urbano.

II – O risco hidrometeorológico em Vigia possui dimensões que podem ser identificadas e analisadas caso a caso através de dados socioambientais.

1.8 Estrutura da dissertação

A introdução compôs uma revisão acerca do ambiente costeiro, o qual a área de interesse está inserida, além de uma revisão conceitual sobre os principais temas que serão abordados durante esta dissertação. O objetivo foi introduzir a dinâmica ambiental e a problemática do local de estudo.

O primeiro capítulo desta dissertação irá compreender basicamente duas etapas: A primeira incide sobre a dinâmica e a disposição dos elementos naturais do ambiente local. A Geomorfologia, a sazonalidade do regime hidrológico, principalmente da maré, e da precipitação, serão assimilados segundo bibliografia disponível e procedimentos estatísticos usando dados ambientais disponíveis, como dados de precipitação da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) e de maré do Banco Nacional de Dados Oceanográficos (BNDO), do Centro de Hidrografia da Marinha (CHM), ou produzidos através de acordo de cooperação, como o Modelo Digital de Terreno (MDT) do Centro Gestor e Operacional do Sistema de Proteção da Amazônia (CENSIPAM). A segunda etapa reconstitui elementos históricos de ocupação da cidade de Vigia, agregando as características de seus assentamentos e os casos de inundação na cidade, usando bibliografia disponível, trabalho de campo, fotos históricas e elaboração de cartografia.

O segundo capítulo compreende a produção de um diagnóstico identificando as dimensões do risco, pelas inundações na cidade de Vigia, para isso usaremos dados de maré, calculados também a partir da observação disponibilizada pelo BNDO do CHM. Dados de precipitação da ANA, para compreender o padrão da chuva em eventos de inundação na cidade. Dados socioambientais para entender a vulnerabilidade do município dentre os demais da região costeira, a partir de dados do Censo Demográfico de 2010, DATASUS de 2016 e Índice Firjan de Desenvolvimento Municipal. Imagens de satélite para remontar o processo de ocupação do solo na cidade de 1988 até 2019, usando os satélites SPOT 1 e 5 e Sentinel 2A. Ainda, de posse do modelo digital de terreno (MDT) e do ortomosaico de alta resolução, disponibilizados pela CENSIPAM, identificaremos eixos de vias e residências atingidas por eventos de inundação,

segundo as bases cartográficas do IBGE extraídas do Censo de 2010. O Quadro 3 sintetiza todos os dados primários e secundários utilizados na introdução e nos dois artigos.

Quadro 4 – Estrutura dos dados, softwares e produtos.

Tipo de Dado	Fonte	Softwares	Produtos
Imagens de Sensores Remotos	<ul style="list-style-type: none"> - Spot 1 e 5 - Sentinel 2A - LandSat 8 e 5 - Ortomosaico CENSIPAM 	<ul style="list-style-type: none"> - Qgis 3.16.14 - ArcGis 10.1 - Google Earth Engine 	<ul style="list-style-type: none"> - Mapas - NDVI - Histórico de Ocupação do Solo - Caract. Das ocupações
Fotografia	<ul style="list-style-type: none"> - Retrografia Vilenga (projeto) - Trab. De Campo 	<ul style="list-style-type: none"> - Revista Digital - GPS Fotos 	<ul style="list-style-type: none"> - Imagens Históricas - Registros de áreas de risco
Dados Geográficos	<ul style="list-style-type: none"> - CENSIPAM - IBGE 	<ul style="list-style-type: none"> - Qgis 3.16.14 - ArcGis 10.1 - Google Earth Engine 	<ul style="list-style-type: none"> - Mapas - Análise Cartográfica - MDT
Dados de Saúde	<ul style="list-style-type: none"> - DATASus 	<ul style="list-style-type: none"> - Excel - Libre Office Calc - R e R Studio - Qgis 3.16.14 	<ul style="list-style-type: none"> - Índices de Vulnerabilidade - Mapas de Vulnerabilidade
Dados Socioeconômicos e Socioambientais	<ul style="list-style-type: none"> - CENSO (2010) - IFDM (FIRJAN) 	<ul style="list-style-type: none"> - Excel - Libre Office Calc - R e R Studio - Qgis 3.16.14 	<ul style="list-style-type: none"> - Índices Socioambientais e Socioeconômicos - Mapas de Vulnerabilidade

(Continua)

Quadro 3 – Estrutura dos dados, softwares e produtos.

(Conclusão)

Dados de Precipitação	- Hidroweb (ANA/CPRM)	- Excel - Libre Office Calc - R e R Studio - ArcGis 10.1	- Tabelas - Gráficos - Análise da Precipitação
Dados de Maré	- BNDO (CHM)	- SisBaHia - Excel - Libre Office Calc	-Tabelas - Gráficos - Análise Harmônica - Previsão de Maré

Fonte: Elaborado pelo autor.

Com base nesses dados e no levantamento bibliográfico, foram elaborados dois capítulos em formato de artigo. O primeiro: O Risco Socialmente Construído em uma cidade da Zona Costeira Paraense, a Cidade de Vigia de Nazaré; e o segundo: As dimensões do Risco em Vigia de Nazaré: o uso de técnicas de Geoprocessamento e dados Socioambientais. A dissertação finaliza em uma conclusão geral e dispõe de apêndices e anexo referentes às etapas do trabalho.

CAPÍTULO 2 – O RISCO SOCIALMENTE CONSTRUÍDO EM UMA CIDADE DA ZONA COSTEIRA PARAENSE, O CASO DE VIGIA DE NAZARÉ

RESUMO

A cidade de Vigia de Nazaré, nordeste paraense, pertencente à primeira etapa do ordenamento territorial experimentado pela região amazônica, portanto, uma das primeiras ocupações na Amazônia, está situada na Zona Costeira Paraense, no Setor Continental Estuarino, um litoral resguardado da ação das ondas do mar e da deriva litorânea, assentada nos níveis mais baixos dos terraços regionais. Sua ocupação inicial se deu sobre um tímido trecho de terra firme na orla, que se estende em uma faixa exígua (Leste-Sudoeste), até a PA-412, funcionando como divisor de águas de suas microbacias urbanas. Perante esse contexto, a cidade experimentou etapas de sua formação socioespacial dentro de novos cenários da urbanização Amazônida, que culmina na problemática aqui analisada: A anexação de planícies fluviomarinhas ao contexto urbano, servindo para o assentamento espontâneo de diversas famílias, em sua maioria em situação de vulnerabilidade social, evidenciando aspectos da degradação ambiental e alteração de processos hidromorfodinâmicos. Este cenário ainda contempla, em escala regional, consideráveis acumulados de precipitação anual, com um período chuvoso bem definido, que dura de janeiro a maio (acima de 300 mm em média), posto em um ambiente sob influência de macromarés semidiurnas, podendo alcançar 4,5 metros. Para o ano de 2022, foram verificados 60 registros de maré iguais ou acima de 4,2 metros, nível de alerta local para coincidência com chuva. A ocupação recente, a partir de 1980, se deu em sua maioria neste nível morfológico de menor altimetria exposto à dinâmica do ambiente, a planície fluvio-marinha. O objetivo é compreender o processo de ocupação na cidade de Vigia, principalmente sobre área de planície de inundação, assim como a dinâmica sazonal dos fenômenos hidrometeorológicos. Ao mostrar que o risco é evidente e socialmente construído por estes processos e ausência ou insuficiente gestão ou planejamento do espaço urbano, a conclusão aponta instrumentos que possam subsidiar a mudança dessa realidade antes que, cenários futuros de aumento médio do nível do mar, e maior frequência e intensidade de eventos extremos, alcance e eleve a exposição da população.

Palavras-chave: Risco hidrometeorológico; Planície de inundação; Maré; Inundação; Construção do risco.

THE SOCIALLY CONSTRUCTED RISK IN A CITY IN THE COASTAL ZONE OF PARAENSE, THE CASE OF VIGIA DE NAZARÉ

ABSTRACT

The city of Vigia de Nazaré, northeast of Pará, belongs to the first stage of territorial planning experienced by the Amazon region, therefore, one of the first occupations in the Amazon. It is located in the Coastal Zone of Pará, in the Estuarine Continental Sector, a coastline protected from the action of sea waves and coastal drift. The city of Vigia is located on the lower levels of the regional terraces. Its initial occupation took place on a stretch of dry land on the shore, which extends into a narrow strip (East-Southwest) to the PA-412, functioning as a watershed for its urban micro-basins. In this context, the city experienced stages of its socio-spatial formation, within new scenarios of Amazonian urbanization, which culminates in the problem analyzed here: The annexation of fluviomarine plains within the urban context, serving for the settlement of several families, mostly in situation of social vulnerability, and evidencing aspects

of environmental degradation and alteration of hydromorphodynamic processes. This scenario also includes, on a regional scale, considerable annual precipitation accumulations, a well-defined rainy season that lasts from January to May (above 300 mm on average), in an environment under the influence of semi-diurnal macrotides, reaching 4.5 meters. For the year 2022, 60 tide records equal to or above 4.2 meters were verified, a local alert level for coincidence with rain. The recent occupation, from 1980, took place mostly in this morphological level of lower altimetry and more exposed to the dynamics of the environment, the fluvial-marine plain. The objective is to understand the occupation process in the city of Vigia, mainly over the floodplain area, as well as the seasonal dynamics of hydrometeorological phenomena. By showing that the risk is evident and socially constructed by these processes and the absence or insufficient management or planning of urban space, the conclusion points to instruments that can subsidize the change of this reality before, future scenarios of average sea level rise, and greater frequency and intensity of extreme events, reach and increase population exposure.

Keywords: Hydrometeorological risk. Floodplain. Tide. Inundation. Risk construction.

2.1 Introdução

A cidade de Vigia de Nazaré, nordeste paraense, pertence à primeira etapa do ordenamento territorial experimentado pela região amazônica, portanto umas das primeiras ocupações do império português na Amazônia. Esta possuía característica de um padrão espacial simples, de caráter dendrítico e não difuso, que valorizava elementos dos ecossistemas existentes. O padrão espacial econômico denominado “rio-várzea-floresta”, permaneceu inalterado até o início da produção extrativa da borracha. Os primeiros núcleos urbanos na Amazônia estavam localizados ao longo dos rios e tinham posição estratégica econômica, militar e posteriormente até fiscal, como Vigia. É a típica *cidade na floresta* até então, pequena e de intensa circulação fluvial, com fortes elos em relação à dinâmica da natureza, porém com papel regional de destaque na economia de derivados pesqueiros e no controle regional da circulação pelos rios (TRINDADE JÚNIOR, 2013).

Outros processos de caráter político-econômicos, foram imprimidos na região Amazônica, e a que mais impactou os espaços urbanos foi a mais recente reestruturação do espaço regional. Trata-se da política de integração, ao restante do país e ao espaço mundial, experimentada a partir da década de 1960, uma produção do espaço planejado e efetivado pelo estado (BECKER, 2001). O padrão anterior não fora substituído, porém incorporado à nova lógica. Essa coexistência de tempos e espaços diferentes em uma urbanodiversidade, difere assim das políticas planejadas para o território amazônico e da visão de região homogênea. Atualmente o espaço amazônico é composto por uma urbanização difusa, em nível espacial mais amplo e complexo (TRINDADE JÚNIOR, 2013). Dessa forma, cabendo uma investigação

mais específica sobre cada experiência urbana.

Esta reestruturação impactou diversas cidades na Amazônia em muitos níveis hierárquicos, prova disso é o incremento na população urbana de Vigia de quase 10 mil pessoas entre 1980 e 1990, para uma população que era de até então 24.825 mil pessoas no município todo, o maior aumento registrado pelas contagens oficiais do IBGE para a cidade. Ao mesmo tempo em que se registrou a intensificação das ocupações nas baixadas de Vigia, na década de 1980 (BENTES; RAIOL, 2017). É por essa perspectiva, que cada fenômeno local precisa ser compreendido segundo fatores naturais, externos e internos específicos para cada experiência urbana.

A população do município de Vigia possui atualmente 47.889 habitantes, sendo 32.353 ocupando a área urbana (IBGE, 2010). A sede municipal se dispõe em uma região de complexa dinâmica hidrológica, em uma zona de transição no ambiente costeiro, o Setor Continental Estuarina, possuindo regime de precipitação entre os mais chuvosos da Amazônia Oriental. O regime de macromarés e um extenso e intenso período chuvoso com altos acumulados mensais, desenham um cenário propício aos riscos hidrometeorológicos, dentro da complexidade de um espaço urbano (PBMC, 2016).

É pela perspectiva da vulnerabilidade do lugar, proposta de maneira mais adequada para este trabalho por Marandola Júnior e Hogan (2009), que iremos em busca do objetivo na forma da compreensão dos fenômenos locais, que conferem uma relação população-ambiente dada no espaço-tempo, nas esferas social e cultural, sendo apresentada por dois principais elementos: a dinâmica hidrometeorológica e o processo histórico de ocupação do espaço urbano. Ainda sob o contexto do gerenciamento de riscos e desastres, é um dos objetivos secundários disponibilizar estes resultados em termos científicos, para que este contexto vivido pela cidade e seus habitantes, seja absorvido pelas esferas de poder responsáveis e que seja integrada nas políticas de gestão de risco e gerenciamento costeiro dos Governos Estadual, Federal e municipal.

Diante do exposto, configuração espacial do terreno, ocupação dos leitos e das planícies inundáveis dos cursos d'água sob influência de maré, pela saturação do exíguo terreno com condições topográficas mínimas de ocupação e relação da lógica urbana de mobilidade e proximidade dos serviços e do trabalho, ingestão municipal referente a um zoneamento urbano e posterior gestão desses assentamentos precários, trataremos das condições principais para a ocorrência desse fenômeno, a construção social do risco hidrometeorológico. Dessa forma, partindo de dados primários e secundários tratados e dispostos sob uma metodologia específica regata-se o objetivo disposto no capítulo introdutório, que é: Analisar o processo de ocupação

na cidade de Vigia, principalmente sobre área de planície de inundação assim como a dinâmica dos fenômenos hidrometeorológicos.

2.2 Materiais e métodos

Constituiu-se de levantamento bibliográfico sobre a dinâmica local, técnicas de cartografia e geoprocessamento sobre variáveis hidrometeorológicas, estatística básica dos dados de precipitação e maré, pesquisa iconográfica e trabalho de campo. A origem dos dados e o método são descritos a seguir, assim como os resultados esperados.

Para a análise da área urbana de Vigia de Nazaré foi levantado um acervo bibliográfico sobre a cidade e as cidades do entorno, apesar de limitada literatura, dificuldade encontrada até para outros autores que estudam a cidade (ARAÚJO; SILVA; DINIZ, 2021), o trabalho também se preocupou em gerar produtos inéditos para melhor noção sobre a temática para a cidade de Vigia. Ainda que em menor volume, a bibliografia sobre a cidade e a região possui ótima descrição acerca dos aspectos socioambientais, como os trabalhos de Barbosa (2007); Barbosa e Bentes (2016); Bentes e Raiol (2017); Bentes (2020); e Palheta (1980). Estes trabalhos, somados aos demais para a ZCP, nos darão direcionamento aos principais aspectos que envolvem a problemática socioambiental na cidade de Vigia com investigação das inundações.

A cartografia e técnicas de geoprocessamento também nos ajudam a remontar os cenários propostos pela análise. Foram elaborados mapas de localização usando imagens do Satélite Sentinel 2A em uma composição RGB (Falsa Cor), os polígonos de planície foram extraídos do MDT disponibilizados pelo Centro Gestor e Operacional do Sistema de Proteção da Amazônia – Centro Regional Belém (CENSIPAM-CRBe), assim como o ortomosaico de alta resolução. Estes produtos foram solicitados ao CENSIPAM através de cooperação técnica dentro do projeto Sistema Integrado de Monitoramento e Alerta Hidrometeorológico (SIPAMHidro), que mapeia áreas sujeitas a inundação. O imageamento foi feito nos dias 27/28/29 de dezembro de 2021, acompanhado pelo autor deste artigo.

A estatística básica acerca dados climáticos foi elaborada principalmente através das técnicas básicas apresentadas em Collischonn e Dornelles (2013) e Tucci (2001) e plotada em gráficos e tabelas. Outras duas técnicas mais detalhadas foram usadas, como o *Standardized Precipitation Index* (SPI), proposto por McKee, Doesken e Kleist (1993), que consiste em determinar a partir das funções de densidade de probabilidade, um cálculo que descreva as

séries temporais de precipitação. É dividido em 9 escalas⁸ que vão de “seca extrema” a “chuva extrema”. O primeiro passo é a determinar uma função de densidade de probabilidade que descreva as séries temporais. Após a distribuição dos valores serem transformadas em probabilidade normal, a probabilidade acumulada de ocorrência de cada valor mensal é estimada. A essa probabilidade, aplica-se a função normal inversa para encontrar o valor do SPI, tratando-se da diferença da precipitação observada menos a média do intervalo de tempo específico, dividida pelo desvio padrão, conforme Equação (2) (SANTOS *et al.*, 2017). Ainda, para representação da variação mensal e sazonal da precipitação foi produzido um gráfico em boxplot, este divide a série em três quartis e apresenta quatro particionamentos de 25% cada, do total das observações para cada mês. Pela técnica conseguimos visualizar além dos quartis, valores mínimos, máximos, média e mediana. Os softwares usados foram o Excel e R⁹.

$$SPI = Z = \frac{(P_i - \bar{P}_i)}{\sigma_i} \quad (2)$$

Estes dados foram obtidos através do Portal HidroWeb, uma ferramenta integrante do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH) que disponibiliza informações coletadas pela Rede Hidrometeorológica Nacional (RHN). Trata-se do posto pluviométrico posto pluviométrico Cod: 48006; Latitude: -0,87° Longitude: -48,11°, de responsabilidade da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) operado pelo Serviço Geológico do Brasil (SGB/CPRM), com série histórica de 01/01/1982 a 31/05/2021, onde seus dados foram devidamente corrigidos e consistidos segundo mesma referência usada nas técnicas, e que serão mais bem abordados no segundo capítulo. O pluviômetro fica instalado aproximadamente a 2,1 km do polígono que delimita a área de análise. Os dados foram baixados do portal HidroWeb¹⁰, suas características são de dados diários, que além de apresentar estatística básica, também informam a respeito do status da estação e dos dados, tipo de medição e sobre a consistência dos dados¹¹. A seleção dessas medições obedeceu ao período indicado mínimo para uma normal climatológica, e abrange os anos de 1991 a 2020.

⁸ < -2,0 Seca Extrema / -1,99 a -1,50 Seca Severa / -1,49 a -1,0 Seca Moderada / -0,99 a -0,49 Seca Leve / -0,49 a 0,49 Quase Normal / 0,49 a 0,99 Chuva Leve / 0,99 a 1,49 Chuva Moderada / 1,49 a 1,99 Chuva Severa / > 2,0 Chuva Extrema.

⁹ R Core Team (2021). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Áustria. Disponível em: <https://www.R-project.org/>. Acesso em: 15 ago. 2020.

¹⁰ O Portal HidroWeb é uma ferramenta integrante do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH) e oferece o acesso ao banco de dados que contém todas as informações coletadas pela Rede Hidrometeorológica Nacional (RHN), reunindo dados de níveis fluviais, vazões, chuvas, climatologia, qualidade da água e sedimentos - *Sistema de Informações Hidrológicas, Versão Web 3.0*. © 2018 Agência Nacional de Águas (ANA). Disponível em: <http://www.snirh.gov.br/hidroweb/>. Acesso em: 09 jul. 2020.

¹¹ Nível Consistência: 1 = Bruto, 2 = Consistido; Tipo Medição Chuvas: 1 = Pluviômetro, 2 = Pluviógrafo, 3 = Data logger; Status: 0 = Branco, 1 = Real, 2 = Estimado, 3 = Duvidoso, 4 = Acumulado.

Os dados de maré são produtos de estimativa para o ano de 2022, produzidos pelo software gratuito Sistema Base de Hidrodinâmica Ambiental (SisBaHiA®). O software extrai uma análise harmônica baseada em uma observação no local que se deseja estimar, para reproduzir as amplitudes e fases dos constituintes, chamadas de “constantes”. Em posse dessas constantes podemos realizar a previsão de níveis de maré em um dado local para um intervalo de tempo específico. Os dados de observação da Maré são do Banco Nacional de Dados Oceanográficos (BNDO) do Centro de Hidrografia da Marinha (CHM), do período de um mês (período mínimo recomendado pelo SisBaHiA) entre as datas de 12/05/2002 e 12/06/2002 usando o equipamento bóia e contrapeso. O dado coletado é horário e medido em centímetros.

Para a pesquisa iconográfica foi usada imagens históricas do projeto “Retrografia Vilenga” (2021), disponível no *Facebook* e em revista digital¹², servindo para compor espaço-temporalmente nossa análise da ocupação da cidade, sobre intervenções urbanísticas e registros históricos de inundação. Outras imagens, pontos de confirmação de área de inundação, relatos de moradores decorrente dessa confirmação e observações nos produtos cartográficos e na discussão no decorrer do trabalho, foram reunidos por trabalho de campo, realizado nos dias 27 e 28 de dezembro de 2021.

O trabalho de campo consistiu na coleta de imagens, descritivo ambiental local e ocupações, e por último, na coleta de alguns depoimentos de moradores sobre o regime das inundações na cidade, sendo realizado nos dias 27 e 28 de dezembro de 2021, junto com o aerolevante executado em parceria com o CENSIPAM. Os pontos de visita foram definidos seguindo a delimitação da planície de inundação, disposta em Barbosa e Bentes (2016). Na Figura 4, os marcadores amarelos indicam registros fotográficos e descritivo no que se refere às ocupações, os marcadores vermelhos indicam além dos registros fotográficos e descritivos, a confirmação de pontos de inundação com moradores da área, e o marcador verde indica a base de onde foi realizada o aerolevante pelos servidores do CENSIPAM. Os marcadores com pontos repetidos assinalam que foram realizados vários registros fotográficos e descritivos relativos ao mesmo local.

¹² Retrografia Vilenga. Disponível em: <https://www.facebook.com/retrografiavilenga/>. Acesso em: 18 abr. 2021. Contato: amazoalc@gmail.com.

Figura 4 – Registros do trabalho de campo.



Fonte: Elaborado pelo autor. (Google Earth, 2021)

Não foi incluída na metodologia uma entrevista estruturada, apenas confirmação de pontos de inundação dentro da planície, com moradores de casas próximas aos pontos pré-selecionados como mencionado no parágrafo anterior. Dentro deste contexto duas perguntas foram aplicadas:

1. *Há ocorrência de inundação nesta via? () sim () não.*
2. *Se sim qual tipo de perda já ocasionou? (Material ou humana).*

Caso o morador se sentisse à vontade para relatar mais casos ou dissertar mais sobre o assunto, o pesquisador tomou nota das principais considerações da fala referente ao tema, e usou como relato. Nesses casos os moradores consentiram em ter o depoimento usado neste trabalho por meio de autorização por áudio. Ainda, há relatos de entrevistas disponíveis em plataformas de vídeo e redes sociais que foram incluídas pela necessidade de incorporar a percepção dos moradores sobre estes eventos.

A estrutura da próxima etapa está definida como Resultados e Discussão, para que ao tempo em que se apresenta os resultados, aconteça a interação entre as referências discutidas. Sendo inicialmente apresentada as características hidrodinâmicas, com foco nas marés, posteriormente o regime de precipitação e por último o processo de ocupação da área urbana da cidade de Vigia e das planícies de inundação. Por fim, uma conclusão que reconheça os processos, até ali citados, como elementos da construção social do risco em Vigia.

Por fim, a determinação da altimetria a se considerar como planície fluvio-marinha e

os baixos terraços corresponde a:

- 1 - Bibliografia: Barbosa (2007); Barbosa e Bentes (2016); Luz *et al.* (2015); e Palheta (1980).
- 2 - Imagens e depoimentos dos moradores coletados em trabalho de campo e suas respectivas geolocalizações (Figura 4).
- 3 - Produtos disponíveis no capítulo 2: os pontos de inundação identificados nos registros de rede social e imprensa, conforme Valério e Negrão (2019).
- 4 - Imagens históricas dos satélites Spot 1 e Spot 5, e Sentinel 2A, trabalhadas para compor a evolução da urbanização em Vigia (1988 a 2019).
- 5 - Por último, de posse do MDT produzido pelo CENSIPAM, foram extraídas as curvas de nível no intervalo adequado a metodologia e a resolução do produto, dando origem assim ao polígono referente à planície fluvio-marinha. Acima deste patamar, encontram-se os baixos terraços amazônicos, até 12 m.

2.3 Resultados e discussão

2.3.1 Características hidromorfodinâmicas em Vigia

Os municípios que compõem a zona costeira tipicamente estuarina, possuem um comportamento fisiográfico e certo arranjo de unidades de relevo, diferentes da região costeira oceânica, e é resguardada da ação das ondas do mar e da deriva litorânea. O baixo planalto costeiro alcança a linha de costa, sofrendo assim ação erosiva física de ondas e correntes de maré. Este ambiente possui ainda uma estreita faixa de planície costeira tal como sua tímida vegetação de mangue, em relação a continuidade da costa, que diminui cada vez mais no estuário do Rio Pará adentro, e começam a intercalar com vegetação própria de várzea e igapó à medida que diminui a salinidade (BARBOSA, 2007; SOUZA FILHO, 2005).

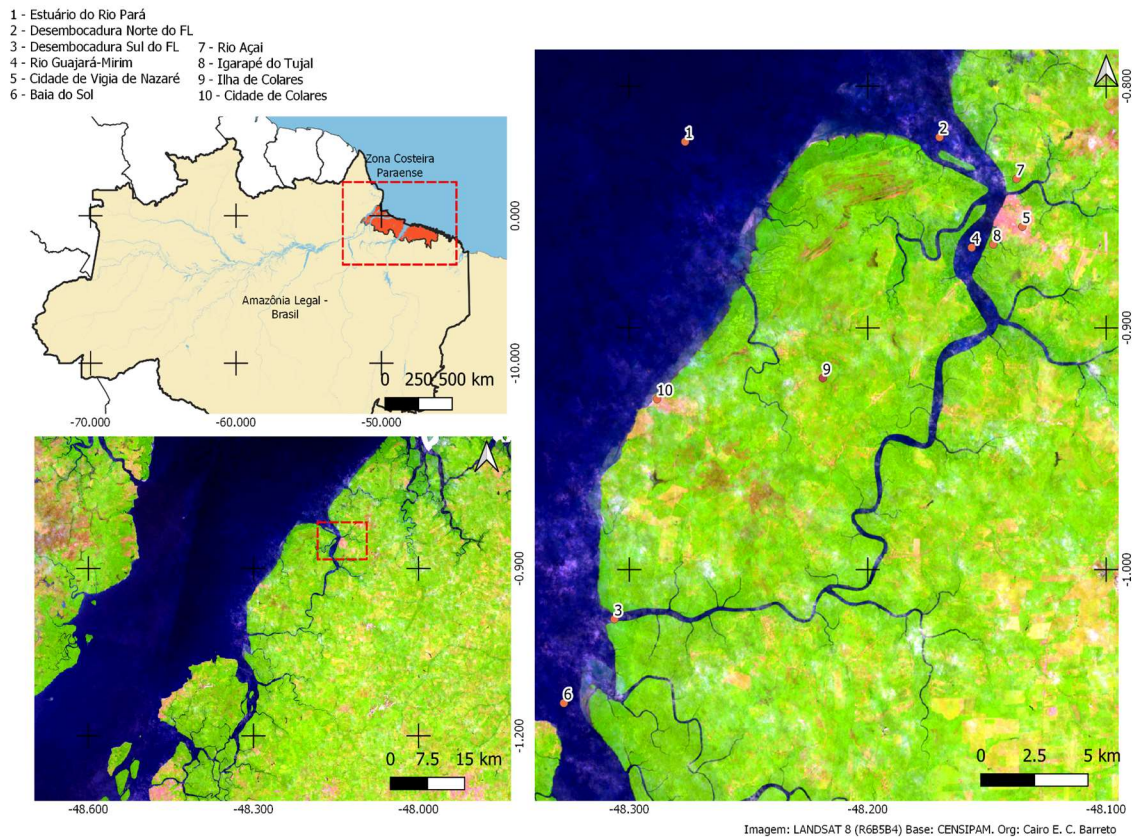
A cidade de Vigia está assentada nos níveis mais baixos dos terraços regionais (6 metros), mantidos por crostas lateríticas. Os terraços são patamares aplainados, de largura variada, limitado por escarpas em direção a um curso d'água e esculpido por morfogênese fluvio-marinha. A cidade encontra-se no “Platô Tauá-Vigia”, que se apresenta entalhado por sua rede fluvial e inclinando-se suavemente em direção ao litoral. Essas planícies argilosas, com forte influência de maré, são constantemente realimentadas por aluviões fluvio-marinhos, integrado de um material erodido ou intemperizado da formação de Barreiras e dos sedimentos Pós-Barreiras, estando expostos na superfície. São margeadas por terrenos plio-pleistocênicos, os baixos terraços (BARBOSA, 2007; CHRISTOFOLETTI, 1980; PALHETA, 1980).

As correntes de maré atuam diretamente no fluxo constante e no transporte de sedimentos, matéria orgânica e cloretos (enchentes e vazantes), conjuntamente com a descarga expressiva dos rios da região. Estes finos sedimentos dão origem a amplas áreas de acumulação com baixios, depósitos marginais aos canais e planícies fluviomarinhas lamosas (BARBOSA, 2007; LIMA; TOURINHO; COSTA, 2001). Esses processos exercidos por estes dois elementos, configuram o substrato e a formação vegetal da planície local, que acaba por integrar a localidade como pertencente a faixa de manguezais com maior extensão no mundo, na Costa de Manguezais de Macromaré da Amazônia (CMMA) (SOUZA FILHO, 2005).

Os dois níveis morfológicos identificados para a cidade são modelados típicos de acumulação, resultante dos diversos processos morfogenéticos e da gênese dos ambientais costeiros, a *planície fluviomarinha*, e na sequência, os *baixos terraços*. O primeiro, é uma área plana produto de processos de acumulação fluvial e marinha, podendo comportar canais fluviais sujeitos a inundações periódicas. É comum nas embocaduras fluviais e nas baixadas litorâneas. Os terraços em ambientes fluviomarinho, são formados por um processo de acumulação dessa região, possui forma plana, levemente inclinada, entalhada em consequência de variação do nível do mar, por processos erosivos ou, ainda, por neotectônica. São comuns em baixadas litorâneas pleistocênicas e holocênicas (IBGE, 2009). A altimetria de 6 a 12 metros, descrita por Palheta (1980), para a cidade de Vigia, deu essa qualidade de baixos terraços, um primeiro nível desse modelado.

A cidade de Vigia está de frente para a Desembocadura norte do Furo da Laura (FL) (Figura 5), tendo o Rio Guajará-Mirim como subestuário, desaguando no Golfão Marajoara, indicando uma Zona Fluvial de Maré (KJERFVE, 1990). O Furo faz conexão com a Baía do Marajó e possui dois fluxos de enchente e vazante simultâneos com a boca sul (sul da ilha de Colares). As margens do Furo da Laura predominam depósitos de sedimentos estuarinos, em forma de pântanos e mangues holocênicos com origem associada a geoevolução no Neógeno e Holoceno (LIMA *et al.*, 2015). O ambiente está sob a influência de macromarés, o qual dá origem a correntes de maré, que, aliada às vazantes fluviais, regem o comportamento hidrológico local.

Figura 5 – Elementos hidrológicos e continentais locais.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Esta maré, detém amplitude de aproximadamente 4,5 m, sendo de característica semidiurna, com duas preamares e duas baixa-mares por dia (LOPES, 2016). Em vista, a melhor compreensão acerca desta área, perpassa por conhecer características das forçantes que conduzem a circulação em águas estuarinas e costeiras, principalmente às: (1) descarga de água doce; (2) correntes de maré; e (3) tensão do vento, além de condições que possam alterar o comportamento hidrodinâmico como, geometria e batimetria do canal ou furo, como nesse caso (KJERFVE, 1990).

A hidrodinâmica local é bastante intensa, vide parâmetros hidrológicos e físico-químicos dos rios, o que pode explicar como os canais fluviais dentro do espaço urbano de vigia respondem a qualquer variação das condições hidrometeorológicas do sistema. Outros estudos que levam em consideração parâmetros físico-químicos da água e de metais do fundo do FL, na região do estuário do rio Guajará-Mirim, podem nos dar uma maior noção da forte contribuição do período chuvoso, no incremento do aporte hídrico nesse sistema, o que pode sustentar a inferência de que, estes períodos intensificam a dinâmica de inundação observada nas planícies urbanas de Vigia de Nazaré. Segundo evidenciado em Barbosa e Bentes (2016), bem como em Santos (2009), nos meses em que as marés alcançam maior amplitude, as marés

de sizígia equinocial de março e setembro, e coincidem com período chuvoso, causam os maiores transtornos à população, com destaque para os de março e abril.

Para compreendermos melhor essa dinâmica, observamos alguns parâmetros hidrológicos e físico-químicos do FL. O trabalho de Fernandes (2014), em coletas no ano de 2014, identificou particularidades da hidrodinâmica local equivalente para três regiões do Furo da Laura (desembocadura norte, região central e desembocadura sul). Na boca norte (1100 m de comprimento) observou migração de 31,5 m do canal principal da margem direita à esquerda na transição do período menos chuvoso para o período chuvoso. Este ainda possui profundidade máxima de -10 m, mínimas de -0,1 m e média de -5,5 m, sendo em frente a Vigia bem expressivas próximas, chegando a -10 m. As marés da boca norte têm configuração intervalares simétricas de 6 em 6 horas no período chuvoso, diferente da boca sul, e assimétrico no período menos chuvoso, 6h e 5h para enchente e vazante.

A boca norte apresenta maiores valores velocidades de fluxo, em relação a boca sul, tanto para o período menos chuvoso quanto para o período chuvoso, sendo maior na vazante ($1,33 \text{ m.s}^{-1}$) no chuvoso e maior na enchente ($1,00 \text{ m.s}^{-1}$) no menos chuvoso. Há um considerável transporte de volume de $7267 \text{ m}^3/7885 \text{ m}^3$ para a boca norte no pico da enchente/vazante para o período chuvoso (boca sul: $1621 \text{ m}^3/2373 \text{ m}^3$) e $7201 \text{ m}^3/7822 \text{ m}^3$ no período menos chuvoso (boca sul: $1544 \text{ m}^3/2162 \text{ m}^3$). Concluiu-se que a região da desembocadura norte, onde se apresenta a cidade de Vigia, é dinamicamente mais intensa que a desembocadura sul, tendo que a área desta seção é quase cinco vezes maior que ao sul, próximo a Baía do Sol (FERNANDES, 2014).

Os experimentos realizados nos estudos de Araújo (2013), Cardoso (2009), Lima *et al.* (2015) e Mesquita (2020), nos ajudam a entender a sazonalidade dos parâmetros físico-químicos. O primeiro aponta que a salinidade da água nos pontos de coleta no estuário do rio Guajará Mirim, indica uma diferença significativa em março para maré enchente e vazante e menor variação nesses ciclos para o mês de setembro. No segundo estudo a diferença de salinidade foi significativa entre os meses de março e novembro, porém sem relevância entre os ciclos diários. No terceiro, analisando sedimentos de fundo do Furo da Laura, constatou-se a influência da sazonalidade da pluviosidade nas concentrações dos metais Na, Ba, K, Mn e Ca. No último estudo, onde foram coletadas amostras para os meses de março e setembro, a salinidade do período chuvoso foi significativamente menor do que a do menos chuvoso. Inferiu-se que o robusto incremento das águas fluviais no período chuvoso é suficiente para gerar fortes mudanças nos volumes de água dos corpos hídricos dessa área.

2.3.2 Análise da Maré

Para o ano de 2022, foi realizada a previsão de maré seguindo análise harmônica, mais bem descrita no próximo capítulo, extraída de observação realizada pelo Centro de Hidrografia Marinha (CHM) no mês de Jan/2002, produzida com suporte do software SisBahia. As marés na região possuem característica de macromarés (IBGE, 2011), podendo chegar a 4,56 metros (CHM, 2002). Foram identificadas 36 constituintes harmônicas, as de maior significância foram, a M2, S2 e N2, respectivamente, lunar semidiurna principal, solar semidiurna principal e a constituinte elíptica lunar e essas usadas como parâmetro para a previsão de maré para o ano de 2022. A maré possui características semidiurna¹³ ($F=0,129$) e média de 2,29 m.

Considerando a observação das marés uma variável aleatória contínua, foi produzida uma tabela com o resultado da previsão para todo o ano de 2022, estabelecendo algumas técnicas básicas de estatística, que possam nos dar parâmetros com relação ao padrão, principalmente, das preamares. Identificamos as três maiores máximas para cada mês e suas respectivas mínimas, além do cálculo da média e da média das preamares, que nos evidenciam de uma melhor forma o comportamento das marés mais altas mensais.

Na previsão de 2022 (Quadro 4), a maior maré foi prevista para o mês de janeiro, 4,52 metros.

Quadro 4 – Característica da maré em Vigia para o ano de 2022.

Procedimentos	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Máxima	4,52	4,46	4,42	4,40	4,40	4,46	4,50	4,47	4,41	4,37	4,37	4,43
Seg. Maior	4,51	4,37	4,38	4,39	4,40	4,42	4,47	4,47	4,40	4,34	4,36	4,43
Terc. Maior	4,49	4,33	4,35	4,32	4,35	4,41	4,42	4,39	4,38	4,33	4,32	4,34
Mínimo	0,09	-0,02	0,01	0,25	0,42	0,31	0,09	-0,03	0,04	0,23	0,37	0,29
Média	2,34	2,33	2,34	2,34	2,34	2,33	2,33	2,33	2,34	2,33	2,34	2,34
Méd. das Peamares	3,88	3,84	3,88	3,86	3,85	3,83	3,83	3,84	3,85	3,85	3,85	3,84

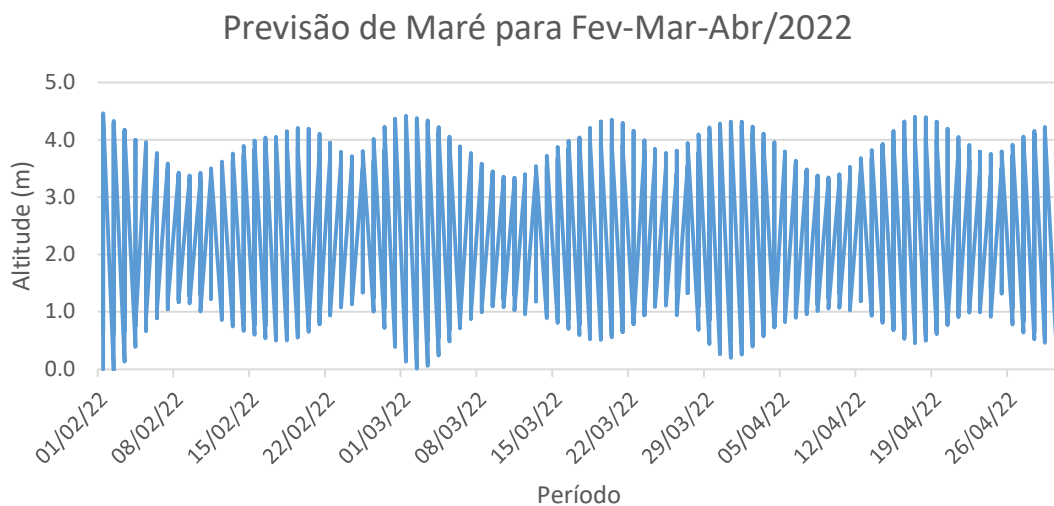
Fonte: Elaborado pelo autor. (CHM, 2022)

Durante o período chuvoso, a previsão aponta que as três maiores preamares desses meses sempre estão acima de 4,31 metros, com destaque para dezembro, janeiro e fevereiro. Nos meses secos a maior maré foi identificada no mês de julho, de 4,5 metros. Entre os meses mais chuvosos, janeiro, março e abril possuem maior média das preamares. Para o período menos chuvoso, julho apresenta uma das maiores máximas, porém as médias das preamares não acompanham. É possível observar também a configuração respondendo as fases da lua no

¹³ Classificada pelo número de forma (DIETRICH, 1963). Para semidiruna o valor de F será igual a $0 \leq F \leq 0,25$.

gráfico plotado para os meses de fevereiro, março e abril, as marés de sizígia com maiores amplitudes e as de quadratura com as menores amplitudes (Gráfico 1). As marés equinociais de sizígia possuem maior amplitude para março, justamente no período chuvoso, sendo as de setembro (médias das preamares) as maiores do período menos chuvoso.

Gráfico 1 – Previsão de maré para fevereiro, março e abril de 2022.



Fonte: Elaborado pelo autor. (CHM, 2021)

Nos meses de março e abril de 2020, a prefeitura de Vigia lançou alertas¹⁴ de “Risco alto para coincidência de maré alta com chuva”. Os alertas variaram entre 4,2 e 4,3 metros. Para previsão de 2022, há 60 registros de marés semidiurnas acima de 4,2 metros. No segundo artigo, pela previsão, verificou-se registros em que houve inundações em dia com maré de menor amplitude. Para uma localidade que possui uma das maiores médias de precipitação da região, como veremos a seguir, o comportamento e a previsão de marés devem ser uma constante preocupação principalmente da gestão municipal.

A componente maré, como se mostrou até aqui, é um importante fator quando se avalia a questão das inundações na cidade de Vigia, está culturalmente integrada ao cotidiano da cidade, como qualquer outra cidade costeira, porém com a peculiaridade de possuir altíssimas amplitudes e com uma considerável parte da população ocupando o espaço que sempre lhe pertenceu, a planície dos canais fluviais sob influência de maré.

¹⁴ Alerta de Maré Alta em Vigia em 11 de março de 2020. Disponível em: <https://vigia.pa.gov.br/aviso-mare-alta/>. Acesso em 20 ago. 2022.

2.3.3 Mecanismos e sistemas precipitantes regionais

A Bacia Amazônica é uma das regiões com maior índice pluviométrico no mundo, e ao contrário dos países andinos, que compõem a região, a variabilidade espaço-temporal da precipitação tem sido amplamente estudada e publicada para a Amazônia Brasileira. Os maiores valores estão regionalmente localizados a noroeste da bacia, na fronteira do Brasil com Colômbia e Venezuela, onde condições orográficas são o grande incentivador dessas altas taxas (VILLAR et al. 2009).

A variabilidade interanual da precipitação na Região Amazônica é fortemente influenciada por processos oceano-atmosféricos de escala global, entre eles o fenômeno El Niño Oscilação Sul (ENOS) e o gradiente meridional de anomalias de Temperatura da Superfície do Mar (TSM), correspondente ao Atlântico Tropical. Estes processos reconfiguram as circulações atmosféricas, induzidas por distribuições espaciais de TSM sobre os oceanos, pacífico equatorial e atlântico tropical. Em particular, o ENOS possui duas fases com respostas diferentes para circulação atmosférica zonal e consequente, sua interferência no regime de precipitação. Chuvas abaixo do normal são registradas no norte e nordeste da Bacia Amazônica durante os eventos El Niño, enquanto o excesso de chuvas ocorre durante o La Niña (VILLAR et al. 2009).

