



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO GEOGRAFIA

JOALANA ARAÚJO MACÊDO

**VULNERABILIDADE HÍDRICA À OCORRÊNCIA DE EVENTOS DE SECAS E
INUNDAÇÕES NO SEMIÁRIDO CEARENSE**

FORTALEZA

2023

JOALANA ARAÚJO MACÊDO

VULNERABILIDADE HÍDRICA À OCORRÊNCIA DE EVENTOS DE SECA E
INUNDAÇÕES NO SEMIÁRIDO CEARENSE

Tese de doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutora em Geografia. Área de concentração: Dinâmica territorial e ambiental.
Orientador: Prof. Dr. Jader Santos de Oliveira.

FORTALEZA

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- M121v Macêdo, Joalana Araújo.
Vulnerabilidade hídrica à ocorrência de eventos de seca e inundações no Semiárido cearense / Joalana Araújo Macêdo. – 2023.
132 f. : il. color.
- Tese (doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Fortaleza, 2023.
Orientação: Prof. Dr. Jader Santos de Oliveira.
1. Semiárido. 2. Vulnerabilidade à Seca. 3. Suscetibilidade à Inundação. 4. Indicadores Ambientais. I. Título.

CDD 910

JOALANA ARAÚJO MACÊDO

VULNERABILIDADE HÍDRICA À OCORRÊNCIA DE EVENTOS DE SECAS E
INUNDAÇÕES NO SEMIÁRIDO CEARENSE

Tese de doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Ceará, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutora em Geografia. Área de concentração: Dinâmica territorial e ambiental.

Aprovado em 26/07/2023.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Jader Santos de Oliveira (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Edson Vicente da Silva
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dra. Jacqueline Pires Gonçalves Lustosa
Universidade Federal de Campina Grande (UFCG)

Prof. Dr. Luís Ricardo Fernandes da Costa
Universidade Estadual de Montes Claros (UNIMONTES)

Prof. Dra. Paula Alves Tomaz
Universidade Federal do ABC (UFABC)

AGRADECIMENTO

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

RESUMO

A vulnerabilidade hídrica ocorre quando a população está propensa a sofrer os efeitos adversos dos eventos climáticos extremos, por não possuírem meios para se proteger e pela incapacidade de suprimento da demanda hídrica. Esta pesquisa apoia-se na hipótese de que o município localizado no semiárido cearense sofre com a ocorrência de extremos climáticos, representados pelo binômio, seca e inundação, e é possível avaliar a vulnerabilidade hídrica a estes eventos, baseado em fatores ambientais e utilizando bancos de dados secundários. Tendo como objetivo geral compreender a vulnerabilidade hídrica no município de Forquilha, inserido em ambiente semiárido, a partir do uso de indicadores ambientais, frente a ocorrência de secas e o aumento no volume de precipitações. O trabalho foi desenvolvido no município de Forquilha, localizado na região semiárida do Estado do Ceará. Utilizando-se de uma abordagem metodológica pautada na avaliação da vulnerabilidade hídrica, a partir de indicadores ambientais. Em Forquilha os efeitos das oscilações climáticas dão origem aos eventos de secas e inundações que afetam o município resultando em um quadro de vulnerabilidade hídrica.

Palavras-chave: semiárido; vulnerabilidade à seca; suscetibilidade à inundação; indicadores ambientais.

ABSTRACT

Water vulnerability occurs when the population is prone to suffering the adverse effects of extreme weather events, due to not having the means to protect themselves and due to the inability to meet water demand. This research is based on the hypothesis that the municipality located in the semi-arid region of Ceará suffers from the occurrence of climatic extremes, represented by the binomial, drought and flood, and it is possible to assess water vulnerability to these events, based on environmental factors and using water banks. secondary data. The general objective is to understand water vulnerability in the municipality of Forquilha, located in a semi-arid environment, based on the use of environmental indicators, given the occurrence of droughts and the increase in the volume of precipitation. The work was developed in the municipality of Forquilha, located in the semi-arid region of the State of Ceará. Using a methodological approach based on the assessment of water vulnerability, based on environmental indicators. In Forquilha, the effects of climate fluctuations give rise to drought and flood events that affect the municipality, resulting in water vulnerability.

Keywords: semiarid; drought vulnerability; flood susceptibility; environmental indicators.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	–	Delimitação do Semiárido Brasileiro.....	13
Figura 2	–	Danos por Estiagem e Seca nas regiões do Brasil.....	25
Figura 3	–	Danos por inundações nas regiões do Brasil.....	27
Figura 4	–	Localização e delimitação territorial do município de Forquilha, CE.....	30
Figura 5	–	Fluxograma para geração da suscetibilidade a inundação segundo o modelo HAND.....	35
Figura 6	–	Procedimento de cálculo da grelha HAND.....	48
Figura 7	–	Resumo das etapas do algoritmo HAND.....	51
Figura 8	–	Mapa hidrográfico do município de Forquilha.....	51
Figura 9	–	Mapa das classes de Relevo do município de Forquilha.....	62
Figura 10	–	Mapa das classes de Relevo do município de Forquilha.....	64
Figura 11	–	Mapa dos tipos de solo do município de Forquilha.....	66
Figura 12	–	Cálculo dos Quantis para o município de Forquilha – CE.....	69
Figura 13	–	Valores das precipitações (mm).....	70
Figura 14	–	Gráfico com os valores das precipitações (mm) anual (1989 - 2022)	70
Figura 15	–	Operação carro-pipa do Exército Brasileiro.....	71
Figura 16	–	Gráfico de monitoramento da capacidade do açude Forquilha.....	72
Figura 17	–	Anos mais secos noticiados pela imprensa local.....	72
Figura 18	–	Fragmento do disco de precipitação com níveis de intensidade dos eventos extremos diários de chuva.....	75
Figura 19	–	Chuva intensa é noticiada na mídia estadual.....	77
Figura 20	–	Danos causados por chuva em Forquilha.....	78
Figura 21	–	Sistemas atmosféricos atuantes durante os eventos extremos de precipitação em: (a) 12/04/2001 (116,0mm); (b) 15/04/1988 (111,0mm); (c) 10/04/2018 (105,0mm); (d) 29/02/2004 (105,0mm); (e) 10/04/ 1999 (100,0mm)	79

Figura 22	–	Mapa reclassificado de precipitação média anual de Forquilha.....	83
Figura 23	–	Mapa reclassificado de temperatura ajustada a superfície do solo do município de Forquilha.....	85
Figura 24	–	Extrações de calcário em Forquilha.....	87
Figura 25	–	Mapa reclassificado de uso e ocupação de Forquilha.....	88
Figura 26	–	Mapa reclassificado de declividade em Forquilha.....	90
Figura 27	–	Mapa reclassificado de solos do município de Forquilha.....	92
Figura 28	–	Mapa reclassificado do SAVI em Forquilha.....	94
Figura 29	–	Espacialização do grau de Vulnerabilidade a seca na cidade de Forquilha.....	96
Figura 30	–	Especulação imobiliária as margens do açude.....	97
Figura 31	–	Fotografia de corpo hídrico eutrofizado no bairro Mesquita Jerônimo ao lado do açude.....	97
Figura 32	–	Espacialização do grau de Vulnerabilidade ambiental a seca no município de Forquilha.....	99
Figura 33	–	Mapa de suscetibilidade a inundações do centro urbano de Forquilha.....	101
Figura 34	–	Bairro Pe Edson localizado a margem da Avenida Centro.....	102
Figura 35	–	Foto área do bairro Antônio Ferreira Gomes Martins no limite com o açude Forquilha.....	103
Figura 36	–	Fotos de adaptações nas construções do bairro Edmundo Rodrigues para reduzir os impactos das inundações nas residências.....	104
Figura 37	–	Exemplos da variação à suscetibilidade a inundações no bairro José Raimundo Loiola.....	105
Figura 38	–	Mapa de suscetibilidade a inundações do município de Forquilha – CE.....	107

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Conceitos de vulnerabilidade.....	20
Quadro 2 – Seleção dos indicadores que representam a vulnerabilidade ambiental a seca.....	38
Quadro 3 – Matriz de decisão.....	46
Quadro 4 – Projetos e Programas de acesso água em Forquilha.....	59

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Precipitação média (mm/ano).....	39
Tabela 2 – Temperatura a Superfície (°C).....	41
Tabela 3 – Vegetação (SAVI).....	42
Tabela 4 – Declividade (%).....	42
Tabela 5 – Tipos de solo.....	43
Tabela 6 – Uso e cobertura do solo.....	43
Tabela 7 – Número de critérios da matriz e o Índice de Constância Randômico.....	46
Tabela 8 – IDHM dos municípios que compõem a RM de Sobral.....	57
Tabela 9 – Distribuição dos valores de chuva acumulada nos anos da série histórica e suas possíveis classificações de acordo com a divisão proposta na pesquisa...	66
Tabela 10 – Valores ordenados para aplicação da técnica de quantis em Forquilha – CE	67
Tabela 11 – Quantidade de Evento Extremo por nível.....	74
Tabela 12 – Ranking com os resultados ponderados na comparação entre pares.....	79
Tabela 13 – Pesos aplicados para produção do mapa de vulnerabilidade a secas em Forquilha.....	93

LISTA DE SIGLAS

AB	Agência Nacional das Águas e Saneamento Básico
AHP	Alta da Bolívia
ANA	Analytic Hierarchy Process
ASA	Articulação Semiárido Brasileiro
CAGECE	Companhia de Água e Esgoto do Ceará
CCM	Complexos Convectivos de Mesoescala
CEPED/UFSC	Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres / Universidade de Santa Catarina
COGERH	Companhia de Gestão de Recursos Hídricos
CPRM	Serviço Geológico do Brasil
DNOCS	Departamento Nacional de Obras Contra as Secas
EMATERCE	Empresa de Assistência Técnica Extensão Rural do Ceará
ENOS	El Niño Oscilação Sul
FUNASA	Fundação Nacional de Saúde
FUNCEME	Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia Estatística
IDH	Índices de Desenvolvimento Humano
IDHM	Índice de Desenvolvimento Humano do Município
IMA	Índice Municipal de Alerta
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IPEA	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
IPECE	Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará
ISO	International Organization For Standardization
IVS	Índice de Vulnerabilidade Social
LI	Linhas de Instabilidade
MCTi	Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação
MDE	Modelo Digital de Elevação
MIN	Ministério da Integração Nacional
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
OMM	Organização Meteorológica Mundial
P1+2	Programa Uma Terra e Duas Águas

P1MC	Programa Um Milhão de Cisternas
PBMC	Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas
PDSI	Índice de Severidade de Seca de Palmer
PNPDEC	Política Nacional de Proteção e Defesa Civil
PNUD	Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento
RPH	Região Pluviometricamente Homogênea
SAB	Semiárido Brasileiro
SDA	Secretaria de Desenvolvimento Agrário
SNIS	Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento
SOHIDRA	Superintendência de Obras Hidráulicas
SPI	Índice Padronizado de Precipitação
SPS	Secretaria de Proteção Social, Justiça, Cidadania, Mulheres e Direitos humanos
SRH	Secretaria dos Recursos Hídricos
SUDENE	Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission
TSM	Temperatura da Superfície do Mar
UNEP	United Nations Environment Programme
UNISDR	United Nation Office FOR Disaster Risk Reduction
VCAN	Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	REFERENCIAL TEÓRICO	20
2.1	Multidimensionalidade do conceito de Vulnerabilidade	20
2.2	Vulnerabilidade Hídrica	23
2.3	Vulnerabilidade Hídrica aos Extremos Climáticos no Semiárido Brasileiro	24
3	METODOLOGIA	31
3.1	Área de estudo	31
3.2	Coleta e organização dos dados	33
3.3	Identificação dos eventos pluviométricos extremos	33
3.3.1	<i>Técnica de quantis</i>	34
3.3.3	<i>Metodologia dos Máximos de precipitação</i>	36
3.4	Análise Multicritério para o mapeamento de vulnerabilidade a seca	37
3.4.1	Seleção dos indicadores físicos	38
3.4.1.1	<i>Precipitação</i>	40
3.4.1.2	<i>Temperatura</i>	41
3.4.1.3	<i>Vegetação</i>	42
3.4.1.4	<i>Declividade</i>	43
3.4.1.5	<i>Solos</i>	43
3.4.1.6	<i>Uso e cobertura do solo</i>	44
3.4.2	O método multicritério AHP	45
3.4.3	Álgebra de mapas	48
3.5	Modelagem de suscetibilidade à inundação	48
3.5.1	Materiais utilizados	49
3.5.2	Procedimentos metodológicos	50
3.5.3	Classificação da Distância a Drenagem Mais Próxima – HAND	50
4	O MUNICÍPIO DE FORQUILHA E A OCORRÊNCIA DE EVENTOS CLIMÁTICOS EXTREMOS	55
4.1	Caracterização socioambiental do município de Forquilha	55
4.1.1	<i>Aspectos sociais e institucionais</i>	56
4.1.2	<i>Aspectos climáticos</i>	59