No estado do Pará, a precipitação se intensifica nas estações de verão e outono austral em associação, principalmente, aos padrões de circulação atmosférica quase-estacionários de grande escala, ligados à Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) (LOPES; DE SOUZA; FERREIRA, 2013). Já em escala regional, a conexão de alguns municípios do nordeste paraense com a costa norte-nordeste da América do Sul, os deixam suscetíveis à circulação de brisas marítimas, favorecendo a circulação das Linhas de Instabilidade (LI). Essas LI's são responsáveis por 45% da precipitação observada no Leste. Comumente se formam ao final da tarde e possuem maior frequência no período em que a ZCIT está mais organizada. As LI's Costeira se mostraram mais atuantes entre os meses de abril e agosto (COHEN; SILVA DIAS; NOBRE, 1995) e podem se propagar continente adentro, atingindo o extremo oeste da Amazônia, ou se dissipando na costa.

Um fato que confere a região sendo uma das mais chuvosas da região, é a combinação de vários sistemas meteorológicos que promovem a incidência de chuvas ao longo do ano. Outros eventos de escala global como, Oscilação do Atlântico Norte (OAN) e Oscilação Decadal do Pacífico (ODP), também contribuem para montar esse cenário (AMANAJÁS;

BRAGA 2012). Atualmente, pesquisas avançam a respeito da contribuição do homem na intensidade e frequência do que já é observado.

Essas características e as citadas anteriormente, configuram um cenário que é a base desse estudo, a intensa interação biosfera-atmosfera moldam as paisagens e as dinâmicas socioespaciais na região, qualquer anomalia positiva ou negativa na precipitação, ou em qualquer outro elemento climatológico, possui uma resposta imediata no meio natural, e com isso no meio de vida dessa população, que apesar de estarem habituadas aos tempos da natureza, as incertezas dos cenários futuros e as contradições impostas pelos modelo econômico vigente, podem distorcer esse equilíbrio, como vemos hoje, em um curto período de tempo.

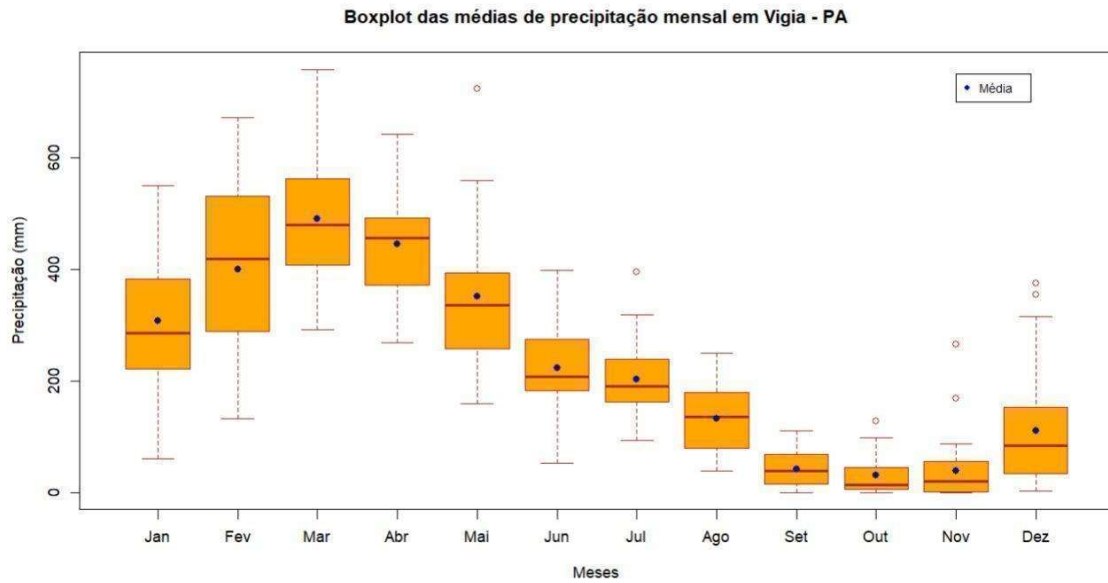
2.3.4 Climatologia da precipitação para a Cidade de Vigia

Após a etapa de consistência e correção de possíveis falhas nos dados, mais bem explicada no próximo capítulo, estes passaram por uma análise estatística exploratória correspondente à análise das medições dos acumulados mensais e anuais de chuva registrados em um posto pluviométrico na cidade de Vigia de Nazaré-PA. O objetivo aqui é entender a variabilidade sazonal da precipitação na cidade, dentro da climatologia para 30 anos de dados coletados. Esta, será compreendida a partir dos dados plotados para gerar representações gráficas como Box Plot e gráficos dos acumulados, e ainda usando algumas medidas estatísticas como: médias, desvio mensal, anomalia por percentis, desvio padrão, coeficiente de variação, percentis (P15, P35, P65, P85) (COLLISCHONN; DORNELLES, 2013; PINKAYAN, 1966; SANTOS, 2010; TAVARES; MOTA, 2011; TUCCI, 2001; XAVIER; XAVIER; ALVES, 2017).

A precipitação é uma variável hidrológica aleatório temporal contínua, que é representada de forma discretizada, ou seja, os valores obtidos possuem um período em um determinado ponto no espaço. Para melhor entendimento do processo hidrológico de inundação para bacias hidrográficas urbanas, é mais adequado obter dados pluviográficos medidos em intervalos diários, pois, o tempo de duração do evento é importante para interpretar sua intensidade e por consequência seus efeitos em bacias que sofreram alterações antropogênicas.

Inferese pela representação em boxplot que, a precipitação na cidade segue o padrão sazonal e mensal visto para a região (Gráfico 2), e identificado em outros estudos usando variados métodos (AMANAJÁS; BRAGA, 2012; LOPES; DE SOUZA; FERREIRA; 2013; SANTOS; VITORINO; PEREIRA, 2019).

Gráfico 2 – Box Plot das médias de precipitação mensal em Vigia-PA.



Fonte: Elaborado pelo autor. (ANA, 2021)

O período dos meses mais chuvosos compreende de dezembro a maio, provocados pela atuação do sistema precipitante de escala global (ZCIT). Os meses de fevereiro, março e abril possuem maiores valores de precipitação na série histórica. O mês de março segue sendo o mais chuvoso, seguido de abril. Apesar de fevereiro alcançar maiores quantitativos a variabilidade dos dados também é maior, sendo os dados de abril ocorrendo com mais constância dentro das observações anuais, o mês chuvoso de menor variabilidade. Os meses com chuva continuam bem representativos em julho, média e mediana por volta de 200 mm, que pode ser explicada pela atuação das LI's que continuam bem configuradas até agosto (COHEN; SILVA DIAS; NOBRE, 1989). Em agosto, já apresenta um acumulado abaixo de 20 mm para enfim entrar no período mais de menores acumulados, que integra os meses de setembro, outubro e novembro, como corrobora Andrade et al. (2017), para a microrregião do Salgado.

Ainda, observa-se que a média não se distancia muito da mediana, evidenciando que os valores muito extremos não prejudicam a série, principalmente no período chuvoso. O comprimento da caixa nos meses chuvosos indica a distância entre maiores e menores valores, o que os torna bastante representativos. No mês de março 50% dos valores entre Q1 e Q3 alcançaram pouco mais de 400 mm e próximo de 550 mm, o que deduz quantidades expressivas mensais dos acumulados. Os *outliers* apareceram apenas nos meses menos chuvosos, pois por serem mínimos, qualquer alteração mais expressiva os distância das métricas.

No Quadro 5, estão representadas além dos valores máximo, médio e mínimo mensal, as categorias quantílicas identificando a caracterização da precipitação mensal. Os meses de março muito chuvosos (P85), estão praticamente todos da segunda metade para o final dos registros anuais, entre 2004 e 2020. Fevereiro seguiu o mesmo padrão e abril com os valores mais chuvosos mais bem distribuídos na série histórica, porém em maior número também para a segunda metade. Sendo assim, os maiores registros da série histórica do acumulado mensal de precipitação dos meses chuvosos foram registrados mais recentemente. Esse padrão não corresponde ao mês de janeiro, cujos maiores valores foram observados em maior número no início da série. O mês mais chuvoso possui o segundo menor coeficiente de variação da série (0,26), ou seja, dificilmente tivemos um mês de março com valores variando para muito além do esperado, tendo como referência os outros meses dessa mesma série.

Quadro 5 – Estatística básica da climatologia da precipitação em Vigia-PA (mensal).

Procedimento	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Máximo	549,7	671,0	757,8	641,2	722,2	398,3	394,2	249,1	111,4	128,4	265,4	374,0
Mínimo	60,4	132,9	292,2	268,7	159,1	52,4	94,1	39,0	0,0	0,0	0,0	2,6
Média	307,1	399,1	489,9	445,1	350,9	223,4	203,2	132,0	42,5	31,5	39,6	111,1
P15	176,5	237,9	363,5	343,5	237,0	149,8	153,7	67,6	6,0	3,0	0,7	21,7
P35	251,1	340,1	438,1	426,9	307,5	192,5	173,7	91,4	28,1	10,8	11,3	41,6
P65	376,4	479,7	503,1	467,4	373,1	249,4	210,0	167,0	53,7	28,1	36,8	110,6
P85	447,7	552,3	618,7	523,9	455,1	301,8	263,2	200,3	74,0	71,5	71,6	217,3
Desv. Padrão	129,9	146,1	125,6	96,0	122,1	74,7	62,8	59,8	31,5	35,1	57,0	103,2
Coef. Variação	0,42	0,37	0,26	0,22	0,35	0,33	0,31	0,45	0,74	1,11	1,44	0,93

Fonte: ANA (2021).

Ainda a respeito das categorias quantílicas P15, P35, P65 e P85, dos acumulados mensais de toda série, divididas em decênios (Tabela 1), é interessante analisar as categorias que aumentaram ou diminuíram do 3º para o 1º decênio. Tivemos queda de meses muito abaixo e acima e aumento de meses muito acima e aumento considerável de meses normais. Posto isso, confirma a tendência do aumento do volume de chuvas em anos mais recentes, como visto no gráfico de acumulados mensais.

Tabela 1 – Anomalias dos acumulados mensais de precipitação.

Anomalias								
1º Decênio			2º Decênio			3º Decênio		
MUITO ABAIXO	17	14%	MUITO ABAIXO	28	23%	MUITO ABAIXO	15	↓13%
ABAIXO	25	21%	ABAIXO	23	19%	ABAIXO	24	↓20%
NORMAL	28	23%	NORMAL	28	23%	NORMAL	40	↑33%
ACIMA	30	25%	ACIMA	22	18%	ACIMA	20	↓17%
MUITO ACIMA	20	17%	MUITO ACIMA	19	16%	MUITO ACIMA	21	↑18%
TOTAL	120	100%	TOTAL	120	100%	TOTAL	120	100%

Fonte: Elaborado pelo autor. (ANA, 2021).

Acerca da variação interanual, em 2020 foi registrado o máximo acumulado da série, inclusive apresentando eventos de inundação que serão vistos no próximo capítulo, e o ano com maior déficit de precipitação foi o de 2006 (Tabela 2). A média anual da precipitação ficou em 2775,4 mm com baixo coeficiente de variação.

Tabela 2 – Estatística básica dos acumulados anuais.

PRECIPITAÇÃO ANUAL				
Média	Máximo	Mínimo	Desvio Padrão	Coeficiente de Variação
2775,4	3692,2	1880,1	387,9	0,14

Fonte: Elaborado pelo autor. (ANA, 2021).

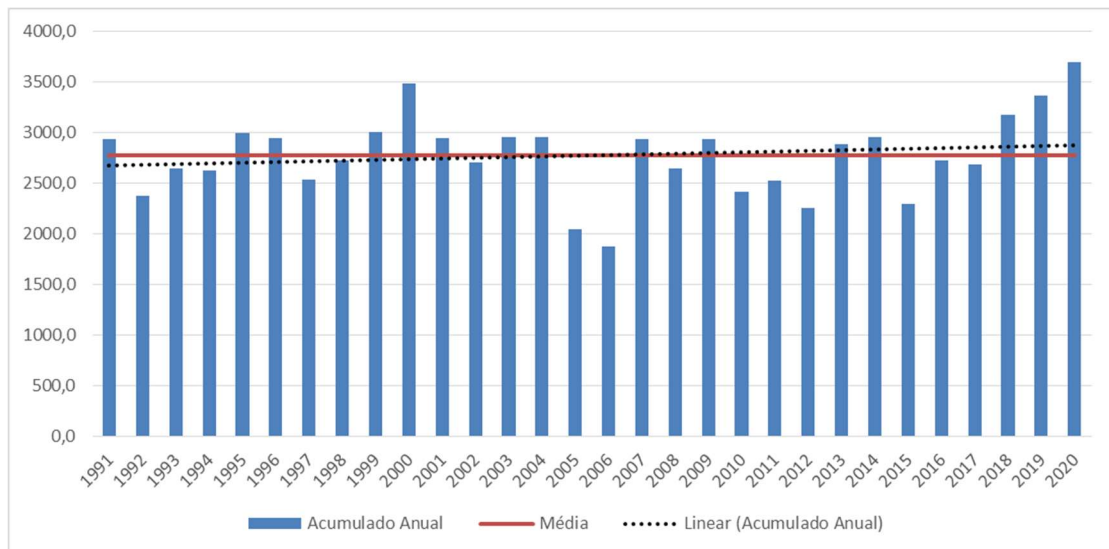
O resultado vai de encontro com o trabalho de Lopes, De Souza e Ferreira (2013), usando uma nova base de dados de precipitação, integrando uma rede de EMS, a RPCH, e sendo comparada e consistida com modelos já estabelecidos, mostrou que a porção nordeste paraense, próximas ao estuário do Rio Pará, apresentaram os maiores valores de precipitação na climatologia, com maior destaque a porção oriental da ilha do Marajó. A porção leste do estuário do Rio Pará, onde está compreendido o município de Vigia, a precipitação pode variar para o máximo climatológico, entre 3000 e 3200 mm, e para o mínimo climatológico, entre 2200 e 2400 mm, em anos sem fenômenos climáticos intensos anômalos, tendo o trimestre março, abril e maio como o mais chuvoso e acumulados médio anuais entre 2600 e 2800 mm.

Essa característica também é apresentada em Andrade et al. (2017), sobre os aspectos climáticos detalhados do Nordeste Paraense e Zona do Salgado. O trabalho indica que a precipitação no município, para a climatologia dos últimos 30 anos, esteve na faixa entre 1750 e 3000 mm. Aponta duas estações para a região do salgado, do aspecto da ocorrência, frequência e distribuição da chuva através do índice pluviométrico, um bastante chuvoso e outro menos

chuvoso. Tendo de 7 a 8 meses chuvosos e 3 com baixo acumulado pluviométrico, e classificado em Koppen como Clima Tropical de Monção com breve estação seca.

No gráfico dos acumulados anuais (Gráfico 3) é possível observar a variação dos totais anuais em torno da média. Os maiores desvios se apresentam nos anos de 2000, 2005-2006, 2012, 2015 e 2019-2020. A linha de tendência dos acumulados, aponta uma tendência positiva ao longo da série, indicando que os valores anuais da precipitação aumentaram ao decorrer da série histórica. Esse resultado é compatível com o encontrado por Souza et al. (2017) para região metropolitana de Belém e áreas próximas. A análise de tendência deste estudo evidenciou sinais de aumento sistemático de precipitação para o período chuvoso entre 1975 e 2014.

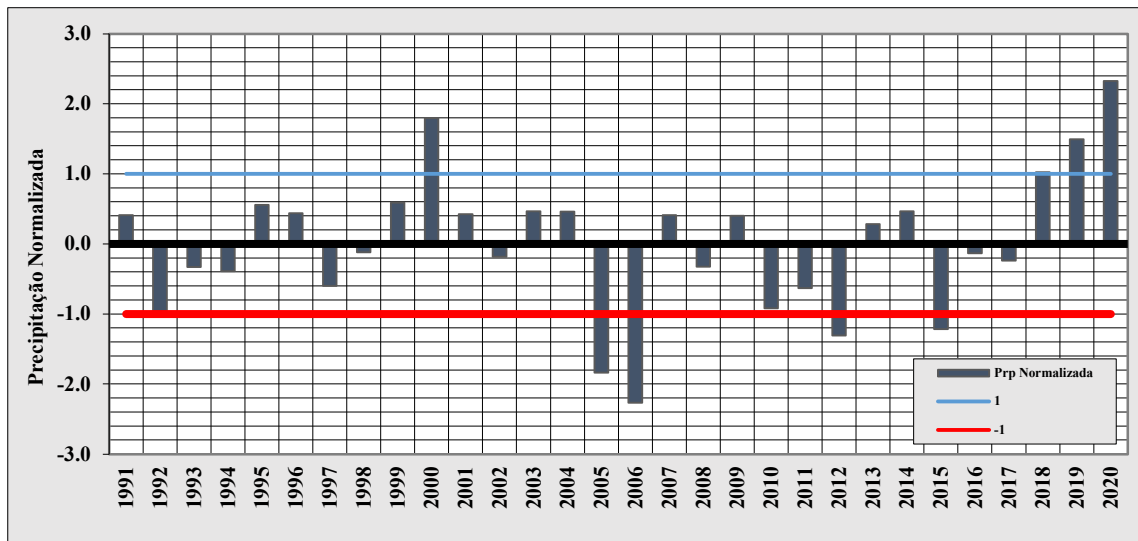
Gráfico 3 – Acumulados anuais de precipitação em Vigia-PA.



Fonte: Elaborado pelo autor. (ANA, 2021).

Seguindo o método Índice de Precipitação Padronizada (*Standardized Precipitation Index* [SPI]) de McKee, Doesken e Kleist (1993), para a análise dos acumulados anuais de precipitação, irá indicar a variabilidade anual da precipitação e a influência dos sistemas acoplados oceano-atmosfera na precipitação local. O SPI é determinado partindo de uma função de densidade de probabilidade que descreve as séries temporais (SANTOS et al. 2017).

Gráfico 4 – Índice de precipitação padronizada dos acumulados anuais.



Fonte: Elaborado pelo autor. (ANA, 2021).

O gráfico responde bem ao que foi indicado pela bibliografia no que indica às condições de TSM do pacífico tropical associadas ao fenômeno ENOS, e de acordo com os dados observados e apresentados pela Administração Nacional Oceânica e Atmosférica (NOAA) e o Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC/INPE). Em sua fase quente, que caracteriza diminuição de chuvas para região, os eventos considerados fortes ou que acarretaram secas severas de 1991-1992, 1997-1998, 2005, 2010 e 2015-2016, alcançaram a qualificação de precipitação de: seco moderado, seco leve, seco severo, seco leve e seco moderado, respectivamente. Já na sua fase fria, La Niña, modo em que a precipitação é favorecida para a região, os anos 1999-2000, 2017-2018 e 2020-2021 responderam o gráfico, sendo os três períodos classificados como: chuva leve/severa, chuva normal/moderada e chuva extrema/severa (CPC/NOAA, 2022; CPTEC/INPE, 2022).

Esses resultados vão de encontro com o que já foi observado por alguns trabalhos. Marengo e Espinoza (2015), apontam déficit de chuva em 2005 e 2010 para a Amazônia, sendo a primeira como uma das mais severas já identificadas, porém, tendo maior influência das condições de temperatura no oceano atlântico tropical, e a de 2010 influenciada por sucessivas ocorrências de El Niño e elevadas temperaturas na região do atlântico tropical norte. Em Villar et al. (2009), é indicada situação oposta, verificando valores positivos na variabilidade interanual da precipitação para 1995, caracterizando ano de La Niña. Esse cenário corresponde ao segundo maior valor positivo de SPI da nossa série na década de 90.

2.3.5 A histórica Vigia de Nazaré: etapas e características da formação urbana

A formação socioespacial da região do salgado advém da ocupação nas proximidades

dos rios, e por interior em direção a costa (Sul-Norte), da faixa litorânea entre a foz do Rio Amazonas e São Luís-MA (Oeste-Leste), tendo o atributo hidrográfico como destaque e referencial. Primeiramente, estas ocupações objetivavam garantir esta rota de navegação entre Belém e São Luís, com interesse no controle, fiscalização e nas atividades comerciais. É nesse sentido que se dá a formação de um dos primeiros núcleos de povoamento da Amazônia, a Aldeia de Uritás, atual cidade de Vigia¹⁵. A Vila veio a se tornar um ponto de fiscalização e controle por sua posição nas rotas de navegação entre Pará e Maranhão e de embarcações que adentravam o estuário amazônico em direção a Caiena-GY, ganhando o título de “A Sentinela do Guajará-mirim” (BENTES, 2020; MARINHO, 2017; TAVARES, 2008).

A abertura de novas estradas na Amazônia alterou processos locais vivenciados até o momento, gerando novas dinâmicas e um novo papel na rede urbana, sendo determinante para o crescimento de pequenas e médias cidades. Acompanhando as transformações socioespaciais em âmbito regional, Vigia também passou a ser integrada nesse contexto de “implantação e revitalização de suas malhas técnicas” (BENTES, 2020). A integração nesse processo foi resposta a um maior fluxo na estrada para Santa Izabel do Pará-PA, dos fluxos propiciados pela Belém-Brasília e pela influência da extinção da estrada de ferro Belém-Bragança, que gerou intensa migração ao sul e ao norte da linha férrea, em direção à costa para o segundo caso. Atualmente a cidade, conforme o Regiões de Influência das Cidades (REGIC)¹⁶, configura-se como um Centro de Zona, que corresponde a cidades de menor porte e com atuação restrita à sua área imediata, possuindo dessa forma, influência apenas nas cidades de São Caetano de Odivelas e Colares (BENTES, 2020).

Em Bentes e Raiol (2017) é apresentado o contexto da formação urbana da cidade em quatro fases principais: 1) De 1616 a 1854, produção do espaço como aldeia, povoado e vila; 2) De 1854 a 1960, cidade ribeirão-litorânea; 3) De 1960 a 2000, cidade híbrida de rio e estrada; 4) A partir de 2000, fase atual de interiorização. Até meados de 1970, os espaços ocupados eram basicamente áreas “enxutas”, sem influência direta de maré, no centro urbano seguindo em trecho esguio à direção à PA-412 (Av. Gen. Deodoro), na orla sem tocar a margem do Igarapé do Tujal, no bairro Arapiranga, um bloco de terra firma insulado à norte, e em algumas áreas próximas às baixadas, nos bairros do Vila Nova e uma área entre os bairros do Arapiranga, e os atuais bairros do Sol Nascente e Greenvile, ligada ao centro pela rua Barão de Guajará.

¹⁵ “Donatária fundada em 1639, originária da aldeia dos Uritás. Em 1698, é elevada à categoria de vila; e em 1854, à categoria de cidade” (TAVARES, 2008).

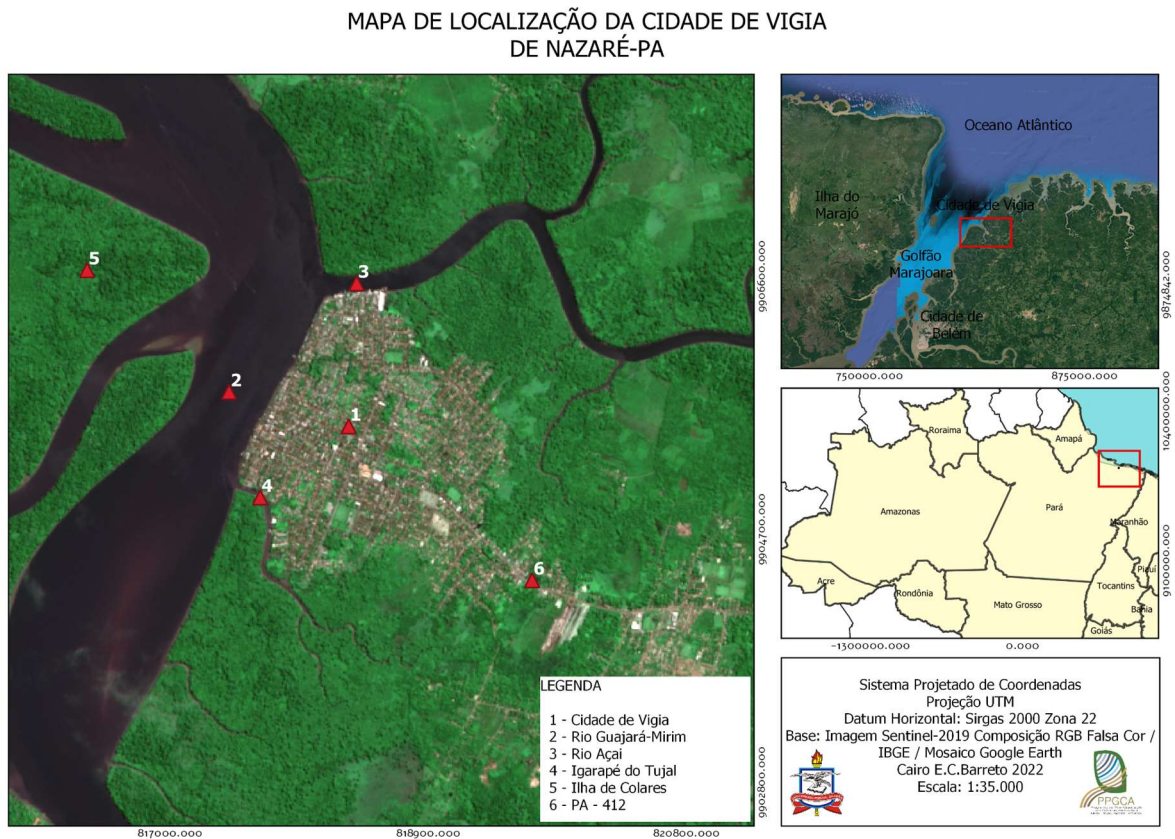
¹⁶ É uma metodologia de identificação das regiões de influência das cidades, desenvolvido pelo IBGE.

De antemão é essencial termos a compreensão de que falamos de uma cidade ribeirinha, um atributo que vai além da relação direta com o rio pela circulação e pelo comércio, também do imaginário e modo/reprodução de vida. É comum, inclusive, alguns moradores, não só pescadores, terem canoas para se locomover e pescar em algumas épocas do ano (BENTES, 2020). O livro “As Comarcas das Províncias do Pará”, de Manoel Baena (1885), descreve de forma precisa e com português datado e falado, a respeito das características da cidade à época na fase em que a ocupação se limitava a trechos da orla e ao bairro do Arapiranga.

A cidade da Vigia, sede da comarca, está situada á 68 kilometros da capital (*), na margem direita do furo que, começando no lugar –Bocca da Laura-, na bahia do Sol, vae sahir a 30 kilometros, pouco mais ou menos, na barra de Vigia, na costa oriental do rio Pará, com a denominação de – Guajará. Lugar bonito saudável, terra firme e plana, limitada ao Norte pelo rio Assahy e ao Sul pelo Tujal. Corta a cidade por tras um pequeno pântano que na enchente das marés recebe as águas do mar pelo igarapé chamado da –Rocinha, que a divide do bairro do –arapiranga ao Norte, e por outro situado ao Sul, abaixo do- Tujal. Cerca de 500 casas... 3 mil habitantes na cidade e 10 a 12 mil em todo município. O bairro do –Arapiranga, distante da cidade cerca de 300 metros e ligado à mesma por uma ponte, esta situada no em terreno elevado e fértil, em frente à costa, d’onde apresenta encantador panorama. Tem boas casas e uma escola elementar para o sexo masculino. Comunicação à vapor com a capital e58ccurrenccia do Maranhão. Cultura-mandioca para consumo: a pesca é o seu principal gênero de indústria e commercio, exposta muito peixe salado, grude, ovos, laranjas, côcos, bananas etc. E notável o gosto e habilidade dos seus habitantes para a construção das canoas. (BAENA, 1885, p. 10).

É interessante notar a precisão e clareza de como os elementos hidrográficos estão descritos (Figura 6), da forma que às áreas inundáveis eram tratadas como tal, e sem clara pretensão de ser uma alternativa de ocupação. O primeiro e principal núcleo possuía pelo menos 550 edificações, a maioria residências, e com estimativa de até 3.000 mil habitantes na cidade. O segundo núcleo de ocupação, menor que o primeiro, o Arapiranga, descrito como terreno elevado e fértil de frente para a desembocadura do Guajará-Mirim, saída para o estuário do Baía do Marajó, já apresentava edificações, entre residências e outros serviços, e era ligado ao bairro central por uma rua e uma ponte que atravessava o igarapé da rocinha.

Figura 6 – Mapa de localização da cidade de Vigia de Nazaré-PA.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A inversão da ocupação das áreas rurais e urbanas sobressaem ao visualizar os dados, eram no mínimo de 70% da população fora da cidade em 1885, entende-se rural, e praticamente se inverte, segundo os dados do último censo, passando a ser de 67,5% do total dos habitantes morando nas áreas urbanas¹⁷. Entre os Censos Demográficos (Quadro 6), a população urbana aumentou de 60,6% em 1970 para 67,5% em 2010, sendo que, destes 32,3 mil moradores, cerca de 31 mil estavam na sede municipal, e os demais residentes na Vila de Porto Salvo (IBGE/SIDRA, 2021).

¹⁷ Não se pode esquecer que o município passou por uma série de desmembramentos e anexações de municípios ao seu entorno como Colares, Curuçá e São Caetano de Odivelas, podendo assim alterar suas composições de áreas urbanas e rurais (TAVARES, 2008).

Quadro 6 – População residente no município de Vigia-PA por situação de domicílio.

Situação do Domicílio	Ano				
	1970	1980	1990	2000	2010
Total	19.261	24.825	37.418	40.176	47.889
Urbana	11.681	16.684	25.166	28.006	32.353
Rural	7.580	8.141	12.252	12.170	15.536

Fonte: IBGE/SIDRA, 2021.

Na terceira fase da formação urbana da cidade, já se inicia de forma mais contundente a ocupação das áreas mais baixas, intensificado na década de 1980 (BENTES; RAIOL, 2017).

Como posto:

Com o fluxo de pessoas, demandando habitação, foram as baixadas ocupadas como alternativa em face da saturação da exígua faixa de terra firme no núcleo Vigia, e do bloco insulado do núcleo Arapiranga. O processo de favelização se instalou como um dos principais vetores de expansão urbana, conduzindo uma articulação da malha urbana entre aqueles dois núcleos. (BARBOSA; BENTES, 2016, p. 524).

A ocupação espontânea em áreas de baixadas urbanas na Amazônia possuem características semelhantes com o processo de ocupação dos demais assentamentos precários em outras metrópoles. Ainda assim, é possível encontrar particularidades, principalmente pelo dinamismo vivenciado durante o tempo. Possui morfologia plana, e contornando os divisores de água, abaixo das cotas entre 4 e 4,5 metros, e os quintais costumam ser aterrados com resíduos de construção civil e caroços de açaí. A população que a integra, é geralmente pobre e migrante das regiões das ilhas e interior do estado. A lógica desses assentamentos está em ocupar espaços, até então, ignorados pela lógica do capital imobiliário, e na busca por centralidade e acessibilidade espacial (IPEA, 2016).

É possível compreender essa lógica de ocupação espontânea e desocupação forçada em Abelém (2018, p. 95):

A tendência observada é que, chegando a Belém, os migrantes ocupam áreas centrais insalubres ou áreas mais distantes carentes de serviços urbanos, cuja posse não é bem definida e, portanto, ainda não especuláveis no mercado imobiliário. Inicialmente pagando aluguel e depois procurando adquirir casa própria para garantia da própria sobrevivência, o migrante passa a migrar internamente nessas áreas em busca da propriedade privada que lhe dê abrigo e garanta a reprodução da força de trabalho. Passam a valorizar essas áreas que mais tarde tornam-se cobiçadas pelo mercado imobiliário, surgindo normalmente um programa de renovação urbana que, com aparentes objetivos de dar melhores condições à população aí residente, acaba expulsando-a daí em benefício de classes médias e altas. Isso ocorre não apenas com migrantes, mas também com os nativos de baixo poder aquisitivo.

Em Barbosa e Bentes (2016), a cidade é apresentada como semelhante a outras nas zonas costeiras e fluviais do Pará, tendo terreno com sérias limitações físico-ambientais para a

expansão urbana devido à existência de planícies de inundação. Trata-se de um ambiente situado nos “[...] setores geológico-geomorfológicos mais baixos topograficamente, sob condições de drenagem imperfeita, o que gera um ambiente palustre de sedimentação lamosa, solos hidromórficos e formações vegetais adaptadas ao regime de inundação” (BARBOSA; BENTES, 2016, p. 519).

Assim como para Belém, porém em menor escala, segundo Luz et al. (2015), a produção de um sítio antropogênico tornou a sociedade um dos principais agentes geomorfológicos, responsáveis pelas transformações na paisagem, modificando elementos da hidrologia, geomorfologia, geologia e vegetação. Entre as que mais impactam estão as alterações no leito original dos rios e igarapés, e o aterramento das dos terrenos de baixa cota topográfica e várzeas, como forma de controle de inundações. A ocupação das planícies em Vigia se deu sobretudo de forma espontânea, mas com casos de ocupação induzida, por algumas intervenções estruturais, ainda que em sua totalidade, sem um planejamento de uso e ocupação do solo.

A rede de ecossistemas que integram a paisagem dessa localidade, nas planícies, é composta por manguezais e várzeas-igarapés, presentes em todo setor estuarino, desde a pré-amazônia maranhense, se estendendo pelo nordeste paraense e gerando ecótonos em algumas zonas de transição desses ecossistemas. Na terra firme a vegetação nativa de floresta ombrófila densa e de campos de cerrado, fora substituída por estratos de vegetação secundária e áreas produtivas, com culturas permanentes e pequenas áreas de pastagem, coexistindo com ecossistemas urbanos (BARBOSA; BENTES, 2016; OLIVEIRA, 2019; LIMA; TOURINHO; COSTA, 2001).

Sob o olhar da antropogeomorfologia, as modificações causadas em terrenos tecnogênicos resultam na degradação ou na diminuição da heterogeneidade, da conectividade e da dinâmica fluvial. A simplificação da diversidade física local incorre na alteração de processos hidrológicos em duas escalas: na escala de bacias hidrográficas, essencialmente pelas construções de superfícies impermeáveis e sistemas de drenagem de águas pluviais, e no canal, por alteração das margens e leitos, modificação do perfil longitudinal, na forma em planta dos rios, e na desconectividade hidrológica entre canal e planície (PELECH; PEIXOTO, 2020).

2.3.6 Problemática histórica da inundação e processo de ocupação das planícies: O risco socialmente construído.

A ocupação das planícies fluviais da rede hidrográfica urbana brasileira desconsidera características e os comportamentos dos canais fluviais, tal como as funções ecológicas e sociais

que eles exercem ou exerceram, surgindo assim a necessidade de se compreender estes ambientes intensamente modificados e controlados pelas atividades humanas (PELECH; PEIXOTO, 2020). Tal como experimentado em Belém, a ocupação dos terrenos topograficamente mais baixos, comumente chamado de “Baixadas”¹⁸, acabam por emergir mais notadamente injustiças ambientais e desigualdades sociais e raciais na produção do espaço urbano (MIRANDA, 2020). São estas, áreas de segregação espacial que constituem periferia, palco da reprodução das condições de existência de uma população pobre (FRANÇA, 1995), estando presente uma série de impactos ambientais, como a supressão da cobertura vegetal nas margens dos corpos dos corpos d’água, incluindo espécies nativas, tornando estes impactos expressos na paisagem (PIMENTEL; SANTOS; SILVA, 2012).

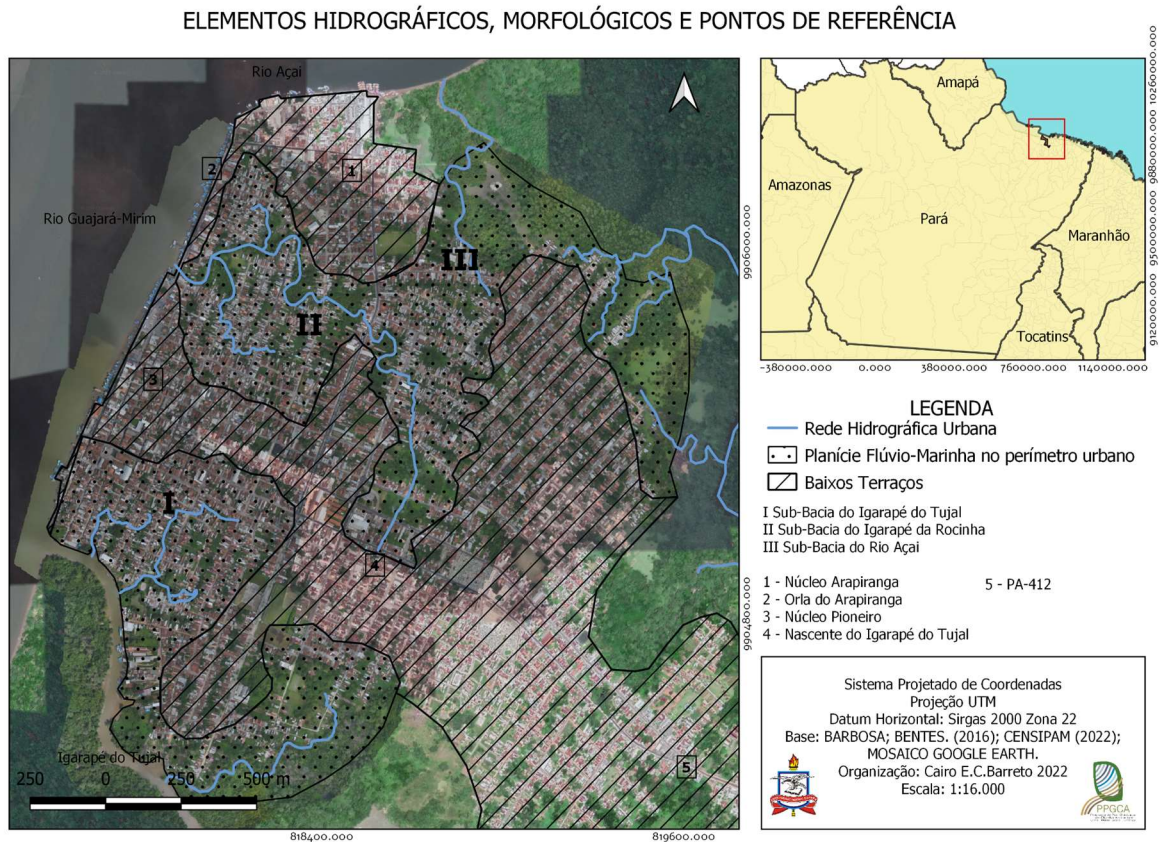
Como colocado até o momento, compreendemos que a cidade foi erguida em uma faixa exígua de terra firme direção costa-continente, e em um bloco insulado de terra firme ao norte, entalhado de pela variação do nível marinho e processos erosivos, o Arapiranga, e integrando uma rede hidrográfica de microbacias. A cidade é limitada a oeste pelo rio Guajará-Mirim, a norte pelo rio Açaí e a sudoeste pelo igarapé do Tujal.

Barbosa e Bentes (2016) espacializaram três setores de baixadas (Figura 7) de acordo com a disposição das sub-bacias hidrográficas no terreno da cidade e os bairros que a compõem:

- Setor I – igarapé Tujal, parte sul da cidade, que abrange 4 bairros: Centro, Pantanal, Castanheira e Vila Nova;
- Setor II – igarapé da Rocinha, na parte central, abrangendo 5 bairros: Vila Nova, Sol Nascente, Centro, Green-Ville e Arapiranga;
- Setor III – sub-bacias (canais de maré) do rio Açaí, na parte nordeste, abrangendo apenas 2 bairros: Arapiranga e Sol Nascente.

¹⁸ Como bem define Abelém (2018, p. 46), acerca da organização e particularidades das relações: “Considero no presente estudo as baixadas como localidades, segundo a definição dos LEEDS (1978) para as favelas, por se constituírem também as baixadas em subáreas invadidas por posseiros, formando unidades sociogeográficas facilmente observáveis, possuindo uma rede complexa de diversos tipos de relações, laços de parentesco e amizade ativos, organização social complexa e flexível. Tais como as áreas pobres no restante do País, as baixadas confrontam-se com um conjunto de estruturas bastante organizadas e que se relacionam com a comunidade política como um todo indistintamente, através do controle de recursos e de tomada de decisões supralocalmente.”

Figura 7 – Mapa dos elementos hidrográficos, morfológicos e pontos de referência.



Fonte: Elaborado pelo autor. (BARBOSA; BENTES, 2016; CENSIPAM 2022).

Foi observado em relatos durante trabalho de campo realizado em dezembro de 2021 e em registros históricos fotográficos, que há um conhecimento popular onde se narra que, de quatro em quatro anos as águas do mês de março alcançam maior altura e invadem a cidade de maneira mais contundente. Além de adentrar áreas mais baixas como de costume, também invade o centro da cidade e outros bairros. Ao ter acesso ao projeto foto-documentário “Retrografia Vilenga” (2021), que reúne diversos registros fotográficos históricos, conseguimos compor esse cenário espaço-temporal local, sob a ótica das históricas inundações e ocupação de terrenos de baixa altimetria.

A Figura 8 mostra as marés grandes invadindo a parte central da cidade, na praça matriz. A foto não possui data, mas pela similaridade com as demais pode ser da década de 1970 a 1980.

Figura 8 – Rua Noêmia Belém com Trav. Solimão, na Praça Argemiro Pantoja (Praça da Matriz) (s/d).



Fonte: Retrografia Vilenga (2021).

Na Figura 9, mais uma referência às águas de março ocupando o centro antigo da cidade, pelas fotos é possível identificar que a locomoção na área central era feita também em canoas nestas situações. Até os anos atuais a Travessa Solimão ainda incorre em inundações nos meses chuvosos.

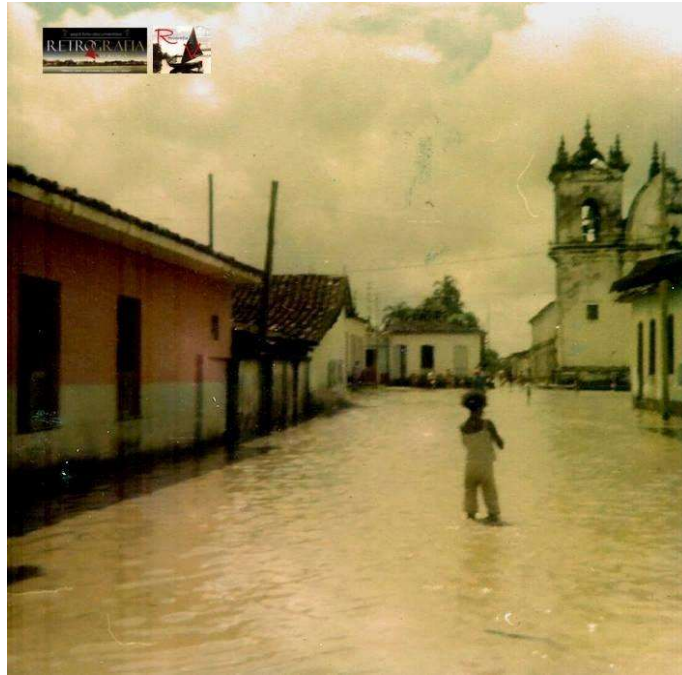
Figura 9 – Águas de março invadindo o centro velho da cidade. Esquina da Rua Visconde de S. Franco com Travessa Solimão, na Praça Argemiro Pantoja (Praça da Matriz), em 1980.



Fonte: Retrografia Vilenga (2021).

Na Figura 10, o centro da cidade em mais um evento de “maré grande”, como identifica os moradores para essas ocasiões, o registro é da década de 1980.

Figura 10 – Centro Velho de Vigia na década de 1980.



Fonte: Retrografia Vilenga (2021).

Nesta recomposição histórica, também é possível identificar intervenções urbanas, dotação de obras estruturais visando medidas de conservação e ou controle (TUCCI, 2012), como a construção do dique da Rua Justino Barroso, na orla ocidental do bairro do Arapiranga. Essa obra permite a urbanização da avenida marítima, tendo a substituição de palafitas por novas construções em alvenaria, e deslocando essa parcela da população para outros bairros, assim como as diversas malheiras ou estaleiros que existiam nesse espaço. Esse processo de expulsão é característico das baixadas saneadas em Belém, porém ainda não é possível relacionar da mesma forma em Vigia (BARBOSA; BENTES 2016), contudo não se pode ignorar que há uma movimentação para tal em curso, vide as intervenções feitas nas baixadas de Vigia.

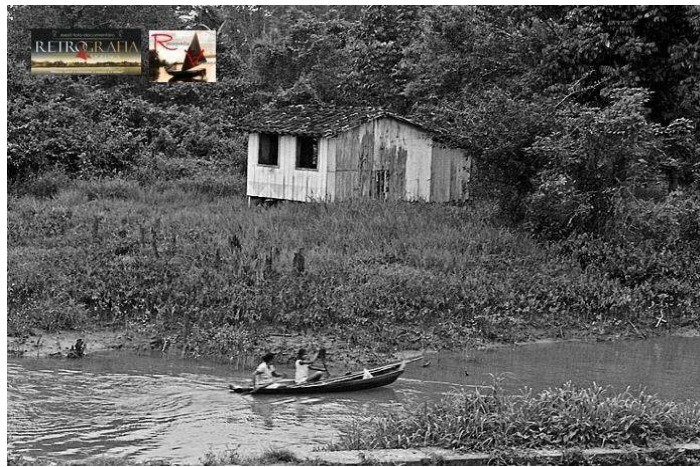
Figura 11 – Fotos da construção do cais na orla do núcleo Arapiranga, final da década de 1970.



Fonte: Retrografia Vilenga (2021).

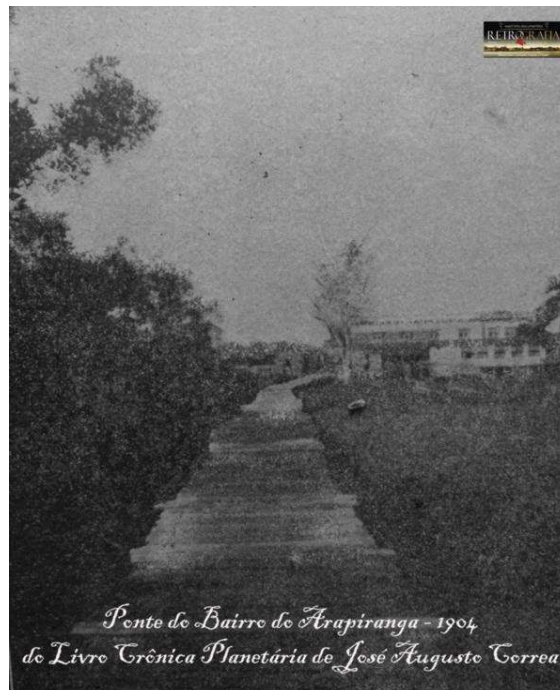
A ocupação da planície, como dito, inicia na década de 1970 (BENTES; RAIOL, 2017), antes, a sub-bacia do Igarapé da Rocinha era fonte recursos para a população local (Figura 12), possuía fauna e flora exuberantes (SANTOS, 2009), e eram comuns plantações e “roças” na área, assim como o extrativismo. À época, a ligação entre os dois núcleos era feita por pontes de madeiras improvisadas, que atravessavam os terrenos alagadiços (Figura 13). Atualmente a área exprime um espaço com sérios problemas ambientais, desprovida de serviços públicos ou insuficientes para suas demandas, e uma população majoritariamente de baixa renda, que foi segregada dos terrenos mais valorizados (BARBOSA; BENTES 2016).

Figura 12 – Igarapé da Rocinha em 1970.



Fonte: Retrografia Vilenga (2021).

Figura 13 – Ponte que ligava o núcleo Arapiranga ao centro de Vigia em 1904.



Fonte: Retrografia Vilenga (2021).

Segundo Santos (2009), a alteração mais contundente desse espaço, se dá quando intervenções urbanas com finalidade de aperfeiçoar o fluxo na cidade, começam a ser realizadas, como a construção de duas pontes. Uma na Av. Barão de Guajará, ligando o restante da cidade ao bairro do Arapiranga, e a outra na atual Rua Noêmia Belém, neste momento já acarretando a in navegabilidade do Igarapé da Rocinha por Grandes navegações. A partir disso, inicia-se a ocupação dessas áreas na década de 1980, como corrobora os demais autores, e se intensifica na década de 90, com abertura de mais vias e construções de pontes ligando o centro da cidade a parte norte. A antiga vegetação de mangue é gradualmente substituída por moradias com padrões construtivos precários.

Estes assentamentos precários¹⁹ também possuem particularidades que podemos examinar nas baixadas de Vigia. São soluções habitacionais geralmente de baixa qualidade, com um escasso nível de acesso e de integração à infraestrutura e aos equipamentos urbanos. Ainda, há ausência de técnicas e de materiais adequados para estas habitações, que aliada a ocupação em áreas de risco, reproduz assentamentos insalubres e de segurança comprometida (Figura 14) (IPEA, 2016).

Figura 14 – Habitações na planície em pleno período chuvoso.



Fonte: Estêvão J. S. Barbosa (2016).

A população tradicional da região amazônica ainda possui perícia e técnica mais apurada para construir suas habitações, sempre com conhecimento do regime de águas (Figura 15), porém, sem as condições de infraestrutura urbana e de material adequado, acabam por se

¹⁹ “Áreas urbanas de ocupação juridicamente irregular, com deficiências de infraestrutura e serviços urbanos e população pobre” (IPEA, 2016, p. 189).

tomarem habitações precárias, que expostas ao tempo e a dinâmica local, se deterioram mais rapidamente. A locomoção e o acesso também são bem peculiares nas baixadas, os eixos “secos” são menos regulares que os da parte alta e plana, e as pontes de madeira são a soluções para os trechos alagadiços. (ABELÉM, 2018).

Figura 15 – Rua Nazaré, próximo ao Educandário, década de 1990. Habitações com nível adaptado às inundações.



Fonte: Retrografia Vilenga (2021).

Barbosa e Bentes (2016) refletem a respeito desses padrões nas baixadas de Vigia, onde por exemplo, a malha viária torna-se menos regular em comparação ao traçado ortogonal que predomina na ocupação sobre a terra firme. Apesar das várias pontes de madeira já terem sido substituídas, ainda é possível observar essas estivas, no popular, como meio de locomoção e acesso a outras vias e residências (Figura 16).

Figura 16 – Casas sobre o leito do Igarapé da Rocinha, Travessa Jaguaribe.



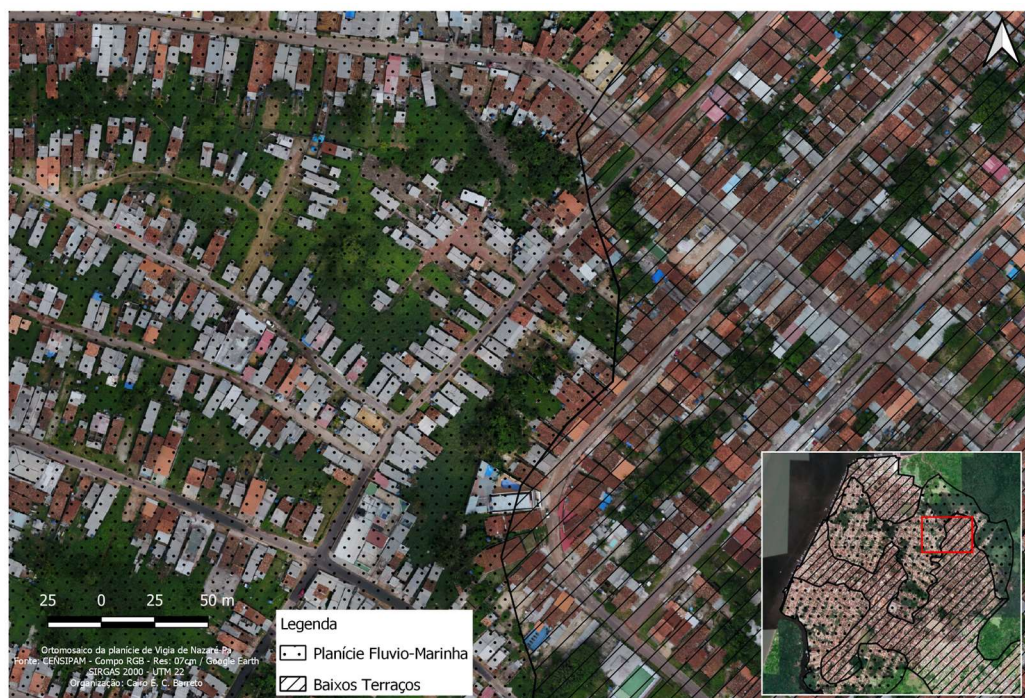
Fonte: Cairo E. C. Barreto, 2021.

Esse padrão construtivo das habitações e dos eixos de vias irregulares, evidenciam e

permitem, como já realizado pelo IBGE (2010), a identificação dos assentamentos precários, denominados de Setor Especial de Aglomerados Subnormais²⁰ (SEAS). Esta é realizada a partir da visualização de combinações que envolvam localização no espaço urbano, topografia, padrões urbanísticos, densidade e características de sítio e composição espacial do arruamento. A visualização é feita com auxílio do uso de imagens de sensores remotos de alta resolução, onde é possível identificar com mais clareza esses padrões, para delimitar seu alcance espacial com mais precisão. De posse de um ortomosaico de resolução de 5 cm produzido pela Divisão de Hidrologia do CENSIPAM, observamos mais facilmente estes padrões.

Na Figura 17, visualizamos um trecho entre, a Travessa Florival Nogueira (a norte) e a Passagem Natal (a sul), onde é possível fazer a comparação entre a ocupação espontânea na planície de inundação (à esquerda) e a ocupação em terrenos mais elevados de terra firme (à direita), este segundo sendo um local de melhor infraestrutura urbana e disposição das vias mais regulares. É possível reconhecer os padrões para assentamentos precários citados no parágrafo anterior, o menos expressivo seria a densidade das unidades habitacionais neste espaço, entende-se que seja por conta da intensidade dos processos hidrodinâmicos neste local, tornando-o sujeito a inundações frequentes.

Figura 17 – Ocupação em área de planície e terraço.



Fonte: Elaborado pelo autor. (CENSIPAM, 2022)

²⁰ É dotado de alguns critérios referentes à titularidade e serviços públicos essenciais. “É um conjunto constituído de, no mínimo, 51 unidades habitacionais (barracos, casas, etc.) carentes, em sua maioria de serviços públicos essenciais, ocupando ou tendo ocupado, até período recente, terreno de propriedade alheia (pública ou particular) e estando dispostas, em geral, de forma desordenada e/ou densa.” (IBGE, 2010, p. 18).

Na cidade, principalmente na área delimitada como planície, mas não somente, é comum observar a maioria das casas possuindo nível acima da via, das mais antigas até as mais recentes ou em construção (Figura 18), um recurso comum para adaptar suas moradias às épocas de “maré grande”. Sr. Cândido (casa azul claro, Rua José Augusto Corrêa, entre travessa Solimão e Rua Nova), morador antigo da Vigia, nos relata que as inundações fazem parte da rotina da cidade, que é anual e geralmente ocorre no período chuvoso, nos meses de março, abril e maio, entretanto, se recorda de uma das maiores, ocorrida no mês de dezembro na década de 1980. Apesar da frequência, Sr. Candido nos revela que a situação não acarreta graves consequências, e a água escoar em torno de 30 minutos. Observe que a casa ao lado, anteriormente de madeira, fora substituída por uma de alvenaria, mantendo o padrão de altura sobre a via.

Figura 18 – Residências na Rua José Augusto Corrêa. Construção antiga e recente mantendo o nível acima das vias.



Fonte: Cairo E. C. Barreto, 2021.

Em outra residência, no final da Rua José Augusto Correa, na Passagem São Marçal, entre a Rua Pedro Raiol e a Passagem São Pedro, o terreno se encontra aos fundos de um pequeno tributário do Igarapé do Tujal, que faz parte do quintal das casas (Figura 19). O padrão de altura das casas, acima do nível da rua se mantem, porém aparentemente maior do que a do exemplo anterior. A Sra. Vilmar, moradora de uma das residências da rua, nos relata que as cheias são frequentes e acontecem em qualquer período do ano, e em alguns casos, houve perda de bens.

Figura 19 – Padrão das residências, novas e antigas, acima do nível das vias. Passagem São Marçal, entre a Rua Pedro Raiol e a Passagem São Pedro.



Fonte: Cairo E. C. Barreto, 2021.

Em entrevistas encontradas na internet²¹, moradores antigos relatam que o fenômeno é anual e integrado à rotina da cidade. O poeta e ilustre vigiense José Ildone, atribui a expansão urbana, ausência de educação ambiental e assoreamento do leito dos rios, além da ineficiente gestão municipal, como principais fatores que, atualmente, implicam para o agravamento da problemática. Na mesma entrevista, na residência do Sr. Denilson, Rua Padre Aragão, esquina com a Travessa Quinze de Novembro, o morador atribui a problemática ao processo natural da ação das marés no período, restando a ele e a família se adaptarem ao fenômeno. Ainda segundo o morador, a maré tem de dois a três dias para ganhar nível mais alto e “quebrar”, entende-se que seja uma referência a interrupção da maior amplitude, iniciando uma redução em seu nível.

A ocupação chega a se estender até mesmo sobre o leito dos cursos d’água, que integram essa rede de canais urbanos. Na Figura 20, selecionamos três pontos dentro da cidade de Vigia, cujas ocupações acompanham o leito menor, do Igarapé da Rocinha (1), à norte da cidade, de um afluente do Igarapé do Tujal (2) a sul, e de um pequeno afluente do Igarapé da Rocinha (3), no centro. Nota-se que há elementos comuns a outras ocupações nas cidades amazônicas, que dispõe de uma densa rede de drenagem ou extensa planície; estivas, pontes de madeira, usadas para locomoção sobre o canal ou sobre a planície inundada; pequenas embarcações atracam nos quintais das casas, e servem como meio de locomoção e para pesca; sinal de alta degradação ambiental, na presença de muitos resíduos sólidos no leito dos rios. É possível ainda identificar o canal e o leito menor dos rios, já que o aerolevanteamento foi

²¹ Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=ArJfbJ6YuZw&t=61s>; <https://www.facebook.com/TitoMirandaoficial/videos/1662721223991697>. Acesso em: 05 jan. 2022.

realizado no momento da maré baixa.

Entende-se que a morfologia do terreno não é uniforme, por razão da alteração por ação antropogênica (PEGADO et al. 2012), para fins de saneamento e ocupação, realizado via administração pública ou própria dos moradores, o que acaba gerando uma superposição de materiais diversos. Esta formação de depósitos superficiais tecnogênicos, além dos efeitos negativos mais comuns conhecidos como, redução da capacidade de infiltração e o aumento do escoamento superficial, alteram a topografia do terreno, podendo gerar pontos de concentração de fluxo e acumulação momentânea de águas pluviais nas vias, intensificando os efeitos da inundação (LUZ et al. 2015).

Figura 20 – Ocupações no leito do rio.



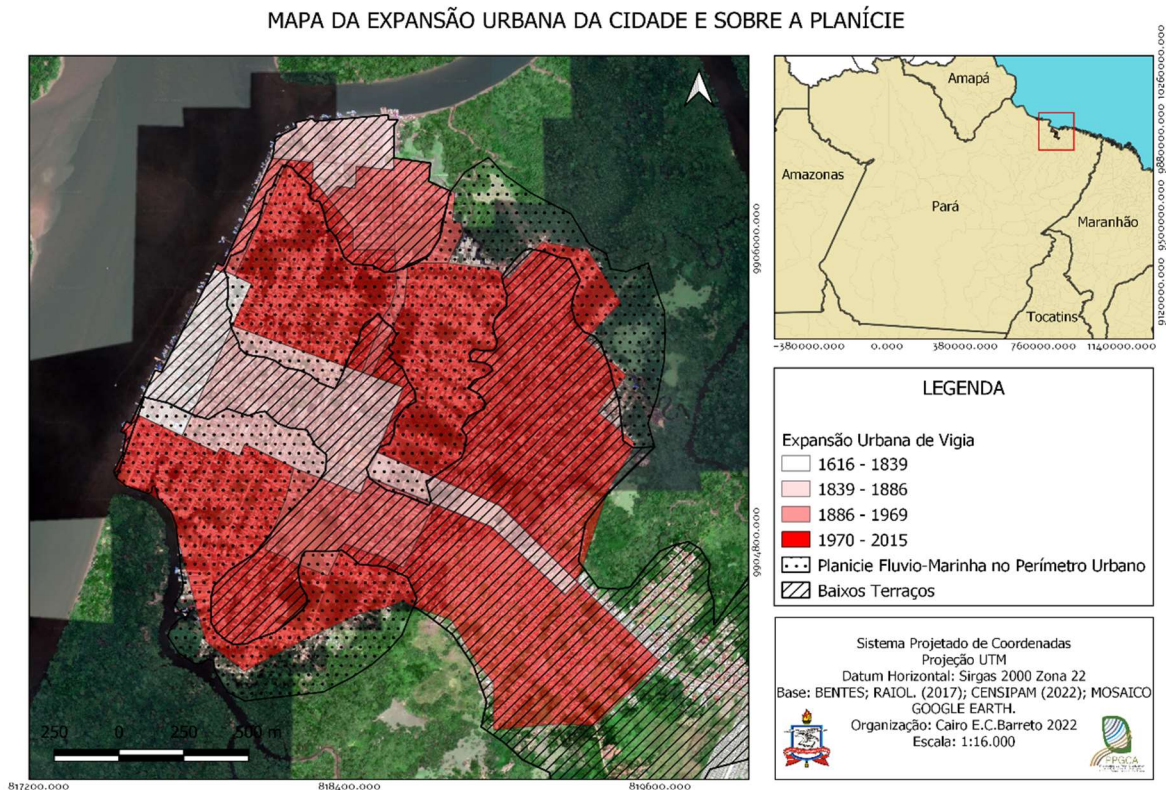
Fonte: Elaborado pelo autor. (CENSIPAM, 2022).

Outro produto obtido com o aerolevanteamento foi o Modelo Digital de Terreno (MDT) da planície de inundação da Cidade de Vigia, um produto também de altíssima resolução e precisão. Ao integrar o mapeamento das etapas históricas da ocupação urbana dos bairros em vigia do trabalho de Bentes e Raiol (2017), mais o MDT e o ortomosaico gerados pelo CENSIPAM, foi possível construir o mapa de etapas de ocupação do sítio urbano de Vigia sobre planície fluvio-marinha. Foi levado em consideração a altimetria do terreno em até 4,5 metros, do MDT, mais os trabalhos de Barbosa (2007), Barbosa e Bentes (2016), e Palheta

(1980), e trabalho de campo realizado em dezembro de 2022 pelo autor, com auxílio da interpretação do ortomosaico para delimitar a planície.

É clara a compreensão de que a ocupação na planície, salvo algumas exceções, foi exercida na etapa recente, a partir de 1970, e intensificada a partir do final dos anos de 1980. A ocupação, até o final da década de 1960, se mantinha no limite dos baixos terraços ou expandindo um pouco além, evitando assim os terrenos de característica palustre e menos propícios à reprodução do modo de vida da população local. A quarta etapa (1970-2015), agregando os fenômenos sociais até aqui apresentados, resultou na atual configuração que conhecemos, e é apresentada a seguir (Figura 21), a ocupação em área de planícies fluviomarinhas.

Figura 21 – Etapas da ocupação urbana em Vigia e sobre a planície.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Levando em consideração a configuração espacial urbana (polígonos da Figura 21), no limite estabelecido por Bentes e Raiol (2017), para expansão histórica da cidade, esta possui uma área total de 3.402.554 m², sendo 2.135.378 m² de área considerada o patamar de baixos terraços, acima 4,5 metros, e 1.267.176 m² nível morfológico planície de inundação. Dessa forma, pouco mais de 1/3 da cidade está ocupada em área de planície fluviomarinha, sofrendo influência direta das inundações anuais.

Um último aspecto não menos importante, diz respeito ao ordenamento territorial da cidade. Segundo o IBGE (2010), o Plano Diretor Municipal, que deve tratar da organização e ocupação do território²², contempla matérias referentes a riscos de inundação e alagamento. Questões sobre ordenamento territorial são citadas na lei orgânica municipal de 2006, através do controle do uso e ocupação do solo (Cap III, Seção I Art. 15.). Os últimos Plano Plurianual do Município de Vigia – PPA 2014-2017 e PPA 2018-2021 –, trazem como uma das diretrizes, a recuperação e valorização dos elementos naturais do município, e melhoramento das intervenções públicas, para elevar a qualidade das condições ambientais urbanas (VIGIA, 2014; VIGIA, 2017). O PPA 2022-2025, busca como objetivo estratégico, o direito à moradia adequada à população de baixa renda, e confere a garantia da inclusão da população em áreas de risco, na participação das definições de planejamento urbano (VIGIA, 2021).

Tucci (2008) afirma que o principal causador da situação de risco por inundação nas ocupações em planície de inundação, é a ausência de um Plano Diretor de desenvolvimento urbano que imponha restrições quanto à ocupação destas áreas. No âmbito dos poderes legislativo e executivo municipal, como visto, há legislação vigente e uso de instrumentos do poder executivo voltados para a temática do risco, porém entende-se que ou mal ou tardiamente executadas e, portanto, até o momento, ineficientes, diante da realidade encontrada.

Em suma, a ocupação do espaço urbano em Vigia, entre ciclos econômicos e de ocupação, imprimiu forte influência sobre a paisagem (ARAÚJO; SILVA; DINIZ, 2021). Dessa forma, a construção social do risco se coloca como a composição dos ambientes altamente suscetíveis a inundação, produzido a partir da ausência ou ineficiência de uma política e legislação tardia de ordenamento territorial, ao momento que famílias ocupam essas áreas, em habitações precárias e sem qualquer estrutura urbana que suporte a capacidade cada vez maior de pessoas em situação de pobreza. Em consequência, grandes alterações na paisagem são impostas, alterando a dinâmica natural do ambiente, implicando em efeitos adversos ao que se esperava das flutuações naturais, em contexto local.

Entende-se que a vulnerabilidade é inerente a essas comunidades, partindo de processos construídos socialmente e politicamente (CANIL; LAMPIS; SANTOS, 2020), historicamente conflituoso, fruto da modernização ecológica, da modernidade tardia e de processos de segregação e desigualdade sociais, todos estes expressos no lugar, através de sua dimensão espacial e sociodemográfica, incorporados no espaço urbano de Vigia (BECK, 2011;

²² “Lei de Uso e Ocupação do Solo Urbano, ou Lei de Zoneamento, observadas as diretrizes gerais do Plano Diretor, estabelece as normas, os índices e os parâmetros a serem observados para disciplinar o uso e a ocupação do solo urbano.” (MDR, 2018, p. 74).

MARANDOLA JÚNIOR; HOGAN, 2004; 2006). A condição de pobreza destas comunidades e a limitada ação institucional, se expressam em diversas relações e condições socioespaciais. Isto acaba reproduzindo padrões de desenvolvimento social e ambiental que podem ampliar a exposição e a vulnerabilidade ao risco hidrometeorológico (UNISDR, 2017).

2.4 Conclusão

Vigia exprime no seu espaço fenômenos típicos de uma região estuarina com regime intenso de chuvas, onde, e ao mesmo tempo, por derivações históricas e econômicas, se territorializou uma população que imprimiu alterações ao ambiente, e aos poucos foi tentando se adaptar a vulnerabilidade do lugar, experimentando com isso, consequências dessa ocupação. Podemos perceber ainda que, a componente *incerteza* do risco, se apresenta, porém, essa componente normalmente está ligada ao que foge do habitual, e o habitual é que o terreno, antes natural hoje urbanizado, ainda integre a dinâmica de inundação imposta pela maré (conhecida) somada à precipitação (prevista), sendo a variação da última um componente natural, gerador do evento que quebra a normalidade de um risco socializado.

Apesar do menor alcance das inundações, obtido por obras estruturais ou soluções improvisadas, visando medidas de controle, estas são constantemente superadas por qualquer anomalia de chuva significativa na localidade, em espaços que geralmente estão ocupados por grupos que possuem, dentro do contexto urbano, maior incapacidade de enfrentar os riscos, o risco especificado pela classe social. A população pobre que ocupa as planícies de inundação de Vigia foi condicionada ao tempo da natureza, sendo facilmente observado em qualquer conversa nessas áreas, que o planejamento das tarefas diárias nos períodos mais críticos é feito no antes e depois da maré baixar. A redução progressiva das desigualdades (ODS 10) por medidas efetivas que impactem o crescimento da renda, inclusão social, econômica e política, independente das diferenças, é o principal caminho para diminuir as vulnerabilidades, em relação ao modo e reprodução de vida dos seus habitantes.

Ainda há um contexto que pode alterar o elemento físico mais previsível dessa equação, que é a maré. Se a confirmação dos cenários de emissão de gases estufa e consequente subida do nível médio do mar se concretizarem, toda uma Zona Costeira de baixa elevação pode ser impactada. A depender das trajetórias de emissão de gases de efeito estufa, e suas consequências na elevação média global do nível do mar, efeitos que compreendem regiões de pequenas ilhas, zonas costeiras baixas e deltas, podem incluir, aumento da intrusão de água salgada, inundações e danos à infraestrutura.

Os eventos de inundação na cidade são mais comuns no início do ano, durante os meses

chuvosos, período em que os sistemas meteorológicos de escala sinótica dominam na região. Já no período menos chuvoso, dominam os mecanismos de mesoescala e mecanismos de convecção local, microescala. Dessa forma, o monitoramento a médio (sazonal) e curto prazo é uma medida crucial para gestão de riscos por se tratar de um local com hidrodinâmica intensa, os canais fluviais dentro do espaço urbano de vigia, respondem a qualquer variação das condições hidrometeorológicas do sistema.

Por esse fato, também é imprescindível que o monitoramento e a execução de planos e ações para situações de risco antecipem cenários em que estão dispostas mudanças climáticas. Logo, conhecer esses futuros cenários, deverá ser um excelente propósito para a organização de um plano regional, que inclua mudanças climáticas em seus objetivos. O Plano Estadual de Proteção e Defesa Civil do Estado do Espírito Santo possui por exemplo, um tópico específico em constante atualização de previsões climáticas no contexto das mudanças do clima.

Ao saber desses aspectos é tarefa contínua de uma gestão nas diversas esferas pensar, aplicar e aprender quanto a ações (planos, tarefas, obras e educação), que incorporem uma maior absorção do impacto do risco. A estruturação de espaços mais suscetíveis, como já foi concebido, devem gerar maior qualidade de vida e não remoção das famílias, como visto.

Em âmbito estadual, recentes instrumentos legais trazem uma nova perspectiva quanto a sistematização das informações ambientais em ZC e proteção e Defesa Civil para todo o Estado. A Lei nº 9.064/2020, que institui a Política Estadual de Gerenciamento Costeiro (PEGC/PA), prevê diretrizes para a implantação do Sistema de Informações do Gerenciamento Costeiro (SIGERCO) e do Sistema de Monitoramento Ambiental da Zona Costeira Estadual (SMA-ZC) (PARÁ, 2020). A Lei nº 9.207/2021, dispõe entre outras competências a autorização para a criação de sistema de informações e monitoramento de desastres.

Uma ação sinérgica de vários órgãos em diversas instâncias, seja no monitoramento ou na execução, pode ser uma importante ferramenta para ações emergenciais e de urgência em casos de maior risco. Dessa forma, é essencial fornecer informações meteorológicas, geológicas, hidrológicas e socioeconômicas; e de drenagem urbana sobre a situação de obstrução ou não dos canais, situação dos seus taludes etc., os órgãos do executivo estadual e municipal que realizam ações no território, com o intuito de amenizar possíveis riscos. Essa de fato, é uma ação estratégia de gestão, de médio e curto prazo, das mais importantes para evitar perdas relacionadas aos eventos previstos.

É necessário que se implemente instrumentos, já previstos em lei, que possam sistematizar informações ambientais, com intuito de monitorar o ambiente costeiro e consequentes desastres. Essas ações em conjunto com diagnósticos municipais, como este,

podem gerar maior previsibilidade dos riscos associados a anomalias climáticas cíclicas de longo, médio e curto prazo. Em vista, no que concerne ao monitorando de médio prazo, das TSM's do pacífico equatorial e do gradiente meridional do atlântico, e os de curto prazo, como o monitoramento de sistemas da escala global à local, por satélites e radares meteorológicos, sendo este último essencial no monitoramento de curtíssimo prazo e prioritário para eventos severos de escala local.

REFERÊNCIAS

ABELÉM, Auriléa Gomes. **Urbanização e remoção**: por que e para quem? 2. ed. Belém: NAEA, 2018.

ALMEIDA, Adrielson Furtado. **Os efeitos das políticas públicas de desenvolvimento socioeconômico na Zona Costeira do Nordeste paraense**: expansão rodoviária, urbanização e atividade turística. 2017. 105 f. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2017.

AMANAJÁS, Jonathan Castro; BRAGA, Célia Campos. **Padrões espaço-temporais pluviométricos na Amazônia Oriental usando análise multivariada**. Revista Brasileira de Meteorologia, Rio de Janeiro, v. 27, n. 4, p. 423-434, 2012.

ANDRADE, Vanda Maria Sales de; CORDEIRO, Iracema Maria Castro Coimbra; SCHWARTZ, Gustavo; VASCONCELOS, Livia Gabrig Turbay Rangel; OLIVEIRA, Francisco de Assis. Considerações sobre o clima e aspectos edafoclimáticos da Mesorregião Nordeste Paraense. In: CORDEIRO, I. M. C. C.; VASCONCELOS, L. G. T. R.; SCHWARTZ, G.; OLIVEIRA, F. de A. (org.). **Nordeste Paraense**: panorama geral e uso sustentável das florestas secundárias. Belém: EDUFRA, 2017. p. 59-96.

ARAÚJO, Rafaela Franco de. **Variação espaço-temporal do fitoplâncton em um estuário amazônico**. 2013. 105 f. Dissertação (Mestrado em Aquicultura e Recursos Aquáticos Tropicais) – Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2013.

ARAÚJO, Alzira Almeida de; SILVA, Maria das Graças da; DINIZ, Francisco Perpetuo Santos. **Paisagens e natureza na comunidade de Vigia: olhares sob novos sentidos e análises**. Brazilian Journal of Development, Curitiba, v. 7, n. 1, p. 7593-7604, jan., 2021.

ASMUS, M. L. *et al.* **Simple para ser útil: base ecossistêmica para o gerenciamento costeiro**. Desenvolvimento e Meio Ambiente, Curitiba v. 44, p. 4-19, 2018.

BAENA, Manoel. **Informações sobre as comarcas da Província do Pará**. Belém: Editora Typ. de F. da Costa Júnior, 1885.

BARBOSA, Estêvão José da Silva. **Unidades de Relevo em Zona Costeira Estuarina**: municípios de Colares e Santo Antônio do Tauá (PA). 2007. 96 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Federal do Pará, Belém, 2007.

BARBOSA, Estêvão José da Silva; BENTES, Laressa. Ocupação urbana em baixadas na Zona Costeira do estado do Pará: análise da cidade de Vigia de Nazaré. In: BORDALO, C. A. L.; SILVA, C. N. da S.; SILVA, E. V. da S. (org.). **Planejamento, conflitos e desenvolvimento sustentável em bacias hidrográficas: experiências e ações**. Belém: GAPTA/UFPA, 2016. p. 509-542.

BECK, Ulrich. **Sociedade de Risco: rumo a uma outra modernidade**. 2. ed. São Paulo: Editora 34, 2011. 384 p.

BECKER, Bertha K. **Revisão das políticas de ocupação da Amazônia: é possível identificar modelos para projetar cenários?** Parcerias Estratégicas, Brasília, n. 12, p. 135-159, set., 2001.

BENTES, Laressa; RAIOL, Rita de Kássia Siqueira. **Formação urbana e serviços em Vigia de Nazaré – Litoral do Estado do Pará**. 2017. 101 f. Trabalho de Conclusão do Curso (Graduação em Geografia) – Universidade do Estado do Pará, Vigia de Nazaré, 2017.

BENTES, Laressa. **Rede Urbana e pequenas cidades da Amazônia: o caso de Vigia de Nazaré, PA**. 2020. 119 p. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Federal do Pará, Belém, 2020.

CARDOSO, Fábio Ferreira. **Dinâmica da comunidade microfitoplancônica relacionada com os parâmetros físico-químicos do estuário do Rio Guajará-Mirim (Vigia-PA)**. 2009. 76 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia Aquática e Pesca) – Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Pará, Belém, 2009.

CARVALHO, Ana Carla Leite; ROCHA, Gilberto de Miranda. **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, [S. l.], v. 6, n. 4, p. 18127-18142, 2020.

CENTRO DE HIDROGRAFIA DA MARINHA. Banco Nacional de Dados Oceanográficos. **Observação de Maré**. Nome da Estação: Fábrica ECOMAR. Data inicial: 12/05/2002; data final: 12/06/2002. Niterói: CHM, 2002.

CENTRO DE PREVISÃO DE TEMPO E ESTUDOS CLIMÁTICOS; INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Condições atuais do ENOS: La Niña**. Cachoeira Paulista: CPTEC; INPE, 2022. Disponível em: <http://enos.cptec.inpe.br/>. Acesso em: 06 ago. 2021.

CHRISTOFOLETTI, Antonio. **Geomorfologia**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1980.

CLIMATE PREDICTION CENTER; NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION. **El-Niño Southern Oscillation (ENSO)**. Maryland: CPC/NOAA, 2022. Disponível em: <https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/MJO/enso.shtml>. Acesso em: 18 mai. 2021.

COHEN, Júlia Clarinda Paiva; SILVA DIAS, Maria Assunção Faus; NOBRE, Carlos Afonso. **Aspectos climatológicos das linhas de instabilidade na Amazonia**. Climanálise – Boletim

de Monitoramento e Análise Climática, Cachoeira Paulista, v. 4, n. 11, p. 34-40, nov., 1989.

COLLISCHONN, Walter; DORNELLES, Fernando. **Hidrologia para Engenharia e Ciências Ambientais**. Porto Alegre: ABRH, 2013.

DIETRICH, Günter. **General Oceanography: an introduction**. New York: Interscience Publishers, 1963.

EL-ROBRINI, Maamar; SILVA, Marcelo Moreno Alves da; SOUZA FILHO; Pedro Walfir; EL-ROBRINI, Maria Helena dos Santos; SILVA JÚNIOR, Osmar Guedes da; FRANÇA, Carmena França de. Erosão e progradação do litoral brasileiro-Pará. *In*: MUEHE, Dieter (org.). **Erosão e progradação do litoral brasileiro**. Brasília: MMA, 2006. p. 41-86. v. 1.

ESPÍRITO SANTO, Celina Marques; SZLAFSZTEIN, Cláudio Fabian. **Gestão de risco de desastres em planos diretores de três municípios da zona costeira do estado do Pará, Brasil**. *Journal of Integrated Coastal Zone Management*, [S. l.], v. 16, n. 2, p. 223-229, 2016.

ESPÍRITO SANTO. **Plano Estadual de Proteção e Defesa Civil (PEPDEC)**. 14^a atualização. Vitória: Coordenadoria de Proteção e Defesa Civil do Estado do Espírito Santo, out./2020.

FERNANDES, Aldo Rafael Pascoal. **Caracterização hidrodinâmica do furo da Laura (rio Guajará-Mirim), Amazônia Oriental**. 2014. 47 f. Dissertação (Mestrado em Geofísica) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2014.

FERREIRA, C. F. **Produção do espaço urbano e degradação ambiental: um estudo sobre a várzea do Igarapé do Tucunduba (Belém-PA)**. 1995. 160 f. Dissertação (Mestrado em Geografia Física) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 1995.

FRANÇA, Carmena Fadul Ferreira. **Produção do espaço urbano e degradação ambiental: um estudo sobre a várzea do igarapé do Tucunduba (Belém-PA)**. 1995. 160 f. Dissertação (Mestrado em Geografia Física) – Departamento de Geografia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995.

FRANÇA, Carmena Fadul Ferreira; SOUZA FILHO, Pedro Walfir Martins e. **Análise das mudanças morfológicas costeiras de médio período na margem Leste da Ilha de Marajó (PA) em imagem Landsat**. *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo, v. 33, n. 2, p. 127-136, 2003.

GRUBER, Nelson Luiz Sambaqui; BARBOZA, Eduardo Guimarães; NICOLODI, João L. **Geografia dos sistemas costeiros e oceanográficos: subsídios para gestão integrada da zona costeira**. Gravel, Porto Alegre, n. 1, p. 81-89, 2003.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual técnico de geomorfologia**. 2. ed. Rio de Janeiro: Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais do IBGE, 2009. 182 p. (Manuais técnicos em Geociências, n. 5).

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Vigia (PA)**. **IBGE Cidades e Estados**. Rio de Janeiro: IBGE, 2010. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pa/vigia/pesquisa/1/21682>. Acesso em: 12 abr. 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Atlas geográfico das zonas costeiras e oceânicas do Brasil**. Rio de Janeiro: Diretoria de Geociências do IBGE, 2011. 176 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Características da População e dos Domicílios. Sistema IBGE de Recuperação Automática (SIDRA)**. Rio de Janeiro: IBGE, 2021. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/censo-demografico/demografico-2010/universo-caracteristicas-da-populacao-e-dos-domicilios>. Acesso em: 22 mar. 2022.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. **Caracterização e tipologia de assentamentos precários: estudos de caso brasileiros**. Editores: MORAIS, Maria da Piedade; KRAUSE, Cleandro; LIMA NETO, Vicente Correia. Brasília: IPEA, 2016.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Global Warming of 1.5°C**. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty. Eds.: MASSON DELMOTTE, V. *et al.* Cambridge/New York: Cambridge University Press, 2018. 616 p.

JESUS, Leila da Graça de; VITORINO, Maria Isabel; SANTOS, Marcos Ronielly da Silva. **Modulação climática da precipitação na produção de caranguejo do estuário paraense**. Revista Brasileira de Geografia Física, Recife, v. 10, n. 4, p. 993-1001, 2017.

JOYCE, Robert J. *et al.* **CMORPH: A method that produces global precipitation estimates from passive microwave and infrared data at high spatial and temporal resolution**. Journal of Hydrometeorology, [*S. l.*], v. 5, n. 3, p. 487-503, 2004.

KJERFVE, Björn. **Manual for investigation of hydrological processes in mangrove ecosystems**. New Delhi: UNESCO/UNDP, 1990. 79 p.

LIMA, Maurício Willians de; SANTOS, Maria de Lourdes Souza; MELO, Nuno Filipe Alves Correia de; FAIAL, Kelson do Carmo Freitas; LIMA, Marcel de Oliveira; NUNES, Danielle Moura. **Distribuição espaço-temporal dos metais Ba, Na, K, Mn e Ca nos sedimentos de fundo do estuário Furo da Laura, Amazônia Oriental, Brasil**. Boletim Técnico Científico do CEPNOR. Belém, v. 15, n. 1, p. 15-22, 2015.

LIMA, Rubens Rodrigues; TOURINHO, Manoel Malheiros; COSTA, José Paulo Chaves da. **Várzeas flúvio-marinhas da Amazônia brasileira: características e possibilidades agropecuárias**. 1. ed. Belém: SDI, 2001. 341 p. v. 1.

LOPES, Marcio; SOUZA, Everaldo de; FERREIRA, Douglas. **Climatologia Regional da precipitação no Estado do Pará**. Revista Brasileira de Climatologia, Curitiba, ano 9, v. 12, p. 84-102, jan./jul., 2013.

LOPES, Matheus. **Modelagem Hidrodinâmica 2DH no Furo da Laura-Nordeste Paraense**. Belém-PA, 2016. 76 f. Dissertação (Mestrado em Geofísica) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2016.

LUZ, Luziane Mesquita da; RODRIGUES, Edilson Cardoso; PONTE, Franciney Carvalho da; SILVA, Christian Nunes da. Impactos antropogênicos em bacias urbanas da área central da cidade de Belém-PA. *In*: BORDALO, Carlos Alexandre Leão; SILVA, Christian Nunes da; SILVA, Edson Vicente da (org.). **Planejamento, conflitos e desenvolvimento sustentável em bacias hidrográficas: experiências e ações**. Belém: GAPTA/UFPA, 2015. p. 439-509.

MARANDOLA JÚNIOR, Eduardo; HOGAN, Daniel Joseph. **O risco em perspectiva: tendências e abordagens**. Geosul, Florianópolis, v. 19, n. 38, p. 25-58, jul./dez., 2004.

MARANDOLA JÚNIOR, Eduardo; HOGAN, Daniel Joseph. **As dimensões da vulnerabilidade**. São Paulo em Perspectiva, São Paulo, v. 20, n. 1, p. 33-43, jan./mar., 2006.

MARANDOLA JÚNIOR, Eduardo; HOGAN, Daniel Joseph. **Place vulnerability vs. sociodemographic vulnerability: methodological implications of a very old issue**. Revista Brasileira de Estudos de População, Rio de Janeiro, v. 26, n. 2, p. 161-181, 2009.

MARENGO, José Antônio; ESPINOZA, Jhan-Carlo. **Extreme seasonal droughts and floods in Amazonia: causes, trends and impacts**. International Journal of Climatology, v. 36, n. 3, 1033-1050, 2015.

MARINHO, Rogério Souza. **Pequenas cidades do nordeste do Pará: maritimidades da Amazônia**. 2017. 426 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Estadual Paulista Júlio Mesquita Filho, Presidente Prudente, 2017.

MCKEE, T. B.; DOESKEN, N. J.; KLEIST, J. **The relationship of drought frequency and duration to time scales**. *In*: **Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology**. American Meteorological Society, Anaheim, p. 179-183, 1993.

MESQUITA, Lia Coeli Soares. **Análise do grau de eutrofização nas águas do Furo da Laura, Vigia – PA – Brasil**. 2020. 67 f. Dissertação (Mestrado em Aquicultura e Recursos Aquáticos Tropicais) – Instituto Sócio Ambiental e de Recursos Hídricos, Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2020.

MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL. **Manual Técnico para Redução de Riscos de Desastres Aplicado ao Planejamento Urbano**. Brasília, DF: MDR; Secretaria Nacional de Desenvolvimento Urbano, 2018.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Programa Nacional para Conservação da Linha de Costa – PROCOSTA**. Brasília: MMA; Secretaria de Recursos Hídricos e Qualidade Ambiental; Departamento de Gestão Ambiental Territorial, 2018.

MIRANDA, Thales Barroso. **A ilusão da igualdade: natureza, justiça ambiental e racismo em Belém**. 2020. 205 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal do Pará, Belém, 2020.

MIRANDOLA, Fabrício Araújo; MACEDO, Eduardo Soares de. **Proposta de classificação do tecnógeno para uso no mapeamento de áreas de risco de deslizamento**. Quaternary and Environmental Geosciences, Curitiba, v. 5, n. 1, p. 66-81, 2014.

OLIVEIRA, Márcia Regina Lima de; NICOLODI, João Luiz. **A Gestão Costeira no Brasil e os dez anos do Projeto Orla: uma análise sob a ótica do poder público.** Revista de Gestão Costeira Integrada, [S. l.], v. 12, n. 1, p. 91-100, 2012.

OLIVEIRA, Regina Célia de. **Dinâmica de funcionamento da paisagem e relações de ocupação e risco de movimentos de massa e inundações:** cenários da região da Baixada Santista no estado de São Paulo e das costas do cacau e do descobrimento no estado da Bahia, Brasil. Revista Territorium, Coimbra, n. 17, p. 151-160, 2010.

OLIVEIRA, Syanne D' Elizete Silva de. **Mudanças na cobertura da terra no litoral Tauá-Vigia-Colares, estado do Pará.** 2019. 53 f. Trabalho de Conclusão do Curso (Graduação em Tecnologia em Geoprocessamento) – Universidade Federal do Pará, Ananindeua, 2019.

PALHETA, Iraci Gomes de Vasconcelos. **O uso da terra em Tauá-Vigia, estado do Pará.** 1980. 167 p. Tese (Doutorado em Geografia) – Departamento de Geografia, Universidade de São Paulo, 1980.

PARÁ. **Lei nº 9.064**, de 25 de maio de 2020. Institui a Política Estadual de Gerenciamento Costeiro (PEGC/PA). Diário Oficial do Estado do Pará, Poder Executivo, Belém, PA, 25 mai. 2020.

PARÁ. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Sustentabilidade. **Gerenciamento Costeiro no Estado do Pará:** Orientações para o Ordenamento Ambiental. Belém: SEMAS, 2020. 30 p.

PARÁ. **Lei nº 9.207/2021**, de 13 de janeiro de 2021. Institui a Política Estadual de Proteção e Defesa Civil (PEPDEC), dispõe sobre o Sistema Estadual de Proteção e Defesa Civil (SEPDEC) e o Conselho Estadual de Proteção e Defesa Civil (CEPDEC); autoriza a criação de sistema de informações e monitoramento de desastres, regulamenta os incisos I e VII do art. 200 da Constituição do Estado do Pará. Diário Oficial do Estado do Pará, Poder Executivo, Belém, PA, 13 jan. 2021.

PELECH, André Souza; PEIXOTO, Maria Naíse. **Rios urbanos: contribuições da Antropogeomorfologia e dos estudos sobre os Terrenos Tecnogênicos.** Revista Brasileira de Geografia, Rio de Janeiro, v. 65, n. 1, p. 2-22, 2020.

PIMENTEL, Márcia Aparecida da Silva; SANTOS, Viviane Corrêa; SILVA, Flávia Adriane Oliveira da. **A ocupação das várzeas da cidade de Belém: causa e consequência socioambientais.** Revista Geonorte, Manaus, v. 3, n. 5, p. 34-45, 2012.

PINKAYAN, S. **Conditional occurrence of wet and dry years over a large continental area.** Colorado: State University; Boulder-Co, 1966. (Hidrology papers, n. 12).

PROJETO RETROGRAFIA VILENGA. **Olhares sobre a sociedade, o espaço e o tempo.** Vigia de Nazaré: 2021. Disponível em: <https://www.facebook.com/retrografiavigia/>. Acesso em: out. 2021.

SANTOS, João Paulo Siqueira dos. **Vigiando a cidade:** um olhar contemporâneo sobre a sociedade e o espaço no município de Vigia. Vigia-PA: 2009. 98 p.

SANTOS, Marcos Ronielly Silva; VITORINO, Maria Isabel; CARNEIRO, Luci Cajueiro Carneiro. **Spatiotemporal Variation in the Precipitation of the Amazon Coastal Zone: Use of Remote Sensing and Multivariate Analysis**. Revista Brasileira de Climatologia, Curitiba, v. 25, p. 35-53, 2019.

SANTOS, Suanne Honorina Martins dos. **Acidentes com transportes hidroviários e os extremos meteorológicos no Nordeste da Amazônia**. 2015. 82 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2015.

SANTOS, S. R. Q.; BRAGA, C. C.; SANSIGOLO, C. A.; SANTOS A. P. P. **Determinação de Regiões Homogêneas do Índice de Precipitação Normalizada (SPI) na Amazônia Oriental**. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 32, n. 1, p. 111-122, 2017.

SILVA JÚNIOR, Osmar Guedes da; EL-ROBRINI, Maâmar. **Morfoestratigrafia do noroeste da planície costeira de São João de Pirabas (Nordeste do Pará)**. Revista Brasileira de Oceanografia, São Paulo, v. 49, n. 1-2, p. 98-114, 2001.

SISTEMA BASE DE HIDROGRAFIA AMBIENTAL. **Referência Técnica do SisBaHia®** Editado por Paulo Cesar Colonna Rosman. Disponível em: http://www.sisbahia.coppe.ufrj.br/SisBaHia_RefTec_v11a.pdf. Acesso em: 15 jan. 2022.

SODRÉ, Giordani Rafael Conceição; RODRIGUES, Letícia Lorena Moreira. **Comparação Entre Estimativa da Precipitação Observada Pela Técnica CMORPH e Estações Meteorológicas do INMET em Diferentes Regiões do Brasil**. Revista Brasileira de Geografia Física, Recife, v. 6, n. 2, p. 70-84, 2013.

SOUZA, Jonas Otaviano Praça de. **Dos sistemas ambientais ao sistema fluvial – uma revisão de conceitos**. Caminhos de Geografia, Uberlândia, v. 14, n. 46, p. 224-233, 2013.

SOUZA, E. B. *et al.* **Padrões climatológicos e tendências da precipitação nos regimes chuvoso e seco da Amazônia oriental**. Revista Brasileira de Climatologia, Curitiba, v. 21, p. 81-93, 2017.

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

TAVARES, João Paulo Nardin; MOTA, Maria Aurora Santos da. **Condições termodinâmicas de eventos de precipitação extrema em Belém-PA durante a estação chuvosa**. Revista Brasileira de Meteorologia, São Paulo, v. 27, n. 2, p. 207-218, jul. 2011.

TAVARES, Maria Goretti da Costa. **Formação Territorial do Espaço Paraense: dos fortes à criação de municípios**. Revista ACTA Geográfica, Boa Vista, v. 2, n. 3, p. 59-83, jan./jun., 2008.

TRINDADE JÚNIOR, Saint-Clair Cordeiro. **A cidade dispersa: os novos espaços de assentamentos em Belém e a reestruturação metropolitana**. 1998. 395 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.

TRINDADE JÚNIOR. Das “Cidades na Floresta” às “Cidades da Floresta”: **Espaço, Ambiente e Urbanodiversidade na Amazônia brasileira**. Papers do NAEA, Belém, n. 321, p. 1-22, dez., 2013.

TRINDADE JÚNIOR. **Cidades e centralidades urbanas na Amazônia: dos diferentes ordenamentos territoriais ao processo de urbanização difusa**. Revista Cidade, Chapecó, v. 12, n. 21, p. 305-334, 2021.

TUCCI, Carlos E. M. **Hidrologia: ciência aplicada**. 2. ed. Porto Alegre: Ed. UFRGS; ABRH, 2001.

TUCCI. **Águas urbanas**. Estudos Avançados, São Paulo, v. 22, n. 63, p. 97-112, 2008.

TUCCI. **Gestão da Drenagem Urbana**. Brasília, DF: CEPAL; IPEA, 2012. (Textos para Discussão CEPAL-IPEA, v. 48).

VALÉRIO, Erick de Lima Sabadelhe; NEGRÃO, Anne Caroline. Mapeamento de Pontos de Inundação em Áreas Urbana Usando o Google Street View. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 23., 2019, Foz do Iguaçu/PR. **Anais eletrônicos** [...]. Foz do Iguaçu: ABRHidro, 2019. Disponível em: <http://abrh.s3.amazonaws.com/Eventos/Trabalhos/107/XXIII-SBRH0639-1-20190504-194254.pdf>. Acesso em: 3 fev. 2022.

VIGIA. **Lei nº 203/2014**, de 19 de maio de 2014. Institui o Plano Plurianual para o período 2014-2017 (PPA 2014-2017). **Diário Oficial**, Poder Executivo, Vigia de Nazaré, PA, 19 mai. 2014.

VIGIA. **Lei nº 298/2017**, de 28 de dezembro de 2017. Dispõe sobre o Plano Plurianual para o período de 2018 a 2021 (PPA 2018-2021). **Diário Oficial**, Poder Executivo, Vigia de Nazaré, PA, 28 dez. 2017.

VIGIA. **Lei nº 410**, de 28 de dezembro de 2021. Dispõe sobre o Plano Plurianual – PPA, para o quadriênio 2022-2025 (PPA 2022-2025), e dá outras providências. **Diário Oficial**, Poder Executivo, Vigia de Nazaré, PA, 28 dez. 2021.

Villar, Jhan Carlo Espinoza; Ronchail, Josyane; Guyot, Jean Loup; Cochonneau, Filizola Naziano; Levado, Waldo; De Oliveira, Eurides; Pombosa, Rodrigo; Vauchel, Philippe. **Spatio-temporal rainfall variability in the Amazon basin countries (Brazil, Peru, Bolivia, Colombia, and Ecuador)**. Int. J. Climatol. 29: 1574–1594 (2009)

CAPÍTULO 3 – AS DIMENSÕES DO RISCO EM VIGIA DE NAZARÉ: O USO DE TÉCNICAS DE GEOPROCESSAMENTO E DADOS SOCIOAMBIENTAIS

RESUMO

As regiões costeiras são altamente dinâmicas por estarem integradas a processos fluviais, oceânicos, atmosféricos e continentais. Em especial, a Zona Costeira Paraense (ZCP), possui grande suscetibilidade a eventos de risco hidrometeorológicos e hidrogeológicos. Dentro desse contexto está a cidade de Vigia de Nazaré-PA, localizada no Furo da Laura (FL), no Setor Continental Estuarino, altura do Golfão Marajoara, protegida pela Ilha de Colares, com cerca de 31 mil Habitantes. Esta região possui grandes acumulados pluviométricos durante o ano, um regime de macromarés e uma intensa ocupação do nível morfológico costeiro mais baixo, a planície fluviomarina. O estudo objetivou encontrar as dimensões do risco para a cidade de Vigia, segundo os conceitos técnicos do Projeto de Fortalecimento da Estratégia Nacional de Gestão Integrada em Riscos de Desastres Naturais (GIDES), do Ministério do Desenvolvimento Regional, através de métodos estatísticos e técnicas de geoprocessamento e cartografia. O resultado foi possível agregando dados espaciais, climáticos, socioeconômicos, de saúde e registros de inundação. Foi identificada a perda de pelo menos 60,36% da cobertura vegetal dentro da área de planície de 1988 a 2019, alta vulnerabilidade socioambiental da população em relação a outros municípios da região costeira, significativa média de frequência de dias com chuva e de precipitação extrema no período chuvoso, e eventos de inundação onde a maré chegou a 4,53 metros tendo uma estimativa de 4185 residências atingidas.

Palavras-chave: Risco Hidrometeorológico. Vigia. Inundação. Dimensões do Risco. Dados Socioambientais.

THE DIMENSIONS OF RISK IN THE CITY OF VIGIA DE NAZARÉ: THE USE OF GIS TECHNIQUES AND SOCIO-ENVIRONMENTAL DATA

ABSTRACT

Coastal regions are highly dynamic as there are integrated into fluvial, oceanic, atmospheric and continental processes. In particular, the Coastal Zone of Pará (ZCP) has great susceptibility to hydrometeorological and hydrogeological risk events. Within this context is the city of Vigia de Nazaré-PA, located in Furo da Laura (FL), in the Estuarine Continental Sector, at the height of the Marajoara Gulf, protected by the Ilha de Colares, with about 31 thousand inhabitants. This region has large rainfall accumulations during the year, a macrotidal regime and an intense occupation of the lowest coastal morphological level, the fluvial-marine plain. The study aimed to find the dimensions of the risk for the city of Vigia, according to the technical concepts of the Project for Strengthening the National Strategy for Integrated Management of Natural Disaster Risks (GIDES), of the Ministry of Regional Development, through statistical methods and techniques of geoprocessing and cartography. The result was possible by aggregating spatial, climatic, socioeconomic, health and flood records data. It was identified the loss of at least 60.36% of the vegetation cover within the plain area from 1988 to 2019, high socio-environmental vulnerability of the population in relation to other municipalities in the coastal region, significant average frequency of rainy days and extreme precipitation in the rainy season, and flood events where the tide reached 4.53 meters, with an estimate of 4185 homes affected.

Keywords: Hydrometeorological Risk. Vigia. Flood. Dimensions of Risk. Socio-environmental data.

3.1 Introdução

A Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDEC), estabelecida por meio da Lei 12.608/2012, prevê que as ações de proteção e defesa civil sejam organizadas por medidas de prevenção, mitigação, preparação, resposta e recuperação (BRASIL, 2012). A PNPDEC também visa integrar outras políticas públicas como ordenamento territorial, infraestrutura e ciência e tecnologia. Mesmo sabendo que devem ser olhadas de maneira sistêmica, cada etapa deve ter seu plano de ações bem definido e organizado.

O Governo Brasileiro é signatário do Marco de Sendai²³ para a Redução do Risco de Desastres 2015-2030, onde foi firmado compromisso com a redução do risco de desastres e com o aumento da resiliência a desastres, no contexto do desenvolvimento sustentável e da erradicação da pobreza, devendo constar nas políticas, planos, programas e orçamento previstos para administração pública (MDR, 2018; UNISDR, 2016).

Dessa forma, o monitoramento tem papel primordial dentro dessas medidas, como na elaboração dos cenários de risco, sendo assim, quanto melhor sua base de dados ambientais for atualizada, melhor será a calibração do cenário. Os sistemas de monitoramento estão previstos inclusive como um dos instrumentos correlatos e de apoio à elaboração de um plano de contingência²⁴ (ESPÍRITO SANTO, 2020). Dentro dessa temática surgem os diagnósticos socioambientais ou trabalhos que funcionam como um, que visam dar um panorama e uma avaliação para o risco que determinada área está sujeita, dispondo de dados sociais, ambientais e físicos.

Um diagnóstico socioambiental é uma importante ferramenta ao tratar da gestão de riscos hidrometeorológicos. Diversos estudos e relatórios (BRAGA, 2019; CEPED; UFSC, 2013; DIAS et al., 2018; PBMC, 2016; SANTOS, 2010; SANTOS, 2021; SZLAFSZTEIN, 2003; TOMINAGA; SANTORO; AMARAL, 2009) lançam mão de metodologias para compreender melhor os fenômenos em que há certo risco a população de determinada área ou região, a fim de entender e quantificar as variáveis em torno daquele processo. Para a região

²³ Terceira Conferência Mundial sobre a Redução do Risco de Desastres, realizada de 14-18 março de 2015, em Sendai, Miyagi

²⁴ O Plano de Contingência de Proteção e Defesa Civil é de responsabilidade dos municípios incluídos no cadastro previsto no Art. 3º da lei nº 12.608/2012 (BRASIL, 2012), sendo um conjunto de medidas planejada e intersetorialmente articulada pelo decreto nº 10.593/2020 (BRASIL, 2020), sendo que Estados e União poderão prestar apoio na execução local.

costeira paraense, estas metodologias dispõem de uma série de dados para alcançar desde o processo de ocupação do espaço e as vulnerabilidades inerentes a cada tipo de ocupação, até os fenômenos naturais que atuam de forma multiescalar, impondo seus processos e funcionando como um complexo sistema.

3.1.1 Contexto local

Estudos regionais como os de Santos (2021) e Szlafszein (2003) visam abranger em uma maior escala, partindo de como a complexidade desses fenômenos no espaço impactam uma população socioculturalmente diversa, produzindo diagnósticos através de índices, usando quase sempre um limite estabelecido (municipal ou sub-regional por exemplo), que auxiliam a própria comunidade e principalmente o poder público, a compreender a espacialização de toda essa dinâmica do risco no território. Entre os estudos citados para a Zona Costeira Paraense, os riscos compreendem, erosão costeira e a inundação da zona costeira de baixa altitude. Entre os objetivos, se destacam o de investigar a variabilidade espaço-temporal da precipitação na região costeira da Paraense, analisar a distribuição de variáveis físicas e hidrológicas e mapear a vulnerabilidade socioambiental dos municípios costeiros frente às mudanças climáticas. O objetivo converge para uma série de recomendações que possam subsidiar o Programa de Gestão da Zona Costeira do Estado do Pará, assim como, subsidiar estratégias nacionais setorializadas, para o conhecimento e variabilidade desses fenômenos em anos típicos e atípicos.

Há também estudos locais na ZCP, que apontam em específico, os fenômenos que atuam sob determinada localidade ou município, buscando abarcar tanto aspectos globais quanto regionais e locais, que possam atuar naquela localidade. O mapeamento temático levando em consideração a composição de fenômenos naturais e sociais é bastante empregado nestas pesquisas. Braga (2019) e Silva (2019) exploram esta temática para Salinópolis-PA e Marudá-PA (Marapanim), respectivamente. O primeiro tem foco na análise da erosão costeira através de índices de vulnerabilidade. O segundo realiza um diagnóstico de vulnerabilidade socioambiental à inundação, frente à dinâmica de ocupação.

A cidade de Vigia de Nazaré-PA, objeto deste estudo, localiza-se no Furo da Laura (FL), margem direita do estuário do Rio Pará, na altura do Golfão Marajoara, onde encontra-se também em uma espécie de subestuário, do rio Guajará-Mirim. Um estuário é um ambiente formado em regiões relativamente estreitas, em sua maioria, na transição entre o oceano e o continente, onde a água do mar é diluída pela descarga de água doce dos corpos hídricos continentais. Este ambiente interage com processos locais e remotos gerados por fatores

climáticos, oceanográficos, geológicos, hidrográficos, biológicos e químicos (MIRANDA et al. 2017).

Para Fernandes (2014) e Lopes (2016), o Furo da Laura é um corpo hídrico relativamente raso, 0 m a -10 m com média em torno de -5,5 m, com pouca estratificação salina, variação temporal média de 1,6 PSU e maré de 4 metros, aferida no local, indicando a influência de macromaré. A desembocadura norte, região onde se encontra a cidade de Vigia, é dinamicamente mais intensa que a desembocadura sul, na Baía do Sol, em consequência de sua área ser 5 vezes maior. Possui fluxos de enchente e vazante da maré simultâneos nas duas bocas. As velocidades de vazante são mais intensas que as de enchente e possuem um considerável transporte de volume, são 7885 m³ no pico da enchente. A região possui característica de maré semidiurna podendo chegar a 4,5 metros nas sizígias e sizígias equinociais.

A precipitação na região pode variar entre em um quantitativo médio anual de 2600 a 2800 mm tendo o trimestre março, abril e maio como o mais chuvoso. Esse regime médio está ligado a uma série de sistemas meteorológicos que atuam nas mais variadas escalas e que também respondem a mecanismos oceano-atmosfera, fazendo com que a região possua uma variação espaço-temporal do clima, que influencia diretamente nas suas variáveis climatológicas, principalmente no comportamento pluviométrico, que é destaque neste estudo. A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e as Linhas de Instabilidade (LI's) são os principais sistemas responsáveis pela chuva na região (AMANAJÁS; BRAGA, 2012; COHEN; SILVA DIAS; NOBRE, 1989; LOPES; SOUZA; FERREIRA, 2013).

Do ponto de vista geomorfológico regional, uma considerável porção da ZCP encontra-se nos mais baixos níveis regionais, a planície costeira, principalmente no setor Atlântico. O mapeamento geomorfológico de fato apresenta maior extensão de áreas com menor altimetria no setor costeiro atlântico, além da maior exposição ao regime de macromarés, porém, as *planícies fluviomarina* também estão relevantemente presentes nos municípios do Setor Continental Estuarino, portanto, estando presente nos municípios de Colares e Vigia, e muito próximas ou dentro do sítio urbano das duas cidades. Estas cidades foram estabelecidas inicialmente, em blocos insulados de terra firme e nas bordas dos terraços e tabuleiros do Planalto Rebaixado da Amazônia, posteriormente expandindo sobre os terrenos mais baixos (BARBOSA, 2007; BARBOSA; BENTES, 2016; EL-ROBRINI et al. 2006).

Para Vigia, quando trata das *flooded areas*, regiões inundáveis, da costa nordeste paraense, Szlafsztein (2003), indica menor e expressiva da porção de áreas inundadas para a região de Vigia e Colares. Mais à frente, e apesar da indicação de baixa vulnerabilidade natural, Szlafsztein e Sterr (2007), já sinalizam atenção especial aos municípios de Vigia e Colares,

porção SW e W da ZCP, devido à sua posição geográfica próxima à costa. Santos (2021) indica vulnerabilidade média a muito alta a um grupo de cinco municípios da costa paraense, incluindo Vigia, pelo Índice de Capacidade Adaptativa (ICA), que avalia condição que os sistemas municipais têm de realizar ou introduzir mudanças para acomodar tensões ambientais, políticas e a capacidade de gerenciar melhor quaisquer consequências. Já temos o apontamento de duas boas prerrogativas para um estudo mais específico.

As ocupações nas áreas de planícies sob influência de maré, níveis morfológicos regionais locais mais baixo, inferior aos baixos terraços, na cidade de Vigia, incorrem em risco hidrometeorológico devido a dinâmica apresentada por fatores que integram estes elementos físicos locais. O processo de ocupação destas áreas se intensificou nas décadas de 1980 e 1990, devido a reconfiguração do espaço regional e local. Com isso, observamos impactos socioambientais gerados em decorrência do uso das diferentes paisagens costeiras, que aos poucos foram suprimindo grande parte do seu patrimônio ecológico. As ocorrências de inundação se intensificam durante o período chuvoso e das maiores amplitudes de marés, as de sizígia e sizígia equinocial, podendo ultrapassar seus limites normais (ARAÚJO et al. 2021; BARBOSA; BENTES, 2016; BENTES, 2020; LIMA; TOURINHO; COSTA, 2001; PALHETA, 1980; SANTOS, 2009).

3.1.2 Conceituando as dimensões do Risco

É latente a necessidade de estudos regionais e locais, para que se possa cada vez mais conhecer os processos em curso, e os que estão tendo seu estado de normalidade alterado por mudanças no clima. Há projeções para aumento de intensidade e frequência de eventos extremos de condições meteorológicas e climáticas, tendo as zonas urbanas como regiões altamente vulneráveis, a princípio pela concentração populacional (PBMC, 2016). Mas também é pelo conhecimento do lugar e de seus elementos que começamos a vislumbrar determinados contextos e suas circunstancialidades (MARANDOLA JÚNIOR; HOGAN, 2009). É então necessário se aprofundar em elementos específicos que regem particularidades de uma determinada população, dentro de um contexto regional conhecido, porém interpretado segundo costumes e modos de vida locais.

Segundo Freire e Natezon (2020), há certa divisão social do risco, o próprio sistema social e as suas condições de reprodução do capital que geram as dimensões do risco e da incerteza. As catástrofes naturais são geradas pelas relações sociais, o fenômeno natural é somente o meio que alcança essa população para refletir esse cenário. Ainda na visão dos autores:

O risco está associado com a produção do espaço geográfico nas suas múltiplas dimensões e escalas. Está, portanto, sob determinismos políticos, econômicos, culturais e institucionais. É o produto de uma determinada sociedade em seu tempo e espaço. São as decisões de uma determinada sociedade acerca do uso, ocupação e organização deste espaço que criam situações de risco e desastre. (FREIRE; NATEZON, 2020, p. 24).

Para isso, direcionaremos nossas análises para compreender as dimensões do risco na cidade de Vigia de Nazaré-PA. Entendendo que as definições de risco e suas dimensões possuem conteúdos que podem variar entre os campos de teóricos e seus autores, usaremos as definições seguindo um documento mais técnico, com o objetivo de facilitar a interpretação e leitura por profissionais que venham a usar esse estudo como subsídio para decisões. Com isso, usaremos os conceitos adaptados²⁵ para dimensões do risco dispostas no documento 6 do “Manual Técnico para Redução de Riscos e Desastres Aplicado ao Planejamento Urbano” do projeto de GIDES “Fortalecimento da Estratégia Nacional de Gestão Integrada de Riscos em Desastres Naturais”²⁶

Dessa forma o quadro (Quadro 7) com os conceitos das dimensões do risco se apresenta de tal forma:

Quadro 7 – Dimensões do Risco.

Perigo	É a condição de uma ameaça específica de causar uma consequência indesejável dentro de um certo período.
Vulnerabilidade	É o grau de perda esperado para um elemento ou conjunto de elementos sob condição de perigo, ou seja, exposto a uma ameaça específica.
Desastre	É o resultado de eventos adversos, naturais, tecnológicos ou de origem antrópica, sobre um cenário vulnerável exposto a ameaça, causando danos humanos, materiais ou ambientais e consequentes prejuízos econômicos e sociais
Suscetibilidade	A suscetibilidade a uma determinada ameaça, como os deslizamentos ou as inundações, é a probabilidade de ocorrência desse processo, dadas as condições do terreno. É o grau em que uma área pode ser afetada pela ameaça, isto é, a estimativa de “onde” a ameaça é mais provável de ocorrer.

Fonte: Ministério do Desenvolvimento Regional (2018, p. 30).

O conceito de inundação sob análise neste trabalho é a que corre no domínio das planícies fluviomarinhas da Amazônia Brasileira, portanto a melhor definição para esse fenômeno encontra-se pela descrição de Lima, Tourinho e Costa (2001). Estas planícies são níveis morfológicos inundáveis onde as marés invertem o fluxo do rio, ao longo de seus baixos

²⁵ Foi excluída a dimensão “perigo do desastre” por compreender que as demais já a integram.

²⁶ O Acordo de Cooperação Técnica Brasil – Japão para o Fortalecimento da Estratégia Nacional de Gestão Integrada de Riscos de Desastres de Sedimentos teve início em 10 de junho de 2013 e finalizou em 21 novembro de 2017. O Manual é resultado do Projeto de Fortalecimento da Estratégia Nacional de Gestão Integrada de Riscos de Desastres (GIDES), desenvolvido pelos Ministérios do Desenvolvimento Regional, da Integração Nacional, da Ciência e Tecnologia, Serviço Geológico do Brasil/Ministério de Minas e Energia e Agência Brasileira de Cooperação no âmbito da cooperação técnica com o governo japonês, por meio da Agência de Cooperação Internacional do Japão (JICA) e do Ministério da Terra, Infraestrutura, Transporte e Turismo (MLIT) .

cursos e seus afluentes, comandam o regime de inundação. As marés exercem domínio na hidrografia das várzeas, e em ocasiões de lua nova ou novilúnio ou lua cheia, plenilúnio, atingem seus níveis mais elevados, as marés vivas ou de sizígia, que tem seu efeito intensificado duas vezes ao ano, 21 de março e 23 de setembro, nos equinócios.

O objetivo do estudo é compreender as dimensões do risco para a cidade de Vigia de Nazaré-PA, tendo como base o quadro de conceitos sobre risco do projeto GIDES (MDR, 2018), a partir das variáveis socioambientais e procedimentos estatísticos, geostatísticos e técnicas de geoprocessamento com o intuito de incorporar dados e produtos gerados a partir deles a cada dimensão, gerando uma espécie de diagnóstico do risco hidrometeorológico na cidade e a composição de cada dimensão do quadro 7 com o resultados apresentados.

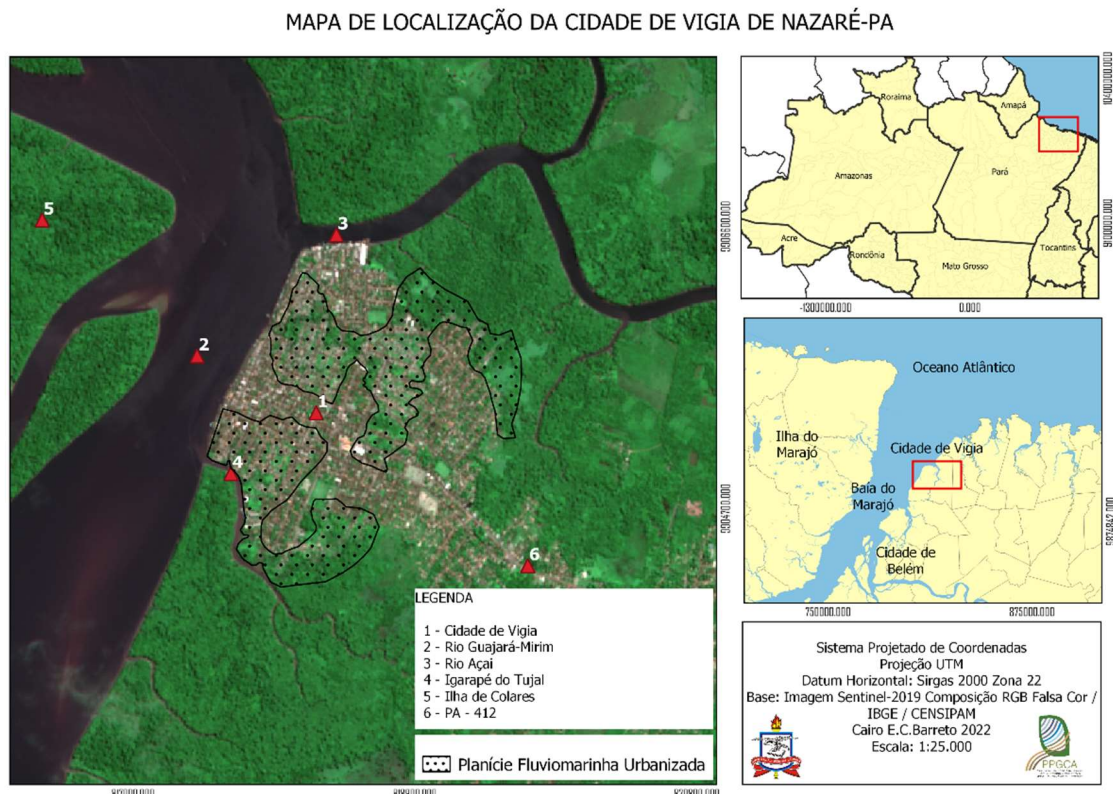
3.2 Materiais e métodos

3.2.1 Área do estudo

Trata-se da cidade Vigia de Nazaré, sede do município de Vigia, na mesorregião do Nordeste paraense. No último Censo (IBGE, 2010), o município apresentava 47.889 mil habitantes, destes 32.353 mil na área urbana, sendo cerca de 31 mil na sede municipal (IBGE/SIDRA, 2021). Estima-se que atualmente o município possua 54.650 habitantes²⁷ um acréscimo de 14% em relação ao último Censo. Está localizada na porção oriental do estuário do Rio Pará e banhada pelas águas do rio Guajará-Mirim (Figura 22), disposta na Desembocadura Norte do Furo da Laura (FL), tendo como limitantes a norte o Rio Açaí e a Sudoeste o Igarapé do Tujal. É uma região em toda porção de, sudoeste a oeste, guardada pela Ilha de Colares, que foi separada do continente devido às ações neotectônicas e glácioeustáticas, tendo o FL e o Rio Guajará-Mirim como fronteira hidrológica. Ainda se tem a PA-412, seguindo a leste, elevando a altimetria continente adentro, pelo Planalto Rebaixado da Amazônia (BARBOSA, 2007; EL-ROBRINI et al. 2006; LIMA; TOURINHO; COSTA, 2001; PALHETA, 1980).

²⁷ A estimativa atual feita pelo IBGE é de 54.650 habitantes, levou-se em consideração aqui pela alta defasagem em relação ao último Censo (IBGE, 2010). Portal Cidades IBGE (2021). Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pa/vigia/panorama>. Acesso em: 14 jun. 2021.

Figura 22 – Mapa de localização da área de estudo.



Fonte: Elaborado pelo autor.

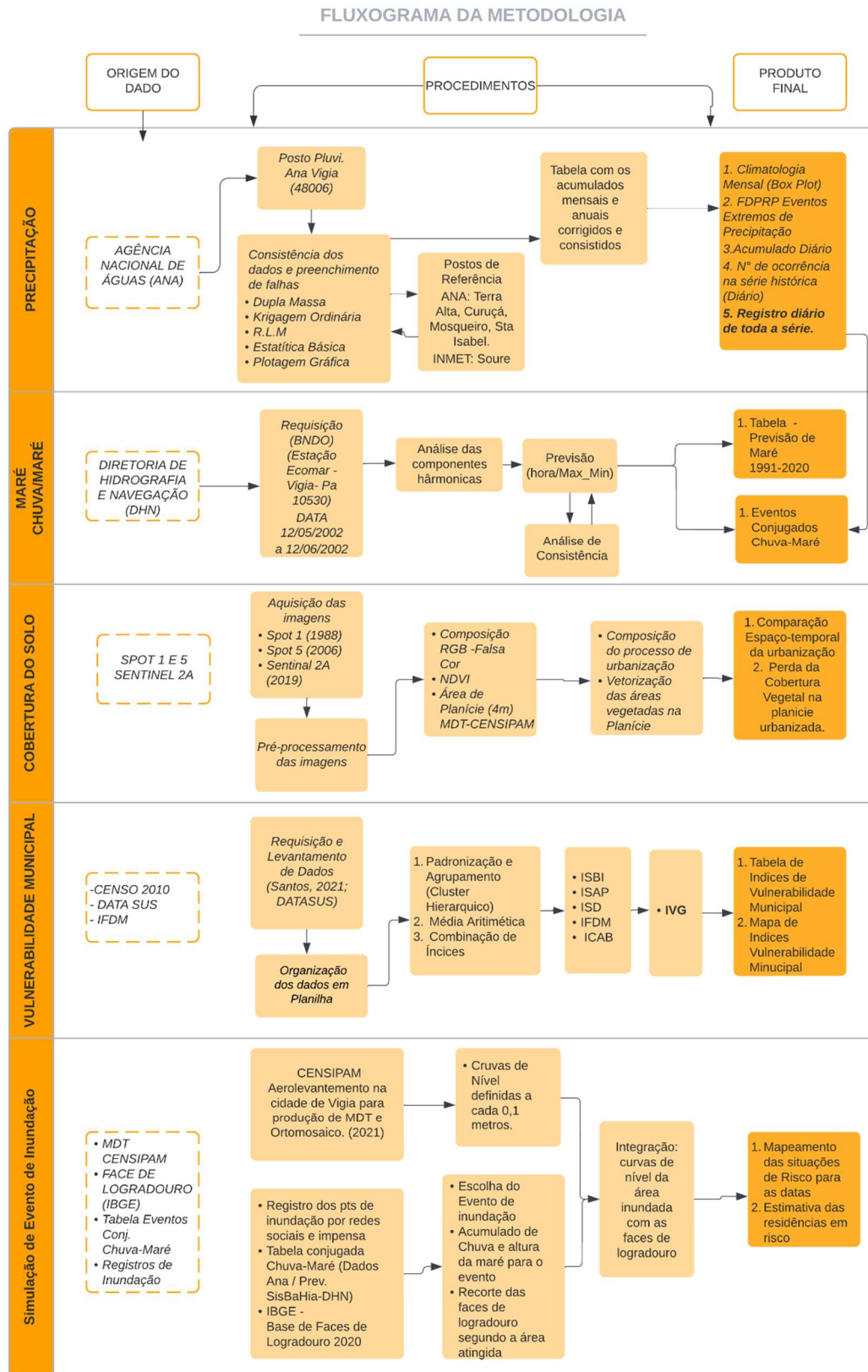
O regime de precipitação na região pode variar para o máximo climatológico, entre 3000 e 3200 mm, e para o mínimo climatológico, entre 2200 e 2400 mm, em anos sem fenômenos climáticos intensos anômalos, tendo o trimestre março, abril e maio como o mais chuvoso e padrão médio anual de 2600 à 2800 mm. Configuram-se duas estações para a região do salgado, do aspecto da ocorrência, frequência e distribuição da chuva através do índice pluviométrico, um bastante chuvoso e outro menos chuvoso. Tendo de 7 a 8 meses chuvosos e 3 com baixos acumulados de precipitação, e classificado em Koppen como Clima tropical de monção com breve estação seca. Os meses mais chuvosos compreende de dezembro a maio, provocados pela atuação do sistema precipitante de escala global (Zona de Convergência Intertropical – ZCIT). Nos meses menos chuvosos, os quantitativos mínimos de precipitação são de origem da interação de sistemas precipitantes locais e sistemas de brisa (AMANAJÁS; BRAGA, 2012; ANDRADE et al. 2017; COHEN; SILVA DIAS; NOBRE, 1995; LOPES; DE SOUZA; FERREIRA, 2013).

3.2.2 Metodologia

O estudo usa pelo menos uma fonte de dados para cada variável investigada, a escala trabalhada é a intraurbana, porém, apenas os dados de vulnerabilidade possuem escala a nível

municipal, devido à dificuldade de imposta pela pandemia de covid e o acesso limitado a essas informações, principalmente para dados de saúde. Para análise da precipitação foi usado os dados da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). Para a previsão de maré foram usados os dados cedidos do Banco Nacional de Dados Oceanográficos (BNDO) da Marinha do Brasil, através da Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN). Para análise espaço-temporal da cobertura do solo os dados dos satélites Spot 1 (1988), Spot 5 (2006) e Sentinel 2A (2019), e o modelo digital de terreno (MDT) do Censipam. Os dados de vulnerabilidade municipal foram cedidos por Santos (2021) possuindo variáveis do CENSO-IBGE (2010), DATASUS e IFDM, além dos adaptados incluindo dados do DATASUS. Os dados da simulação de evento de inundação já integram os produtos realizados a partir dos dados da ANA e DHN pela tabela conjugada chuva-maré e o MDT do CENSIPAM, incluindo dados dos registros de inundação e a Face de Logradouro do IBGE. O desenvolvimento dos resultados segue o fluxograma da Figura 23.

Figura 23 – Fluxograma da metodologia.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Na discussão, ao final da apresentação dos resultados e obtidos todos os dados propostos no fluxograma, pretende-se enquadrar todas as dimensões do risco em Vigia de Nazaré pelos resultados apresentados, objetivando sistematizar e oferecer informações sobre cada aspecto do risco afim de que estes possam integrar políticas e medidas de prevenção, mitigação, preparação, resposta e recuperação, servindo como uma espécie de diagnóstico sobre o risco hidrometeorológico em Vigia.

3.2.3 Espacialização dos Dados de Urbanização e Vulnerabilidade

3.2.3.1 Análise espaço-temporal da urbanização na cidade de Vigia

O sensoriamento remoto e as técnicas e métodos derivados dessa ciência se apresentam como ferramenta importantíssima para análise espacial de fenômenos naturais e humanos. A partir de um sistema de medidas e de referência espaço-temporal, as representações e mensurações, derivadas da captura dos sensores, auxiliam na análise espacial e operacionalização dos conceitos geográficos sob várias perspectivas e escalas para cada tipo de informação. É uma metodologia adequada a esse tipo de avaliação, pois é capaz de avaliar impactos ambientais relacionados à expansão urbana, bem como identificar áreas de risco decorrentes de possível degradação ambiental e suas consequências à população (PISANI, 1992).

Neste ponto do trabalho faremos uma análise temporal sobre o adensamento da ocupação urbana na cidade de Vigia, principalmente sobre a área em que a bibliografia e a metodologia usada até aqui identificam, como unidade geomorfológica planície de inundação, a planície fluvio-marinha, assim como a conversão da sua vegetação em área de ocupação. Abaixo temos um quadro com os principais sensores, selecionando os mais usados em estudos urbanos (CARVALHO, 2011; INPE, 2012), assim como sensores da segunda geração²⁸, portados em satélites com mais de 2 missões, que aliam imagens historicamente mais antigas com resoluções satisfatórias para estudos urbanos.

²⁸ Ver nota 4.

Quadro 8 – Sensores ópticos e suas características.

Sensor	Número de Bandas	Res. Espacial	Res. Radiométrica	Lançamento/Operação
TM (LandSat 4 e 5)	7	30 a 120	8 bits	1982
HRV (Spot 1, 2 e 3)	4	10 a 20 m	6 a 8 Bits	1986
Modis (Terra e Aqua)	36	240 a 1000 m	12 bits	1999/2002
Câmara CCD (CBERS 1/2B)	5	20 m	s.d	1999
PAN e MS (IKONOS)	5	1 a 4 metros	11 Bits	1999
PAN e MS (QUICKBIRD)	5	61 cm a 2,8 m	11Bits	2001
REIS (RapidEye E. I. S.)	5	5 a 6,5 m	12 bits	2008
MSI (Sentinel 2 ^a /2B)	13	10	s.d	2015

Fonte: Adaptado pelo Autor. (EMBRAPA, 2022).

Será realizada uma classificação de área urbana (impermeável) e vegetada (permeável) por análise analógica (interpretação visual), levando em consideração modelos, tonalidades, texturas, formas, arranjos espaciais das duas classes: urbana e área vegetada. Seguirá princípios básicos²⁹ norteadores do levantamento da cobertura e do uso da terra (IBGE, 2013), e um sistema de classificação para as classes selecionadas³⁰.

Dessa forma consideramos um produto que possua boa escala temporal histórica para análise multi-temporal, a fim de acompanhar a ocupação de áreas de planície ou próximas aos cursos d'água, e um produto que também possua boa resolução, pois, por se tratar de uma pequena cidade, há pouquíssimas missões que envolvam imageamento em boa resolução espacial para alvos menores³¹, e com escala multi-temporal de mais de 20 anos, por exemplo.

Foram selecionados três satélites para esta etapa. Os dois primeiros correspondem a missão francesa SPOT (*Systeme Probatoire d'Observation de la Terre*), que aliou a disponibilidade de imagens desde 1988, com resolução espacial de média à alta³² (usada nesse trabalho), e até muito alta em suas últimas missões. Seus sensores ainda disponibilizam faixas espectrais apropriadas para o estudo, podendo ser possível interpretar direção e adensamento da expansão urbana. São as faixas do vermelho no visível (630 – 690 nm) ao infravermelho

²⁹ A escala de mapeamento; - a natureza da informação básica; - a unidade de mapeamento e definição da menor área a ser mapeada; - a nomenclatura. (IBGE, 2013)

³⁰ Sistema básico de classificação da cobertura e do uso da terra (SCUT), Nível II Subclasse: 1. Áreas urbanizadas (Áreas antrópicas Não Agrícolas); 2. Área Florestal (Áreas de Vegetação Natural).