4.1.3	<i>Aspectos hidrográficos</i>	60
4.1.4	<i>Relevo e declividade</i>	62
4.1.5	<i>Tipos de solo e vegetação associada</i>	63
4.2	Eventos Climáticos Extremos em Forquilha	64
4.2.1	<i>Análise dos resultados</i>	67
4.2.2	<i>Eventos de Seca</i>	67
4.2.3	<i>Eventos de inundações</i>	73
5	VULNERABILIDADE AMBIENTAL ÀS SECAS E SUSCETIBILIDADE A INUNDAÇÕES	80
5.1	Vulnerabilidade ambiental às secas com base na Análise Multicritério	80
5.1.1	<i>Avaliação da vulnerabilidade ambiental a seca em Forquilha – CE</i>	94
5.2	Modelo de Inundações e mapeamento da suscetibilidade	
6	AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE HÍDRICA EM FORQUILHA, CE	99
6.1	Vulnerabilidade Hídrica frente a ocorrência de extremos pluviométricos ...	108
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	113
	REFERÊNCIAS	116

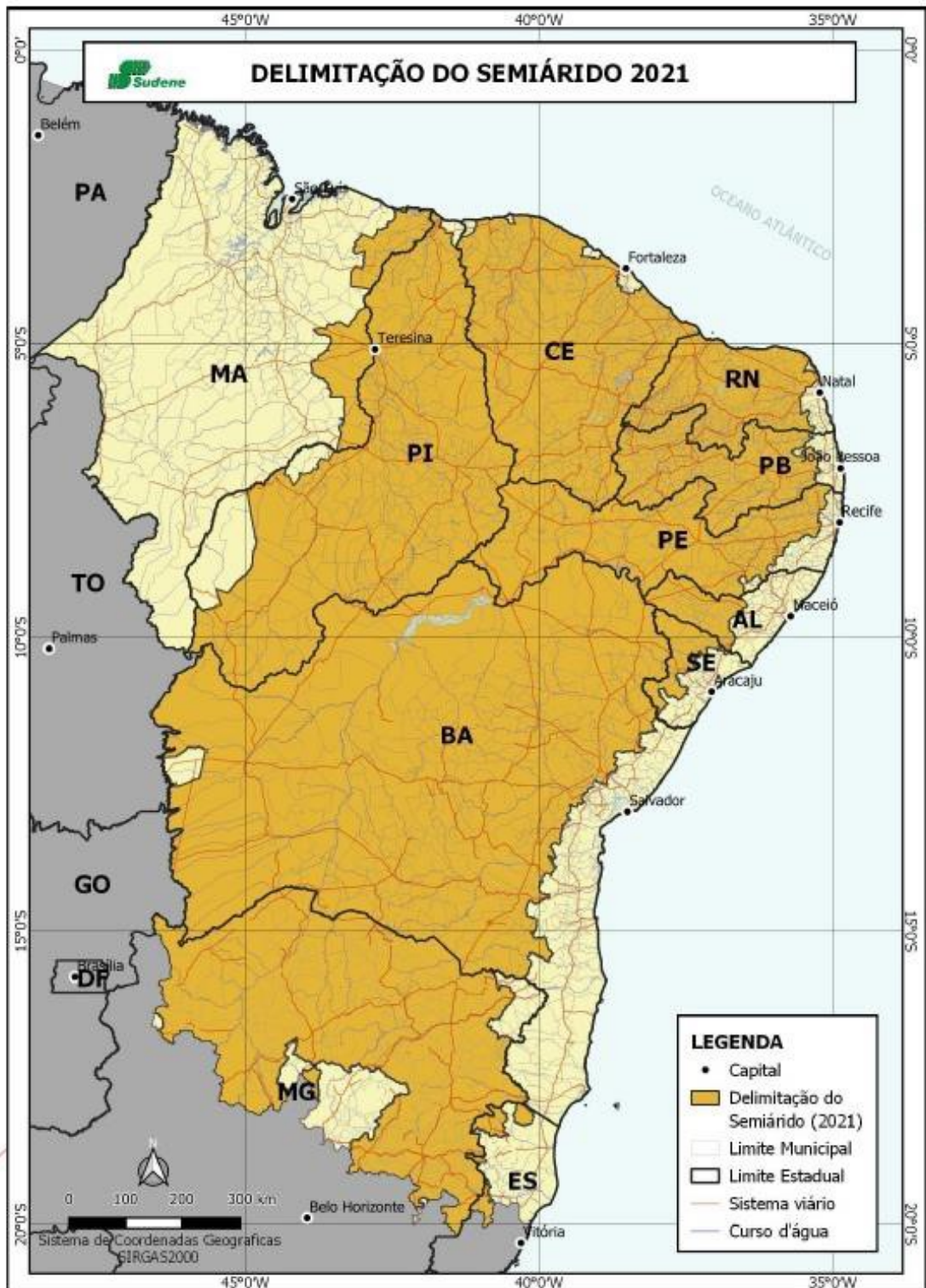
1 INTRODUÇÃO

O acesso universal e equitativo à água se trata de assegurar que esta seja fornecida para todas e todos, independentemente de sua condição social, econômica ou cultural, de gênero ou etnia (MACHADO FILHO, 2018). Com a publicação da Resolução nº 64/292, em 28 de julho de 2010, a Assembleia Geral das Nações Unidas reconheceu o direito humano à água e ao saneamento, como serviços essenciais para a realização de todos os direitos humanos. Ter direito à água significa o direito de todos a uma água suficiente, segura, aceitável e fisicamente de fácil acesso, a preço acessível, para uso pessoal e doméstico (UNITED NATIONS, 2002).

No Brasil, a região que mais apresenta problemas relacionados a água é o Semiárido Nordeste (FIGURA 1). Caracterizada pela oferta reduzida causada pela concentração na distribuição espacial e temporal das chuvas, onde as precipitações se dão em curto intervalo de tempo, enquanto o período de estiagem se prolonga por meses. A intensa irradiação solar provoca alto índice de evapotranspiração que diminui o acúmulo das fontes de abastecimento e resulta em secas duradoras (ZANELLA, 2014; ANA, 2017). Situação agravada pela grande demanda por água, pois estima-se que a Região Nordeste, com quase um terço da população do País, tem apenas 3,3% das disponibilidades hídricas (BOLSON; HAONAT, 2016).

Segundo Campos (2022), o Nordeste brasileiro é uma das regiões mais atingidas no país pelos eventos extremos, principalmente as secas, apresentando um regime de chuvas concentrado em única estação: cerca de 90% dos totais anuais ocorrem em no máximo seis meses. No litoral, o autor evidencia que a pluviosidade anual supera 1 000 mm (2 000 mm em alguns casos), enquanto nos sertões, está em torno de 700 milímetros, sendo a evaporação anual variando de 1 000 mm/ano no litoral da Bahia a Recife; e atinge 2 000 mm/ano em boa parte do Sertão (chega a 3 000 mm na área de Petrolina, em Pernambuco). Nesse contexto, o balanço chuva x evaporação é extremamente desfavorável. Somente nos meses quando se concentram as chuvas — fevereiro a maio — é que esse balanço é positivo (CAMPOS, 2022).

Figura 1 - Delimitação do Semiárido Brasileiro



Fonte: SUDENE (2021).

Sobre a população residente no Semiárido, segundo o levantamento realizado pelo Censo de 2010, 61,97% vive no meio urbano e 38,03% no meio rural (IBGE, 2010), sendo que a quantidade de pessoas do sexo feminino predominou em relação ao sexo masculino. No que

tange a composição racial da população recenseada, registrou-se que: 59,60% se declararam de cor parda; 31,75% de cor branca; 7,15% de cor preta; 1,09% de cor amarela e 0,41% se declarou indígena. Há predomínio da população adulta (19 a 59 anos de idade) em relação aos demais grupos etários. Segundo o Índice de Envelhecimento, os dados demonstraram a relação de 42,55 idosos (60 anos ou mais de idade) para cada grupo de 100 jovens (até 14 anos de idade), constatando-se que 93% dos municípios possuem população idosa (LEITE; SOUZA, 2012).

A região abriga a parcela mais pobre da população brasileira, com ocorrência de graves problemas sociais (MOURA *et al.*, 2007; SILVA *et al.*, 2010). Em consequência do comportamento das chuvas e da reduzida capacidade de retenção de água na maioria dos solos, grande parte das pessoas sofre por ser altamente dependente da água de chuva, captação e armazenamento, uma vez que os rios apresentam regime temporário/intermitente e a precipitação é determinante para o sucesso da atividade agropecuária e sobrevivência das famílias. (MOURA *et al.*, 2007).

Uma considerável parcela das pessoas está diretamente vinculada às atividades agropastoris e busca seu sustento através da exploração de recursos naturais existentes nas propriedades ou entorno destas. Tais atividades quando praticadas com tecnologias rudimentares resultam em forte degradação ambiental. Devido a desestruturação da economia regional, grande parte das pessoas vive de uma “economia sem produção”, aqui entendida como aquela constituída pelas subvenções sociais e pelas transferências da União para as prefeituras e governos estaduais (SILVA *et al.*, 2010).

Embora a escassez hídrica seja o problema mais preocupante nesta região, a precipitação pluviométrica, por vezes, gera prejuízos quando ocorre com intensidade em curto intervalo de tempo, causando danos como enchentes e inundações e gerando prejuízos às cidades e zonas rurais, nem sempre preparadas para esses eventos (MONTEIRO, 2011; OLÍMPIO, 2013).

Monteiro (2016) relata que tais fenômenos excepcionais são definidos como eventos extremos, termo associado, dentre outras causas, às alterações no clima que de algum modo afetam as dimensões social, econômica, ambiental, institucional, etc., causando prejuízo às populações. Segundo o autor, um evento que não atinja pessoas é denominado como natural e pode, muitas vezes, nem ser percebido, pois do ponto de vista social, os eventos extremos são aqueles que provocam danos de grande relevância como mortes, desabrigo, danos materiais, etc, tornando a vulnerabilidade e a resiliência aspectos importantes quando estes ocorrem.

As regiões ou áreas e populações vulneráveis são aquelas que podem ser atingidas

por algum evento geográfico, como inundações e secas (DESCHAMPS, 2009). Ser vulnerável é algo inerente a uma determinada população e varia de acordo com suas possibilidades culturais, sociais e econômicas. Os que possuem menos recursos apresentarão mais dificuldade para se adaptar e, portanto, são os mais vulneráveis, pois a capacidade de adaptação é dada pela riqueza, tecnologia, educação, informação, habilidades, infraestrutura, acesso a recursos e capacidade de gestão (IPCC, 2001).

A multidimensionalidade é uma característica inerente ao conceito de vulnerabilidade, por sua vez, empregado em diversas áreas do conhecimento, como saúde, ciências sociais, humanas e naturais, para compreender diferentes fenômenos (MARANDOLA JR; HOGAN, 2006). Para tanto, este trabalho tem foco na vulnerabilidade hídrica associada a eventos extremos, definida como a incapacidade do sistema (população ou ambiente) de retornar às condições prévias ao evento (TUCCI; CHAGAS, 2017), destacando as condições que limitam a capacidade de resposta (MARANDOLA JR; HOGAN, 2006), quando há ocorrência de extremos climáticos que ameaçam o bem-estar social e o desenvolvimento humano, seja pela falta ou excesso na disponibilidade e qualidade da água.

De acordo com a SUDENE (2021), o Ceará possui 171 municípios, dos 184 que compõem o seu território, inseridos no semiárido, exibindo variadas condições climáticas, hidrológicas, pedológicas e ecológicas, que exercem influência direta nas características sociais, econômicas e culturais do estado.

A área de interesse da pesquisa é Forquilha, município do semiárido, localizado na porção noroeste do estado Ceará no Nordeste brasileiro. Faz parte da Região Pluviometricamente Homogênea da Ibiapaba (FUNCEME, 2019), segundo divisão regional da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME).

O município apresenta um conjunto de componentes e características que o torna susceptível aos impactos negativos originados pelos comportamentos positivos e negativos de pluviosidade, como alta evapotranspiração, drenagens intermitentes, em sua maioria, solos com baixa permeabilidade e reduzida oferta de água subterrânea, além de alta densidade de drenagens que tornam a cidade mais suscetível a sofrer com os impactos de chuvas volumosas, por exemplo. Estas características foram identificadas e descritas ao longo desta pesquisa.

Para superar estas características e amenizar os impactos do comportamento pluviométrico em Forquilha, houve a ampliação da infraestrutura hídrica e melhoria das políticas públicas associadas a chegada dos programas de convivência com o semiárido (MENDES JUNIOR; OLIVEIRA, 2017), desde a construção do Açude de Forquilha pelo

Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS) em 1919. Contando com ações e implantação de tecnologias sociais financiadas pelo Estado e incentivadas pela associação de organizações da sociedade civil que visam a melhoria das condições de vida das populações que vivem no semiárido.

No entanto, os esforços dependidos não têm sido suficientes. O município ainda apresenta falhas nos serviços de abastecimento, fazendo com que a população necessite utilizar diversas fontes, tendo sido identificados problemas recorrentes de indisponibilidade e má qualidade da água (TOMAZ, 2019).

Durante a seca que assolou o Nordeste brasileiro de 2012 a 2016, a população do município teve constantes interrupções no abastecimento e, em alguns bairros urbanos, a falta de água foi diária, segundo dados de pesquisa realizada por Tomaz *et al.* (2017). Nos levantamentos realizados pelos autores, moradores relataram que a água possuía cor e odor desagradável forçando muitos a comprar água engarrafada, pela desconfiança na qualidade do abastecimento público, levando alguns a permanecerem mais de três horas em filas nos poços públicos (chafariz).

De acordo com estudo prévio realizado nesta pesquisa, o município sofre também com eventos extremos de inundações que causam prejuízos, principalmente nos centros urbanos. Como os eventos ocorridos em 2008 e 2018, que acumularam 78mm e 106mm, respectivamente, em 24h (FUNCEME, 2020), o que provocou alagamentos das ruas e danos aos patrimônios público e privado.

Segundo o IPECE (2022), com base no IMA (Índice Municipal de Alerta) de 2022, Forquilha foi o 6º município com o maior índice de vulnerabilidade às mudanças climáticas no Ceará. O índice foi elaborado considerando os meses de janeiro a junho de 2022, avalia 12 indicadores relativos as questões climáticas, agrícolas e de assistência social e visa alertar sobre a vulnerabilidade dos municípios às alterações climáticas.

Em um comparativo entre os IMA 2021 e IMA 2022, Forquilha apresentou piora no grau de vulnerabilidade, saindo da posição 27 para o 6º município mais vulnerável do Estado. Em 2019 ocupava a 66ª posição no ranking dentre os municípios cearenses (IPECE, 2019), em apenas 3 anos regrediu 60 posições, lembrando que quanto menor a posição no ranking, mais perto de 1 está o índice e pior é a situação do município.

Considerando a necessidade de pesquisas específicas sobre a vulnerabilidade hídrica, o presente estudo visa investigar, com base em indicadores ambientais, quais as áreas, do município, mais afetadas pela ocorrência de extremos climáticos. Tal proposta está

fundamentada, sobretudo, pela seca que assolou Forquilha, entre os anos de 2012 e 2016, e a ocorrência de eventos pontuais de inundações, mas que se estendem pelo semiárido, suscitando a necessidade do desenvolvimento de uma abordagem metodológica que subsidie o planejamento municipal a partir da implementação de estratégias de convivência com extremos climáticos. Pois, “é importante que o planejamento das cidades inclua o conhecimento das vulnerabilidades existentes e riscos associados à ocorrência de eventos climáticos extremos” (PBMC, 2016, p. 37).

A adequada seleção de indicadores¹ ambientais, especificamente aqueles relacionados à vulnerabilidade hídrica, é um desafio pela imperativa necessidade que dados representativos da realidade sejam fidedignos, de fácil acesso e adaptável para os diversos municípios que compõem o semiárido.

Este estudo procura contribuir nessa questão, utilizando-se de uma abordagem metodológica pautada na avaliação da vulnerabilidade hídrica frente aos extremos climáticos, a partir de indicadores ambientais. Realizada por meio da aquisição de dados secundários em repositórios gratuitos e informações adquiridas em campo com o uso de tecnologias acessíveis. Buscando contribuir na discussão conceitual e em formas de apresentar os resultados num modelo que auxilie no planejamento à prevenção de danos.

Com base nessas premissas, a pergunta que norteia essa pesquisa é: É possível avaliar a vulnerabilidade hídrica de município localizado no semiárido frente a ocorrência de precipitações intensas e secas prolongadas?

A pesquisa se sustenta na hipótese de que município localizado no semiárido cearense sofre com a ocorrência de extremos climáticos, representados pelo binômio, seca e inundação, e é possível avaliar a vulnerabilidade hídrica a estes eventos, baseado em fatores ambientais e utilizando bancos de dados secundários.

Teve como objetivo geral compreender a vulnerabilidade hídrica no município de Forquilha, inserido em ambiente semiárido, a partir do uso de indicadores ambientais, frente a ocorrência de secas e o aumento no volume de precipitações.

Para operacionalização da pesquisa foram elegidos os seguintes objetivos específicos:

¹ Indicadores são variáveis que resumem ou simplificam a informação relevante; tornando visíveis ou perceptíveis os fenômenos de interesse; quantificando, medindo e comunicando as informações relevantes (MOSS; BRENKERT; MALONE, 2001 *apud* YOSHINO, 2017). Devem ser mensuráveis ou observáveis e a metodologia utilizada para construí-los deve ser transparente e compreensível (GALLOPÍN, 1996).

- ✓ Caracterizar o município de Forquilha, quanto aos aspectos sociais, ambientais e a ocorrência de eventos pluviométricos extremos;
- ✓ Classificar a vulnerabilidade às secas, a partir de indicadores ambientais, com o intuito de obter a abrangência e intensidade deste fenômeno no território municipal;
- ✓ Aplicar o modelo HAND e apresentar as áreas de maior e menor suscetibilidade às inundações dentro do território;
- ✓ Discutir a vulnerabilidade hídrica em município semiárido no Ceará, identificando as áreas mais afetadas, destacando as diferenças no contexto urbano e rural.

A tese está estruturada em sete capítulos. O primeiro é a introdução e apresenta os principais aspectos do trabalho, com a apresentação da área de estudo, a problematização, os objetivos e hipótese testada. A seguir é discutido o referencial teórico que orienta as metodologias apresentadas no capítulo três, que por sua vez, descreve a metodologia e os procedimentos técnicos utilizados na discussão da vulnerabilidade ambiental a seca e na modelagem da suscetibilidade a inundações.

A caracterização ambiental de Forquilha e a ocorrência de eventos extremos compõem o capítulo quatro, enquanto o seguinte apresenta os resultados encontrados acerca vulnerabilidade ambiental a seca e da modelagem à inundações. O sexto capítulo retrata a avaliação da vulnerabilidade hídrica em Forquilha, a partir dos resultados encontrados. Por último, segue-se a conclusão e encerramento do trabalho.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo se refere aos conceitos teóricos que embasaram a definição da metodologia e guiaram os procedimentos para alcançar os resultados, chegando numa discussão condizente com a realidade encontrada na área de estudo e coerente com os pressupostos estabelecidos na introdução. Dividido em tópicos e subtópicos que abarcam desde a multidimensionalidade do conceito de vulnerabilidade, passando pela definição da vulnerabilidade hídrica e especificando como esse conceito pode ser aplicado no estudo dos eventos pluviométricos extremos na Região do Semiárido cearense.

2.1 Multidimensionalidade do conceito de Vulnerabilidade

O termo vulnerabilidade surgiu na medicina a partir da transmutação da antiga linguagem médica que é “vulnerável”, segundo Melkevik (2017), em referência ao indivíduo que lutava contra feridas ou doenças de ordem física. Posteriormente, assumiu o sentido contemporâneo que se reporta à “vulnerabilidade” do indivíduo.

O uso do termo se expandiu para diversas áreas do conhecimento. Segundo Schumann (2014), essa diversidade pode ser explicada pela vulnerabilidade se apresentar como um conceito “guarda-chuva” que reúne as populações e o ambiente, a existência de diferentes orientações epistemológicas, a escolha de localidades geográficas específicas e o direcionamento para situações específicas, como os eventos sísmicos, inundações, secas e fome.

Para Adger (2006) as pesquisas que tratam sobre a vulnerabilidade dos sistemas sociais e naturais de forma integrada surgiram de duas grandes correntes: a análise da vulnerabilidade como ausência de direitos e a vulnerabilidade aos riscos naturais:

- a) a primeira é baseada em direitos focados quase exclusivamente na esfera social das instituições e tem como variáveis importantes o bem-estar e classe, status social e gênero, seguindo uma linha que destaca a diferenciação social no resultado da vulnerabilidade, considerando-a algo que pode ser prevenido;
- b) a segunda tradição, sobre riscos naturais, desde seu início buscou incorporar ciências físicas, sociais e engenharia para explicar as ligações entre os elementos do sistema, tentando demonstrar que os grupos sociais mais vulneráveis estão mais susceptíveis aos riscos. Tendo como base os elementos físicos de exposição, probabilidade e impactos de perigos, aparentemente naturais e não naturais.

Gallopín (2006) afirma que não existe um consenso sobre o conceito de vulnerabilidade e dependendo da área de pesquisa pode ser aplicado aos diferentes subsistemas social, natural, ecológico ou biofísico, ou ao sistema socioecológico, considerando as relações do meio biofísico e social.

Cutter (2003), por sua vez, aposta numa “abordagem integrativa para explicar as complexas interações entre sistemas sociais, naturais e de engenharia” (p. 6), convicta da multidimensionalidade do termo a autora enfatiza o surgimento da *Science Vulnerability*, traduzida em esforços interdisciplinares para analisar os problemas.

Mas, para Marandola e Hogan (2006), desenvolver estudos que envolvem a vulnerabilidade não necessita a formação de um corpo científico interdisciplinar, basta o pesquisador reconhecer que ela “envolve uma gama de fenômenos de natureza multidimensional e multifacetada, que torna imperativo o diálogo e um olhar mais abrangente diante do tema” (p.35). Diante destas colocações, o foco está em compreender a vulnerabilidade ao fenômeno em questão, definido como critério para realizar a avaliação na área de estudo.