³¹ As condições técnicas de mapeamento de uso e ocupação do solo foram aprimoradas a partir da segunda geração de sensores como LandSat-TM, SPOT e HRV. Esses possuem melhor interpretação para alvos que dependam de melhores resoluções espacial, espectrais e radiométricas (IBGE, 2013).

³² Resolução espacial segundo a classificação de Classificação de Blaschke e Kux (2007 apud INPE, 2012): Muito baixa => > 250 m; baixa = 50-250 m; média = 10-50 m; alta = 4-10 m; muito alta = 1-4 m; ultra alta = < 1 m.

(760 – 2350 nm), com resolução espacial de 8 m a 20 m. Ainda possui uma banda Pancromática de varia de 2 m a 10 m, da missão mais recente a mais antiga, que traz um significativo ganho na resolução espacial do produto gerado (EMBRAPA, 2021; INPE, 2012).

Como o projeto SPOT foi interrompido em 2015 e ainda há grande dificuldade em encontrar cenas para a área de trabalho, usaremos como recorte temporal mais recente um produto de um satélite de características similares. A série SENTINEL deu continuidade nos serviços de observação de imagens óticas multiespectrais de alta resolução da Agência Espacial Europeia, sendo também amplamente usado em estudos urbanos e uso do solo (MIGUEL; SANO, 2019; ROSA, 2018). O satélite usado neste estudo porta o SENSOR MSI, possuindo 13 bandas espectrais, que vão do visível (VIS) e do infravermelho próximo (NIR) ao infravermelho médio e longo (SWIR), mais 3 bandas para correção atmosféricas, com resoluções espaciais entre 10 e 60 metros.

É essencial ter um bom produto em termos de resolução espacial em uma análise analógica, visto que, a cobertura de solo urbano necessita de melhor precisão temática, justamente por sua característica heterogênea expressa por diferentes formas, arranjos e diversidade de materiais que compõem sua estrutura, diferente de vegetação, corpos d'água e solo por exemplo, que são relativamente mais homogêneas na sua composição (INPE, 2012). É nesse contexto que os projetos SPOT e SENTINEL são indicados e usados para estudos urbanos (CHUVIECO, 1995; INPE, 2012; ROGAN; CHEN, 2004; ROSA; 2018).

Agência Espacial Francesa disponibilizou recentemente de forma gratuita no website SPOT World Heritage (SWH), várias imagens que cobrem toda a vida útil dos cinco satélites SPOT, de 1986 a 2015. A aquisição das imagens (primeira etapa) foi realizada no portal SWH, e estão disponíveis em nível L1A, com ajuste radiométrico porém sem correção geométrica. Da serie SPOT serão usados os recortes espaciais de 1988 e 2006, do satélite SPOT 1 e 5 respectivamente. A imagem do ano de 2019 é de aquisição do satélite SENTINEL-2A, sua aquisição foi feita pelo portal USGS em nível 1C de alta precisão, com correções radiométricas e geométricas junto com ortoretificação³³. As referências bibliográficas para execução dessa metodologia é a citada ao longo desse capítulo, mais o auxílio do manual Lira et al. (2016), do estudo de Treitz, Howarth e Gong (1992) e recomendações de Rogan e Chen (2004).

Sobre a escala de trabalho, é importante que se destaque a relação entre a precisão cartográfica e a resolução espacial, que diz respeito a unidade mínima que pode ser cartografada dentro de uma determinada precisão planimétrica, dessa forma, respeitando definição da

³³ Sentinel-2 Digital Object Identifier (DOI) number: /10.5066/F76W992G

Associação Cartográfica Internacional, a classificação se dará como proposto em Chuvieco (2002 apud INPE, 2012), e como é observado por Pisani (1992). Assim, a classificação analógica foi realizada levando em consideração a escala de 1:25.000, respeitando a resolução espacial padrão das imagens de 10 metros.

Quadro 9 – Resolução espacial e escala de trabalho.

Resolução espacial	Escala de trabalho
0,60 m	1:2.000
3 m	1:5.000
10-20 m	1:25.000
30 m	1:50.000
80 m	1:200.000
1000 m	1:1.500.000

Fonte: Adaptado de Chuvieco (2002 apud INPE, 2012).

A primeira limitação encontrada foi a de aquisição de imagens, a reduzida disponibilidade e a cobertura de nuvens, ainda se tratando de uma pequena cidade, dificultou a aquisição. As imagens adquiridas que melhor respondiam ao objetivo do trabalho foram: 08/02/1988, SPOT 1; 20/06/2006, SPOT 4; 08/09/2019, Sentinel 2A.

As imagens já possuíam correção radiométrica nível L1A, contudo o primeiro produto, de 1988, necessitou de mais etapas de pré-processamento para se adequar aos outros. Apesar de estarem georreferenciadas, a imagem multiespectral encontrava-se deslocada (erro espacial) em relação a imagem pancromática. A correção foi realizada por georreferenciamento usando a pancromática como referência (Etapa de registro imagem a imagem³⁴), para que as duas bandas coincidam e diminuía as distorções espaciais e conseqüentemente os erros nas próximas fases de processamento.

A terceira etapa, para imagem de 1988, diz respeito a integração de dados da pancromática na multiespectral, para que a resolução das bandas dessa cena seja padronizada em 10 m, assim como os outros dois recortes espaciais. A integração dos dados da pancromática (10 m) na multiespectral (20 m) foi realizada em duas fases após o registro. A primeira se tratou da definição da imagem XS, com a ferramenta Superimpose OTB³⁵ no Qgis, com objetivo de

³⁴ Vai tratar da justaposição de imagens para assegurar que os pixels das imagens a serem trabalhadas sejam referentes às mesmas áreas no terreno. Esse erro ocorre devido às distorções não sistemáticas, causadas pelos movimentos (atitude), do satélite, curvatura da terra entre outros motivos (CRÓSTA, 1992).

³⁵ Orfeo ToolBox (OTB) 6.6.0, é um plug-in da CNES. Possui ferramentas de código aberto para sensoriamento remoto de última geração. © Copyright 2021 CNES. The OTB CookBook is licensed under a Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International license (CC-BY-SA).

redimensionar a banda multiespectral para a pancromática, para logo após fazer a integração do dado de melhor resolução, para esta, foi usada a ferramenta Pansharpening também do OTB.

A partir daqui, as etapas de processamento foram atribuídas a todos os recortes temporais. Para a interpretação dos alvos é primordial que se aplique uma composição de bandas que facilite a compreensão das feições, e a RGB é clássica e efetiva para tal. Como a série do SPOT não possui a banda do azul, é necessário gerar uma imagem simulada RGB, uma pseudocor³⁶, a partir de uma equação³⁷, onde as bandas de saída serão criadas usando as bandas de entrada (originais), multiplicadas por pesos³⁸. Esta é a etapa de conversão espectral.

$$\begin{aligned}
 - \text{Output band 1} &= (0.1 * \text{InputBand1}) + (0.9 * \text{InputBand2}) + (0.0 * \text{InputBand3}) \\
 - \text{Output band 2} &= (0.3 * \text{InputBand1}) + (0.0 * \text{InputBand2}) + (0.7 * \text{InputBand3}) \\
 - \text{Output band 3} &= (0.1 * \text{InputBand1}) + (0.1 * \text{InputBand2}) + (0.8 * \text{InputBand3})
 \end{aligned} \tag{3}$$

De posse das bandas necessárias para gerar uma imagem RGB, estas foram mescladas gerando o produto pretendido. Além da análise espaço-temporal das imagens históricas na composição RGB, outras duas análises foram aplicadas ao produto. O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI³⁹) das imagens, que usa um cálculo combinado das bandas do infravermelho próximo (NIR) e vermelho (RED) (Equação 4), e nos permite identificar a presença de vegetação, assim como, caracterizar sua distribuição espacial, sendo mais uma ferramenta importante para acompanhar o processo de evolução da urbanização e substituição da superfície permeável das bacias urbanas de Vigia (LOBATO et al. 2010; SAKUNO et al. 2017).

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \tag{4}$$

A terceira análise foi realizada a partir da interpretação dos dois produtos anteriores, as imagens históricas na composição colorida RGB e o NDVI. As imagens foram vetorizadas de forma manual por interpretação visual, tendo como alvo as superfícies permeáveis e vegetadas das planícies de inundação, extraídas do MDT de Vigia, dentro da área urbana, formando polígonos. Os polígonos das áreas vegetadas e permeáveis foram reprojatados para o sistema de coordenadas planas SIRGAS 2000 – UTM 22, que nos permite calcular áreas. A

³⁶ “Técnica pela qual uma imagem monocromática é traduzida em cores é denominada pseudo-cor. Em processamento de imagens isso é feito através da transformação da escala de níveis de cinza em escala de cores, ou seja, atribuindo-se diferentes cores para intervalos de DN’s”. (CRÓSTA, 1992).

³⁷ Foi usado o modelo de Spectral Conversion Function, do portal Arcgis adaptado para o Qgis 3.16 <https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/manage-data/raster-and-images/spectral-conversion-function.htm>

³⁸ Para tal processamento a referência foi a citada no texto até o momento mais o Guia Completo de Processamento de Imagens SPOT com o Prof. Gustavo Batista. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=DJvkO8h6s4c>. Acesso em: 6 out. 2021.

³⁹ Mais conhecido por sua sigla em inglês, originada do termo *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI).

calculadora da tabela de atributos do Qgis já possui a função de calcular áreas das geometrias em m². Esta análise objetiva a compreensão da dinâmica histórica dessas superfícies, permitindo inferir sobre o processo de expansão urbana pela alteração espaço-temporal da cobertura do solo nas planícies de inundação (até 4 metros).

A determinação da altimetria a se considerar como *planície fluviomarinha* corresponde a bibliografia Barbosa (2007); Barbosa e Bentes (2016); Luz et al. (2015); e Palheta (1980), aos pontos de inundação identificados nos registros de rede social e imprensa conforme Valério e Negrão (2019), imagens e depoimentos dos moradores coletados em trabalho de campo e as imagens históricas Spot e Sentinel já trabalhadas. Posteriormente, de posse do MDT produzido pelo CENSIPAM, serão extraídas as curvas de nível no intervalo adequado a metodologia e a resolução do produto.

3.2.3.2 Vulnerabilidade municipal da ZCP

A metodologia aqui desenvolvida é a única que foge da escala intramunicipal dos demais dados e produtos, pois não houve disponibilidade de um banco de dados para essa dimensão na escala adequada. Como ignorar a dimensão vulnerabilidade não foi uma opção, usou-se a metodologia e os dados apresentados em Santos (2021). Além da replicação adaptada da metodologia, também foram disponibilizadas pelo autor do trabalho citado, dados das variáveis que interessam aqui compreender. O estudo citado, usa o Índice de Vulnerabilidade Municipal (IVM), onde considera que múltiplos processos de desenvolvimento humano, social, ambiental e econômico que ocorrem nos municípios contribuem para o perfil de vulnerabilidade, no estudo citado, em um cenário de mudanças climáticas (SANTOS, 2021). O modelo aqui replicado, é baseado nos trabalhos de Quintão et al. (2017) e Vommaro, Menezes e Barata (2020). Ao final dos procedimentos pretende-se chegar ao Índice de Vulnerabilidade Geral (IVG), principal, que será um valor agregado pela construção dos sub-índices: Índice de Sensibilidade (Ise) e pelo Índice de Capacidade Adaptativa (ICA). Para a construção desses índices, foram levados em consideração indicadores e variáveis socioambientais (SANTOS, 2021).

Tendo a vulnerabilidade como o potencial para perda, que incluem elementos da exposição e propensão do aumento ou diminuição da capacidade de resposta ao desastre (CUTTER, 2011), em âmbito local a ZCP possui algumas experiências. Szlafsztein e Sterr (2007) já apresentavam a construção de um índice de vulnerabilidade total para os municípios costeiros da Região Nordeste Paraense. O objetivo também era identificar e classificar os impactos naturais e socioeconômicos pela elaboração de um índice (*total vulnerability index*)

composto por variáveis naturais e socioeconômicas. Pegado et al. (2012) em um contexto mais local e usando uma metodologia baseada em perigos potenciais que podem levar a um acidente – Preliminary Hazard Analysis (PHA) –, construiu uma escala onde atribui níveis e categorias de perigo hidrológico para a cidade de Belém. Ainda em contexto local, há trabalhos que exploram dados socioambientais para assimilar processos que resultam em maior vulnerabilidade da população nas cidades da Região Costeira Paraense (BRAGA, 2019; PEREIRA; VIEIRA, 2016; SILVA, 2019).

Quadro 10 – Variáveis do IVG.

Índice de Vulnerabilidade Municipal (IVG)			
$IVG = \frac{Ise+ICA}{2}$			
Índice de Sensibilidade (Ise) $\frac{ISBI + ISAP + ISD}{3}$	Índice de Internações Relacionadas ao Saneamento Básico Inadequado (ISBI)	Incidência por município (proporção)	Min da Saúde (DATASUS) 2016
	Índice de internações por condições sensíveis à atenção primária (ISAP)	Incidência por município (proporção)	Min da Saúde (DATASUS) 2016
	Índice Sociodemográfico (ISD) ISD $\frac{PopAna25a + SanIad + Mort5a + PopEconIna}{4}$	(i) População com escolaridade (Ensino fundamental incompleto e analfabeto com 25 anos ou mais (proporção)) (ii) Mortalidade de crianças com menos de 1 ano de vida (Taxa) (iii) Domicílios com saneamento inadequado (Taxa) (iv) População com economia inativa (Taxa)	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo 2010
Índice de Capacidade Adaptativa (ICA) $\frac{IFDM + ICAB}{2}$	Índice FIRJAN de desenvolvimento Municipal – IFDM	(i) Resultado do IFDM	Fed. da Indústria, IDHM, Ed. 2010
	Indicador de Cobertura de Atenção Básica – ICAB	(i) População coberta pela atenção primária à saúde	Min. da Saúde (DATASUS) 2014

Fonte: Adaptado pelo autor. (SANTOS, 2021).

Para adequar ao estudo, algumas alterações foram realizadas nas variáveis que formam o “Índice de Sensibilidade” (ISe). Substituímos o “Índice de Doenças Endêmicas” (IDE), pelo “Índice de Internações Relacionadas ao Saneamento Básico Inadequado” e incluímos o “Índice de internações por condições sensíveis à atenção primária”. O ISAP e o ISBI foram mantidos como sub-índices separados dentro do Ise, pois entende-se que o primeiro funciona como uma qualificação da eficiência da atenção básica, um dado geral, e o segundo como uma qualificação específica sobre as condições deficitárias do saneamento básico, objeto indispensável sob análise de risco hidrológicos à saúde. O subíndice “Índice Sociodemográfico” foi mantido e ao final integrado ao ISAP e ISBI para gerar o ISe. O “Índice de Capacidade Adaptativa” (ICA) e suas variáveis foram mantidos sem alterações. A base de dados para as novas variáveis foi baixada do portal Atlas Brasil (PNUD; IPEA; FJP, 2020). O portal possui diversas fontes oriundas de registros administrativos e pesquisas a nível nacional como as do IBGE – Censos e Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD) –, Censo Escolar, DATASUS, Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), INPE e Cadastro Único para Programas Sociais (CadÚnico).

A Atenção Primária à Saúde (APS) é uma política específica⁴⁰ referente ao nível primário do sistema de atenção à saúde, que atende majoritariamente um público com perfil socioeconômico mais vulnerável, a quem oferece um conjunto de ações saúde individuais, familiares e coletivas que envolvem promoção, prevenção, proteção, redução de danos, cuidados paliativos, vigilância em saúde entre outros. O subíndice ISAP deverá indicar a ausência de ações efetivas referentes à atenção primária à saúde, refletida no percentual de internações por condições sensíveis à atenção básica. Existe uma lista⁴¹ de condições sensíveis à atenção primária com mais de 120 CID's.

A substituição do IDE⁴² pelo ISBI se deu pela maior implicância no estudo, no que se relaciona ao risco hidrológico resultando em inundações predispondo a população a doenças de veiculação hídrica. Este também agrega as doenças do índice do IDE (Dengue, Leptospirose e Esquistossomose) entre outras, e estão relacionadas às seguintes categorias: 1. Doenças de transmissão feco-oral 2. Doenças transmitidas por inseto vetor 3. Doenças transmitidas através

⁴⁰ Portaria nº 2.436, de 21 de setembro de 2017

“Diz respeito a aprovação a Política Nacional de Atenção Básica, estabelecendo a revisão de diretrizes para a organização da Atenção Básica, no âmbito do Sistema Único de Saúde (SUS).” (BRASIL, 2017).

⁴¹ Portaria nº 221, de 17 de abril de 2008.

“Art. 1º Publicar, na forma do Anexo desta Portaria, a Lista Brasileira de Internações por Condições Sensíveis à Atenção Primária.” (BRASIL, 2008).

⁴² O estudo original possuía o sub-índice Índice de Doenças Endêmicas (IDE), que discriminava os dados referente a três doenças de veiculação hídrica “Dengue, Leptospirose e Esquistossomose”.

do contato com a água. 4. Doenças relacionadas com a higiene. 5. Geo-helmintos e teníases (BRASIL, 2004).

Os softwares usados para tabular e realizar os cálculos necessários foram o Excel e o R 4.1.2 sob interface do Rstudio. No Excel, foi realizada a tabulação e organização dos dados, assim como cálculos simples de índices, sub-índices e índices padronizados. No Software R foi realizada a tabulação dos dados, verificação da consistência a partir de medidas estatísticas básicas e, de acordo com o estudo de referência, foi realizado agrupamento das variáveis em clusters hierárquicos, seguindo o método de ligação entre grupos, com intervalo da distância euclidiana, sendo classificados em cinco grupos por pesos, que variam entre 1 e 5, sendo que: 1 representa o menos vulnerável e 5 o mais vulnerável. O Índice Firjan de Desenvolvimento Municipal (IFDM) e o Indicador de Cobertura da Atenção Básica (ICAB) invertem essa lógica, tendo que apresentam elementos que reduzem a vulnerabilidade da população, ou seja, quanto maior os valores das variáveis, menor a vulnerabilidade.

A metodologia seguiu o estudo citado, os pesos foram agregados pela média aritmética simples para formar os subíndices. Todos os subíndices e índices foram padronizados de forma que apresentem a mesma faixa de 0 a 1 (0 menos vulnerável e 1 mais vulnerável), seguido a Equação 5:

$$I_p = \frac{I_{obs} - \text{Mínimo } I}{\text{Máximo } I - \text{Mínimo } I} \quad (5)$$

Onde,

I_p = Índice padronizado

I_{obs} = Índice observado (para cada município)

Máximo I = maior valor observado entre os índices calculados

Mínimo I = menor valor observado entre os índices calculados

Esse procedimento final de padronização foi realizado no software Excel com objetivo de determinar o grau de vulnerabilidade de um município em relação aos demais municípios da área estudada, logo, sendo índices comparativos dentro do grupo, o índice 0 ou 1 não indicam ausência ou máxima vulnerabilidade respectivamente, mas sua relação com os demais municípios.

De posse dos índices sintéticos, eles foram espacializados usando a técnica da cartografia temática empregando a mesma escala de vulnerabilidade de Santos (2021) baseado em Freitas e Cunha (2013), onde os valores dos índices são agregados em cinco categorias muito baixa (0 – 0,19), baixa (0,20 – 0,39), média (0,40 – 0,59), alta (0,60 – 0,79) e muito alta

(0,80 – 1). Com o uso do software Qgis 3.10.8 integrou-se a tabela com o resultado dos cálculos aos polígonos dos municípios (IBGE), e na simbologia dos novos atributos dos municípios graduou-se para os intervalos citados.

3.2.4 Variáveis hidrometeorológicas

3.2.4.1 Precipitação

Para a análise da variabilidade da precipitação na cidade de Vigia de Nazaré foi selecionada uma estação pluviométrica (Cod: 48006; Latitude: $-0,87^\circ$ Longitude: $-48,11^\circ$) de responsabilidade da Agência Nacional de Água e Saneamento Básico (ANA), operada pelo Serviço Geológico do Brasil (SGB/CPRM) com início das medições em 31/1/1982, constando dados até 31/05/2021. O pluviômetro fica instalado aproximadamente à 2,1 Km da área de análise, ainda dentro da área urbana de Vigia. Os dados foram baixados do portal hidroweb⁴³, suas características são de dados diários, que além de apresentar estatística básica, também informam sobre o status da estação e dos dados, tipo de medição e sobre a consistência dos dados⁴⁴. A seleção dessas medições obedeceu ao período mínimo indicado para uma normal climatológica (30 anos), e compreende os anos de 1991 a 2020.

Para a investigação dos dados diários e extremos diários de precipitação foram usados os dados brutos diários da mesma série (1991 a 2020). Como não houve correção das falhas para esta etapa, apenas análise de consistência, os dados faltantes ou considerados duvidosos foram excluídos do processo. Ao analisar a precipitação de uma determinada área, busca-se obter uma série ininterrupta, porém é comum que haja falhas em alguns dados, por diversos motivos, seja humano ou técnico. Para o caso de haver falhas na série histórica, há métodos de preenchimento desses dados faltantes, objetivando homogeneização do conjunto. Para isso usa-se postos pluviométricos da vizinhança. Estes dados não substituem dados originais, podendo estes métodos serem aplicados somente em intervalos mensais e anuais (TUCCI, 2001; COLLISCHONN; DORNELLES, 2013).

⁴³ O Portal HidroWeb é uma ferramenta integrante do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH) e oferece o acesso ao banco de dados que contém todas as informações coletadas pela Rede Hidrometeorológica Nacional (RHN), reunindo dados de níveis fluviais, vazões, chuvas, climatologia, qualidade da água e sedimentos - *Sistema de Informações Hidrológicas, Versão Web 3.0*. © 2018 Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). Disponível em: <http://www.snirh.gov.br/hidroweb/>. Acesso em: 31 mai. 2022.

⁴⁴ Nível Consistência: 1 = Bruto, 2 = Consistido; Tipo Medição Chuvas: 1 = Pluviômetro, 2 = Pluviógrafo, 3 = Data logger; Status: 0 = Branco, 1 = Real, 2 = Estimado, 3 = Duvidoso, 4 = Acumulado.

3.2.4.1.1 Correção das falhas e testes de consistência

Apesar do arquivo contendo os dados de chuva possuir um identificador de possíveis falhas, foi necessário também investigar se houve ausência de dados ou mesmo dados inconsistentes ou duvidosos usando outros métodos. Para essa verificação obedecemos 4 etapas: 1. Visualização dos dados em tabela por mês e ano para observar discrepâncias, ausência ou dados iguais (replicados); 2. Plotagem dos dados em gráficos de linha, barras e dispersão. (Representação Gráfica) 3. Identificação de outliers, cálculo de médias e desvio padrão. (Representação estatística). 4 Análise de consistência usando método dupla massa (correlação). Foi possível observar a ausência de dados para o mês 11/2006, 14 meses de dados com status “duvidoso”, na própria tabela de precipitação, e a ausência no arquivo baixado, dos dados referentes ao período de 03/2018 a 08/2018. Dessa forma, alguns métodos foram aplicados para correção e consequente homogeneização dos dados.

3.2.4.1.2 Testes de consistência

O método de dupla massa (*Double-Mass Curves*⁴⁵), desenvolvido pela Geological Survey (USA), é usado em dados mensais e anuais, e consiste em selecionar os postos de uma mesma região, acumular valores a serem observados e plotar em um gráfico cartesiano os valores do período a ser analisado e de um outro posto confiável adotado como base de comparação. O gráfico cumulativo das variáveis é relacionado a uma linha reta buscando encontrar uma razão fixa entre elas, sendo um posto a consistir (nas ordenadas) e outro, ou a média de mais de um, considerado confiável adotado como base (nas abscissas) (SEARCY; HARDISON, 1960; DORNELES, 2013).

A relação entre duas variáveis pode ser descrita por uma função geral do tipo $Y = f[X]$, caso seja retilínea assume a forma $Y = A.x + B$. O valor de B sendo Y quando X = 0, este encontra-se sobre o eixo das coordenadas, e o valor de A a tangente do ângulo que a reta ajustada faz com a horizontal. Em um gráfico cartesiano ortogonal é plotado valores correspondentes aos dois postos e é traçada uma reta que passa pela posição definida dos valores médios das duas variáveis, e que possua um melhor ajuste na nuvem de pontos (COLLISCHONN; DORNELLES, 2013; TUCCI, 2001).

O gráfico de dispersão do acumulado mensal que verificou a correlação entre, a climatologia dos 30 anos de chuva para Vigia e a média da climatologia dos 30 anos de chuva

⁴⁵ SEARCY, James K.; HARDISON, Clayton H. **Manual of Hydrology**: Part 1. General Surface-Water Techniques. Geological Survey Water-Supply. 1541-B. U.S., 1960.

para as estações vizinhas de referência, possui *grau muito alto de correlação*⁴⁶ positiva (0,9947)⁴⁷. Já os acumulados anuais entre a climatologia dos 30 anos de chuva para Vigia, e os acumulados anuais médio da climatologia dos 30 anos de chuva para as estações vizinhas de referência, possui *grau alto de correlação positiva* (0,7647). Ao realizar o mesmo procedimento usando como referência para comparação somente as estações mais próximas, Terra Alta e Curuçá, a correlação perdeu força, entende-se com isso que, apesar de pouco mais distantes, Mosqueiro e Santa Izabel do Pará, também possuem alta relevância para consistir nos dados de chuva de Vigia (Apêndice C).

Foi aplicado um modelo de regressão para os “dias com chuva” para testar a consistência dos dados de frequência de dias com chuva (FDC). Foi usada a soma mensal dos dias com chuva no posto pluviométrico de Vigia e a média dos dias com chuva nos postos de referência (Quadro 12, apresentado mais adiante). Apresentou *grau muito alto de correlação*, P valor muito próximo a 0 (95%) e Erro Médio Quadrático igual (MSE) de valor aceitável. Os resultados dos parâmetros são vistos na tabela abaixo (Quadro 11).

Quadro 11 – Parâmetros da Regressão da FDC.

Parâmetros da Regressão: Vigia x Estações de Referência (Dias com Chuva)		
R = 0,93	Valor -P: 9,20E-152	MSE: 1

Fonte: Elaborado pelo autor.

3.2.4.1.3 Correção de Falhas

Para o preenchimento das falhas no posto de Vigia, a técnica geoestatística de Krigagem Ordinária foi selecionada, por ser mais adequada ao trabalho, pela experiência do autor do estudo nesse tipo de técnica e pela bibliografia levantada. Esta foi usada para o preenchimento de falhas do mês 11/2006, assim como para os meses duvidosos, após passarem pelas etapas de consistência de dados e serem descartadas. Uma segunda técnica foi necessária, a Regressão Linear Múltipla, considerando que a mesma falha apresentada na estação pluviométrica de Vigia, se deu também nas outras 4 de referência. Tanto os métodos e técnicas presentes no preenchimento de falhas, principalmente, quanto na parte de análise estatística geral dos dados de chuva, recorreu-se aos trabalhos de: Collischonn; Dornelles (2013); Mello e Oliveira (2016); Tucci (2001); Yamamoto e Landim (2013).

⁴⁶ O objetivo é entender a relação entre duas variáveis, a fim de encontrar um coeficiente que possa atribuir o quanto esta relação é forte. Ela vai de 1 a -1 sendo, quanto mais próximo de 1, terá um perfeito ajuste e uma tendência positiva, e quanto mais próximo a -1, melhor será o ajuste com tendência negativa. A proximidade do zero evidencia baixa correlação entre as variáveis.

⁴⁷ Foi determinada pela $x = \sqrt{r^2}$

Krigagem é um processo geoestatístico de estimativa de valores de variáveis distribuídas no espaço e no tempo, se baseando em valores próximos, quando estes considerados interdependentes pela análise variográfica. Essa complexidade vai além da distância entre pontos, pois o uso da função variograma compreende a existência ou não do efeito pepita, da amplitude e da presença de anisotropia, por isso em geral, se trata de uma estimativa geoestatística superior aos demais métodos. O objetivo é gerar uma estimativa através de um modelo espacial do fenômeno precipitação para a área de Vigia de Nazaré (YAMAMOTO; LANDIM, 2013).

Para dados com distribuição normal ou que apresentem assimetria negativa, a *Krigagem Ordinária* é mais indicada. Sem a necessidade de transformação, ela pode ser feita diretamente sobre os dados originais. A teoria e as funções referentes ao método foram interpretadas de Mello e Oliveira (2016) e Yamamoto e Landim (2013), que descrevem basicamente como, um método local de estimativa em um ponto não amostrado, que resulta da combinação linear dos valores encontrados na vizinhança próxima. Abaixo o estimador da Krigagem Ordinária.

$$[Z_{*ko}(X_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i Z(x_i)] \quad (6)$$

Para a verificação de uma modelagem adequada são revisados os parâmetros: alcance (a), efeito pepita (CO), variância estrutural (C) e patamar (CO + C). O modelo teórico para o semivariograma foi selecionado através da comparação dos resultados para cada um testado, sendo esses, estatísticas de erro médio (ME), que deve ser próximo a (0), raiz quadrada do erro médio padronizado (RMSSE), que deve ser próximo a (1), erro padrão médio (ASE) e raiz quadrada do erro médio (RMSE) que devem ter os valores próximos e menores possível. Estes resultados podem ser vistos nos Apêndices A e B.

Para o uso das técnicas de correção e consistência usaremos dados das 4 estações de referência vizinhas, que foram selecionadas usando o mesmo critério de Obregón e Marengo (2007), pelo menos 3 estações dentro do raio de ± 5 graus no máximo dos dados faltantes. A estação de Vigia de Nazaré fica em: Latitude -0,87/Longitude -48,11. Dessa forma, uma estação a mais que o mínimo, e estas, todas sempre a menos de 1 grau da Estação de coleta (Quadro 12). O preenchimento de falhas nessas estações foi realizado por média aritmética das outras estações para o mesmo mês. Para a correção dos meses com ausência de dados, inclusive nos postos de referência, usaremos a sem de Soure.

Quadro 12 – Postos de referência.

Estação ou Posto Pluviométrica	Distância em Linha Reta para Est. De Vigia	Posição (Lat/Long)	Responsável	Operadora	Método
Terra Alta	28Km	Lat: -1,04 Long: -47,91	ANA	CPRM	Krigagem/Consistência
Curuçá	32Km	Lat: -0,74 Longi: -47,85	ANA	CPRM	Krigagem/Consistência
Mosqueiro	40 Km	Lat: -1,09 Long: -48,40	ANA	CPRM	Krigagem/Consistência
Santa Izabel	48Km	Lat: -1,30 Long: -48,17	ANA	CPRM	Krigagem/Consistência
Soure	43 km	Lat: -0,44 Long: -48,30	INMET	INMET	Regressão Linear Múltipla

Fonte: Elaborado pelo autor.

Foram incluídos a partir dessa técnica, dois valores faltantes: nov./2006 (sem dado) e out./2013 (duvidoso). A técnica apresentou alguns erros altos entre a predição e os valores reais dos postos de referência, entende-se que a baixa cobertura de postos pluviométricos tenha prejudicado a predição. Porém os dados preditos para Vigia acompanham a tendência de aumento ou diminuição de chuvas para a média dos demais postos, não deixando de se aproximar da possível realidade para o mês predito em Vigia, ainda tendo que, nas outras técnicas vistas mais a frente, a correlação entre as estações tenham sido alta.

Para os meses em que houve ausência de dados no arquivo baixado, inclusive para os postos de referência, no período de 03/2018 a 08/2018, foi usado o método de Regressão Linear. Este, é um método convencional e aprimorado para o preenchimento de falhas, podendo ser regressão linear simples ou múltipla. Para a correção, são correlacionadas as precipitações dos meses da série histórica referente a amostra que apresenta falha (Y), às do posto vizinho mais próximo e com características regionais semelhantes, que não apresente falhas para o período que se deseja preencher (X). A análise gráfica se dá pela plotagem cartesiana dos pares (X, Y) e alguns parâmetros estatísticos, para obter uma reta que melhor represente os pares de pontos a fim de usar seus parâmetros para preencher a função descrita anteriormente. Usaremos a

Regressão Linear Múltipla com a EMS de Soure⁴⁸. Através da equação de regressão linear múltipla entre os acumulados mensais e a frequência dos dias com chuva em Soure foram preenchidos os meses com falha em Vigia. Os parâmetros podem ser vistos no Quadro 13.

Quadro 13 – Parâmetros da R.L.M.

Parâmetros da R.L.M: Vigia x Soure (Média Mensal e Dias com Chuva)		
R múltiplo = 0,90	<i>P Valor</i> = 9,39E-026	Erro Padrão = 79,47

Fonte: Elaborado pelo autor.

Ao fim da etapa de consistência e correção de falhas chegamos a uma tabela (Apêndice F), com os acumulados mensais de toda série histórica, suas respectivas médias, desvio padrão e coeficiente de variação. Este dado foi usado na construção de um Box Plot, uma representação em gráfica que divide a série em 3 quartis e apresenta 4 particionamentos de 25% cada, do total das observações para cada mês. Pela técnica conseguimos observar além dos quartis, valores mínimos, máximos, média e mediana. O Gráfico foi produzido pelo Software livre *R*⁴⁹ em seu ambiente integrado *RStudio*.

Os dados diários não passaram pelo processo de correção de falhas, apenas de consistência pela frequência de dias com chuva. Os dados duvidosos foram excluídos assim como toda a série de 2018, por apresentarem 6 meses sem dados. Originou-se dessas observações os produtos frequência de dias com precipitação (FDPRP) e a frequência de ocorrência dos eventos segundo seus acumulados, procedimentos baseados em Collischonn e Dornelles (2013). Também um terceiro produto muito importante para análise de risco hidrometeorológico, os eventos extremos de precipitação usando decil dos registros diários (EEPRP). A técnica dos decis é usada para identificar anomalias de precipitação, assim como extremos diários de precipitação. Para isso, foi usado o decil 0,9 em toda série histórica, incluindo o período menos chuvoso, pois há registros de inundações em alguns desses meses. Esse procedimento foi baseado em Campos, Mota e Santos (2015), e Xavier, Xavier e Alves (2007). Por último os dados brutos das precipitações diárias foram organizados em tabela por ordem cronológica para integrar o produto tabela conjugada chuva-maré.

⁴⁸ Estação Meteorológica de Superfície do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) - [Soure- 48000] (Convencional).

⁴⁹ R Core Team (2021). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Disponível: <https://www.R-project.org/>. Acesso: 20 jan. 2022.

3.2.4.2 Maré

A análise e previsão de maré para os dias atuais e eventos recentes foram realizadas pelo software SisBaHiA® (Sistema Base de Hidrodinâmica Ambiental) da Fundação Coordenação de Projetos, Pesquisas e Estudos Tecnológicos (COPPETEC)/Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro (COPPE/UFRJ), largamente usado para modelagem hidrodinâmica em diversos estudos⁵⁰, inclusive no trabalho que serve como referência nesta pesquisa (LOPES, 2016), sobre os respectivos parâmetros hidrodinâmicos para o Furo da Laura. Apesar do Laboratório de Pesquisa em Monitoramento Ambiental Marinho (LAPMAR-UFPA), possuir as constantes harmônicas necessárias para fazer a previsão de maré, em um período de tempo maior⁵¹ e mais recente e estarem disponíveis ao acesso público, as componentes harmônicas para este trabalho foram calculadas a partir dos dados monitorados em um período de 1 mês disponibilizados via requisição por e-mail, ao Banco Nacional de Dados Oceanográficos (BNDO) da Diretoria Hidrografia e Navegação (DHN) vinculado ao Centro de Hidrografia da Marinha (CHM). Como dito, apesar dos dados do LAPMAR possuírem maior período de observação e fácil acesso, os do DHN disponibilizam um plano de referência de profundidade e uma descrição de referência de nível, todas referenciadas em uma estação maregráfica disponibilizadas em uma ficha (Apêndice E).

Para produzir a previsão de maré o software SisBaHia calcula as constantes harmônicas que influenciam a maré no local da aferição, a partir dos próprios dados da observação e da localização da estação maregráfica. As constantes harmônicas para a estação Ecomar em Vigia-PA (F- 41 – 303 - 001/02) constam no Apêndice E. De posse das constantes harmônicas foram geradas as previsões para toda a série histórica de precipitação, com o objetivo de integrar a tabela conjugada chuva-maré nas suas respectivas datas de registro. Foi usada apenas a maior maré do dia, a preamar.

3.2.4.3 Tabela de Evento Conjugado Chuva-Maré

Usaremos como referência o estudo de Cartacho (2013), que busca o tempo de retorno entre as marés mínimas, médias e máximas ocorridas conjugadas com eventos de chuva. Em nosso caso, as tabelas foram organizadas de forma semelhante ao estudo, contendo a data do acumulado de precipitação, o volume da precipitação em milímetros (mm) e a maior maré para

⁵⁰ Disponível em: <http://www.sisbahia.coppe.ufrj.br/>. Acesso em: jan. 2021.

⁵¹ Período de Coleta: 20/09/2013 a 15/01/2014

o dia, a preamar em metros (m). O objetivo aqui além de contabilizar os possíveis eventos que incorreram em perigo de inundação é simular dois eventos ocorridos durante a série histórica. O ano de 2018 não entrará nas tabelas pelos consecutivos 6 meses de ausência de dados.

3.2.5 Simulação do Evento de risco

Nesta etapa integraremos três novos produtos: 1. A Geolocalização dos registros de inundação; 2. O Modelo Digital de Terreno (MDT) do CENSIPAM para Vigia; 3. As faces de Logradouro do IBGE. Estudos para região já fazem uso de informações da imprensa para analisar eventos extremos de precipitação e suas consequências (CAMPOS; MOTA; SANTOS, 2015; SANTOS, 2010). Para uma pequena cidade como Vigia de Nazaré, os registros em canais oficiais são mais raros, portanto, lançou-se mão de fotos e vídeos nas redes sociais além de alguns registros na imprensa. Com isso, foi montado uma pasta com os diversos registros de inundações em pontos da cidade, em seguida, a identificação da localização do registro, que foi realizada com o auxílio do *Google Street View* (GSV) (VALÉRIO; NEGRÃO, 2019). Dessa forma, criou-se registros de pontos de inundação (Quadro 14, mais adiante).

Mais um produto será integrado a essa metodologia, é a Face de Logradouro do IBGE. Trata-se de uma base de dados geoespacial das linhas que representam graficamente os arruamentos das áreas urbanas. O dado possui como um de seus atributos o Total de Residências (TOT_RES), que é uma estimativa das residências, as unidades residenciais, em cada feição. A metodologia tenta replicar alguns procedimentos realizados em Dias et al. (2018) e Saito et al. (2019). O Objetivo é encontrar a melhor integração possível, produto da interseção da área de risco para o evento selecionado e as feições de face.

O MDT da cidade de Vigia foi produzido em parceria com o CENSIPAM dentro do projeto SIPAMHIDRO, desenvolvido pela instituição para cidades que incorrem em risco hidrometeorológico. A instituição disponibilizou os dados já processados, composto pelos dois produtos, o próprio MDT e um ortomosaico, ambos em altíssima resolução. As curvas de nível foram geradas a cada 0,1 metros, respeitando a resolução do produto.

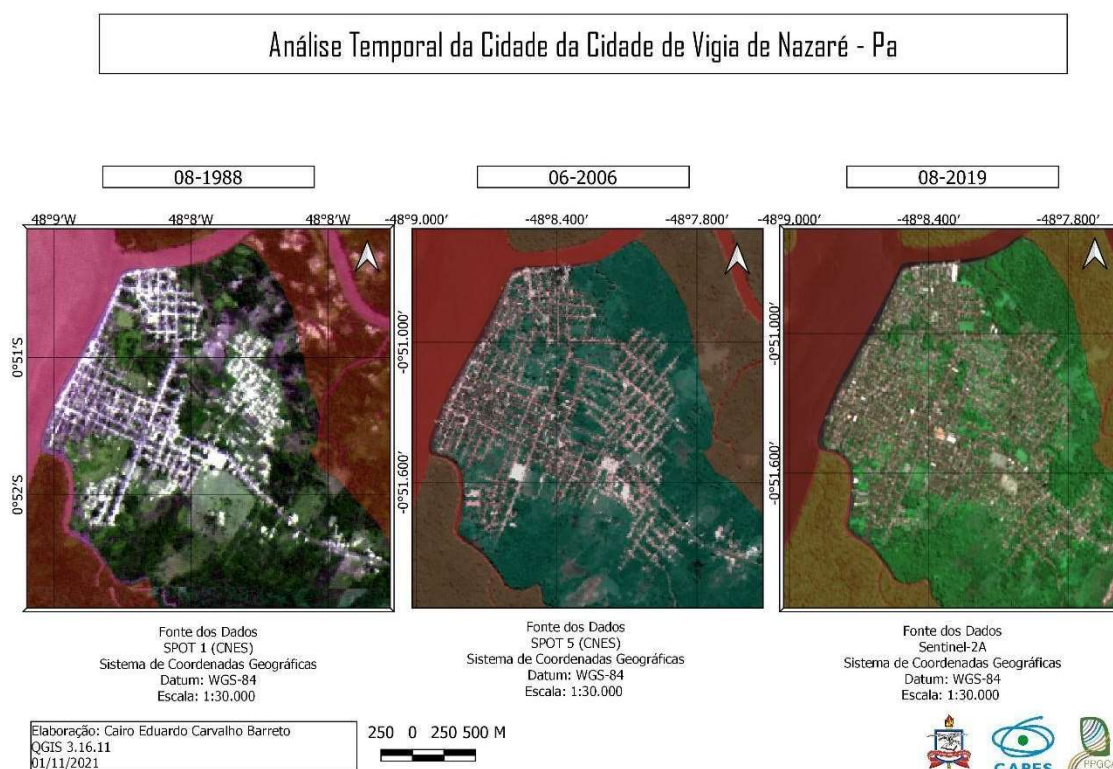
Com a geolocalização dos registros dos pontos de inundação, o Modelo Digital de Terreno (MDT), a e a tabela dos eventos conjugados chuva-maré para o dia do registro, foi realizada uma simulação para as duas datas selecionadas e posteriormente uma estimativa do número de residências atingidas pelas inundações em Vigia pela pelo produto Face Logradouro do IBGE.

3.3 Resultados

3.3.1 Análise Espaço-Temporal por imagens históricas

A análise espaço-temporal da urbanização na cidade de Vigia a partir do Satélites Spot 1 e 5 e Sentinel 2A, apresentada na Figura 24, compreendeu os anos de 1988, 2006 e 2019. Apesar da baixa qualidade do produto referente ao primeiro recorte espacial, ano de 1988, este mostra também feições de vegetação preservadas, assim como possivelmente, a planície inundada, separando o sudeste do bairro do Arapiranga da continuidade da parte urbana a norte da principal via do município, a Av. Dr. Maciolino Alves. O mais importante é que as vias e a vegetação se mantiveram em destaque pelo processamento aplicado, o que dá a possibilidade de destacarmos o adensamento da urbanização dentro do perímetro de observação.

Figura 24 – A análise espaço-temporal da urbanização na cidade de Vigia.