Com o intuito de apresentar a diversidade de áreas e de variações deste conceito para seguir com a operacionalização do mesmo, é apresentado o Quadro 1 composto por algumas definições adotadas por autores e instituições de acordo com as abordagens pretendidas em cada pesquisa:

Quadro 1 – Conceitos de vulnerabilidade

CONCEITO	ÁREA DO CONHECIMENTO	AUTORES
A vulnerabilidade seria a soma da exposição ao risco com a incapacidade de enfrentá-los e a inabilidade de se adaptar de forma ativa.	Desenvolvimento Econômico	LC (2002)
As vulnerabilidades sociais decorrem de processos sociais mais amplos contra os quais o indivíduo, por si só, não tem meios para agir e cujos rumos só o Estado, por meio de políticas públicas, tem condições de alterar.	Desenvolvimento Humano	IPEA (2018)
A vulnerabilidade é a propensão ou predisposição para ser afetado(a) negativamente. Abrange, dentre outros conceitos, a sensibilidade ou suscetibilidade a danos e falta de capacidade para enfrentar e se adaptar.	Mudanças climáticas	IPCC (2014)
O termo vulnerabilidade denota um limite onde uma pessoa ou sistema pode ser afetado. Por outro lado, sustentabilidade significa a capacidade de um sistema manter-se em uma determinada condição. Então, a vulnerabilidade denota o ponto onde a sustentabilidade pode ser comprometida.	Mudanças climáticas (Semiárido)	MARENGO (2008)
A literatura econômica geralmente conceitualiza a vulnerabilidade como o resultado de um processo de respostas familiares aos riscos, dado um conjunto de condições subjacentes.	Economia	SIEGEL; ALWANG (2001)

Continuação...

Na geografia, o termo está diretamente atrelado às probabilidades de ser afetado negativamente por um fenômeno geográfico e/ou climático. Assim, as zonas ou áreas e populações vulneráveis são aquelas que podem ser atingidas por algum evento geográfico, como terremoto, enchente, enxurrada e seca.	Geografia	DESCHAMPS (2009)
Nas pesquisas em saúde, os termos “vulnerabilidade” e “vulnerável” são comumente empregados para designar suscetibilidade das pessoas a problemas e danos de saúde.	Saúde	YASUKO <i>et al.</i> , (2008)
Na literatura sobre segurança alimentar, tem sido definido como os efeitos combinados do “risco e da capacidade de um indivíduo ou família para lidar com esses riscos e se recuperar de um choque ou deterioração da situação atual.	Segurança Alimentar	MAXWELL <i>et al.</i> (2000)
As características e circunstâncias de uma comunidade, sistema ou ativo que o tornam suscetível aos efeitos prejudiciais de um perigo.	Desastres	UNISDR (2009)
Chamamos de vulnerabilidade ante a pobreza ou a exclusão social às situações que surgem quando as configurações de recursos que controlam e podem movimentar os domicílios não são suficientes para aproveitar as estruturas de oportunidade de acesso ao bem-estar.	Ciências Sociais	KAZTMAN; FILGUEIRA (2006)
A vulnerabilidade ocorre quando as pessoas são especialmente suscetíveis a perdas decorrentes de choques negativos devido a uma combinação de grande exposição, condições internas fracas e gestão de risco deficiente.	Desenvolvimento	WORLD BANK (2013)
Nas dimensões do rendimento e da saúde, a vulnerabilidade é o risco de um agregado familiar ou indivíduo experimentar um episódio de pobreza de rendimento ou de saúde ao longo do tempo. mas vulnerabilidade também significa a probabilidade de estar exposto a uma série de outros riscos (violência, crime, desastres naturais, ser expulso da escola).	Desenvolvimento Humano e Pobreza	WORLD BANK (2000)
Propriedades intrínsecas de algo que resultam em suscetibilidade a uma fonte de risco que pode levar a um evento com consequência.	Tecnologia da Informação	ISO (2009)
O indivíduo é “vulnerável” não somente por natureza, mas também como cidadão; o homem é, simplesmente, “vulnerável” em sociedade.	Direito	MELKEVIK (2017)

Fonte: Elaborado pela autora (2020)

Com base na discussão anterior concluiu-se que: de fato, as mais diversificadas áreas do conhecimento adotam a vulnerabilidade para compreender múltiplos fenômenos; a vulnerabilidade pode apresentar diferentes definições dentro da mesma linha de pensamento, dependendo da abordagem, por exemplo os conceito de mudança climática adotados por IPCC (2014) e MARENGO (2008), bem como, na perspectiva do desenvolvimento humano do IPEA (2018) e WORLD BANK (2000); as análises e os resultados dependem do uso de variáveis ou

indicadores selecionados com base no tipo de pesquisa a ser desenvolvida e o conceito está sempre associado a um risco, seja social ou natural.

Segundo a perspectiva de Adger (2006), esta pesquisa segue a linha dos riscos naturais, na busca de uma visão integradora (CUTTER, 2003) que pode ser alcançada seguindo a tradição da geografia em trabalhar as dimensões social e ambiental, simultaneamente, considerando as intervenções antrópicas sobre o ambiente. Reforçando o pensamento de Cutter (1996) em afirmar que os geógrafos vão além dos cientistas sociais, que focam na vulnerabilidade de pessoas ou grupos, preocupando-se com a “vulnerabilidade do lugar”, Marandola e Hogan (2006) defendem que:

Esta abordagem parte das dinâmicas que configuram uma dada espacialidade, procurando circunscrever sua escala (uma região, uma cidade, um ecossistema, um bairro), identificando nas interações entre sociedade e natureza os riscos e perigos que atingem o lugar. [...] Antes, a abordagem busca uma unidade de referência para compreender o contexto da produção social do perigo em conexão com o contexto geográfico na delimitação da escala espacial (p. 36).

Diante da multidimensionalidade do conceito que embasou a presente pesquisa, adotou-se a vulnerabilidade hídrica enquanto abordagem capaz de subsidiar a discussão sobre as questões relacionadas à água, visando compreender o quão vulneráveis são os ambientes inseridos no semiárido brasileiro, e conseqüentemente a população que ocupa essa região, aos problemas relacionados aos recursos hídricos diante da ocorrência dos eventos extremos de seca e inundação.

2.2 Vulnerabilidade Hídrica

Embora a vulnerabilidade, em suas diferentes vertentes, seja amplamente difundida, quando se trata da vulnerabilidade hídrica é necessário um esforço maior para conceituá-la de modo aprofundado. A seguir é apresentado um panorama geral sobre o conceito, para posteriormente verticalizar a discussão frente a ocorrência dos eventos extremos de seca e inundações.

A compreensão sobre vulnerabilidade hídrica varia de acordo com o ambiente ou fenômeno investigado. Carvalho (2012) cita como exemplo os trabalhos dos autores “Augé (2005) que aborda a questão da vulnerabilidade de aquíferos, Tagliani (2003) a vulnerabilidade em ambientes costeiros, Crepani *et al.* (1996) associam a vulnerabilidade aos processos erosivos e Marengo (2008) aborda a vulnerabilidade climática no semi-árido brasileiro” (p. 189). Mas todos convergem para um ponto comum, os recursos hídricos.

O estudo da vulnerabilidade da água tem forte conotação socioambiental e é necessário compreender as relações estabelecidas entre sociedade e natureza (CARVALHO, 2012), assim como o impacto das ações antrópicas no aumento da vulnerabilidade ambiental. Diante da conotação socioambiental é imprescindível conhecer o ambiente em estudo, a partir da identificação das variáveis ambientais que melhor representam o estudo de caso e assim compreender as relações que definem o espaço e suas vulnerabilidades.

Para efeito deste trabalho, o foco está na perspectiva elegida por Tucci e Chagas (2017) que consideram a vulnerabilidade hídrica aos eventos críticos associados ao clima, determinando que para um sistema se tornar vulnerável hidricamente existe uma fonte, ou exposição, associando uma ou mais das condições seguintes: quando uma sociedade ou ambiente é vulnerável econômica, social ou ambientalmente; sofre pressões pelo desenvolvimento econômico sobre o meio ambiente; e as incertezas associadas as séries hidrológicas devido a efeitos naturais e antrópicos. Nesta afirmação, os autores enfatizam a importância do fator ambiental, principalmente sob efeito das intervenções antrópicas tornando o ambiente mais vulnerável a sofrer com a concretização do risco iminente.

Desse modo, a ocorrência de secas e inundações são os riscos ambientais aos quais o sistema em estudo poderá estar exposto, destacando-se a necessidade de conhecer o ambiente para determinar os aspectos que tornam o sistema vulnerável à ocorrência de secas e inundações.

Por fim, para desenvolver o estudo é preciso delimitar uma “unidade de referência” (MARANDOLA JR.; HOGAN, 2006), que nesse caso foi um município inserido no semiárido brasileiro. O item a seguir abordará a vulnerabilidade hídrica aos eventos pluviométricos extremos na região do semiárido brasileiro que têm como consequência a ocorrência de secas e inundações.

2.3 Vulnerabilidade Hídrica aos Extremos Climáticos no Semiárido Brasileiro

A Região do Semiárido Brasileiro é uma delimitação geográfica do território nacional, oficialmente definida em 2005 pelo Ministério da Integração Nacional, através da Portaria nº 89, para fins administrativos (PEREZ-MARIN; SANTOS, 2013), a partir da extinção do Polígono das Secas anteriormente utilizado para delimitar as áreas do Nordeste sujeitas às secas (BURITI; BARBOSA, 2019).

Em 2017 houve a atualização da Portaria pela Resolução nº 107/2017 publicada pela Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste, e estabelece que são considerados aptos para inclusão no Semiárido os municípios da área de atuação da Sudene que alcancem pelo menos um dos critérios elencados a seguir:

- a) precipitação pluviométrica média anual igual ou inferior a 800 mm;
- b) índice de Aridez de Thorntwaite igual ou inferior a 0,50;
- c) percentual diário de déficit hídrico igual ou superior a 60%, considerando todos os dias do ano.

Com a publicação dessa Resolução a área classificada oficialmente como semiárido brasileiro aumentou de 892.309,4 km² para 969.589,4 km², contando com 1.262 municípios (ANA, 2017) distribuídos por todos os Estados do Nordeste e Minas Gerais (SUDENE, 2017).

No Relatório desta delimitação, foram propostas as recomendações de que “a Sudene promova a coordenação de instância permanente, intersetorial e interfederativa para tratar de assuntos referentes a Delimitação do Semiárido”, somada a orientação contida na Proposição nº 105/2017 feita pela Sudene ao CONDEL, em seu art. 3º, que menciona “os critérios técnicos e científicos utilizados para delimitação do Semiárido, bem como a resolução do CONDEL que os aprovou, serão revistos em 2021 e a cada década, a partir de então” (SUDENE, 2021, p. 13). A delimitação do Semiárido foi atualizada, considerando os dados climatológicos do período de 1991 a 2020, empregando-se os mesmos critérios técnicos adotados da delimitação anterior.

Para esta nova delimitação foram excluídos 50 municípios e incorporados 215, resultando em 1.427 municípios, com a inclusão de 6 municípios do estado do Espírito Santo. Nela vivem aproximadamente 30 milhões de pessoas tornando-a “a região seca mais populosa do mundo” (MARENGO, 2008, p. 149).

O Nordeste, em sua maior parte inserido no semiárido, apresenta um dos mais baixos Índices de Desenvolvimento Humano do Brasil (GOUVEIA; SANTOS; TOMASELLA, 2002). Uma região marcada por problemas ambientais, como a degradação ambiental (SANTOS, 2008) e historicamente conhecida pelos graves problemas socioeconômicos e político institucionais, além das determinantes climáticas, que aumentam a vulnerabilidade às Mudanças Climáticas, especialmente às secas (LINDOSO *et al.*, 2011)

As secas são fenômenos naturais de desvios de clima de longo prazo e fazem parte da variabilidade climática natural desta região, ocorreram no passado, estão ocorrendo no presente e, de acordo com as projeções de mudanças climáticas, provavelmente continuarão e

se intensificarão no futuro (MARENGO; TORRES; ALVES, 2017). “É um dos fenômenos naturais de maior ocorrência no mundo” (DE ALCÂNTARA SILVA *et al*, 2013).

Foi o evento que mais causou danos humanos no Brasil, chegou a afetar 162 milhões entre os anos de 1991 e 2019 (UFSC, 2020). Na Figura 2 é possível observar que a concentração deste tipo de evento ocorre no Nordeste e Sudeste, aonde estão localizados todos os municípios que compõem o semiárido brasileiro e tem como característica comum a recorrência de eventos de secas (SANTOS; CUNHA; RIBEIRO-NETO, 2019).

Figura 2 – Danos por Estiagem e Seca nas regiões do Brasil



Fonte: UFSC (2020).

A pior seca registrada na região, neste século, aconteceu entre os anos de 2010 e 2016, com principais impactos na deficiência hídrica, ameaçando a segurança alimentar devido ao aumento dos preços dos alimentos e a aceleração do processo de desertificação (ANA, 2013; BURITI; BARBOSA, 2019).

O mais preocupante em relação as secas são as previsões que consideram as mudanças climáticas. Segundo o (PBMC, 2013a), “O Semiárido nordestino pode, num clima mais quente no futuro, transformar-se em região árida. Isso pode afetar a agricultura de subsistência regional, a disponibilidade de água e a saúde da população, obrigando as mesmas a migrarem para outras regiões” (p. 10). Tal afirmativa demonstra a vulnerabilidade dessa região as mudanças e variabilidades do clima.

O maior impacto esperado é a redução da pluviosidade e aumento de temperatura, com consequências sobre a produção de alimentos, tendendo para um quadro de insegurança

alimentar, como já ocorreu, e de forma mais abrangente, sobre as condições de vida das populações mais vulneráveis. Acentuando as diferenças sociais e resultando em fome das populações pobres e mais expostas às adversidades climáticas. A agricultura industrializada, talvez, possa reagir às mudanças do clima, porém, a de subsistência enfrentará maiores dificuldades (PBMC, 2013b).

Existem áreas no semiárido delimitadas e classificadas como de elevado risco hídrico, e que necessitam de especial atenção, nas quais os seguintes fatores são observados:

- a) precipitação média anual inferior a 700 mm;
- b) índice de aridez inferior a 0,35, indicando regiões mais críticas no balanço precipitação-evapotranspiração;
- c) ausência de sistemas aquíferos sedimentares, que representariam potencial fonte de suprimento e de segurança hídrica para o abastecimento;
- d) ausência de rios perenes com elevado porte ou com grande capilaridade, que também significariam fator de segurança hídrica (ANA, 2013).

Depois da seca e estiagem, o evento que mais atinge o Nordeste são as inundações (UFSC, 2013) que tem ocorrido com frequência e gerado impactos a curto prazo e de grande magnitude. As inundações estão quase sempre ligadas a chuvas intensas (REBELO, 1997; 2001) e, também, atingem, geralmente, as pessoas socialmente mais vulneráveis, exatamente por estas ocuparem as áreas ambientalmente mais vulneráveis (DESCHAMPS, 2004; MONTEIRO; ZANELLA, 2017).

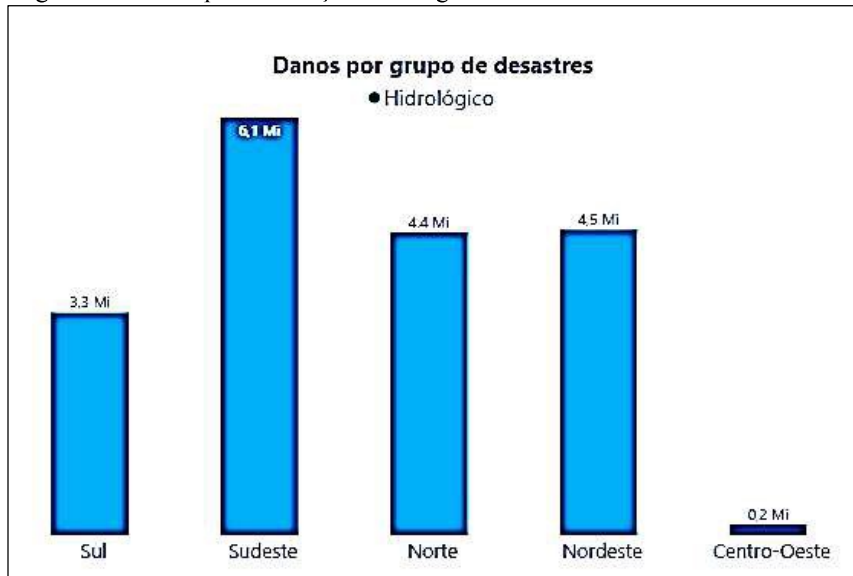
O Nordeste foi a segunda região do Brasil mais afetada por inundações, o total de 4,5 milhões de pessoas sofreram com esse tipo de desastre no período de 1991 a 2019 (FIGURA 3).

Os recentes eventos de seca e inundação em solo brasileiro alertam para quão catastrófica pode ser a situação no futuro. Por essa razão, o estudo e a implementação de medidas para a redução das vulnerabilidades e promoção da resiliência dos recursos hídricos são medidas que se impõem (DAMACENA, 2015)

Em um de seus pontos, o trabalho de Marengo (2008) detectou os efeitos de condições meteorológicas extremas sobre indicadores socioeconômicos no Brasil. O autor destacou dois fatores principais relacionados: enchentes e secas. Identificou que as primeiras têm provocado danos econômicos consideráveis ao País, tanto à sua população como às suas empresas, além da perda de vidas humanas. As secas, por sua vez, têm comprometido o fornecimento de eletricidade, causando também prejuízos econômicos à atividade produtiva

urbana, afetando negativamente a produtividade agrícola e provocando o êxodo populacional de algumas regiões afetadas.

Figura 3 – Danos por inundações nas regiões do Brasil



Fonte: UFSC (2020).

Não apenas o Nordeste, mas o Brasil como um todo vem sofrendo com eventos climáticos extremos - como inundações e secas - cada vez mais frequentes. Aumentando a vulnerabilidade do país a desastres naturais e ameaçando de forma desproporcional os meios de vida dos pobres, especificamente no setor de água, onde os eventos climáticos têm grande impacto (BANCO MUNDIAL, 2019).

Mas as condições que determinam a vulnerabilidade diferem de uma região para outra no Brasil. Pois as condições dos grupos sociais dadas pelas: classes socioeconômicas, aspectos étnicos, gênero, educação, cultura, entre outros não são homogêneas pelo país e tem forte influência sobre os resultados de um desastre refletindo a vulnerabilidade de um lugar diante de um fenômeno perigoso (UFSC, 2013).

No caso desse estudo o perigo está na ocorrência dos eventos extremos. O termo evento extremo está associado a fenômenos excepcionais que de algum modo, afetam as dimensões social, econômica, ambiental, institucional, etc., causando prejuízos. É constantemente utilizado para caracterizar fenômenos provenientes de episódios pluviométricos, como os mínimos de chuva (quando praticamente não ocorre a chuva) e nos considerados máximos (quando ocorrem chuvas extremas), sendo relacionados, respectivamente, pelo binômio seca e inundações (MONTEIRO, 2016).

Quando um evento ocorre em local sem a presença de pessoas é denominado como natural, ocorre de forma habitual na própria dinâmica natural e pode muitas vezes nem ser percebido. Mas, se tais eventos provocam danos de grande relevância como mortes, desabrigo, danos materiais, produzem dano ao bem-estar e são denominados de eventos extremos (MONTEIRO, 2016; OLÍMPIO; ZANELLA, 2017).

A região semiárida do Nordeste brasileiro de fato é frequentemente impactada por tais fenômenos climáticos que produzem tanto a escassez hídrica, quanto os excessos pluviais geradores de inundações (UFSC, 2013; OLÍMPIO; ZANELLA, 2017). Estes fenômenos têm relação com a grande variabilidade espacial e temporal das chuvas e as precipitações irregulares concentradas em poucos meses (MARENGO; TORRES; ALVES, 2017; PEREIRA *et al.*, 2017; ZANELLA, 2014).

A grande variabilidade espacial, sazonal e interanual das chuvas é explicada pela complexidade de fatores que influenciam no regime de precipitações no Nordeste, especialmente no semiárido (UFSC, 2013). Os principais mecanismos que condicionam as precipitações são: a Zona de Convergência Intertropical sobre o Oceano Atlântico, as Frentes Frias, por Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis, as Linhas de Instabilidade, os Complexos Convectivos de Mesoescala, e as brisas marítima e terrestre. Estes, por sua vez, são fortemente influenciados por Eventos El Niño Oscilação Sul, pela Temperatura da Superfície do Mar dos oceanos Atlântico Sul e Norte, pelos Ventos Alísios e pela Pressão ao Nível do Mar (FERREIRA; MELLO, 2005).

Anomalias referente a ocorrência destes mecanismos desencadeiam os eventos extremos climáticos que afetam a região. Embora a variabilidade seja responsável pela ocorrência dos eventos de precipitação extrema, outros fatores são corresponsáveis pelos impactos causados no semiárido.

As formações geológicas predominantemente cristalinas são condicionantes do regime dos rios e das reservas subterrâneas e, portanto, da disponibilidade dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos para a região, bem como reduzido volume de escoamento superficial em sua rede de drenagem, além das elevadas taxas de evapotranspiração e elevado déficit hídrico (ZANELLA, 2014).

Diante da incerteza característica à vulnerabilidade é importante a tentativa de antecipação à surpresa dos fenômenos (CUTTER, 2003). Marandola Jr e Hogan (2006) citam a necessidade de definir a escala espacial e temporal. Para tanto, o capítulo seguinte visa delimitar a escala de análise da pesquisa e a metodologia adotada para chegar aos resultados.

3 METODOLOGIA

O capítulo apresenta a localização do município objeto do estudo, seguida da descrição dos métodos e técnicas utilizados para apresentar as características ambientais e os eventos pluviométricos extremos que ocorreram. Posteriormente são detalhadas as técnicas elegidas para realizar a análise multicritério no mapeamento da vulnerabilidade ambiental à seca, findando com as etapas da modelagem à inundação.