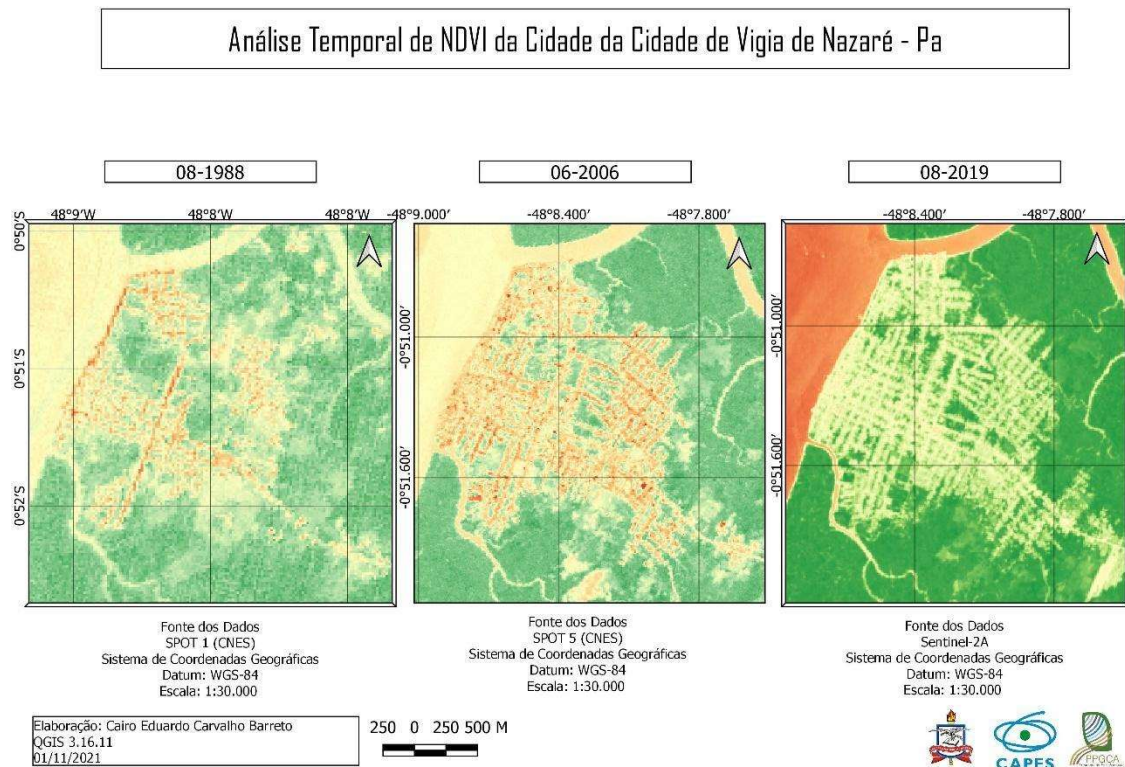


Fonte: Elaboração do autor.

Aplicada a técnica do NDVI (Figura 25) na comparação espaço-temporal, também conseguimos fazer a distinção entre as áreas antropizadas e a cobertura vegetal. O primeiro recorte espacial, ano de 1988, apresenta em intervalos próximos de faixa espectral das áreas antropizadas, áreas inundadas e massa d'água, o que pode gerar falsas interpretações nas classificações automáticas e semiautomáticas. Apesar do resultado do NDVI estar abaixo da qualidade esperada, principalmente nos dois primeiros recortes temporais, podemos facilmente

interpretar que há fragmentação e sucessivas reduções das áreas vegetadas, nos intervalos observados. As áreas vegetadas mais intensamente suprimidas são as do igarapé da Rocinha (Centro) e a da planície do Igarapé do Tujal (Sudoeste).

Figura 25 – A análise espaço-temporal da urbanização na cidade de Vigia usando a técnica do NDVI.



Fonte: Elaboração do autor.

A análise dos dois produtos possibilitou a criação de um terceiro, o cálculo das áreas vegetadas ou superfícies permeáveis dentro da planície de inundação, para cada recorte temporal, a partir de classificação analógica. Observamos que de acordo com o avanço espaço-temporal e da urbanização, há diminuição e fragmentação dos polígonos de vegetação nas planícies fluvio-marinhas. A Tabela 3 mostra os cálculos das áreas vegetadas com seus respectivos anos.

Tabela 3 – Perda da cobertura vegetal.

Ano	Área Vegetada (m ²)	Perda em relação a 1988 (%)
1988	1.079.769,93	-
2006	718.548,00	33,45
2019	428.003,00	60,36

Fonte: Elaborado pelo autor.

Apesar da limitação de qualidade do primeiro recorte espacial e a diferença entre os produtos de missões diferentes, por tanto, características dos sensores e tecnologias diferentes, considera-se que o uso dessa metodologia combinada com os produtos obteve um excelente resultado. Leva-se em consideração o uso raro em análise espaço-temporal da urbanização de pequenas cidades imagens da década de 1980, pelo limitado uso da série SPOT 1, em razão das metodologias de pré-processamento serem menos difundidas e o produto sendo pago, até serem liberados pela Centro Nacional de Estudos Espaciais (CNES) em 2021.

3.3.2 Vulnerabilidade municipal da ZCP

A Tabela 4 apresenta os valores dos índices sintético representativos da quantificação e hierarquização regional da vulnerabilidade ISe, ICa e o produto das duas o IVG, além dos valores padronizados de cada indicador ou variável que compuseram os referidos sub-índices: ISD, ISBI e ISAP do ISE; IFDM e ICAB do ICA.

Tabela 4 – Índices Sintéticos de Vulnerabilidade.

Municípios	ISD	ISBI	ISAP	ISe	IFDM	ICAB	ICa	IVG
Afuá	0,92	1,00	1	1,00	1	1	1,0	1,00
Ananindeua	0,08	0,50	0,25	0,17	0,25	0,25	0,14	0,16
Augusto Corrêa	0,77	0,75	0,5	0,64	0,5	0,0	0,14	0,39
Barcarena	0,23	0,25	0,0	0,04	0,0	0,25	0,00	0,02
Belém	0,00	0,25	0,25	0,04	0,0	0,75	0,29	0,16
Benevides	0,23	0,25	0,0	0,04	0,25	0,0	0,00	0,02
Bragança	0,46	0,50	0,0	0,23	0,5	0,0	0,14	0,18
Cachoeira do Arari	0,46	0,75	0,75	0,62	0,75	1	0,86	0,74
Chaves	1,00	0,00	0,5	0,44	0,5	0,75	0,57	0,50
Colares	0,54	0,00	0,0	0,06	0,25	0,0	0,00	0,03
Curuçá	0,54	0,50	0,5	0,45	0,75	0,25	0,43	0,44

(continua)

Tabela 4 – Índices Sintéticos de Vulnerabilidade.

(conclusão)

Municípios	ISD	ISBI	ISAP	ISe	IFDM	ICAB	ICa	IVG
Magalhães Barata	0,54	0,25	0,0	0,16	0,5	0,0	0,14	0,15
Maracanã	0,54	0,75	0,25	0,45	1,0	0,0	0,43	0,44
Marapanim	0,46	0,25	0,0	0,13	0,5	0,25	0,29	0,21
Marituba	0,15	0,25	0,0	0,0	0,25	0,5	0,29	0,14
Ponta de Pedras	0,46	1,00	0,75	0,72	0,5	0,5	0,43	0,57
Primavera	0,39	0,00	0,0	0,0	0,25	0,0	0,00	0,0
Quatipuru	0,62	0,00	0,0	0,09	0,5	0,5	0,43	0,26
Salinópolis	0,23	0,25	0,0	0,04	0,25	0,0	0,00	0,02
Salvaterra	0,46	0,50	0,5	0,43	0,5	0,5	0,43	0,43
Sta Bárbara do Pará	0,39	0,0	0,0	0,0	0,25	0,0	0,0	0,0
Sta Cruz do Arari	0,54	1,0	1,0	0,85	0,5	0,0	0,14	0,50
Sto Antônio do Tauá	0,39	1,0	1,0	0,79	0,5	0,0	0,14	0,47
S. Caetano de Odivelas	0,46	0,0	0,0	0,03	0,75	0,0	0,29	0,16
São João da Ponta	0,54	0,0	0,0	0,06	0,25	0,0	0,0	0,03
São João de Pirabas	0,62	0,25	0,25	0,29	0,5	0,0	0,14	0,22
Soure	0,46	0,50	0,75	0,52	0,5	0,5	0,43	0,48
Tracuateua	0,62	0,50	0,5	0,49	1,0	0,0	0,43	0,46
Vigia	0,46	0,75	0,75	0,62	0,75	0,5	0,57	0,60
Viseu	0,77	1,00	0,75	0,84	0,5	0,5	0,43	0,64

Fonte: IBGE (2010), IFDM (2010) e DATASUS (2014; 2016).

Quanto ao Índice de Sensibilidade (ISe) os municípios de Afuá (1,0), Santa Cruz do Arari (0,85) Viseu (0,84) apresentaram os maiores valores, indicando uma vulnerabilidade muito alta (Figura 26). Santo Antônio do Tauá (0,79), Ponta de Pedras (0,72), Augusto Corrêa (0,64), Cachoeira do Arari (0,62) e Vigia (0,62), foram classificados com alta vulnerabilidade. Em Vigia, os altos valores proporcionais de internações relacionadas ao saneamento básico inadequado (ISBI) e internações por condições sensíveis à atenção primária (ISAP) foram responsáveis por elevar o Índice de Sensibilidade do município. A maior diferença para Santos (2021), foi vista na saída de Belém e Bragança dos municípios mais críticos, o primeiro por não

se levar mais em consideração o subíndice de Doenças Endêmicas (IDE)⁵² e para a segundo o subíndice de Exposição Costeira (IEC)⁵³

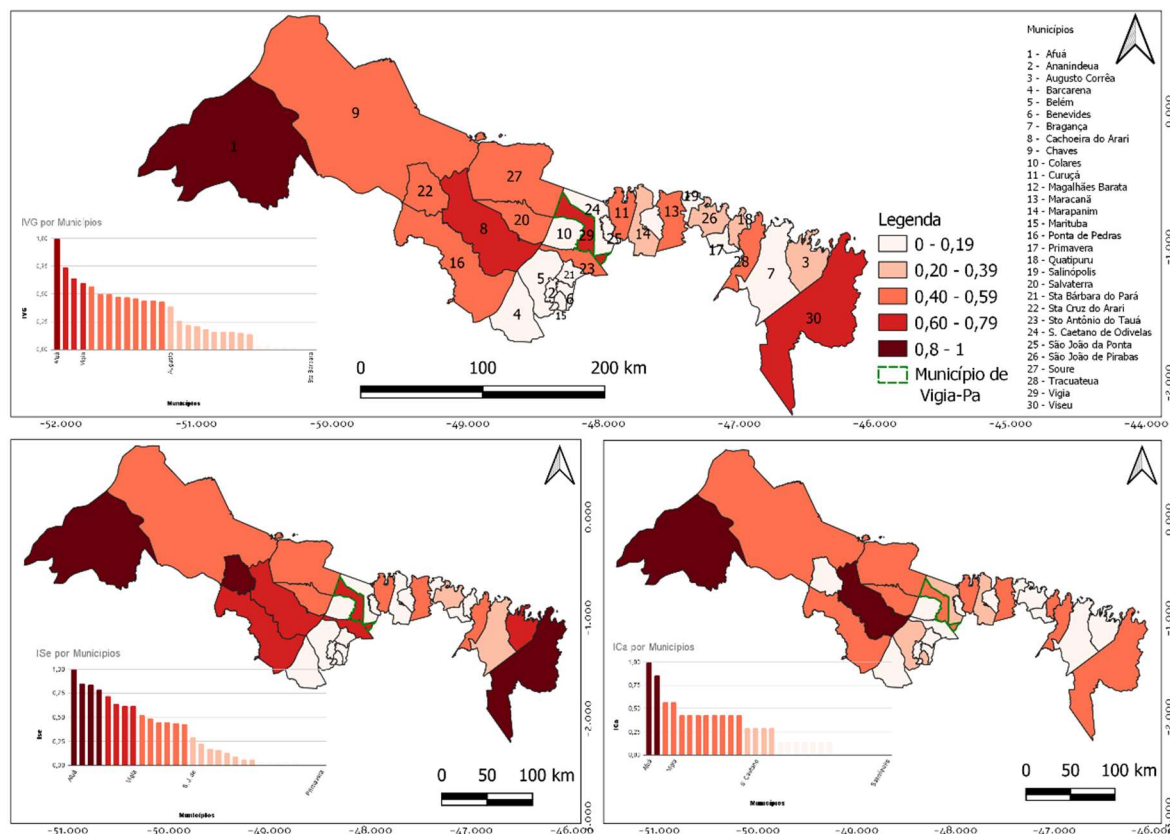
O Índice de Capacidade Adaptativa (ICA) que apresenta os valores dos Índice FIRJAN de desenvolvimento Municipal (IFDM) e Indicador de Cobertura de Atenção Básica (ICAB), apontou os mesmos resultados de Santos (2021), pois não houve adaptação nas variáveis deste índice. Os municípios de Afuá, Cachoeira do Arari, Chaves, Vigia e Curuçá apresentaram os maiores valores (0,43 - 1), indicando vulnerabilidade média a muito alta. O valor médio, quase alto, para o ICA de Vigia foi puxado pelo alto valor do IFDM, de (0,75). Já o ICAB, apresentou um valor médio. A cidade possui o 4º pior índice de capacidade adaptativa da Zona Costeira Paraense.

O município de Afuá (1,0) foi o único classificado como muito alto, evidenciando um valor muito elevado em todas as variáveis e índices analisadas. Os municípios de Cachoeira do Arari (0,74), Viseu (0,64) e Vigia (0,60) foram classificados com Alta Vulnerabilidade Geral. Essa classificação apresentada por Vigia foi puxada pelos altos valores proporcionais de internações relacionadas ao saneamento básico inadequado e internações por condições sensíveis à atenção primária e pelo Índice FIRJAN de desenvolvimento Municipal.

⁵² São elas: Dengue, Leptospirose e Esquistossomose.

⁵³ Considerando os parâmetros físicos: linha costeira em km e distância do centro urbano para a costa.

Figura 26 – Espacialização dos índices de vulnerabilidade.



Fonte: Elaborado pelo autor.

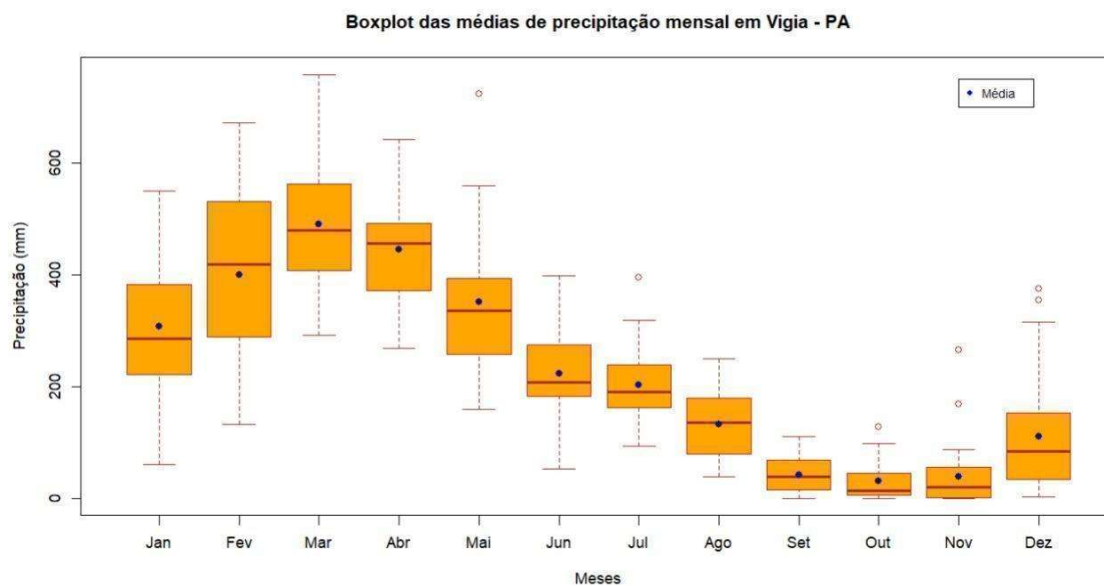
A Figura 26 nos apresenta a visualização do IVG, ISe e ICA, categorizando os municípios em Muito Alta, Alta, Média, Baixa e Muito Baixa Vulnerabilidade. O município de Vigia apresentou alto Índice de Sensibilidade e alto Índice de Capacidade Adaptativa, resultando no alto Índice de Vulnerabilidade Municipal junto a Cachoeira do Arari e Vizeu, em relação aos demais municípios da ZCP.

3.4 Dados hidrometeorológicos e tabela conjugada chuva x maré

3.4.1 Precipitação em Vigia de Nazaré

O padrão mensal da precipitação (Figura 27) apresenta um período chuvoso com média acima de 200 mm do final de dezembro a maio, e menos chuvoso de junho ao início de dezembro, sendo este último reiniciando o período chuvoso principalmente nos últimos dias do mês, por isso a alta variabilidade dos dados no terceiro quartil. O trimestre mais chuvoso é o FEV-MAR-ABR, passando a média de 400 mm e possuindo alta variabilidade, o que pode indicar alta resposta aos sistemas meteorológicos e seu comportamento em relação aos mecanismos oceano-atmosfera.

Figura 27 – Padrão mensal da precipitação em Vigia de Nazaré.



Fonte: Elaborado pelo autor. (ANA, 2021)

Dos tipos de variáveis que caracterizam a chuva por evento diário, só nos é possível avaliar a frequência e intensidade dos acumulados e sua variabilidade mensal e sazonal. Intensidade e duração durante o dia, geralmente medidos em minutos e horas, não estão disponíveis para o posto pluviométrico aqui investigado. A Tabela 5 foi produzida com base nos acumulados diários do posto pluviométrico de Vigia. Dispõe do acumulado em mm, o número de ocorrências dentro da série histórica e a frequência em relação ao total de observações. Observa-se, como padrão, quanto maior a intensidade, menor a frequência (COLLISCHONN; DORNELLES, 2013). Em 54,6% dos registros foram observados dias com chuva. Chuvas intensas acima de 20 mm foram registradas em 12,3% dos dados, ou seja, a cada 10 dias com chuva, pelo menos 1 dia registra mais de 20 mm de precipitação.

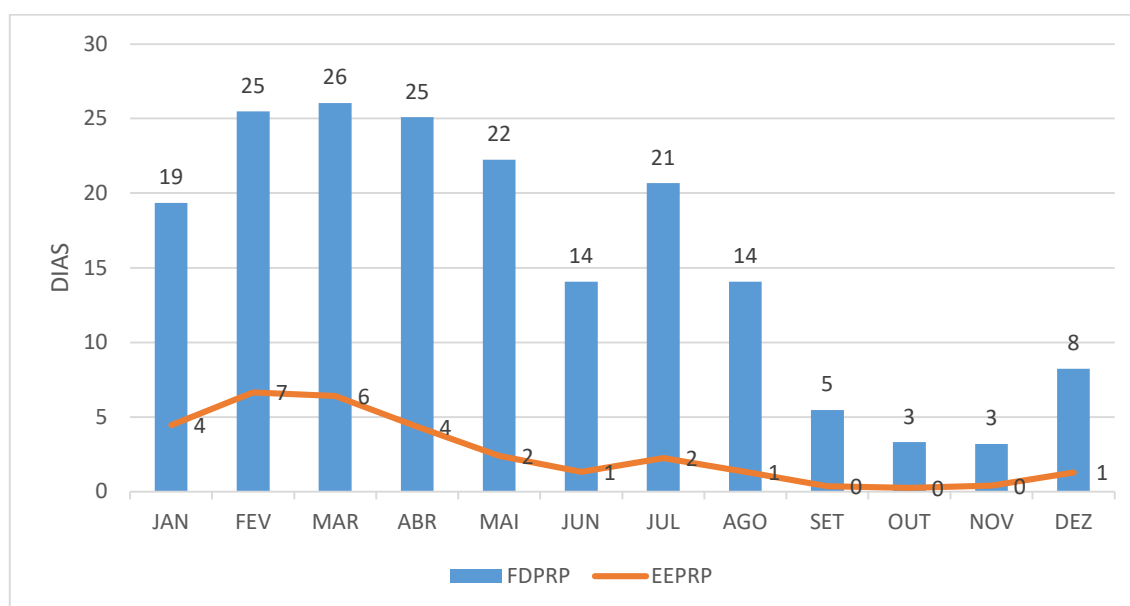
Tabela 5 – Frequência de ocorrências de chuvas diárias no posto pluviométrico de Vigia de Nazaré-PA, disponíveis para o período de 1991 a 2020.

Bloco	Nº de Ocorrências	Frequência
P= Zero	4863	45,4%
P < 10mm	3302	30,8%
10 < P < 20mm	1229	11,5%
20 < P < 30mm	593	5,5%
30 < P < 40mm	335	3,1%
40 < P < 50mm	158	1,5%
50 < P < 60mm	96	0,9%
60 < P < 70mm	52	0,48%
70 < P < 80mm	39	0,36%
80 < P < 90mm	20	0,19%
90 < P < 100mm	17	0,16%
100 < P < 110mm	4	0,04%
110 < P < 120mm	1	0,01%
120 < P < 130mm	3	0,03%
130 < P < 140mm	5	0,05%
140 < P < 150mm	2	0,02%
150 < P < 160mm	1	0,01%
160 < P < 170mm	0	0%
170 < P < 180mm	0	0%
180 < P < 190mm	1	0,01%
190 < P < 200mm	0	0%
P > 200mm	0	0%
Total	10721	100%

Fonte: Elaborado pelo autor. (ANA, 2021)

A frequência dos dias com chuva (FDPRP) também varia temporalmente e é um dado chave para a nossa investigação assim como os eventos extremos de precipitação (EEPRP). O decil 0,9 foi de 24 mm, ou seja, foi considerado um evento extremo de chuva quando o acumulado diário foi igual ou superior a este valor. A média dos dois dados são apresentados no Gráfico 5.

Gráfico 5 – Frequência de dias com Precipitação e Eventos Extremos de Precipitação em Vigia-PA (1991 a 2020).



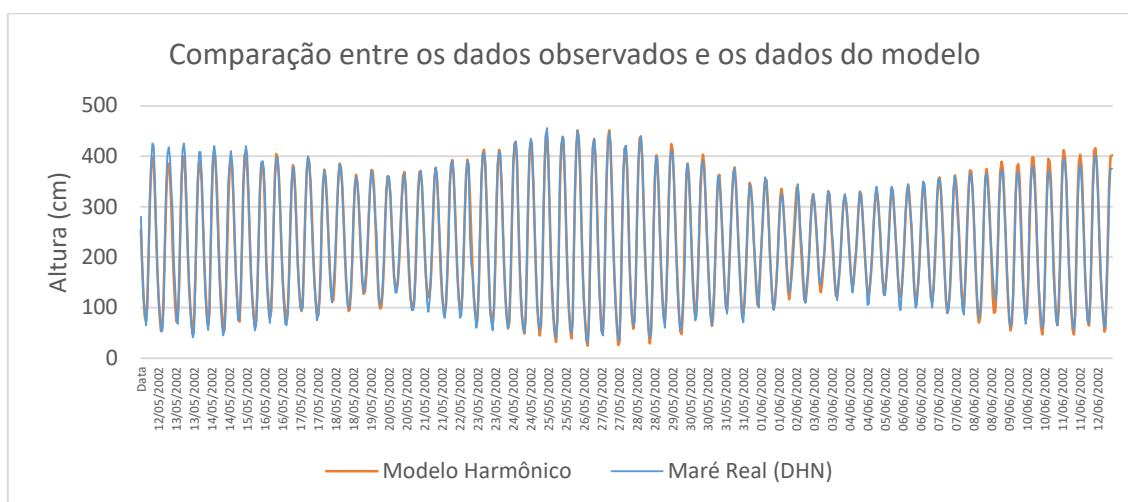
Fonte: Elaborado pelo autor. (ANA, 2021)

Entre os anos de 1991 e 2020, o trimestre FEV-MAR-ABR, é o que registra maior média da frequência de dias com chuva, entre 25 e 26 dias. O trimestre também possui maior registro de EEPRP, trazendo consigo o mês de janeiro, também com altos registros. Em números absolutos, o trimestre mais chuvoso, FEV-MAR-ABR, apresentou respectivamente 206, 192 e 135 registros de EEPRP. O trimestre menos chuvoso SET-OUT-NOV, e que também apresenta grandes amplitudes de maré, evidenciou 11, 8 e 12 registros de EEPRP, que apesar de pouco representativos, também podem gerar situações de risco.

3.4.2 Previsão de Maré

Os dados de maré aqui usados servirão basicamente para compor a tabela de eventos conjugados chuva-maré. Partindo de uma análise básica e consistência dos resultados dos módulos “análise” e “previsão” do software SisbaHia a maré local apresentou característica de macromaré (IBGE, 2011), podendo chegar a 4,56 metros (CHM, 2002). A maré possui características semidiurna ($F=0,129$) e amplitude média de 2,29 metros. Foram identificadas 36 constituintes harmônicas, as de maior significância foram, a M2, S2 e N2, respectivamente, lunar semidiurna principal, solar semidiurna principal e a constituinte elíptica lunar, sendo essas usadas como parâmetro para a previsão de maré para a série histórica de precipitação.

Gráfico 6 – Comparação de 12/05/2002 a 12/06/2002 de dados horários entre os medidos pelo DHN e o modelo harmônico produzido pelo SisBaHia.



Fonte: Elaborado pelo autor. (CHM, 2002)

Para testar a qualidade e a consistência da previsão foram realizados alguns testes. A comparação gráfica e alguns parâmetros entre o dado modelado e o observado (Gráfico 6 e Tabela 6), e o modelo de regressão entre o dado modelado e o observado (Apêndice D), que mostrou grau *muito alto de correlação* (0,9930).

Tabela 6 – Parâmetros entre os dados modelados e observados de 12/05/2002 a 12/06/2002.

Local	Dado	Elev. Max (cm)	Elev. Mín (cm)	R	EQM
Estação	Real	456	30	0,993	1,76
Ecomar	Modelado	451	24,9		

Fonte: Elaborado pelo autor. (CHM, 2002)

3.4.3 Eventos conjugados chuva-maré

Foram produzidas 12 planilhas, uma para cada mês do ano, dos eventos conjugados de chuva-maré. Foi considerada a máxima maré do dia e o acumulado diário de chuva. Para fazer um recorte e diminuir o número de dados, foi considerada apenas datas com marés maiores que 4,0 metros. O mês de março, por exemplo, possui 422 registros de marés acima de 4,0 metros em dia com e sem chuva de 1991 a 2020 (excluindo 2018). A planilhas foram organizadas a partir dos maiores para os menores acumulados diário de precipitação, junto com a data do evento e a maior maré correspondente. O exemplo pode ser visto na Tabela 7 para os meses mais chuvosos, março e abril, dos 20 maiores eventos de precipitação da série.

Tabela 7 – Eventos conjugados chuva-maré.

Chuva (mm)	Maré (m)	Data	Chuva (mm)	Maré (m)	Data
183,7	4,51	10/03/2020	128,4	4,36	10/04/2009
132,9	4,25	18/03/2004	99,8	4,03	28/04/1997
127,0	4,34	08/03/2020	99,0	3,91	27/04/2020
111,3	4,44	20/03/1996	91,1	3,95	23/04/2020
99,1	4,00	29/03/2003	87,5	4,25	25/04/1997
99,0	3,91	04/03/2002	77,8	4,32	15/04/1996
97,2	4,22	09/03/1996	76,0	3,96	02/04/1992
90,5	3,95	03/03/2015	73,5	3,95	10/04/2015
88,1	4,01	07/03/2015	73,3	4,15	15/04/2000
87,3	3,95	04/03/2004	71,5	3,98	08/04/1994
81,7	4,44	09/03/2020	67,1	4,51	19/04/2015
78,5	3,88	14/03/2003	66,8	3,94	24/04/2020
76,7	4,24	01/03/2003	64,5	4,39	28/04/2017
75,9	4,25	03/03/1999	63,0	4,24	01/04/1995
74,3	3,89	11/03/2015	61,7	4,27	20/04/2000
74,0	3,81	16/03/2009	60,4	4,12	21/04/2012
73,9	4,08	13/03/2001	60,3	4,10	06/04/2015
73,2	3,91	25/03/2008	59,1	4,36	10/04/2013
72,1	3,92	02/03/2015	59,0	4,45	15/04/1995
68,9	4,32	09/03/2009	57,0	4,24	14/04/1991

Fonte: Elaboração do autor. (ANA, 2002; BNDO, 2022).

3.4.4 Simulação do evento de risco.

3.4.4.1 Registro dos eventos

Os registros dos eventos de inundação seguiram o esquema da Quadro 14. As imagens usadas no nível das vias pelo mapeamento do *Google Street View*, possuem registros para cidade em 06/2012 e 06/2019. Muitos pontos não foram identificados por conta da falta de passagem do *Google Street View* em algumas áreas, principalmente na baixada da Rocinha, assim como a não atualização completa, contendo somente de 06/2012, o que impossibilitou a identificação das feições de fotos recentes. Outra dificuldade encontrada foi a de localização dos registros, por razão da ausência de referência na descrição das fotos. Os moradores

difícilmente identificam a localização da imagem com o nome da via ou outro ponto de referência.

Quadro 14 – Esquema de identificação dos locais inundados.

Registro	Identificação pelo GSV	Geolocalização
		
		
		

Fonte: Elaborado pelo autor. (Google Earth, 2021; Redes Sociais, 2021)

Foram identificados desse modo 35 pontos de ocorrências de inundação (Figura 28). Os marcadores pretos representam a localização identificada dos registros de inundação, e o rótulo representa a data da publicação da imagem, entende-se que a maioria tenha sido publicada na data do evento ou próxima. Os rótulos em laranja são de registros jornalísticos, sendo assim com maior confiabilidade sobre a data do evento. O registro mais antigo encontrado, dentro da série analisada, foi o de 10/04/2015 e o mais recente para o dia 11/03/2020. No arquivo dos pontos (.kml), foram anexadas as fotos, vídeos ou o link das reportagens correspondentes a cada registro.

Figura 28 – Ocorrências de inundação por registro de imprensa e redes sociais.



Fonte: Elaborado pelo autor. (Google Earth, 2022)

3.4.4.2 Simulação dos eventos de inundação e estimativa de residências atingidas

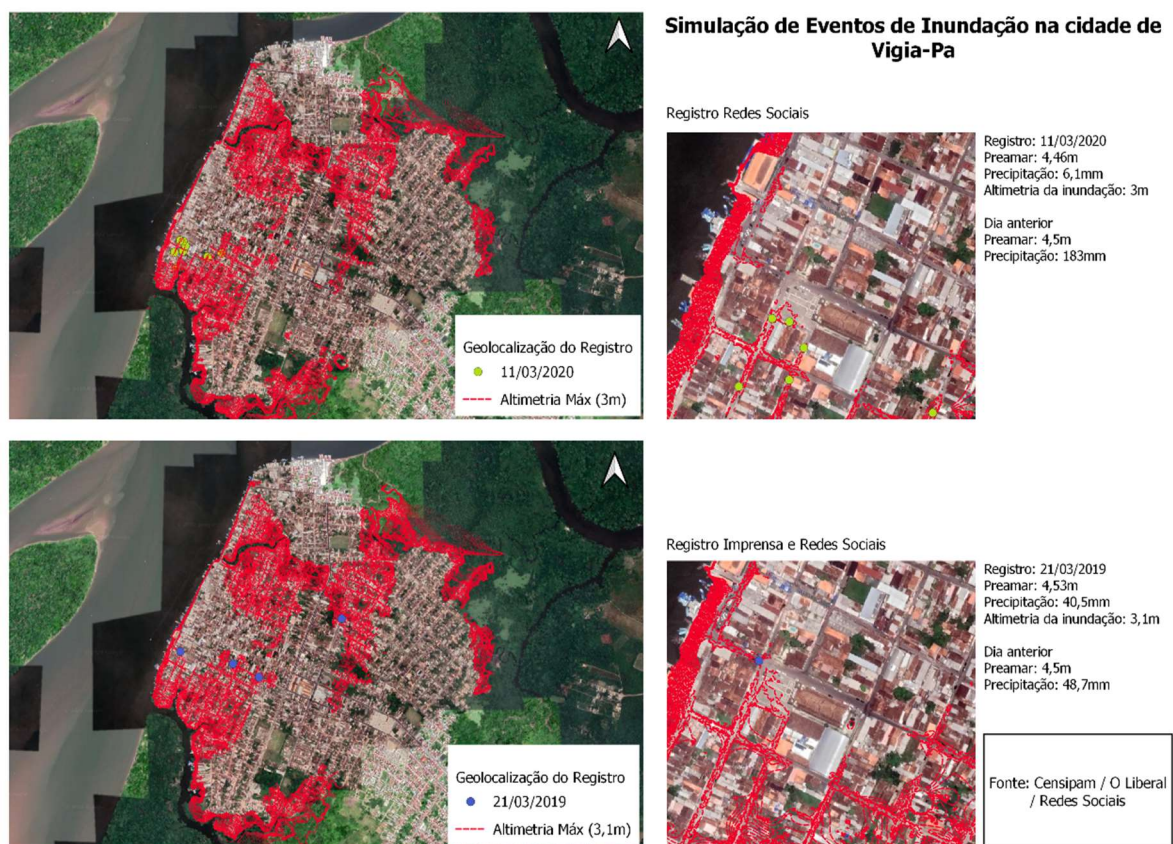
Nessa etapa integramos alguns produtos dos resultados apresentados até aqui para compor nossa simulação dos eventos de inundação na cidade de Vigia. Apesar de se ter levantado pelo menos 6 registros históricos de inundação a fiabilidade da data tornou-se um obstáculo para a metodologia. Portanto, apenas dois registros foram usados nesse momento, o que não impede de em breve, usarmos as demais datas. Os registros são de 11/03/2020 e 21/03/2019, o primeiro foi coletado nas redes sociais e o segundo nas redes sociais e na imprensa. Com o Modelo Digital de Terreno (MDT) de alta resolução, disponibilizado pelo CENSIPAM, a geolocalização dos registros dos pontos de inundação e a tabela dos eventos conjugados chuva-maré, foi realizada uma simulação para as duas datas selecionadas e posteriormente realizada uma estimativa do número de residências atingidas pelas inundações em Vigia.

Os dois eventos tiveram grande repercussão na cidade. É importante que se considere os dias anteriores ao evento, pois foram identificados altos acumulados de chuva. Foram 183 mm no dia 10/03/2020, 81,7 mm no dia 09/03/2020, 127 mm 08/03/2020, e 3,7 mm no dia 07/03/2020, todos com preamar acima de 4,3 m. Apenas dia 06/07/2020 sem registro de precipitação, quebrando os dias consecutivos de chuva anterior à data da simulação. Até a data do dia 11/03/2020 o mês de março/2020, já se registrava um acumulado de 502,3 mm de chuva,

67% do total do mês. O mês março/2020 também teve o 2º maior acumulado da série histórica em todos os meses (1991-2020), com 746,5 mm de chuva, estando muito acima da média para o mês de março (P85).

No dia 20/03/2019, anterior à data da simulação, foi registrado 48,7 mm de chuva e preamar de 4,5 m, e 0,4 mm no dia 19/03/2019 com preamar de 4,38. Até a data do evento, o mês março/2019 já acumulava 439,5 mm de chuva em 21 dias, 67% do total do mês. O mês março/2019 teve o 4º maior acumulado da série histórica (1991-2020) para o mês, com 665,3 mm de chuva, estando muito acima da média (P85) (Figura 29).

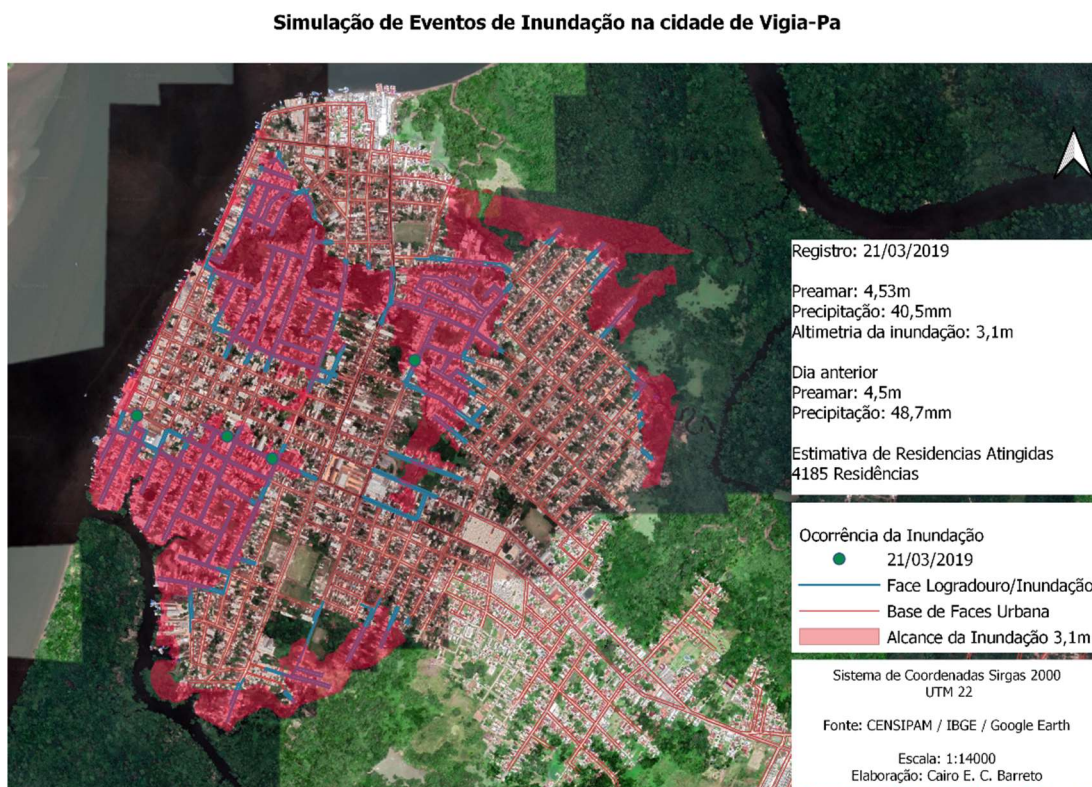
Figura 29 – Simulação do Risco de Inundação em 11/03/2020 e 21/03/2019.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A simulação com as Faces de Logradouro do IBGE nos deu uma noção de quantas residências foram atingidas. A simulação foi realizada apenas com o evento do dia 21/03/2019 (Figura 30) pois apresentaram quase nenhuma diferença entre eles, em relação a integração das Faces de Logradouro com o MDT.

Figura 30 – Simulação de eventos de inundação na cidade de Vigia-PA.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Para os dois eventos estima-se que tenham sido atingidas 4185 residências. É importante destacar que a simulação foi realizada com eventos recentes, portanto melhor divulgados devido ao maior acesso da população a aparelhos celulares e redes sociais, mas as inundações na cidade de Vigia são uma problemática histórica, como foi discorrido no primeiro capítulo dessa dissertação. Todos os registros fotográficos de jornais e redes sociais, assim como os relatos dos moradores indicam risco hidrometeorológico por inundação, em locais de altimetria até 3,1 metros, na área da igreja matriz 21/03/3019 e Travessa Quinze de Novembro com Rua Padre Aragão (09/11/2021). Nos pontos citados não se descarta potencialização da inundação por problemas de microdrenagem, nem em outros pontos mais altos da cidade, por ineficiência de drenagem urbana, porém entende-se que a problemática é causada majoritariamente por inundação podendo haver pontos de alagamento, mas não reconhecidos pelo presente estudo.

Com os eventos simulados, o quadro de eventos conjugados chuva-maré e a determinação dos eventos extremos de precipitação, nesta última etapa objetivou-se quantificar os eventos diários de risco de inundação para os anos de dados de precipitação disponíveis no trabalho. O Quadro 15 mostra quantificação, em duas categorias, dos eventos históricos de risco

na cidade, considerando: Risco Alto o número de eventos com EEPRP e maré maior ou igual a 4 metros e Risco Muito alto evento semelhante a simulação do dia 21/03/2019, com maré maior ou igual a 4 metros e precipitação maior ou igual a 40,5 mm.

Quadro 15 – Número de eventos conjugados Maré ≥ 4 m + Precipitação Extrema (Risco alto) e Número de eventos conjugados Maré ≥ 4 + Precipitação $\geq 40,5$ mm (Risco muito alto). 1991 a 2020 (excluindo o ano de 2018).

Tipo	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Alto	24	56	62	55	39	22	31	12	4	0	5	7
Muito Alto (Simulado)	18	29	60	42	37	19	14	19	0	2	2	6
Total	42	88	122	97	76	41	45	31	4	2	7	13

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os resultados novamente destacam o trimestre de maior precipitação FEV-MAR-ABR como o mais impactados por situações de risco. Somente este trimestre concentra 54% dessas situações, com destaque para os meses precedente e subsequente, que somados ao trimestre, representam 75% da série.

3.5 Discussão

3.5.1 As dimensões do risco

Foram compostas as dimensões do risco segundo os conceitos destacados na introdução, referente aos trabalhos do Projeto GIDES (MDR, 2018), e os produtos processados a partir da base de dados e metodologia dispostas no subtópico de materiais e métodos.

3.5.1.1 Perigo

A área de planície fluvio-marinha (inundação), foi produzida pela extração das curvas de nível do MDT em intervalos de 0,5 metros sendo usado o limite de 4 metros, definido conforme exemplificado na metodologia. Palheta (1980) descreveu a localidade próxima à cidade como a porção mais plana e mais baixa de uma pequena plataforma interfluvial, a Tauá-Vigiense, chegando à altimetria mínima de 6 metros, já alcançando a cidade de Vigia. Barbosa (2007) identificou nível máximo de 4.4 metros para a planície aluvial sob influência de maré, no setor que se estende do norte de Colares até a porção ocidental de Santo Antônio do Tauá, na vizinhança imediata da cidade de Vigia. Barbosa e Bentes (2016) indica forte controle altimétrico topográfico das inundações para a área que compreende a cidade de Vigia, ou seja, o limite do alcance das maiores marés definiria o nível da planície de inundação, chamada de planície fluvio-marinha. Este nível geomorfológico na cidade, apresentando ecossistemas de manguezal e várzea-igapó, que foram gradativamente ocupados, local onde a população e o

poder público alteraram o terreno criando uma superfície “enxuta” de 4 a 5 metros. Luz et al. (2015), usando dados de alta precisão, determinou nível de 4 metros para as planícies de várzea das bacias urbanas de Belém.

A cidade de Vigia perdeu 60,36% da cobertura vegetal dentro da planície de inundação de 1988 para 2019. Foram 651.766 m² de áreas vegetadas transformadas em cobertura impermeável. É consenso nos estudos sobre inundações urbanas que a impermeabilização do solo, quando não seguida da implementação de uma rede de drenagem eficiente, tornam estas áreas críticas ao risco de inundação e alagamento. O excesso de água no sistema, causado por maré alta e chuvas frequentes, combinadas com toda alteração na cobertura e morfometria das sub-bacias urbanas, potencializaram os efeitos de uma inundação, principalmente por não apresentarem soluções estruturais ou medidas não-estruturais (TOMINAGA; SANTORO; AMARAL, 2009; TUCCI, 2008).

Os meses chuvosos duram de final de dezembro a maio, sendo os meses de março e abril mais intensos, passando facilmente os 400 mm em média, e março, o mais chuvoso, alcançando a média de 489,9 mm, coincidindo com o período em que há maior ocorrências de inundações na cidade de Vigia (BARBOSA; BENTES, 2016; SANTOS, 2009). Foram registradas chuvas em 54,6% dos dias da série histórica, tendo os meses de FEV-MAR-ABR-MAI-JUL com mais de 20 dias com chuva, sendo os meses de FEV-MAR possuindo respectivamente 7 e 6 dias de EEPRP em média. A cada 10 dias com chuva, pelo menos 1 dia registra mais de 20 mm de precipitação, próximo ao patamar extremo. Nos eventos simulados de 20/03/2019 e 19/03/2019 a inundação ocupou a maior parte da planície de inundação que é de 4 metros e é densamente ocupada.

O padrão mensal da precipitação (Figura 27) segue o observado para a região em Andrade et al. (2017); Amanajás e Braga (2012); Lopes, Souza e Ferreira, (2013); e Santos (2021). Em Amanajás e Braga (2012), quando apontam padrões espaço temporais pluviométricos para o estado do Pará. A cidade de Vigia se aproxima da primeira região (RH1), a mais chuvosa do estado, e a segunda região (RH2), respectivamente, entre os máximos de 600 mm e 400 mm em março. Em Campos, Mota e Santos (2015), apesar de evidenciar um número mais significativo de EEPRP, o limiar de extremo encontrado (24 mm) está bem próximo ao calculado aqui (23,1 mm). O estudo ainda apontou que para Belém, a maioria dos EEPRP geraram problemas de inundação e alagamento e viraram notícias nos jornais. Neste último caso, guardada a diferença na extensão da área urbana, porém, assentadas sob terrenos bem semelhantes e bem próximos territorialmente.

3.5.1.2 Vulnerabilidade

O município de Vigia, em relação aos demais municípios da região costeira apresentou alto (0,60) Índice de Vulnerabilidade Geral (IVG); alto Índice de Sensibilidade (0,62); e médio (0,57) Índice de Capacidade adaptativa. O que indica que as condições socioeconômicas da cidade e do sistema de saúde em âmbito geral para lidar com situações de risco hidrometeorológico, estão deficitárias. A população está muito exposta a situações de risco em número e condição socioeconômica.

Os altos índices de capacidade adaptativa indicam que há necessidade de promover ações para fortalecer a infraestrutura, os serviços públicos e as relações sociopolíticas e institucionais (VOMMARO; MENEZES; BARATA, 2020). Ainda, apesar de um mediano Índice Socio demográfico (0,46), pouco distante dos piores resultados em comparação com os outros municípios, os índices de saúde que revelam qualidade da atenção básica e do saneamento básico, se mostraram sendo os mais altos entre os demais (0,75 para ambos).

Em Santos (2021) já havia o indicativo de vulnerabilidade média para Vigia pelo Índice de Capacidade Adaptativa (ICA) que, segundo o autor, avalia condição que os sistemas municipais têm de realizar ou introduzir mudanças para acomodar tensões ambientais, políticas e a capacidade de gerenciar melhor quaisquer consequências. Ainda, junto a Curuçá, Vigia apresentou um Alto (0,75) Índice Firjam de Desenvolvimento Municipal (IFDM) nos dois estudos, já que ambos consideram os mesmos dados. Esses dois resultados, principalmente, foram determinantes para indicar de alta vulnerabilidade Geral (0,62) para o município neste estudo. Seguindo a mesma tendência, os resultados de Silva et al. (2018), analisando a relação entre esgotamento sanitário, IDH e mortalidade infantil no estado do Pará, evidenciaram em sua cartografia valores críticos para esgotamento sanitário e bastante representativos para a mortalidade infantil no município de Vigia. Dessa forma, os resultados obtidos aqui reiteram os já encontrados, e reforçam a necessidade de políticas públicas de superação da pobreza e na área da saúde.

3.5.1.3 Desastre

Foram 4185 residências atingidas na simulação do dia 21/03/2019 (Figura 30). Dentro da série histórica pesquisada estima-se que a mesma situação ou próxima repetiu-se 248 vezes que somadas aos eventos EEPRP apontaram no total 568 registros. Destaca-se que ocorre principalmente em ocupações sob a planície de inundação onde a maior parte da população vive em vulnerável condição socioeconômica e em moradias menos adaptadas ao regime

hidrometeorológico da cidade. Se considerada toda a área da planície de inundação, a perspectiva é que a população atingida seja potencialmente maior.

Assim como nos resultados de em Dias et al. (2018) e Saito et al. (2019), a metodologia mostrou-se uma ótima forma de integrar a base de suscetibilidade ao risco, altimetria do terreno, as menores feições censitárias disponibilizadas pelo IBGE, as faces de quadra. Dessa forma foi possível associar as residências que incorreram em risco para cada evento com uma boa acurácia e em um próximo trabalho, requisitar dados socioeconômicos dessa população para melhor compreender suas características.

3.5.1.4 Suscetibilidade

Os fenômenos hidrometeorológicos e sua localização dentro do FL com proximidade e conexão hidrodinâmica com uma baía da dimensão que tem a do Marajó, imprimem algumas condições. A desembocadura norte, região onde se encontra a cidade de Vigia, é dinamicamente mais intensa que a desembocadura sul, na Baía do Sol, em consequência de sua área ser 5 vezes maior. O Furo Norte do FL, ainda detém maior influência hidrodinâmica por sua relação com a Baía do Marajó, observa-se pela ação direta da cooscilação de maré proveniente da Baía e inversão do transporte de volume no período menos chuvoso. (FERNANDES, 2014; LOPES, 2016)

Os trabalhos de Szlafsztein (2003) e Szlafsztein e Sterr (2007), já indicavam maior atenção para a porção SW e W da ZCP, principalmente pela localização das áreas urbanas dentro das *flooded áreas* e sua posição geográfica próxima a costa, apesar da menor extensão deste nível morfológico. Campos, Mota e Santos (2015); Santos (2010); e Luz et al. (2015), para o município de Belém, evidenciam a origem, a gênese e as situações de risco hidrometeorológico, sendo consequência dos eventos extremos de chuva potencializados pela elevação da maré. Ainda há o destaque a relevância do período chuvoso no expressivo número de ocorrências destes registros de inundação, porém não exclusivos, já que estas situações ainda ocorrem fora do período chuvoso.

Os resultados mostram que todos os pontos dos registros de inundação selecionados aqui ficaram até o limite topográfico definido como planície de inundação, 4 metros. As situações de risco tornam-se mais eminentes quando compõem meses com maior FDPRP, tendo mais de 21 dias em média nos meses de FEV-MAR-ABR-MAI, e pela região apresentar regime de macromarés (IBGE, 2011). Como visto no registro das ocorrências e nas referências, a maioria dos eventos de inundação ocorrem no primeiro semestre. O Quadro 15 quantificou por

categorias: *Risco Alto* o número de eventos com EEPRP e maré maior ou igual a 4 metros⁵⁴ e *Risco Muito alto* o evento semelhante a simulação do dia 21/03/2019, com maré maior ou igual a 4 metros e precipitação maior ou igual a 40,5 mm. O mês de março se destaca em relação aos demais e por quase 25 registros a mais (Quadro 15) que fevereiro, o segundo mês mais crítico.

3.6 Conclusão

O município de Vigia de Nazaré-PA incorre em situação de risco hidrometeorológico em boa parte do ano, devido ao seu regime pluviométrico, aos altos acumulados diários de precipitação, ao seu regime de macromarés, a vulnerabilidade socioeconômica da população e do seu sistema de saúde e a ocupação das planícies com intensas alterações antropogênicas. O resultado deste estudo só reforçou os relatos da população, registros das situações de risco e as referências aqui citadas. Com os dados e produtos apresentados neste diagnóstico é possível criar dispositivos para lidar com o risco, a partir do momento que se compreende suas dimensões, é necessário investir no planejamento das etapas que visem medidas de prevenção, mitigação, preparação, resposta e recuperação.

É pertinente a necessidade de um monitoramento de nível de maré no local para melhor identificar suas oscilações, assim como um dado mais detalhado sobre a precipitação, para compreender duração e intensidade dos EEPRP, e disponibilizar tais dados para órgãos de proteção e monitoramento ambiental, para o acompanhamento e criação de uma base de dados para gestão de risco, compartilhada com o município. O CENSIPAM, agora de posse dos dados do aerolevante, poderá ser uma instituição parceira neste projeto, disponibilizando à gestão local o modelo e a simulação de áreas afetadas. Indica-se estudos para cenários futuros no contexto de elevação do nível do mar, sob o contexto de mudanças climáticas e intensificação de eventos extremos. É preciso ter uma atenção a mais para as regiões litorâneas, particularmente suscetíveis, por estarem integradas em processos fluviais e oceânicos, atmosféricos e continentais.

A metodologia de vulnerabilidade apresenta uma comparação entre os municípios da zona costeira, por isto, apontando vulnerabilidade aos riscos típicos dessa região e um direcionamento das políticas nos âmbitos sociais e de saúde voltadas a área costeira, objetivando fortalecer e adaptar a população desses municípios. É importantíssimo que se fortaleça as variáveis apontadas pois melhorando estes indicies, diminui-se o grau de risco. Para

⁵⁴ A maré para os eventos simulado foram maiores de 4,0 metros, porém não foram aferidas na hora do registro das imagens, então considerou-se este limiar para a análise.

melhor regionalização da vulnerabilidade na cidade são necessários dados intraurbanos, indicados para um próximo estudo.

O modelo digital de terreno de alta resolução se mostrou um produto imprescindível para esse tipo de análise. Esse método já é usado em sistemas de monitoramento hidrológico e sua a simulação correspondeu às expectativas. Em breve, com algumas adaptações e validação, pode ser integrado a plataformas de monitoramento de inundação.

REFERÊNCIAS

AMANAJÁS, Jonathan Castro; BRAGA, Célia Campos. **Padrões espaço-temporais pluviométricos na Amazônia Oriental usando análise multivariada**. Revista Brasileira de Meteorologia, Rio de Janeiro, v. 27, n. 4, p. 423-434, 2012.

ANDRADE, Vanda Maria Sales de; CORDEIRO, Iracema Maria Castro Coimbra; SCHWARTZ, Gustavo; VASCONCELOS, Livia Gabrig Turbay Rangel; OLIVEIRA, Francisco de Assis. **Considerações sobre o clima e aspectos edafoclimáticos da Mesorregião Nordeste Paraense**. In: CORDEIRO, I. M. C. C.; VASCONCELOS, L. G. T. R.; SCHWARTZ, G.; OLIVEIRA, F. de A. (org.). Nordeste Paraense: panorama geral e uso sustentável das florestas secundárias. Belém: EDUFRA, 2017. p. 59-96.

ARAÚJO, Alzira Almeida de; SILVA, Maria das Graças da; DINIZ, Francisco Perpetuo Santos. **Paisagens e natureza na comunidade de Vigia: olhares sob novos sentidos e análises**. Brazilian Journal of Development, Curitiba, v. 7, n. 1, p. 7593-7604, jan., 2021.

BARBOSA, Estêvão José da Silva. **Unidades de Relevo em Zona Costeira Estuarina: municípios de Colares e Santo Antônio do Tauá (PA)**. 2007. 96 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Federal do Pará, Belém, 2007.

BENTES, Laressa. **Rede Urbana e pequenas cidades da Amazônia: o caso de Vigia de Nazaré, PA**. 2020. 119 p. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Federal do Pará, Belém, 2020.

BRAGA, Ronaldo Cruz. **Vulnerabilidade Socioambiental diante da ação do mar na zona costeira de Salinópolis-Pará-Amazônia**. 2019. 168 f. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2019.

BARBOSA, Estêvão José da Silva; BENTES, Laressa. **Ocupação urbana em baixadas na Zona Costeira do estado do Pará: análise da cidade de Vigia de Nazaré**. In: BORDALO, C. A. L.; SILVA, C. N. da S.; SILVA, E. V. da S. (org.). Planejamento, conflitos e desenvolvimento sustentável em bacias hidrográficas: experiências e ações. Belém: GAPTA/UFPA, 2016. p. 509-542.

BRASIL. Fundação Nacional de Saúde. **Caderno de pesquisa de engenharia de saúde pública**. Brasília: FUNASA, 2004. 228 p.

BRASIL. **Portaria nº 221**, de 17 de abril de 2008. **Diário Oficial da União**, Poder Executivo, Brasília, DF, 17 abr. 2008.

BRASIL. **Lei nº 12.608**, de 10 de abril de 2012. Institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDEC); dispõe sobre o Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil (SINPDEC) e o Conselho Nacional de Proteção e Defesa Civil (CONPDEC); autoriza a criação de sistema de informações e monitoramento de desastres; altera as Leis nºs 12.340, de 1º de dezembro de 2010, 10.257, de 10 de julho de 2001, 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.239, de 4 de outubro de 1991, e 9.394, de 20 de dezembro de 1996; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Poder Executivo, Brasília, DF, 10 abr. 2012.

BRASIL. **Portaria nº 2.436**, de 21 de setembro de 2021. Aprova a Política Nacional de Atenção Básica, estabelecendo a revisão de diretrizes para a organização da Atenção Básica, no âmbito do Sistema Único de Saúde (SUS). **Diário Oficial da União**, Poder Executivo, Brasília, DF, 21 set. 2021.

BRASIL. **Decreto nº 10.593**, 24 de dezembro 2020. Dispõe sobre a organização e o funcionamento do Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil e do Conselho Nacional de Proteção e Defesa Civil e sobre o Plano Nacional de Proteção e Defesa Civil e o Sistema Nacional de Informações sobre Desastres. **Diário Oficial da União**, Poder Executivo, Brasília, DF, 24 dez. 2020.

CAMPOS, Thamiris Luisa de Oliveira Brandão; MOTA, Maria Aurora Santos da; SANTOS, Sergio Rodrigo Quadros dos. **Eventos extremos de precipitação em Belém-PA: uma revisão de notícias históricas de jornais**. Revista Ambiente & Água, Taubaté, v. 10, n. 1. p. 1-13, 2015.

CARTACHO, Diego Lourenço. **Análise probabilística chuva-maré para a Bacia do Rio Santo Antônio do Caraguatuba (SP)**. 2013. 166 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

CARVALHO, Marcus Vinícius Alves de. **Classificação da cobertura e uso do solo com imagens Worldview-2 utilizando mineração de dados e análise baseada em objetos**. São José dos Campos: INPE, 2011. 179 p.

CENTRO DE PREVISÃO DE TEMPO E ESTUDOS CLIMÁTICOS; INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Condições atuais do ENOS: La Niña**. Cachoeira Paulista: CPTEC; INPE, 2022. Disponível em: <http://enos.cptec.inpe.br/>. Acesso em: 06 ago. 2021.

CENTRO UNIVERSITÁRIO DE ESTUDOS E PESQUISAS SOBRE DESASTRES. **Atlas Brasileiro de Desastres Naturais 1991 a 2012**. 2. ed. rev. ampl. Florianópolis: CEPED/UFSC, 2013. 105 p.

CHUVIECO, Emilio. **Fundamentos de Teledetección Espacial**. 2. ed. Madrid: Ediciones Rialp, 1995.

COHEN, Júlia Clarinda Paiva; SILVA DIAS, Maria Assunção Faus; NOBRE, Carlos Afonso. **Environmental conditions associated with Amazonian squid lines: a case study**. Monthly Weather Review, [S. l.], v. 123, n. 11, p. 3163-3174, 1995.

COLLISCHONN, Walter; DORNELLES, Fernando. **Hidrologia para Engenharia e Ciências Ambientais**. Porto Alegre: ABRH, 2013.

CRÓSTA, Álvaro Penteadó. **Cor no Processamento Digital de Imagem**. In: CRÓSTA, A. P. (ed.). *Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto*. Ed. rev. Campinas: IG/UNICAMP, 1992. p. 59-73.

CUTTER, Susan L. **A ciência da vulnerabilidade: modelos, métodos e indicadores**. *Revista Crítica de Ciências Sociais*, Coimbra, v. 93, p. 59-69, 2011.

DATASUS. **Índices de vulnerabilidade dos municípios paraenses. Ano de referência dos dados: 2014**. Atlas Brasil: 2014. Disponível em: <http://www.atlasbrasil.org.br/consulta/planilha>. Acesso em: 16 mai. 2021.

DATASUS. **Índices de vulnerabilidade dos municípios paraenses. Ano de referência dos dados: 2016**. Atlas Brasil: 2016. Disponível em: <http://www.atlasbrasil.org.br/consulta/planilha>. Acesso em: 16 mai. 2021.

DIAS, Mariane Carvalho de, *et al.* **Estimation of exposed population to landslides and floods risk areas in Brazil, on an intra-urban scale**. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, [S. l.], v. 31, 449-459, 2018.

EL-ROBRINI, Maamar; SILVA, Marcelo Moreno Alves da; SOUZA FILHO; Pedro Walfir; EL-ROBRINI, Maria Helena dos Santos; SILVA JÚNIOR, Osmar Guedes da; FRANÇA, Carmena França de. **Erosão e progradação do litoral brasileiro-Pará**. In: MUEHE, Dieter (org.). **Erosão e progradação do litoral brasileiro**. Brasília: MMA, 2006. p. 41-86. v. 1.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Satélites de Monitoramento**. EMBRAPA, Brasília, 2022. Disponível em: <https://www.embrapa.br/satelites-de-monitoramento/missoes>. Acesso em: 9 set. 2021.

FERNANDES, Aldo Rafael Pascoal. **Caracterização hidrodinâmica do Furo da Laura (Rio Guajará-Mirim), Amazônia Oriental**. 2014. 47 f. Dissertação (Mestrado em Geofísica). – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2014.

FREIRE, Neison Cabral Ferreira; NATEZON, Claudia Eleonor. **Vulnerabilidade social como uma dimensão do risco aos desastres naturais por inundações catastróficas na Zona da Mata Norte do estado de Alagoas, Brasil**. *Revista Ímpeto*, Maceió, número especial, p. 20-33, 2020.

FREITAS, Maria Isabel Castreghini; CUNHA, Lúcio. **Cartografia da vulnerabilidade socioambiental: convergências e divergências a partir de algumas experiências em Portugal e no Brasil**. *Revista Brasileira de Gestão Urbana*, Curitiba, v. 5, n. 1, p. 15-31, 2013.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Vigia (PA)**. IBGE **Cidades e Estados**. Rio de Janeiro: IBGE, 2010. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pa/vigia/pesquisa/1/21682>. Acesso em: 12 abr. 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Atlas geográfico das zonas costeiras e oceânicas do Brasil**. Rio de Janeiro: Diretoria de Geociências do IBGE, 2011. 176 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Demográfico 2010: Aglomerados subnormais - Primeiros resultados**. Rio de Janeiro: IBGE, 2013. p. 1-259

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Características da População e dos Domicílios**. Sistema IBGE de Recuperação Automática (SIDRA). Rio de Janeiro: IBGE, 2021. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/censo-demografico/demografico-2010/universo-caracteristicas-da-populacao-e-dos-domicilios>. Acesso em: 22 mar. 2022.

ÍNDICE FIRJAN DE DESENVOLVIMENTO MUNICIPAL. Consulta ao Índice. **IFDM**, Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: <https://www.firjan.com.br/ifdm/>. Acesso em: 23 fev. 2022.

LIMA, Rubens Rodrigues; TOURINHO, Manoel Malheiros; COSTA, José Paulo Chaves da. **Várzeas flúvio-marinhas da Amazônia brasileira: características e possibilidades agropecuárias**. 1. ed. Belém: SDI, 2001. 341 p. v. 1.

LIRA, Cristina Ponte; AMORIM, Alexandra; SILVA, Ana Nobre; TABORDA, Rui. **Sistemas de Informação Geográfica: Análise de Dados de Satélite**. Lisboa: DGRM, 2016.

LOBATO, Rodrigo; MENEZES, Juliana; LIMA, Luana Alves de; SAPIENZA, José Augusto. **Índice de Diferença Normalizada para Análise da Redução da Mata Atlântica na Região Costeira do Distrito de Tamoios – Cabo Frio/RJ**. Caderno de Estudos Geoambientais, Niterói, v. 1, n. 1, p. 14-22, 2010.

LOPES, Marcio; DE SOUZA, Everaldo; FERREIRA, Douglas. **Climatologia Regional da precipitação no Estado do Pará**. Revista Brasileira de Climatologia, Curitiba, ano 9, v. 12, p. 84-102, jan./jul., 2013.

LOPES, Matheus. **Modelagem Hidrodinâmica 2DH no Furo da Laura-Nordeste Paraense**. Belém-PA, 2016. 76 f. Dissertação (Mestrado em Geofísica) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2016.

LUZ, Luziane Mesquita da; RODRIGUES, Edilson Cardoso; PONTE, Franciney Carvalho da; SILVA, Christian Nunes da. Impactos antropogênicos em bacias urbanas da área central da cidade de Belém-PA. *In*: BORDALO, Carlos Alexandre Leão; SILVA, Christian Nunes da; SILVA, Edson Vicente da (org.). **Planejamento, conflitos e desenvolvimento sustentável em bacias hidrográficas: experiências e ações**. Belém: GAPTA/UFGPA, 2015. p. 439-509.

MAGNO, Joelma Costa. **Influência do tempo nos desastres naturais: problemática das áreas com elevados registros de inundações ou alagamentos, Belém-PA**. 2019. 124 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Federal do Pará, 2019.

MARANDOLA JÚNIOR, Eduardo; HOGAN, Daniel Joseph. **Place vulnerability vs.**

sociodemographic vulnerability: methodological implications of a very old issue. *Revista Brasileira de Estudos de População*, Rio de Janeiro, v. 26, n. 2, p. 161-181, 2009.

MELLO, Yara Rúbia de; OLIVEIRA; Therezinha Maria Novais de. **Análise Estatística e Geoestatística da Precipitação Média para o Município de Joinville (SC).** *Revista Brasileira de Meteorologia*, Rio de Janeiro, v. 31, n. 2, p. 229-239, 2016.

MIGUEL, Bárbara Hass; SANO, Edson Eyji. **Classificação do uso e cobertura da terra do Distrito Federal, Brasil a partir de dado de coerência interferométrica.** *Revista Brasileira de Geografia Física*, Recife, v. 12, n. 2, 427-442, 2019.

MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL. **Manual Técnico para Redução de Riscos de Desastres Aplicado ao Planejamento Urbano.** Brasília: MDR; Secretaria Nacional de Desenvolvimento Urbano, 2018.

NEVES, Cláudio Freitas; MUEHE, Dieter. **Vulnerabilidade, impactos e adaptação a mudanças do clima: a zona costeira.** *Parcerias Estratégicas*, Brasília, v. 13, n. 27, p. 217-296, 2008.

OBREGÓN, Guillermo O.; MARENGO José Antônio. **Caracterização do clima do século XX no Brasil:** tendências de chuvas e temperaturas médias e extremas. Brasília: MMA; Secretaria de Biodiversidade e Florestas; Diretoria de Conservação da Biodiversidade, 2007. (Projeto: Mudanças Climáticas Globais e Efeitos sobre a Biodiversidade; Subprojeto: Caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI). (Relatório 2).

PALHETA, Iraci Gomes de Vasconcelos. **O uso da terra em Tauá-Vigia, estado do Pará.** Tese (Doutorado em Geografia) – Departamento de Geografia, Universidade de São Paulo, 1980.

PEGADO, Rosielle Souza; LIMA, Aline Maria Meiguins; BLANCO, Claudio José Cavalcante; ROEHRING, Jackson; CAROÇA, Carla; COSTA, Francisco Silva; TOSTES, Walenda Silva. **Urban Vulnerability in Lowland Areas: the example of Belém, the Amazon region.** *Gwf-Wasser Abwasser*, [S. l.], international issue, 2012.

PEREIRA, Fabiana da Silva; VIEIRA, Ima Célia Guimarães. **Expansão urbana da Região Metropolitana de Belém sob a ótica de um sistema de índices de sustentabilidade.** *Revista Ambiente & Água*, Taubaté, v. 11, n. 3, p. 731-744, 2016.

PISANI, Maria Augusta Justi. **Sensoriamento Remoto Via Orbital aplicado a estudos urbanos.** São Paulo: EDUSP, 1992. 14 p. (Boletim técnico da Escola Politecnica da USP, DECC, BT/PCC/56).

PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO; INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA; FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO. **Atlas Brasil.** PNUD; IPEA; FJP: 2020. Disponível em: <http://www.atlasbrasil.org.br/perfil>. Acesso em: 5 abr. 2022.

QUINTÃO, Ana Flávia *et al.* **Social, environmental, and health vulnerability to climate change: the case of the municipalities of Minas Gerais, Brazil.** *Journal of Environmental and Public Health*, [S. l.], v. 2017, p. 1-9, mar., 2017.

ROGAN, John; CHEN, Dong Mei. Remote sensing technology for mapping and monitoring land-cover and land-use change. **Progress in Planning**, [S. l.], v. 61, p. 301-325, 2004.

ROSA, Marcos Reis. **Classificação do Padrão de Ocupação Urbana de São Paulo Utilizando Aprendizagem de Máquina e Sentinel 2.** *Revista do Departamento de Geografia, São Paulo*, v. especial, p. 15-21, 2018.

SAITO, Silvia Midori *et al.* **População urbana exposta aos riscos de deslizamentos, inundações e enxurradas no Brasil.** *Sociedade & Natureza, Uberlândia*, v. 31, 2019.

SAKUNO, Natanael Rodolfo Ribeiro; KAWAKUBO, Fernando Shinji; SPALEVIC, Velibor; MINCATO, Ronaldo Luiz. **Mapeamento de Superfícies Impermeáveis em Áreas Urbanas Utilizando Imagens Índices Geradas Pelo Sistema Landsat-5 Thematic Mapper.** *Revista do Departamento de Geografia, São Paulo*, v. especial, eixo 9, p. 190-198, 2017.

SANTOS, Flávio. **Alagamento e Inundação Urbana: Modelo Experimental de Avaliação de Risco.** 2010. 147 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2010.

SANTOS, João Paulo Siqueira dos. **Vigiando a cidade: um olhar contemporâneo sobre a sociedade e o espaço no município de Vigia.** *Vigia-PA*: 2009. 98 p.

SANTOS, Marcos Ronielly da Silva. **O clima e a vulnerabilidade socioambiental: interações na região costeira da Amazônia.** 2021. 133 f. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2021.

SEARCY, James K.; HARDISON, Clayton H. **Manual of Hydrology: Part 1. General Surface-Water Techniques.** Geological Survey Water-Supply. U.S.: 1541-B., 1960.

SILVA, Davi Farias da; COSTA, Gustavo Gutemberg Gonçalves da; LOPES, Maria do Socorro Bezerra; LOPES, David Franco; CUNHA, Márcia Valéria Porto de Oliveira. **Análise da relação entre esgotamento sanitário, IDH e mortalidade infantil no estado do Pará.** *In: FRANCISCO, P. R. M.; SÁ, T. F. F.; BRAGA JR., J. M. (org.). Caderno de Ciência, Pesquisa e Inovação. Campina Grande: EPGRAF, 2018. p. 23-30. v. 1, n. 3.*

SILVA, Rafaela Braga. **Dinâmica costeira, inundações, e vulnerabilidade socioambiental no distrito de Marudá-PA.** 2019. 85 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Federal do Pará, Belém, 2019.

SZLAFSZTEIN, Claudio Fabian. **Vulnerability and response measures to natural hazard and sea level rise impacts: long-term coastal zone management, NE of the State of Pará, Brazil.** *ZMT – Contributions, Bremen*, v. 17, p. 1-192, 2003.

SZLAFSZTEIN, Claudio Fabian; STERR, Horst. **A GIS-based vulnerability assessment of coastal natural hazards, state of Pará, Brazil.** *Journal of Coast Conservation*, [S. l.], v. 11, p. 53-66, 2007.

SZLAFSZTEIN, Claudio Fabian. **Indefinições e Obstáculos no Gerenciamento da Zona Costeira do Estado do Pará, Brasil**. Revista de Gestão Costeira Integrada, [S. l.], v. 9, n. 2, p. 47-58, 2009.

TOMINAGA, Lídia Keiko; SANTORO, Jair; AMARAL, Rosângela do. (org.). **Desastres Naturais: conhecer para prevenir**. São Paulo: Instituto Geológico, 2009. 160 p.

TREITZ, Paul M.; HOWARTH, Phillip J.; GONG, Peng. **Application of Satellite and GIS Technologies for Land – Cover and Land – Use Mapping at the Rural – Urban Fringe: a case study**. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, [S. l.], v. 58, n. 4, p. 439-448, abr., 1992.

TUCCI, Carlos E. M. **Hidrologia: ciência aplicada**. 2. ed. Porto Alegre: Ed. UFRGS; ABRH, 2001.

TUCCI, Carlos E. M. Águas urbanas. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 22, n. 63, p. 97-112, 2008.

UNITED NATIONS OFFICE FOR DISASTER RISK REDUCTION. **Marco de Sendai para a redução do risco de desastres 2015-2030** (Versão em português). Brasília: UNISDR, 2016.

UNITED NATIONS OFFICE FOR DISASTER RISK REDUCTION. **How to make cities more resilient a handbook for local government leaders**. Genebra: UNISDR, 2017.

VALÉRIO, Erick de Lima Sabadelhe; NEGRÃO, Anne Caroline. **Mapeamento de pontos de inundação em áreas urbana usando o Google Street View**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 23., 2019, Foz do Iguaçu/PR. Anais eletrônicos [...]. Foz do Iguaçu: ABRHidro, 2019. Disponível em: <http://abrh.s3.amazonaws.com/Eventos/Trabalhos/107/XXIII-SBRH0639-1-20190504-194254.pdf>. Acesso em: 3 fev. 2022.

VOMMARO, Felipe; MENEZES, Júlia Alves; BARATA, Martha. **Contributions of municipal vulnerability map of the population of the state of Maranhão (Brazil) to the sustainable development goals**. Science of The Total Environment, [S. l.], v. 706, 2020.

YAMAMOTO, Jorge Kazuo; LANDIM, Paulo Milton Barbosa. **Geoestatística: conceitos e aplicações**. São Paulo: Oficina de Textos, 2013.

XAVIER, Teresinha de Maria Bezerra S.; XAVIER, Airton Fontenele Sampaio; ALVES, José Maria Brabo. **Quantís e eventos extremos – aplicações em ciências da terra e ambientais**. Fortaleza: RDS; Editora Livraria Livros Técnicos, 2007. 278 p.

CAPÍTULO 4 – CONCLUSÃO GERAL

1.9 Síntese dos resultados

A Zona Costeira Paraense é multidiversa na composição de suas paisagens e seu processo de ocupação. É primordial que pesquisas alcancem cada vez mais áreas específicas, compreendendo seus ambientes e o modo de reprodução de vida dessas comunidades. O Setor Continental Estuarino da ZCP, possui processos típicos de um litoral resguardado da ação das ondas e da deriva litorânea, porém, integrando atividades típicas de um estuário da grande dimensão, como do Rio Pará, e de pequenos subestuários como o do Rio Guajará-Mirim, Furo da Laura.

O estudo objetivou abranger desde os processos sociais e ambientais no contexto histórico–espacial, criando subsídios para a compreensão da problemática e para a tomada de decisão frente aos eventos de inundação na cidade de Vigia. Ao mesmo tempo, oferece inúmeros produtos das variáveis que cobriram o trabalho, podendo compor programas ou relatórios que visam mitigar os efeitos do risco hidrometeorológico na cidade. A cidade assimilou a implantação e revitalização de suas malhas técnicas, respondendo a processos regionais e locais, sendo expressas em diversas etapas da ocupação do seu núcleo urbano, sendo a última, 4ª etapa, de maneira mais contraditória.

O tratamento, análise e produção de dados ambientais expôs aspectos do ambiente, em seus elementos climáticos e hidrográficos, que nos deram o seguinte cenário de suscetibilidade ao risco. Uma região de altos índices de precipitação de janeiro a maio, mais de 300 mm em média, 1/3 da área urbana assentada a uma altimetria de 4 metros a 4,5 metros, sujeita às oscilações do ambiente costeiro, com maré de sizígia equinociais atingindo 4,56 metros, ainda que se considere a forte relação da comunidade local integrada e reproduzida neste ambiente, o fenômeno urbano e a degradação da paisagem natural expõem cada vez mais a população aos riscos destes fatores.

As baixadas de Vigia exprimem esse processo conflituoso fruto da modernidade tardia, da segregação e das desigualdades sociais. O produto disto é a forte degradação ambiental pela ocupação de terreno impróprio à reprodução do modo de vida. O risco hidrometeorológico em Vigia faz parte de um processo socialmente construído às vistas de gestões omissas e de respostas tardias, de uma sociedade integrada e pertencente a este ambiente, porém sem conscientização e suporte de suas expressões no espaço. Assim, é necessário assegurar que os assentamentos humanos sejam inclusivos, seguros, resilientes e sustentáveis – Objetivos de

Desenvolvimento Sustentável (ODS⁵⁵) 11 –, é essencial medida em âmbito urbano, que incorra em reduzir cada vez mais o grau de vulnerabilidade que o espaço urbano impõe aos seus residentes.

As dimensões do risco hidrometeorológicos em Vigia tenta sistematizar cada fator que produz o risco, usando dados socioambientais. Fatores como a supressão da cobertura vegetal na planície de 60,36% em 31 anos, média de 25 dias FDPRP no trimestre FEV-MAR-ABR e 4 a 7 dias EEPRP no mesmo período em conjugado com marés com chegando a 4,56 m, são fortes condicionantes para a ameaça hidrometeorológica. Ao ponto que grandes eventos de inundação têm atingido número considerável de residências, e esses possuem grande recorrência durante o ano, em um contexto de alta vulnerabilidade socioeconômica e de sensibilidade do sistema de saúde da cidade, em relação à região costeira.

1.10 Perspectivas

É necessário a elaboração de um documento oficial sobre políticas de prevenção e mitigação a riscos e desastres, dispostas na legislação municipal, lei orgânica, plano diretor ou outro instrumento, que forneça diretrizes desde a educação ambiental até medidas estruturais e estruturantes. A pesquisa in loco foi dificultada pelo contexto da pandemia, mas há disponibilidade de maior documentação sobre a problemática do risco em Vigia, assim como atores sociais de alta relevância e conhecimento que possam contribuir com entrevistas.

Tendo como resultado o alto grau de vulnerabilidade do município em relação aos demais da ZCP, e a forte integração entre o tempo da cidade (dos moradores) e o tempo da dinâmica dos elementos hidrometeorológicos na região, compreende-se que é necessário, assim como para Belém, por Magno (2019), que se execute um trabalho sobre a influência do tempo (comportamento temporal da inundação), na vulnerabilidade, uma vez este indica e forneça melhor compreensão sobre a vulnerabilidade e resiliência dos grupos dentro de determinada situação de risco.

O MDT de alta resolução produzido pelo CENSIPAM, abre inúmeras possibilidades. Como o acordo foi firmado tardiamente, pelas limitações de cooperação que a pandemia impôs, o processamento e o uso do material não exploraram toda sua potencialidade. É possível realizar em mapeamento de risco com altíssimo detalhamento, e que se compatibilizado com a cota de maré observada no local, pode antecipar situações de risco, assim como já disponível para outros municípios no projeto SIPAMHidro.

⁵⁵ ODS-Organização das Nações Unidas (ONU). Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em: 22 mai. 2021.

Do ponto de vista técnico instrumental indica-se a instalação de plataformas de coleta de dados que possam aferir o nível do rio em sua sazonalidade e sob efeito de maré, e uma estação meteorológica que possa disponibilizar parâmetros mais específicos como, dado de precipitação horário ou menor, direção e velocidade do vento e pressão atmosférica. Objetivando melhor compreensão do padrão dos extremos de chuva (duração intensidade) e maré meteorológica, por exemplo, elementos como intensidade e duração dos eventos extremos de chuva, assim como a variação do nível do rio são primordiais para análise dos eventos de risco.

Como proposto nas correções, usar estimador de alta resolução para fazer a análise de tempo e clima, para comparar os resultados com os obtidos aqui usando o posto pluviométrico da Agência Nacional de Água (ANA). Dessa forma compreender melhor espacialmente a característica da chuva na cidade e entorno.

REFERÊNCIAS

- AMARAL, Rosângela; RIBEIRO, Rogério Rodrigues. **Inundação e enchentes**. In: TOMINAGA, Lídia Keiko; SANTORO, Jair; AMARAL, Rosângela do. (org.). *Desastres Naturais: conhecer para prevenir*. São Paulo: Instituto Geológico, 2009. p. 40-53.
- ANDRADE, Vanda Maria Sales de; CORDEIRO, Iracema Maria Castro Coimbra; SCHWARTZ, Gustavo; VASCONCELOS, Livia Gabrig Turbay Rangel; OLIVEIRA, Francisco de Assis. Considerações sobre o clima e aspectos edafoclimáticos da Mesorregião Nordeste Paraense. In: CORDEIRO, I. M. C. C.; VASCONCELOS, L. G. T. R.; SCHWARTZ, G.; OLIVEIRA, F. de A. (org.). **Nordeste Paraense: panorama geral e uso sustentável das florestas secundárias**. Belém: EDUFRA, 2017. p. 59-96.
- ARAÚJO, Alzira Almeida de; SILVA, Maria das Graças da; DINIZ, Francisco Perpetuo Santos. **Paisagens e natureza na comunidade de Vigia: olhares sob novos sentidos e análises**. Brazilian Journal of Development, Curitiba, v. 7, n. 1, p. 7593-7604, jan., 2021.
- BARBOSA, Estêvão José da Silva. **Unidades de Relevo em Zona Costeira Estuarina: municípios de Colares e Santo Antônio do Tauá (PA)**. 2007. 96 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Federal do Pará, Belém, 2007.
- BARBOSA, Estêvão José da Silva; BENTES, Laressa. Ocupação urbana em baixadas na Zona Costeira do estado do Pará: análise da cidade de Vigia de Nazaré. In: BORDALO, C. A. L.; SILVA, C. N. da S.; SILVA, E. V. da S. (org.). **Planejamento, conflitos e desenvolvimento sustentável em bacias hidrográficas: experiências e ações**. Belém: GAPTA/UFPA, 2016. p. 509-542.
- BENTES, Laressa; RAIOL, Rita de Kássia Siqueira. **Formação urbana e serviços em Vigia de Nazaré – Litoral do Estado do Pará**. 2017. 101 f. Trabalho de Conclusão do Curso (Graduação em Geografia) – Universidade do Estado do Pará, Vigia de Nazaré, 2017.
- BENTES, Laressa. **Rede Urbana e pequenas cidades da Amazônia: o caso de Vigia de Nazaré, PA**. 2020. 119 p. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Federal do Pará, Belém, 2020.
- BERTONE, Pedro; MARINHO, Clarice. **Plano de gestão de riscos e resposta a desastres naturais: a visão do planejamento**. Anais VI Congresso CONSAD de Gestão Pública, Brasília, n. 21, p. 1-24, 2013.
- BRAGA, Ronaldo da Cruz; PIMENTEL, Márcia Aparecida da Silva; ROCHA, Edson José Paulino. **Mudanças climáticas e impactos da elevação do nível do mar na zona costeira: pesquisa bibliográfica e contribuição conceitual**. Fronteiras: Journal of Social, Technological and Environmental Science, Anápolis, v. 9, n. 1, p. 230-255, 2020.
- BRASIL. **Lei nº 7.661**, de 16 de maio de 1988. Institui o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro e dá outras providências. Diário Oficial da União, Poder Executivo, Brasília, DF, 16 mai. 1988.

BRASIL. **Decreto nº 5.300**, de 7 de dezembro de 2004. Regulamenta a Lei nº 7.661, de 16 de maio de 1988, que institui o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro (PNGC), dispõe sobre regras de uso e ocupação da zona costeira e estabelece critérios de gestão da orla marítima, e dá outras providências. *Diário Oficial da União, Poder Executivo, Brasília, DF, 7 dez. 2004.*

BRASIL. **Lei nº 12.608**, de 10 de abril de 2012. Institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDEC); dispõe sobre o Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil - SINPDEC e o Conselho Nacional de Proteção e Defesa Civil - CONPDEC; autoriza a criação de sistema de informações e monitoramento de desastres; altera as Leis nºs 12.340, de 1º de dezembro de 2010, 10.257, de 10 de julho de 2001, 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.239, de 4 de outubro de 1991, e 9.394, de 20 de dezembro de 1996; e dá outras providências. *Diário Oficial da União, Poder Executivo, Brasília, DF, 10 abr. 2012.*

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. **Diagnóstico de capacidades e necessidades municipais em proteção e defesa civil**. Brasília: MDR; Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil, 2021.

CAMPOS, Thamiris Luisa de Oliveira Brandão; MOTA, Maria Aurora Santos da; SANTOS, Sergio Rodrigo Quadros dos. **Eventos extremos de precipitação em Belém-PA: uma revisão de notícias históricas de jornais**. *Revista Ambiente & Água, Taubaté, v. 10, n. 1. p. 1-13, 2015.*

CANIL, Kátia; LAMPIS, Andrea; SANTOS, Kauê Lopes dos. **Vulnerabilidade e a construção social do risco: uma contribuição para o planejamento na macrometrópole paulista**. *Cad. Metrop., São Paulo, v. 22, n. 48, p. 397-416, mai./ago., 2020.*

CENTRO DE HIDROGRAFIA DA MARINHA. Banco Nacional de Dados Oceanográficos. **Observação de Maré**. Nome da Estação: Fábrica ECOMAR. Data inicial: 12/05/2002; data final: 12/06/2002. Niterói: CHM, 2002.

CENTRO UNIVERSITÁRIO DE ESTUDOS E PESQUISAS SOBRE DESASTRES. **Atlas Brasileiro de Desastres Naturais 1991 a 2012**. 2. ed. rev. ampl. Florianópolis: CEPED/UFSC, 2013. 105 p.

CHRISTOFOLETTI, Antonio. **Geomorfologia**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1980.