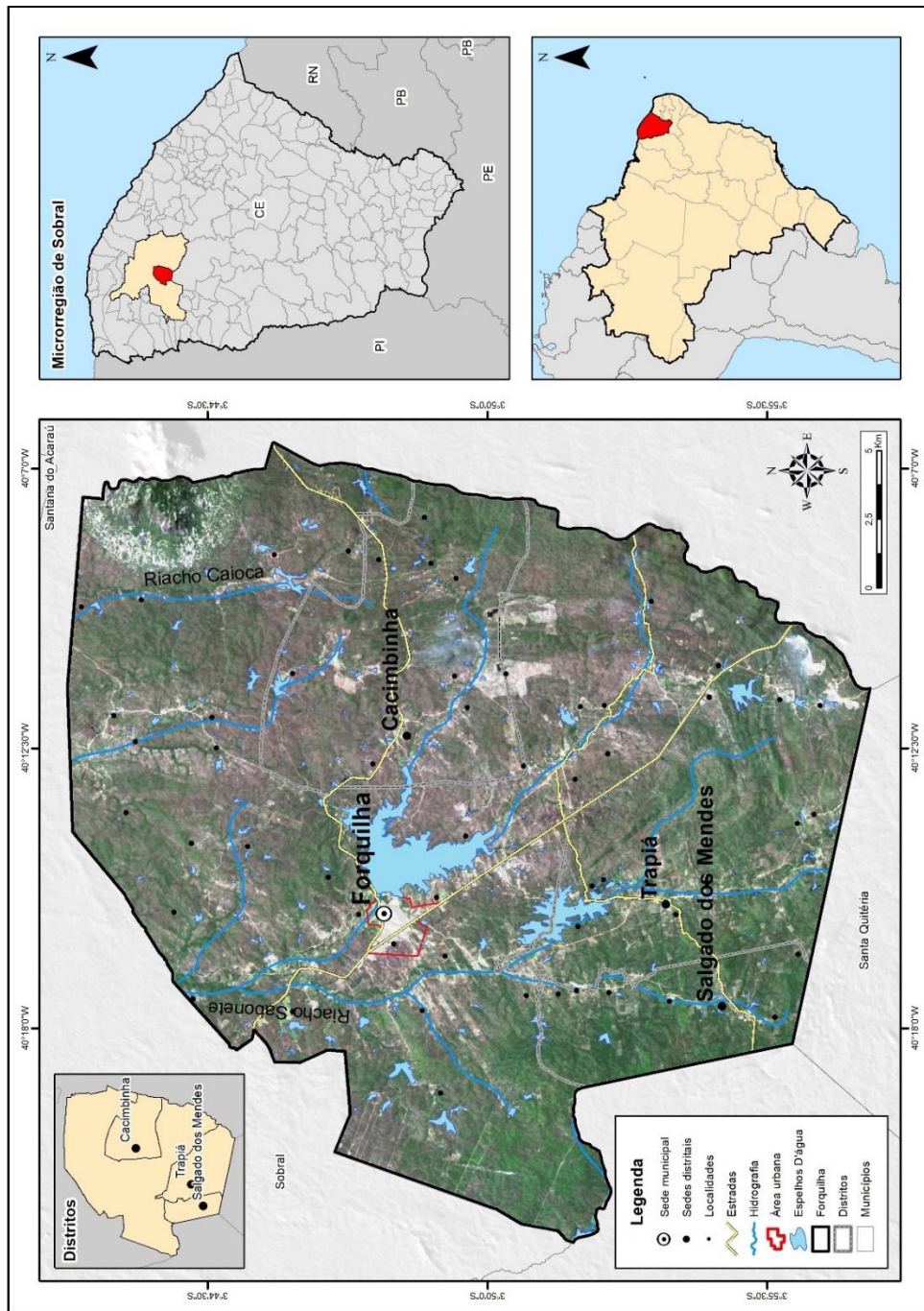
3.1 Área de estudo

O município de Forquilha está localizado entre as coordenadas 3°41'11.67" e 3°58'39.44" de latitude (S) e 40°21'29.91" e 40°6'56.78" de longitude (WGr), no Noroeste cearense, região de planejamento Sertão de Sobral. Faz limites com Groaíras, Santa Quitéria e Sobral. Possui área absoluta de 517 Km² com uma população recenseada de 21.786 hab, 71,02% deles residindo na área urbana, e estimada em 24.680 para 2021 (IBGE, 2023), com densidade demográfica de 42,14 hab/km² (IBGE, 2010).

Possui quatro distritos: a sede, Salgado dos Mendes, Cacimbinha e Trapiá. A área urbana está inserida no distrito de Forquilha, onde também se localiza a sede municipal, é considerada a mais dinâmica no que diz respeito a atividades econômicas e populacionais, está situado às margens de uma rodovia federal (BR – 222), principal via que liga Forquilha a Fortaleza e a Sobral.

Os distritos de Salgado dos Mendes e Trapiá são essencialmente rurais e predominam as atividades do setor primário, além destes, há mais cinquenta comunidades onde muitas famílias vivem dispersas (TOMAZ, 2019), com população estimada em 6.313 habitantes em toda a área rural (IPECE, 2018). A Figura 4 mostra a localização geográfica do município que faz parte da microrregião de planejamento de Sobral.

Figura 4 – Localização e delimitação territorial do município de Forquilha, CE



Fonte: Elaborado pela autora (2020).

Forquilha possui um reservatório de médio porte com o mesmo nome do município. O açude é uma obra federal construído pelo DNOCS, iniciado em 1919 e concluído em 1928. A construção do reservatório atraiu considerável quantitativo de pessoas e deu início a formação do distrito e posterior consolidação do município.

3.2 Coleta e organização dos dados

Esta etapa consiste no levantamento bibliográfico, cartográfico e dados secundários. A revisão da bibliografia pertinente partiu do levantamento de artigos publicados em periódicos, teses, dissertações e publicações de órgãos governamentais.

Os dados cartográficos, fotográficos e de imagens de satélite levantados refere-se à organização das informações já existentes sobre a área de estudo, como: delimitação do município de Forquilha (IBGE, 2020), localização das comunidades, distritos (IPECE, 2017) e bases dos setores censitários (IBGE, 2022).

Após os levantamentos preliminares, partindo da definição do problema de pesquisa, seguiu-se com obtenção dos dados de precipitação disponibilizados pela FUNCEME, imagens de satélite do NOAA e Landsat, imagens de radar *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), fotografias tiradas com celulares REDMI 8 PRO e aéreas utilizando aeronave ARP DJI Mini2 e fontes da imprensa local, estadual e nacional que noticiaram os impactos das variações climáticas no município. Para tratamento dos dados quantitativos e análises estatísticas foram usados o Pacote Microsoft Office Excel e o QGIS versão 2.18 – Las Palmas e ArcGis 10 para compilação das informações cartográficas e elaboração do layout dos mapas.

3.3 Identificação dos eventos pluviométricos extremos

Para identificar o que é considerado extremo em determinada região analisada é necessário observar, de um ponto de vista estatístico, primeiramente, o que é “normal”, verificando o comportamento da chuva em uma série histórica de, pelo menos, trinta anos, segundo critério estabelecido pela OMM (MONTEIRO, 2016).

A série adotada para elaboração deste trabalho foi de 34 anos (1988 – 2022), pois é um período válido e com dados ininterruptos, tanto para análise das variações climáticas da série, quanto dos dados diários de chuva acumulado. Nas duas situações foram considerados

todos os meses do ano, uma vez que há precipitações além da quadra chuvosa e pode haver ocorrência de eventos extremos.

Para tanto, selecionou-se o posto pluviométrico 46, utilizado como fonte por contar com dados de precipitação ininterruptos para toda a série histórica, localizado na sede municipal. Existem ainda outros dois postos, mas as informações não contemplam o período elegido.

Quando o acumulado de chuva ocorre de forma bastante concentrada em áreas urbanas, os impactos podem ser mais intensos, ainda que não represente um acumulado de chuva tão elevado. As chuvas podem ser consideradas intensas a partir de 30 mm/h e críticas quando ultrapassam 50 mm/h (CONTI, 2011). Para efeito desse estudo adotou-se a definição de Calvetti *et. al.* (2006) e Conti (2011), também adotado por Monteiro (2016), que de forma mais operacional caracterizaram como um evento de chuva extrema aqueles cujos valores que ultrapassam 50 mm em 24 horas.

Afinal, em diversas cidades brasileiras é possível identificar algum tipo de impacto nos eventos que ultrapassam este limiar de chuva. Embora, os prejuízos possam ser ainda maiores à medida que os eventos de chuva se intensifiquem e atinjam, por exemplo, 100 mm acumulados em 24 horas. Assim, definir intervalos de intensidade entre os próprios eventos extremos podem configurar uma análise estatística mais coerente, no intuito de verificar o comportamento de uma determinada região quanto à ocorrência de eventos de chuva de grande intensidade e facilitar a análise dos impactos ocasionados entre os diferentes níveis (MONTEIRO, 2016).

Para estabelecer os níveis que indicam escassez, normalidade e excesso de precipitação foram definidos intervalos classificando, ordenando e nivelando os anos com a aplicação da técnica de quantis explicada no tópico seguinte.

3.3.1 Técnica de quantis

A técnica de quantis consiste é uma abordagem estatística utilizada para avaliar a distribuição de uma variável e identificar os seus pontos críticos. Ela divide a distribuição em partes iguais, chamadas de quantis, onde cada quantil representa uma porcentagem dos dados. É útil para identificar os valores extremos ou críticos de uma distribuição, permitindo uma compreensão mais precisa do comportamento dos dados e a identificação de possíveis pontos

de atenção ou anomalias, sendo frequentemente aplicada em estudos climáticos, de risco e em diversas áreas em que a análise de distribuições é relevante.

A partir dos dados coletados foi aplicada a referida técnica (PINKAYAN, 1966; XAVIER 2001, 2004, 2007; MONTEIRO; ROCHA; ZANELLA, 2012). Para sua utilização, supõe-se que a chuva em um determinado local, acumulada em certo intervalo de tempo, obedecendo a anos consecutivos, possa ser representada em termos por uma variável aleatória contínua. Isto significa que o valor da sua altura acumulada (em milímetros) não poderá ser previsto com exatidão determinística, podendo assumir qualquer valor dentro daquele período, assumindo uma natureza probabilística. Desse modo, pode-se atribuir uma probabilidade para que a altura da chuva fique compreendida entre dois limites arbitrariamente escolhidos.

Com base nestas considerações, os totais de chuva acumulada a cada ano da série histórica é obtido a partir da soma do acumulado mensal. Estes totais anuais são ordenados de modo crescente para em seguida aplicar a técnica dos quantis, que por serem medidas de separação dividem os intervalos de frequências em partes iguais. A escolha dos quantis a serem calculados fica a critério do pesquisador, podendo variar de acordo com o objetivo da pesquisa.

Para o presente trabalho foi considerada a mesma divisão adotada por Monteiro, Rocha e Zanella (2012), realizada com base em Pinkayan (1966), em 5 classes: Muito Seco, Seco, Normal, Chuvoso e Muito Chuvoso. Estas são representadas pelos respectivos quantis $Q(0,15)$, $Q(0,35)$, $Q(0,50)$, $Q(0,65)$ e $Q(0,85)$. Nota-se que nesta divisão os intervalos entre os quantis são relativamente diferentes, com intervalos menores (de 15%) nas classes extremas (muito seco e muito chuvoso), de 20% nas classes adjacentes às classes extremas (seco e chuvoso) e um intervalo maior na classe normal (com 30% das observações). Desta forma, a divisão assume uma distribuição normal permitindo, do ponto de vista estatístico, um tratamento das informações mais coerente e confiável.

Para estabelecer com precisão os intervalos em mm para cada quantil e a respectiva classificação dos anos, faz-se necessário estabelecer valores para os quantis $Q(0,15)$, $Q(0,35)$, $Q(0,50)$, $Q(0,65)$ e $Q(0,85)$, aplicando a fórmula abaixo para cada ordem quantílica.

$$Q(P) = y_i + \{[P - P_i]/[P_{i+1} - P_i]\} * [y_{i+1} - y_i]$$

$Q(P)$ = Quantil (Ex: $Q(0,15)$ é o quantil que corresponde à ordem quantílica $P = 0,15$;

i = número de ordem para cada valor (ordenar de forma crescente);

y = valor correspondente a cada número de ordem i (no caso, seria o total pluviométrico em mm);

P_i = Ordem quantílica ($P_i = i/(N+1)$);

N = Número de elementos da série.

Após este procedimento, nos anos considerados mais secos e mais chuvosos foram identificados os sistemas atmosféricos ou mecanismos físicos que mais influenciaram na ocorrência (ou ausência) de chuvas no município, além da ilustração dos impactos causados pelo fenômeno de acordo com as notícias veiculadas no período de ocorrência.

3.3.2 Metodologia dos Máximos de precipitação

Para contemplar a análise de eventos extremos a partir do acumulado de chuva diário foi utilizada a metodologia estatística dos máximos de precipitação, adotada no trabalho de Monteiro (2016), com base em Gao, Jeremy e Fillipo (2006), Frich *et al.* (2002) e Silva (2012).

Segundo Monteiro (2016), tal metodologia é mais coerente no tratamento de eventos extremos de chuva, pois trabalha com um limiar de chuva e classes de intensidade, de acordo com os eventos que realmente poderiam ser considerados como de grande magnitude. O autor, com base em Silva (2012), definiu cinco intervalos através de um disco de precipitação com o intuito de representar os eventos extremos de chuva. A primeira faixa, de baixo para cima, refere-se à normalidade, as seguintes correspondem a quatro níveis de intensidade (I a IV). O disco permite verificar de forma mais dinâmica e prática a intensidade dos eventos extremos no município escolhido.