COHEN, Júlia Clarinda Paiva; SILVA DIAS, Maria Assunção Faus; NOBRE, Carlos Afonso. **Environmental conditions associated with Amazonian squid lines: a case study**. *Monthly Weather Review, [S. l.], v. 123, n. 11, p. 3163-3174, 1995.*

EL-ROBRINI, Maamar; SILVA, Marcelo Moreno Alves da; SOUZA FILHO; Pedro Walfir; EL-ROBRINI, Maria Helena dos Santos; SILVA JÚNIOR, Osmar Guedes da; FRANÇA, Carmena França de. **Erosão e progradação do litoral brasileiro-Pará**. *In: MUEHE, Dieter (org.). Erosão e progradação do litoral brasileiro. Brasília: MMA, 2006. p. 41-86. v. 1.*

FRANÇA, Carmena Fadul Ferreira; SOUZA FILHO, Pedro Walfir Martins e. **Análise das mudanças morfológicas costeiras de médio período na margem Leste da Ilha de Marajó (PA) em imagem Landsat**. *Revista Brasileira de Geociências, São Paulo, v. 33, n. 2, p. 127-136, 2003.*

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Enciclopédia dos municípios brasileiros: municípios dos Estados do Amazonas, Pará e territórios**. Rio de Janeiro: IBGE; Conselho Nacional de Geografia; Conselho Nacional de Estatística, 1957. v. 14.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Vigia (PA). **IBGE Cidades e Estados**. Rio de Janeiro: IBGE, 2010. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pa/vigia/pesquisa/1/21682>. Acesso em: 12 abr. 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Atlas geográfico das zonas costeiras e oceânicas do Brasil**. Rio de Janeiro: Diretoria de Geociências do IBGE, 2011. 176 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Demográfico 2010: Aglomerados subnormais - Primeiros resultados**. Rio de Janeiro: IBGE, 2013. p. 1-259.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Potencial de agressividade climática na Amazônia Legal**. Rio de Janeiro: IBGE; Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, 2014. 15 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Características da População e dos Domicílios. Sistema IBGE de Recuperação Automática (SIDRA)**. Rio de Janeiro: IBGE, 2021. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/censo-demografico/demografico-2010/universo-caracteristicas-da-populacao-e-dos-domicilios>. Acesso em: 22 mar. 2022.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Alterações climáticas: impactos, adaptação e vulnerabilidade resumo para decisores**. Brasília: MEC, 2014.

KJERFVE, Björn. **Manual for investigation of hydrological processes in mangrove ecosystems**. Nova Déli: UNESCO/UNDP, 1990. 79 p.

LIMA, Rubens Rodrigues; TOURINHO, Manoel Malheiros; COSTA, José Paulo Chaves da. **Várzeas flúvio-marinhas da Amazônia brasileira: características e possibilidades agropecuárias**. 1. ed. Belém: SDI, 2001. 341 p. v. 1.

LUZ, Luziane Mesquita da; RODRIGUES, Edilson Cardoso; PONTE, Franciney Carvalho da; SILVA, Christian Nunes da. Impactos antropogênicos em bacias urbanas da área central da cidade de Belém-PA. *In*: BORDALO, Carlos Alexandre Leão; SILVA, Christian Nunes da; SILVA, Edson Vicente da (org.). **Planejamento, conflitos e desenvolvimento sustentável em bacias hidrográficas: experiências e ações**. Belém: GAPTA/UFGPA, 2015. p. 439-509.

MARANDOLA JÚNIOR, Eduardo; HOGAN, Daniel Joseph. **O risco em perspectiva: tendências e abordagens**. Geosul, Florianópolis, v. 19, n. 38, p. 25-58, jul./dez., 2004.

MARANDOLA JÚNIOR, Eduardo; HOGAN, Daniel Joseph. **Vulnerabilidades e riscos: entre geografia e demografia**. Revista Brasileira de Estudos de População, Rio de Janeiro, v. 22, n. 1, p. 29-53. jan./jun., 2005.

- MARANDOLA JÚNIOR, Eduardo; HOGAN, Daniel Joseph. **As dimensões da vulnerabilidade**. São Paulo em Perspectiva, São Paulo, v. 20, n. 1, p. 33-43, jan./mar., 2006.
- MARANDOLA JÚNIOR, Eduardo; HOGAN, Daniel Joseph. **Place vulnerability vs. sociodemographic vulnerability: methodological implications of a very old issue**. Revista Brasileira de Estudos de População, Rio de Janeiro, v. 26, n. 2, p. 161-181, 2009.
- MARENGO, José Antônio; ESPINOZA, Jhan-Carlo. **Extreme seasonal droughts and floods in Amazonia: causes, trends and impacts**. International Journal of Climatology, v. 36, n. 3, 1033-1050, 2015.
- MCKEE, T. B.; DOESKEN, N. J.; KLEIST, J. **The relationship of drought frequency and duration to time scales**. *In: Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology*. American Meteorological Society, Anaheim, p. 179-183, 1993.
- MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL. **Manual Técnico para Redução de Riscos de Desastres Aplicado ao Planejamento Urbano**. Brasília: MDR; Secretaria Nacional de Desenvolvimento Urbano, 2018.
- MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL. **GIRD+10: Caderno técnico de gestão integrada de riscos e desastres**. Coordenação: Samia Nascimento Sulaiman. 1. ed. Brasília: MDR; Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil, 2021.
- NINA, Alex Santiago; SZLAFSSTEIN, Cláudio Fabian. **Efeitos de desastres naturais no desempenho orçamentário do Estado do Pará**. Novos Cadernos NAEA, Belém, v. 17, n. 2, p. 265-285, 2014.
- OLIVEIRA, Márcia Regina Lima de; NICOLODI, João Luiz. **A Gestão Costeira no Brasil e os dez anos do Projeto Orla: uma análise sob a ótica do poder público**. Revista de Gestão Costeira Integrada, [S. l.], v. 12, n. 1, p. 91-100, 2012.
- OLIVEIRA, Regina Célia de. **Dinâmica de funcionamento da paisagem e relações de ocupação e risco de movimentos de massa e inundações: cenários da região da Baixada Santista no estado de São Paulo e das costas do cacau e do descobrimento no estado da Bahia, Brasil**. Revista Territorium, Coimbra, n. 17, p. 151-160, 2010.
- OLIVEIRA, Márcia Regina Lima de; NICOLODI, João Luiz. **A Gestão Costeira no Brasil e os dez anos do Projeto Orla: uma análise sob a ótica do poder público**. Revista de Gestão Costeira Integrada, [S. l.], v. 12, n. 1, p. 91-100, 2012.
- PALHETA, Iraci Gomes de Vasconcelos. **O uso da terra em Tauá-Vigia, estado do Pará**. Tese (Doutorado em Geografia) – Departamento de Geografia, Universidade de São Paulo, 1980.
- PAINEL BRASILEIRO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS. **Impacto, vulnerabilidade e adaptação das cidades costeiras brasileiras às mudanças climáticas: Relatório Especial do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas**. Ed.: MARENGO, J. A.; SCARANO, F. R. Rio de Janeiro: PBMC; COPPE/UFRJ, 2016. 184 p.

PRESTES, Yuri Onça. **Interações físicas entre o estuário do Rio Pará e a Plataforma Continental no Norte do Brasil**. 2016. 122 f. Dissertações (Mestrado em Oceanografia) – Universidade Federal de Pernambuco, 2016.

PRESTES, Yuri O.; SILVA, Alex Costa da; JEANDEL, Catherine. **Amazon water lenses and the influence of the North Brazil Current on the continental shelf**. *Continental Shelf Research*, [S. l.], v. 160, p. 36-48, 2018.

PROST, Maria Tereza; MENDES, Amilcar Carvalho. Dinâmica morfosedimentar dos manguezais amazônicos: Guiana Francesa, Amapá e Pará. *In*: CASTRO, E.; MENDES, A.; PROST, T. (org.). **Ecossistemas Amazônicos: dinâmicas, impactos e valorização dos recursos naturais**. Belém: Museu Paraense Emílio Goeldi. p. 17-33.

ROSÁRIO, Renan Peixoto. **Análise de processos oceanográficos no estuário do Rio Pará**. 2016. 139 f. Tese (Doutorado em Geofísica) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2016.

SANTOS, Flávio. **Alagamento e Inundação Urbana: modelo experimental de avaliação de risco**. 2010. 147 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2010.

SANTOS, João Paulo Siqueira dos. **Vigiando a cidade: um olhar contemporâneo sobre a sociedade e o espaço no município de Vigia**. Vigia: 2009. 98 p.

SANTOS, Leonardo Sousa dos; SILVA JUNIOR, Orleno Marques da; ROCHA, Marco Aurélio Nunes da. **Mapa de múltiplas ameaças: um sobreaviso a população amazônica**. AGB, Bauru, v. 2, p. 626-641, 2019.

SANTOS, Marcos Ronielly Silva; VITORINO, Maria Isabel; CARNEIRO, Luci Cajueiro Carneiro. **Spatiotemporal Variation in the Precipitation of the Amazon Coastal Zone: Use of Remote Sensing and Multivariate Analysis**. *Revista Brasileira de Climatologia*, Curitiba, v. 25, p. 35-53, 2019.

SANTOS, Marcos Ronielly da Silva. **O clima e a vulnerabilidade socioambiental: interações na região costeira da Amazônia**. 2021. 133 f. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2021.

SANTOS, Suanne Honorina Martins dos. **Acidentes com transportes hidroviários e os extremos meteorológicos no Nordeste da Amazônia**. 2015. 82 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2015.

SANTOS, S. R. Q.; BRAGA, C. C.; SANSIGOLO, C. A.; SANTOS A. P. P. **Determinação de Regiões Homogêneas do Índice de Precipitação Normalizada (SPI) na Amazônia Oriental**. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 32, n. 1, p. 111-122, 2017.

SECRETARIA NACIONAL DE PROTEÇÃO E DEFESA CIVIL. **Manual de planos de contingência para desastres de movimento de massa**. Brasília: Ministério da Integração Nacional; SEDEC, 2018.

SOUZA, Jonas Otaviano Praça de. **Dos sistemas ambientais ao sistema fluvial – uma revisão de conceitos.** Caminhos de Geografia, Uberlândia, v. 14, n. 46, p. 224-233, 2013.

SZLAFSZTEIN, Claudio Fabian. **Vulnerability and response measures to natural hazard and sea level rise impacts: long-term coastal zone management, NE of the State of Pará, Brazil.** ZMT – Contributions, Bremen, v. 17, p. 1-192, 2003.

SZLAFSZTEIN, Claudio Fabian; STERR, Horst. **A GIS-based vulnerability assessment of coastal natural hazards, state of Pará, Brazil.** Journal of Coast Conservation, [S. l.], v. 11, p. 53-66, 2007.

SZLAFSZTEIN, Claudio Fabian. **Indefinições e Obstáculos no Gerenciamento da Zona Costeira do Estado do Pará, Brasil.** Revista de Gestão Costeira Integrada, [S. l.], v. 9, n. 2, p. 47-58, 2009.

TAVARES, João Paulo Nardin; MOTA, Maria Aurora Santos da. **Condições termodinâmicas de eventos de precipitação extrema em Belém-PA durante a estação chuvosa.** Revista Brasileira de Meteorologia, São Paulo, v. 27, n. 2, p. 207-218, jul. 2011.

TAVARES, Maria Goretti da Costa. **Formação Territorial do Espaço Paraense: dos fortes à criação de municípios.** Revista ACTA Geográfica, Boa Vista, v. 2, n. 3, jan./jun., p. 59-83, 2008.

TOMINAGA, Lídia Keiko; SANTORO, Jair; AMARAL, Rosângela do. (org.). **Desastres Naturais: Conhecer para Prevenir.** São Paulo: Instituto Geológico, 2009. 160 p.

TREITZ, Paul M.; HOWARTH, Phillip J.; GONG, Peng. **Application of Satellite and GIS Technologies for Land – Cover and Land – Use Mapping at the Rural – Urban Fringe: a case study.** Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, [S. l.], v. 58, n. 4, p. 439-448, abr., 1992.

TRICART, Jean. **Ecodinâmica.** Rio de Janeiro: IBGE; SUPREN, 1977. 97 p.

TRINDADE JÚNIOR, Saint-Clair Cordeiro. **A cidade dispersa: os novos espaços de assentamentos em Belém e a reestruturação metropolitana.** 1998. 395 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.

TRINDADE JÚNIOR. **Das “Cidades na Floresta” às “Cidades da Floresta”: Espaço, Ambiente e Urbanodiversidade na Amazônia brasileira.** Papers do NAEA, Belém, n. 321, p. 1-22, dez., 2013.

TRINDADE JÚNIOR. **Cidades e centralidades urbanas na Amazônia: dos diferentes ordenamentos territoriais ao processo de urbanização difusa.** Revista Cidade, Chapecó, v. 12, n. 21, p. 305-334, 2021.

TUCCI, Carlos E. M. **Hidrologia: ciência aplicada.** 2. ed. Porto Alegre: Ed. UFRGS; ABRH, 2001.

TRINDADE JÚNIOR. **Águas urbanas.** Estudos Avançados, São Paulo, v. 22, n. 63, p. 97-112, 2008.

TRINDADE JÚNIOR. **Gestão da Drenagem Urbana**. Brasília: CEPAL; IPEA, 2012. (Textos para Discussão CEPAL-IPEA, v. 48).

UNITED NATIONS OFFICE FOR DISASTER RISK REDUCTION. **Marco de Sendai para a redução do risco de desastres 2015-2030** (Versão em português). Brasília: UNISDR, 2016.

UNITED NATIONS OFFICE FOR DISASTER RISK REDUCTION.. **How to make cities more resilient a handbook for local government leaders**. Genebra: UNISDR, 2017.

VALÉRIO, Erick de Lima Sabadelhe; NEGRÃO, Anne Caroline. **Mapeamento de pontos de inundação em áreas urbana usando o Google Street View**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 23., 2019, Foz do Iguaçu/PR. Anais eletrônicos [...]. Foz do Iguaçu: ABRHidro, 2019. Disponível em: <http://abrh.s3.amazonaws.com/Eventos/Trabalhos/107/XXIII-SBRH0639-1-20190504-194254.pdf>. Acesso em: 3 fev. 2022.

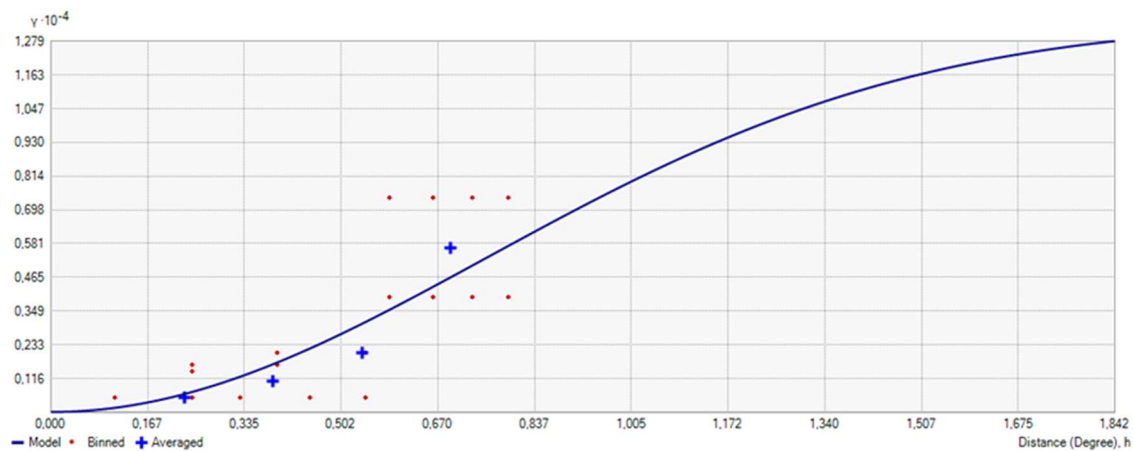
VOMMARO, Felipe; MENEZES, Júlia Alves; BARATA, Martha. **Contributions of municipal vulnerability map of the population of the state of Maranhão (Brazil) to the sustainable development goals**. Science of The Total Environment, [S. l.], v. 706, 2020.

YAMAMOTO, Jorge Kazuo; LANDIM, Paulo Milton Barbosa. **Geoestatística: conceitos e aplicações**. São Paulo: Oficina de Textos. 2013.

XAVIER, Teresinha de Maria Bezerra S.; XAVIER, Airton Fontenele Sampaio; ALVES, José Maria Brabo. **Quantís e eventos extremos – aplicações em ciências da terra e ambientais**. Fortaleza: RDS; Editora, Livraria Livros Técnicos, 2007. 278 p.

APÊNDICE A – CÁLCULOS

Gráfico – Semivariograma 1 gerado pela técnica de krigagem ordinária para correção da falha do mês 11/2006.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Me = 0,15

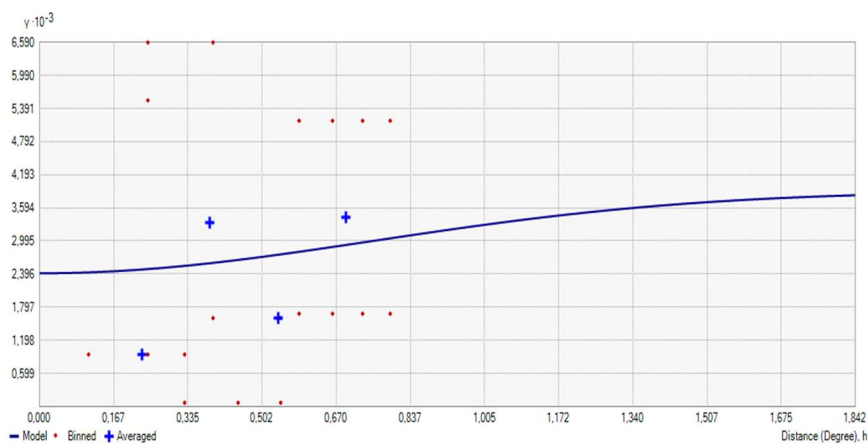
RMSSE = 1,6

Erro padrão médio (ASE) = 28,90

Raiz quadrada do erro médio (RMSE) = 46,92

APÊNDICE B – CÁLCULOS

Gráfico – Semivariograma 2 gerado pela técnica de krigagem ordinária para correção da falha do mês 11/2006.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Me = 2,4

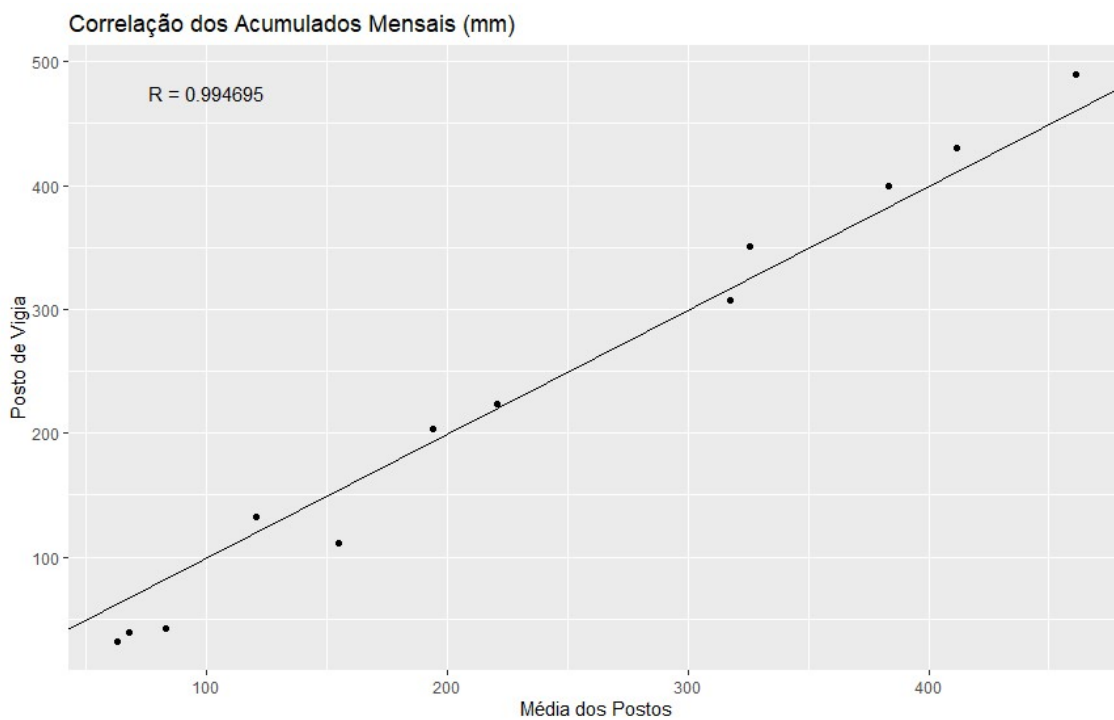
RMSSE = 1,02

Erro padrão médio (ASE) = 59,53

Raiz quadrada do erro médio (RMSE) = 61,15

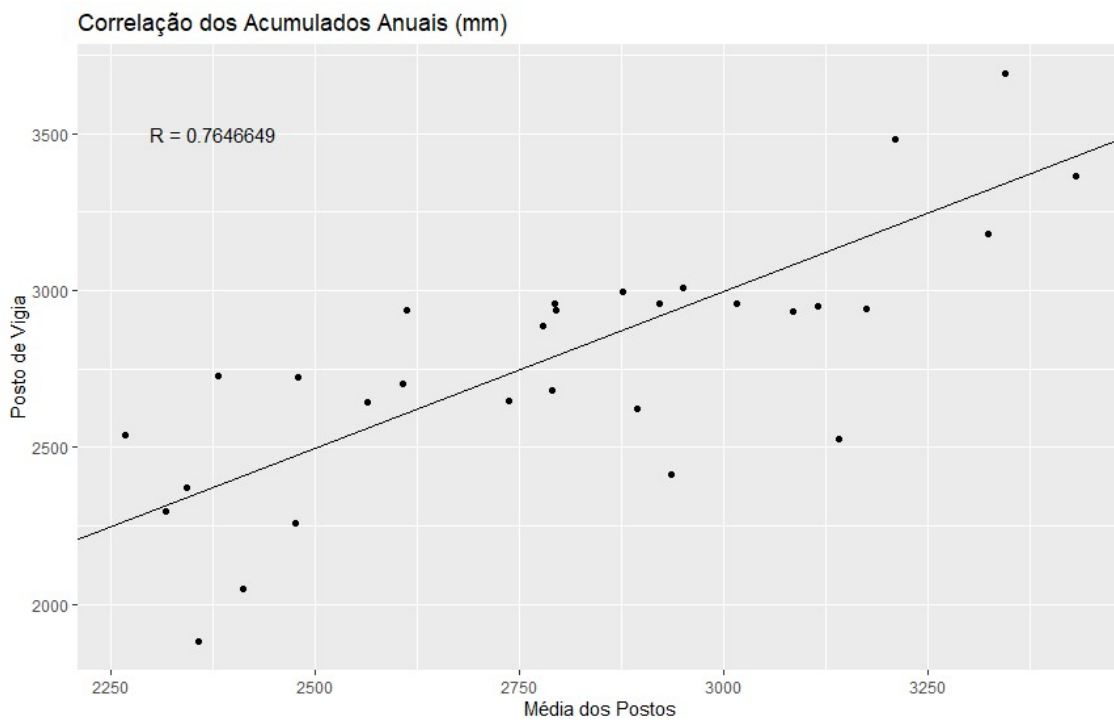
APÊNDICE C – CÁLCULOS

Gráfico – Correlação dos acumulados mensais entre o posto de Vigia e os postos de referência.



Fonte: Elaborado pelo autor.

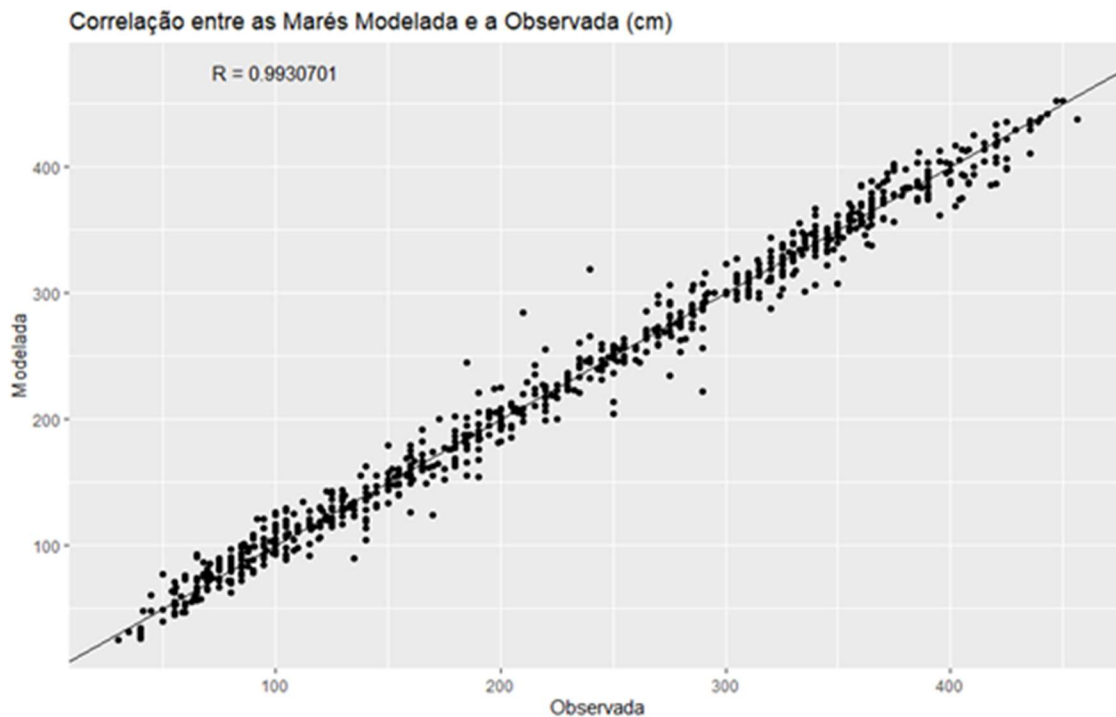
Gráfico – Correlação dos acumulados anuais entre o posto de Vigia e os postos de referência.



Fonte: Elaborado pelo autor.

APÊNDICE D – CORRELAÇÃO ENTRE AS MARÉS MODELADAS E CALCULADAS

Gráfico – Correlação entre as marés modelada e a observada (cm).



Fonte: Elaborado pelo autor.

APÊNDICE E – CONSTANTES HARMÔNICAS DA MARÉ EM VIGIA

Quadro – Constantes harmônicas da Maré em Vigia.

Constante	Período (s)	Amplitude (m)	Fase (grau)
Mm	2380713,365	0,04442	349,801971
MSf	1275721,423	0,00491	4,974017
Mtm	789085,4144	0,022985	232,623657
alpha1	104661,5988	0,011319	97,113991
2Q1	100822,4008	0,012082	83,420174
, TQ1	96726,08376	0,016113	202,514679
O1	92949,6301	0,095554	254,560516
M1	89399,69357	0,022119	279,822906
K1	86164,09058	0,144043	269,019562
J1	83154,51628	0,012021	60,781303
OO1	80301,86721	0,013257	225,332932
KQ1	77681,65186	0,019269	203,121048
MNS2	47258,16272	0,016633	273,871033
mu2	46338,32735	0,109199	355,25589
N2	45570,05357	0,283387	261,450439
M2	44714,16431	1,483394	275,020355
L2	43889,83274	0,120881	269,900452
S2	43200,00002	0,377012	306,399597
KJ2	42316,2782	0,016251	291,967285
MO3	30190,69067	0,042404	98,264252
M3	29809,44289	0,013738	11,809959
MK3	29437,70382	0,062246	101,303131
SK3	28773,74003	0,036025	175,946823
MN4	22569,02603	0,067209	127,623024
M4	22357,08217	0,108402	133,136398
SN4	22176,694	0,031321	144,481537
MS4	21972,02139	0,068178	145,893112
S4	21600	0,013138	217,178589
2MK5	17751,16878	0,02642	242,273087

2SK5	17270,54296	0,008624	150,031189
2MN6	14998,622	0,040503	265,534058
M6	14904,72144	0,01575	285,933105
2MS6	14732,59513	0,039832	274,606873
2SM6	14564,39902	0,022131	311,444885
3MK7	12706,70687	0,009931	99,96846
M8	11178,54108	0,010945	150,053497

Fonte: Elaborado pelo autor. (BNDO, 2022).

APÊNDICE F – ACUMULADOS MENSAIS DE CHUVA

Tabela 8 – Tabela dos acumulados mensais de chuva para Vigia-PA, 1991-2020.

Ano	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
1991	513,2	406,8	503,8	424,9	428,8	212,2	111,4	223,9	2,7	20,9	0,4	87,3
1992	452,9	537,3	407,9	357,5	159,1	151,3	188,4	66,9	7,9	11,1	10,8	21,8
1993	268,7	363,0	380,9	489,9	187,1	268,6	201,0	64,1	73,6	43,6	169,4	135,8
1994	382,9	288,8	427,3	491,4	316,4	149,0	169,3	115,7	39,4	34,0	51,0	156,7
1995	252,5	457,9	303,2	641,2	490,8	303,1	161,8	139,1	23,8	0,0	68,2	153,2
1996	363,4	344,7	570,5	452,4	424,7	346,0	152,2	202,7	45,0	10,5	0,8	34,9
1997	342,2	322,3	525,9	583,6	238,6	52,4	159,3	204,2	0,0	0,0	30,2	80,5
1998	516,0	235,7	498,9	289,9	255,2	192,4	287,8	94,5	42,3	10,8	73,4	230,5
1999	268,9	489,4	435,1	354,2	393,6	299,4	137,1	195,7	91,8	128,4	21,5	192,8
2000	381,8	549,9	485,2	480,2	375,8	182,4	394,2	179,4	60,0	98,5	38,7	256,8
2001	549,7	429,3	561,6	465,0	200,6	325,7	269,9	53,0	27,7	1,1	55,5	2,6
2002	394,9	428,7	418,0	442,0	351,3	193,2	146,0	169,6	30,5	20,7	14,2	93,0
2003	301,8	561,4	569,2	444,3	313,8	252,5	162,1	69,0	39,3	45,3	87,5	112,1
2004	378,7	507,3	757,8	337,8	257,3	197,9	242,0	172,6	86,3	2,2	1,1	15,8
2005	188,3	136,5	331,8	326,4	300,3	143,9	185,7	112,8	4,9	4,5	0,0	314,8
2006	222,2	242,1	388,6	282,8	218,9	131,8	173,0	90,9	17,0	9,9	85,3	17,6
2007	75,5	576,9	497,2	392,3	357,5	265,5	239,3	132,5	31,2	13,7	0,6	354,4
2008	381,4	183,8	334,0	467,6	390,5	188,3	156,5	249,1	74,2	90,2	18,5	112,9
2009	202,1	463,3	644,6	466,3	556,5	311,4	210,9	45,0	0,0	11,1	0,0	21,7
2010	170,1	339,5	292,2	371,3	381,3	171,1	276,6	208,9	34,2	29,4	38,0	100,2
2011	361,3	333,1	463,5	268,7	311,7	195,3	226,0	176,0	66,7	65,0	21,3	38,2
2012	164,8	243,5	469,0	397,8	320,4	201,9	177,9	143,6	68,5	19,7	16,6	35,3
2013	250,9	217,8	454,9	510,6	469,3	225,2	318,7	193,4	111,4	70,0	28,7	35,5
2014	228,4	343,5	511,7	464,6	558,3	398,3	204,0	72,7	54,1	72,3	16,6	34,9
2015	60,4	132,9	734,7	615,2	301,5	217,9	183,8	39,0	2,9	0,0	1,2	5,0
2016	128,2	531,0	474,5	460,7	306,8	275,3	250,7	85,0	14,9	90,4	3,6	102,0
2017	438,0	553,6	354,1	531,0	352,1	135,5	94,1	79,4	51,1	14,1	0,0	77,6
2018	228,8	599,2	412,2	388,6	398,9	149,4	194,4	230,8	91,9	5,3	67,4	374,0
2019	268,3	482,6	665,6	504,3	722,2	232,0	205,0	145,6	69,8	6,2	1,9	61,1
2020	475,4	671,0	746,5	599,5	236,2	295,4	218,8	84,8	11,3	15,3	265,4	72,6
Média	307,1	399,1	487,3	429,1	350,9	222,1	203,3	134,7	42,5	31,5	39,6	111,1
DP	131,9	134,9	116,5	95,7	105,6	76,8	63,8	62,6	31,2	36,6	39,1	96,7
CV	43,0	33,8	23,9	22,3	30,1	34,6	31,4	46,5	73,5	116,3	98,7	87,1

Fonte: Elaborado pelo autor. (ANA, 2022).

Nota: Em célula amarela os dados preenchidos por R.L.M, em cinza com Krigagem Ordinária, em azul um dado que possuía erro na soma da tabela original, e em roxo os dados duvidosos com alto desvio em relação à média, onde se verificou a consistência pela metodologia descrita, e só após, mantidos na série.

ANEXO G – AEROLEVANTAMENTO

Vigia_Paulo_Ortometrica_SegundoAlinhamento

Processing Report

07 February 2022



Survey Data

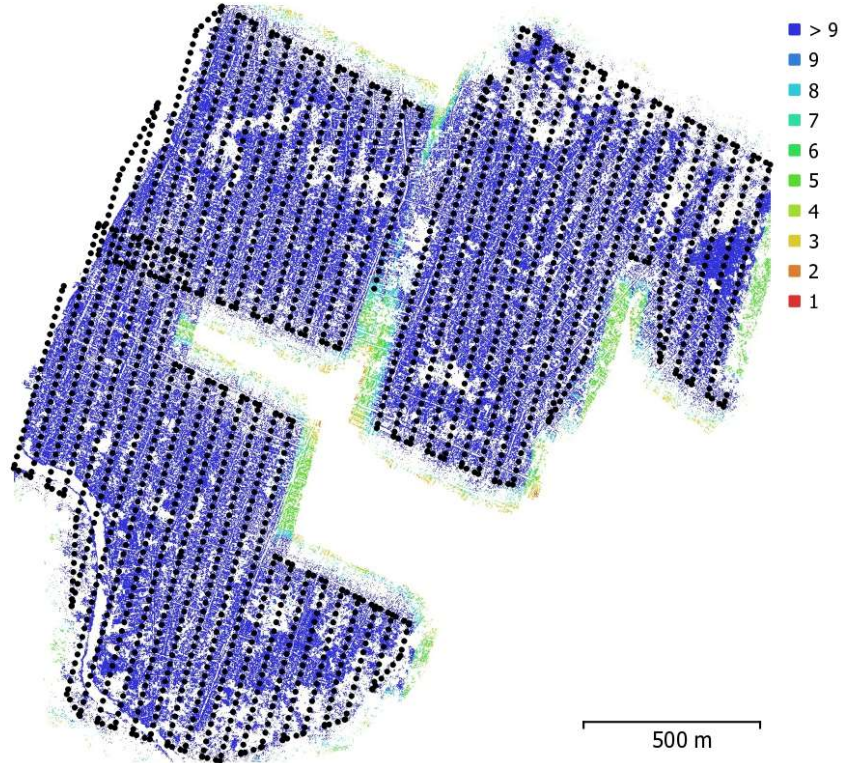


Fig. 1. Camera locations and image overlap.

Number of images:	2,061	Camera stations:	2,061
Flying altitude:	159 m	Tie points:	2,695,092
Ground resolution:	3.49 cm/pix	Projections:	10,161,495
Coverage area:	1.32 km ²	Reprojection error:	0.621 pix

Camera Model	Resolution	Focal Length	Pixel Size	Precalibrated
FC6520 (15mm)	5280 x 3956	15 mm	3.28 x 3.28 μm	No

Table 1. Cameras.

Camera Calibration

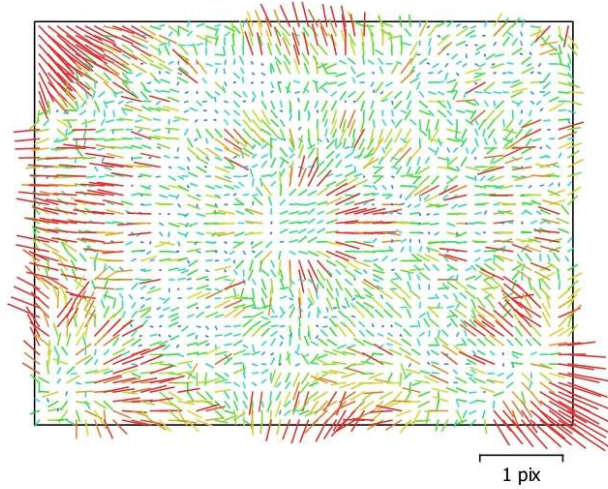


Fig. 2. Image residuals for FC6520 (15mm).

FC6520 (15mm)

2061 images

Type Resolution Focal Length Pixel Size
Frame 5280 x 3956 15 mm 3.28 x 3.28 μ m

	Value	Error	F	Cx	Cy	B1	B2	K1	K2	K3	K4	P1	P2
F	4554.8	0.15	1.00	0.10	0.12	-0.17	-0.03	-0.02	0.01	-0.00	-0.01	0.12	0.05
Cx	15.1276	0.0067		1.00	-0.01	-0.00	-0.01	-0.00	0.00	-0.00	0.00	0.83	-0.02
Cy	13.4818	0.0062			1.00	-0.03	0.01	0.00	-0.00	0.00	-0.00	-0.01	0.83
B1	-14.5356	0.0037				1.00	-0.02	0.00	-0.00	0.00	0.00	-0.00	-0.02
B2	0.67128	0.0035					1.00	0.00	-0.00	0.00	-0.00	-0.01	0.01
K1	0.000763254	2.2e-05						1.00	-0.98	0.93	-0.88	0.00	0.00
K2	-0.00997774	0.00016							1.00	-0.99	0.96	0.00	-0.00
K3	0.0441958	0.00048								1.00	-0.99	-0.00	0.00
K4	-0.0538003	0.00048									1.00	0.00	-0.00
P1	0.00181362	5.6e-07										1.00	-0.02
P2	0.00103384	5e-07											1.00

Table 2. Calibration coefficients and correlation matrix.

Camera Locations

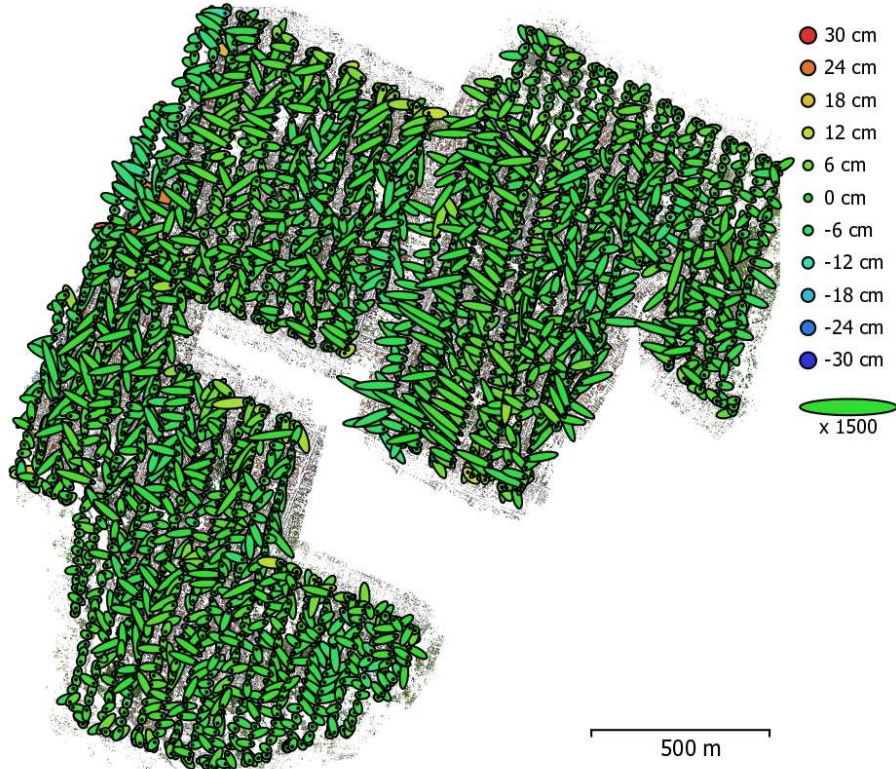


Fig. 3. Camera locations and error estimates.
 Z error is represented by ellipse color. X,Y errors are represented by ellipse shape.
 Estimated camera locations are marked with a black dot.

X error (cm)	Y error (cm)	Z error (cm)	XY error (cm)	Total error (cm)
2.59784	2.54521	2.57587	3.63688	4.45668

Table 3. Average camera location error.
 X - Easting, Y - Northing, Z - Altitude.

Digital Elevation Model

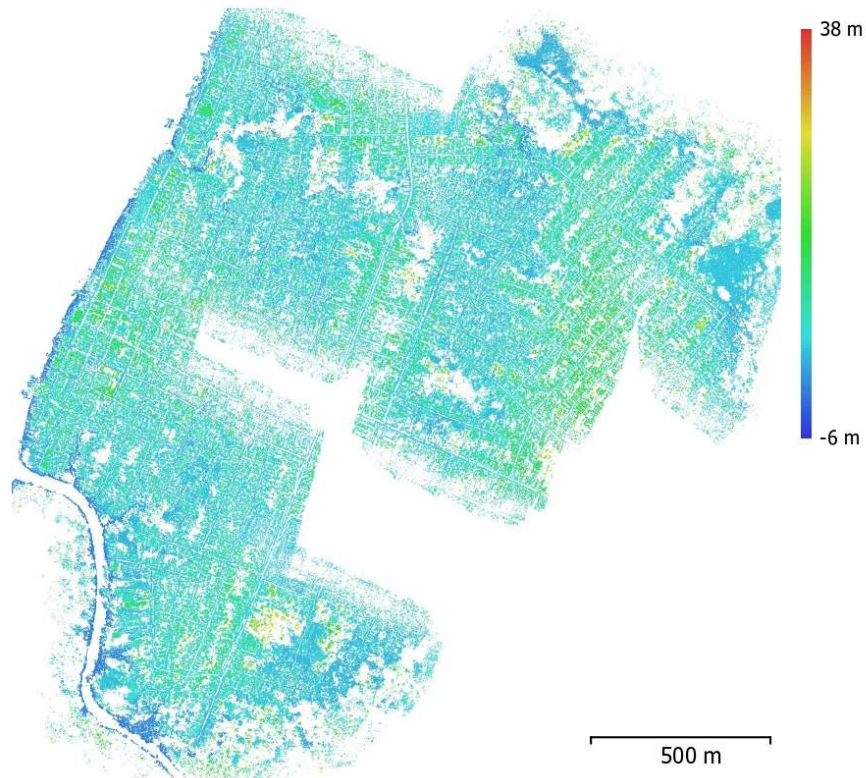


Fig. 4. Reconstructed digital elevation model.

Resolution: unknown
Point density: unknown

Processing Parameters

General

Cameras	2061
Aligned cameras	2061
Coordinate system	SIRGAS 2000 / UTM zone 22S (EPSG::31982)
Rotation angles	Yaw, Pitch, Roll

Point Cloud

Points	2,695,092 of 4,048,521
Point colors	3 bands, uint8
RMS reprojection error	0.180319 (0.620635 pix)
Max reprojection error	1.44156 (11.9149 pix)
Mean key point size	3.50575 pix
Effective overlap	4.38493

Alignment parameters

Accuracy	High
Generic preselection	Yes
Reference preselection	No
Key point limit	40,000
Tie point limit	10,000
Filter points by mask	Yes
Mask tie points	No
Adaptive camera model fitting	Yes
Matching time	16 hours 16 minutes
Alignment time	1 hours 55 minutes

Optimization parameters

Parameters	f, b1, b2, cx, cy, k1-k4, p1, p2
Adaptive camera model fitting	No
Optimization time	1 minutes 7 seconds

Software

Version	1.4.1 build 5925
Platform	Windows 64