Para realizar o cálculo estatístico seguiu-se os seguintes procedimentos: inicialmente foram selecionados os valores acumulados de chuva (diário) em 24h que foram iguais ou superiores a 50 mm ocorridos durante a série histórica (1988-2022). Após definir o limite e selecionar os eventos, foi calculada a média e o desvio padrão dos valores, no intuito de aplicar a fórmula para determinar os níveis de intensidade dos eventos extremos (Figura 5).

Figura 5 – Fórmulas para determinar os níveis de intensidade nos eventos de chuva extrema

NORMAL	$X < \bar{M} \text{ máx}$	Baixa intensidade
NÍVEL I	$\bar{M} \text{ máx} \ll X < \bar{M} \text{ máx} + 1\sigma$	Intensidade pequena
NÍVEL II	$\bar{M} \text{ máx} + 1\sigma \ll X < \bar{M} \text{ máx} + 2\sigma$	Intensidade média
NÍVEL III	$\bar{M} \text{ máx} + 2\sigma \ll X < \bar{M} \text{ máx} + 3\sigma$	Intensidade grande
NÍVEL IV	$\bar{M} \text{ máx} + 3\sigma \ll X$	Intensidade muito grande

Fonte: Monteiro (2016).

Os eventos extremos de Nível I representam os acumulados de chuva (X) em que a média dos máximos valores é menor ou igual à precipitação avaliada e, ao mesmo tempo, menor que a média dos máximos ($M \text{ máx}$) mais uma vez o desvio padrão (σ) dos máximos valores. Os de Nível II são os valores maiores ou iguais à média dos máximos mais uma vez o desvio padrão dos máximos e, ao mesmo tempo, menor que a média dos máximos mais duas vezes o desvio padrão dos máximos. Os eventos extremos de Nível III consideram as precipitações maiores ou iguais a média dos máximos mais duas vezes o desvio padrão dos máximos e menor que a média dos máximos mais três vezes o desvio padrão dos máximos. Por fim, o nível IV representa aqueles valores que são superiores ou igual à média dos máximos mais três vezes o desvio padrão dos máximos.

Os eventos de grande magnitude e que ocasionaram prejuízos vultosos para o município também foram analisados no intuito de verificar o período do ano em que ocorreram e os sistemas atmosféricos atuantes para geração dos grandes volumes de chuva, bem como os possíveis impactos registrados em jornais.

3.4 Análise Multicritério para o mapeamento de vulnerabilidade a seca

Encontra-se na literatura definições de diferentes tipologias de secas, mas é a ausência de uma definição, precisa e universalmente aceita, que aumenta as incertezas sobre sua caracterização em termos de duração e graus de severidade (WILHITE, 2000). A dificuldade aumenta quando a intenção é estabelecer indicadores universais de seca para regiões distintas, o que muitas vezes ocorre em países continentais como o Brasil (CUNHA *et al.*, 2019).

Considerando as dificuldades encontradas em tais tipos de pesquisa, procurou-se incorrer no menor grau de inconsistência possível, elegendo as etapas a seguir como o percurso mais adequado, dentro da proposta, para chegar ao resultado pretendido.

Para tanto, optou-se por adotar a Análise Multicritério, abordagem amplamente utilizada para apoiar a tomada de decisão em situações complexas e que envolvem múltiplos critérios identificados e avaliados de forma sistemática e integrada, a fim de se chegar a uma decisão coerente e transparente (OLÍMPIO, 2017; FERREIRA e SILVA, 2020; LIRA, FRANCISCO e FEIDEN, 2022; MAIA, SCHNLZ e VITTORAZZI, 2022; LEAL *et al.*, 2020; OLIVEIRA; NUNES, 2022; WEISS e PIPPI, 2019).

A análise multicritério é composta por diversas etapas a saber: identificação e seleção dos critérios a serem considerados; atribuição de pesos relativos a cada um; definição das alternativas a serem avaliadas; avaliação das alternativas em relação a cada critério; agregação dos resultados e seleção da alternativa mais adequada.

A seguir são elencadas as etapas seguidas para cumprir a proposta metodológica descrita, com a identificação e seleção dos critérios (indicadores físicos) e posterior aplicação da *Analytic Hierarchy Process* (AHP) que, dentre as diversas técnicas de análise multicritério, foi utilizada por permitir considerar e integrar diversos critérios ambientais através de uma matriz de comparação.

3.4.1 Seleção dos indicadores físicos

Para minimizar incoerências, a seleção dos indicadores foi realizada com base na revisão de literatura especializada, dentre artigos científicos, teses, dissertações e publicações de órgãos governamentais, utilizando os termos-chave: “vulnerabilidade a seca”; “vulnerabilidade ambiental a seca”; “índices e indicadores físicos e ambientais relacionados a seca”, resultando nos procedimentos que se seguem.

Primeiramente foram elencadas as variáveis estabelecidas como as mais citadas por Tánago *et al.* (2016) em seu artigo de revisão sobre os índices de vulnerabilidade a seca. Neste estudo os autores fizeram extenso levantamento sobre o assunto e dividiram os resultados em duas dimensões, biofísica e socioeconômica. Considerando os objetivos do trabalho selecionou-se as variáveis biofísicas como as de interesse.

Posteriormente, os indicadores compuseram o Quadro 2, a seguir, possibilitando a quantificação das vezes nas quais estes foram citados nos trabalhos revisados, priorizando

publicações a nível nacional, de preferência com área de estudo situada no semiárido brasileiro.

Quadro 2 – Seleção dos indicadores que representam a vulnerabilidade ambiental a seca

Variáveis relevantes no estudo da desertificação	Autores: Gonçalves et. al. (2021) Kobiyama et. al. (2006) De Alcântara Silva et. al. (2013) Cunha et. al. (2019) BRASIL, (2020) Rosendo (2019) MMA (2017) Martins et. al. (2015) Santos; Cruz (2020)								Total
		*			*	*	*	*	
SPI		*			*	*	*	*	5
Vegetação (NDVI)	*				*	*	*	*	6
Precipitação		*	*	*	*	*	*	*	6
Evapotranspiração		*	*	*		*			4
Temperatura	*	*	*			*			4
Declividade	*					*	*		3
Solo					*	*			2
Recursos hídricos superficiais								*	1
Recursos hídricos subterrâneos									

Fonte: Adaptado de Leal *et al.* (2020) e elaborado com base em Tánago *et al.* (2016).

Na primeira coluna que compõe o quadro acima foram elencadas as variáveis identificadas como as mais utilizadas em estudos biofísicos relacionados à seca, conforme Tánago *et al.* (2016). Em seguida, os autores que compõem a primeira linha superior a esquerda foram revisados para determinar quais os indicadores mais aparecem neste tipo de pesquisa a nível nacional. Por fim, os asteriscos representam uma citação desse fator em cada trabalho revisado e por último a quantidade final de citações, revelando as variáveis mais utilizados e, por tanto, mais representativas dos estudos voltados à seca.

Diante dos dados apresentados percebeu-se que para contemplar a proposta da pesquisa com a realização do mapeamento no intuito de identificar e classificar às áreas do município de acordo com o grau de vulnerabilidade ambiental à seca, elenca-se os seguintes critérios: precipitação, temperatura, declividade, tipos de solo, vegetação e uso e cobertura do solo.

Após a seleção das variáveis é necessário realizar a reclassificação destas, para que dentro do ambiente SIG seja realizada a análise multicritério através da álgebra de mapas (LEAL *et al.*, 2020). Inicialmente foi necessário atribuir novos valores para cada classe das variáveis escolhidas. A metodologia utilizada neste trabalho para a reclassificação foi realizada com base na revisão bibliográfica, com isso definiu uma hierarquia de acordo o grau de

vulnerabilidade para cada classe de cada variável, de forma que quanto maior o valor atribuído à classe, maior o grau. Sendo o grau 1 (muito fraca), grau 2 (fraca), grau 3 (média), grau 4 (forte) e grau 5 (muito forte), resultando em um mapa reclassificado para cada variável, obedecendo o processo de reclassificação detalhado a seguir.

3.4.1.1 Precipitação

Variável indispensável no estudo de qualquer temática referente a seca, a precipitação pode ser apresentada compondo um índice - SPI (MCKEE *et al.*,1993); PDSI (PALMER, 1965), ou enquanto valor absoluto (LEAL *et al.*, 2020). Para o trabalho optou-se por utilizar a precipitação média, os dados foram obtidos no site da Funceme para o período de 1981 - 2019. A partir da análise, Forquilha apresentou uma variação no quantitativo de chuva ao longo do território, considerando as precipitações média para a região onde se encontra, foram identificadas três faixas de distribuição.

A classificação se deu considerando que localidades com média de precipitação baixa são mais sensíveis a variações no regime pluviométrico, facilitando o desequilíbrio dos sistemas humanos e a ocorrência de desastres envolvendo secas, quando comparados com locais com médias mais elevadas (com maior disponibilidade de água). Além disso, quanto menor a média de precipitação menor a disponibilidade de água mesmo em períodos considerados dentro da normalidade (MMA, 2017).

Desse modo, as áreas com maior incidência de chuva receberam peso 1, ou seja, quanto mais chuva menos vulnerável é a área, a classe de peso 2 foi classificada como de fraca vulnerabilidade, a de peso 3 corresponde a média da região, a classe forte e muito forte de pesos 4 e 5, respectivamente, possuem os menores quantitativos em relação a faixa de precipitação média e são as mais vulneráveis. As faixas de variação pluviométrica e atribuição dos valores ao grau de vulnerabilidade referente as classes foram estabelecidas conforme a tabela 1 a seguir:

Tabela 1 - Precipitação média (mm/ano)

Classe	804,1 - 977	768,1 - 804	743 - 768	668,1 - 743	559 - 668
Grau	1	2	3	4	5

Fonte: Elaborada pela autora.

3.4.1.2 Temperatura

Além de sua importância isolada, a temperatura tem forte influência na evapotranspiração potencial e umidade do solo, estabelecendo relação direta com o potencial de armazenamento dos reservatórios (garantindo o abastecimento) e a qualidade do solo (propiciando a produção agrícola e pecuária). Optou-se por utilizar temperatura a superfície do solo (T_s) por ser comum em estudos sobre a seca realizados no semiárido (SANTOS; CRUZ, 2020; CASTRO *et al*, 2018; FERNANDES; BORGES; FORTUNADO, 2019).

Para obtenção da temperatura à superfície do solo (T_s) foram adquiridas imagens do satélite *Landsat 9*. A partir delas realizou-se o cálculo da radiância monocromática aparente e a emissividade, a partir do sistema imageador *Thermal Infrared Sensor* (TIRS), que se referem às bandas 10 (Infravermelho Termal/TIRS 1/10.6 - 11.19 μm). O programa ArcGIS 10.8 foi utilizado para conversão dos valores iniciais das imagens em radiância espectral, em seguida, para temperatura de brilho (COELHO; CORREA, 2013).

Posteriormente, foi conduzida a derivação da Fração de Cobertura Vegetal (F_c) utilizando o Índice de Vegetação do Solo Ajustado (SAVI) (ZHANG *et al*, 2012). Depois, foram calculados os valores de emissividade da superfície utilizando o método proposto por Valor e Caselles (1996). A partir dos dados obtidos, a Equação foi empregada para estimar a temperatura à superfície do solo (T_s) com correção atmosférica (ARTIS; CARNAHAN, 1982).

$$T_s = \frac{T_b}{1 + \left[\lambda * \frac{T_b}{\rho} \right] * \ln(\varepsilon)}$$

Onde:

λ = Comprimento de onda do brilho emitido;

$$\rho = h * \frac{c}{\sigma} \left(1.438 * \frac{10^{-2}m}{K} \right);$$

σ = constante de Boltzmann ($1.38 * 10^{-23} \text{J/K}$);

h = constante de Planck ($6.26 * 10^{-34} \text{J/s}$);

c = velocidade da luz ($2.998 * 10^8 \text{m/s}$).

Após a realização dos procedimentos mencionados, foram utilizadas a extensão *Spatial Analyst Tool* e a ferramenta *Reclassify* do ArcGIS para reclassificar a imagem resultante da aplicação das equações. Com base nessa reclassificação, foram delimitados as classes e graus correspondentes à variável T_s , conforme apresentados na Tabela 2. Vale destacar que a temperatura encontrada se refere ao período do ano e horário de passagem do satélite

(25/07/2022, 12:52:58.3062090Z).

Tabela 2 - Temperatura a Superfície (°C)

Classe	14 a 18	18,1 a 20	20,1 a 22	22,1 a 26
Grau	1	2	3	4

Fonte: Elaborada pela autora (2020).

3.4.1.3 Vegetação

Inserir o estudo da vegetação propicia análise da quantidade e a saúde das plantas em uma área, podendo ser usada para avaliar a vulnerabilidade na ausência de chuvas. Ela pode ser medida por meio de índices, como o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI), que quantificam a clorofila das plantas, ou índice de vegetação ajustado ao solo (SAVI), que leva em conta os efeitos do solo exposto nas imagens.

Considerando que o presente estudo trata das questões relativas aos eventos de seca que podem se prolongar, foi decidido utilizar o SAVI, que tem boa resposta em áreas com presença de degradação e solo exposto. Desenvolvido por Huete (1988), o índice complementa o NDVI com o fator L para correção da refletância do solo. Onde, de acordo com Carvalho (2017), são atribuídos os valores de $L = 1$ para áreas com pouca cobertura vegetal; $L = 0.5$ para áreas com cobertura intermediária; $L = 0.25$ para áreas muito densas.

Inicialmente, foi necessária a aquisição de imagem do satélite *Landsat 9*, sensor Operational Land Imager 2 (OLI-2), com resolução espacial de 30 m, disponíveis no site do *United States Geological Service (USGS, 2017b)*. A referida imagem apresenta as seguintes características: órbita/ponto 218/63 e data de passagem de 25/07/2022. Destaca-se que as imagens passaram por cálculo da refletância aparente, correção atmosférica e conversão dos níveis de cinza da imagem (NC) para radiância espectral e, em seguida, para refletância.

Posteriormente, foi aplicada a Equação a seguir, que se refere ao SAVI, nas imagens, supracitadas, ajustando-se o NDVI, quando a superfície do solo não está totalmente coberta pela vegetação (BORATTO; GOMIDE, 2013).

$$SAVI = \frac{(NIR - R)}{(NIR + R + L)} * (1 + L)$$

Onde:

SAVI = índice de vegetação ajustado ao solo;

NIR = fluxo radiante no infravermelho próximo;

R = fluxo radiante na região do vermelho visível;

L = fator de ajuste do índice SAVI, nesse estudo assumiu o valor de 1.

Finalmente, foram definidos os intervalos e cinco classes, conforme é apresentado na Tabela 3.

Tabela 3 - Vegetação (SAVI)

Intervalo	Classes atribuídas	Grau
0,6 a 0,8	Vegetação com alta atividade fotossintética	1
0,4 a 0,6	Vegetação com média atividade fotossintética	2
0,2 a 0,4	Vegetação com baixa atividade fotossintética	3
0,1 a 0,2	Área urbana/ Vegetação com muito baixa atividade fotossintética	4
0 a 0,1	Solo exposto	5
< 0,1	Corpo hídrico	-

Fonte: Santos (2019).

3.4.1.4 Declividade

A declividade se destaca pela relação direta com a recarga dos reservatórios, bem como, a formação e distribuição dos solos, que, por sua vez, apresentam certas características que possibilitam o maior ou menor acúmulo de água, a exemplo da coesão (SANTOS; CRUZ, 2020). Para tanto, adquiriu-se o arquivo matricial do Modelo Digital de Elevação (MDE), da SRTM (USGS, 2017a), com resolução espacial de 30 metros. Os intervalos de declividade foram definidos baseado na metodologia descrita pela Embrapa (1979; 2013), que classifica a declividade em porcentagem de acordo com o tipo de relevo.

Tabela 4 - Declividade (%)

Intervalo	Classes atribuídas	Grau
0 a 3	Plano	1
3 a 8	Suave-ondulado	2
8 a 20	Ondulado	3
20 a 45	Forte-ondulado	4
45 a 75	Montanhoso	5
> 75	Forte-montanhoso	-

Fonte: Embrapa (1979).

3.4.1.5 Solos

A inserção dos tipos de solo propicia a elaboração de um cenário considerando a influência que esta variável possui para manter uma área resiliente em períodos de seca, pois cada tipologia apresenta características mais ou menos favoráveis quando expostas a falta de precipitação. As classes foram definidas com base no levantamento de solos realizado pela Embrapa (1973), com fonte do IPECE (2021) e o grau de vulnerabilidade estabelecidos conforme a Tabela 5 a seguir.

Tabela 5 - Tipos de solo

Classe	Planossolos	-	-	-	Luvisolos Neossolos Litólicos
Grau	1	2	3	4	5

Fonte: Elaborado pela autora com base em Ross (1994); Leal *et. al* (2020).

3.4.1.6 Uso e cobertura do solo

Embora o uso e cobertura do solo não tenha composto a tabela para definição das variáveis no início do item 3.4.1, tendo em vista que a mesma foi elaborada com base em casos de referência internacional, foi uma variável presente em estudos desenvolvidos por instituições importantes, como a *Disaster Risk Reduction* (DRI) (UNEP, 2004), inclusive em escala nacional (BRASIL, 2020).

Além de ser uma variável indispensável considerando que a ação antrópica é fator determinante na resposta do ambiente em se tratando da ocorrência das secas. Pois, à medida que as componentes ambientais sofrem impactos negativos (impermeabilização, desmatamento, ocupação de áreas protegidas, dentre outras), também existem intervenções positivas (construção de reservatórios), tornando-a uma variável importante.

A delimitação das classes foi realizada com base no MAPBiomias (2022) e os graus para reclassificação da variável de uso e ocupação definidos seguindo a tabela 6.

Tabela 6 - Uso e cobertura do solo

Classe	Água	Formação de Floresta/matias naturais	Formações arbustivas naturais	Antrópicas agrícolas	Áreas urbanas, desmatadas, mineração, solo exposto
Grau	1	2	3	4	5

Fonte: Leal *et. al* (2020); Ross (1994).

O próximo tópico detalha o método AHP para atribuição dos pesos às variáveis.

3.4.2 O método multicritério AHP

A Análise Hierárquica de Processos (AHP) é uma técnica matemática de tomada de decisão que envolve diversas etapas. Utilizada para determinar a importância relativa de um conjunto de critérios que são hierarquicamente organizados em níveis de prioridade. O AHP foi desenvolvido por Thomas Saaty na década de 1980 e é amplamente utilizado em diversas áreas, incluindo a análise multicritério para mapeamento de áreas.

O método AHP é uma estrutura de solução baseado em um procedimento sistemático para representar os elementos de qualquer problema (SAATY, 1986). Ele organiza e divide um problema em suas partes constituintes menores, para, apenas usando julgamentos simples de comparação de pares de critérios, desenvolver prioridades entre cada um.

Cada comparação pareada é feita por um tomador de decisão que fornece os julgamentos. Os critérios são avaliados em relação a um critério principal e estimam quantas vezes mais um elemento tem a propriedade do que o outro. Os julgamentos são expressos verbalmente como igual, moderado, forte, muito forte e extremo (GOEPEL, 2018). Por exemplo, a escala pode variar de 1 a 9, onde 1 indica que os critérios são igualmente importantes e 9 indica que um critério é extremamente mais importante do que o outro.

A partir da comparação dos pares de critérios é construída uma matriz de comparação de pesos, que reflete as prioridades relativas de cada critério. Em seguida, é realizada uma análise matemática da matriz de comparação para obter os pesos finais para cada critério. Todo processo foi automatizado utilizando o *Software online Tool for the Analytic Hierarchy Process* (AHP-OS), que possibilita a inserção dos elementos e a atribuição dos valores definidos na escala de julgamento, resultando nos pesos das alternativas elencadas e no

índice de consistência da matriz. As principais etapas da AHP são descritas a seguir:

- a) identificação dos critérios relevantes: Os critérios que afetam a vulnerabilidade à seca foram identificados e agrupados hierarquicamente, a fim de facilitar a análise. Para definir a precipitação como critério de maior importância se utilizou o quadro 2, pois este fator foi o mais citado na revisão bibliográfica, sendo indispensável nos estudos sobre a seca. Depois veio a temperatura, como segunda variável mais citada nas referências. Os 4 últimos critérios foram julgados de acordo com sua importância a partir dos mapas reclassificados, uso e ocupação é o terceiro critério por Forquilha ter apresentado uma diversidade de classes que mostram intensidade nas intervenções antrópicas. A declividade tem maior importância sobre as duas últimas variáveis, principalmente em associação aos tipos de solos com alta vulnerabilidade presentes no município, principalmente, em áreas de relevo mais movimentado;
- b) estabelecimento da escala de julgamento: a escala de julgamento definida foi: 1- Mesma importância, 3- Importância Moderada, 5- Alta importância, 7- Muito alta importância, 9- Extrema importância. (2,4,6,8 valores entre estes intervalos) (GOELP, 2018);
- c) cálculo da matriz de comparação pareada quadro 3: Os critérios foram comparados em pares, utilizando a escala de julgamento estabelecida, para gerar uma matriz de comparação pareada, seguiu-se as seguintes etapas:
 - os critérios listados foram comparados na matriz;
 - a tabela de comparação foi criada, onde cada linha e coluna representam um critério e os valores na tabela representam as comparações de importância relativa entre os critérios;
 - utilizou-se a escala de valores para comparar os critérios, que variou de 1 a 9;
 - completou-se a tabela fazendo todas as comparações de pares de critérios, que para este caso foram necessárias 15. Feitas de forma bidirecional, comparou-se o critério A em relação ao critério B e se atribuiu valor x , o critério B em relação ao critério A recebeu um valor de $1/x$, chegando a seguinte matriz:

Quadro 3 - Matriz de decisão

	1	2	3	4	5	6
1	1	2.00	9.00	9.00	9.00	9.00
2	0.50	1	4.00	5.00	6.00	7.00
3	0.11	0.25	1	2.00	2.00	2.00
4	0.11	0.20	0.50	1	1.00	1.00
5	0.11	0.16	0.50	1.00	1	1.00
6	0.11	0.14	0.50	1.00	1.00	1

Legenda: 1 = Precipitação; 2 = Temperatura; 3 = Uso e cobertura do solo;
4 = Tipos de solos; 5 = Declividade; 6 = Vegetação

- d) cálculo dos pesos relativos: para obtenção dos pesos das variáveis utilizou-se a matriz quadrada de elementos ($n \times n$), como demonstrado a seguir, nas quais as linhas e as colunas correspondem aos n critérios analisados. Assim, o valor a_{ij} é a importância relativa obtida pela comparação do critério na linha i com relação ao critério na coluna j ;

$$\begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ 1/a_{21} & 1 & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1/a_{n1} & 1/a_{n2} & \dots & 1 \end{bmatrix}$$

Onde:

$a_{ij} > 0 \rightarrow$ positiva

$a_{ij} = 1 \therefore a_{ji} = 1$

$a_{ij} = 1/a_{ji} \rightarrow$ recíproca

$a_{ik} = a_{ij} \times a_{jk} \rightarrow$ consistência

- e) Verificação da consistência: Uma matriz é considerada consistente se os valores da diagonal principal forem iguais a 1, condição alcançada no Quadro 4, e se a consistência global da matriz for menor ou igual a 0,1.

Por fim, o método utiliza a análise de consistência lógica para verificar a coerência nas comparações elaboradas pelo especialista. O *software* oferece a opção de ajustar as comparações e estabelecer a hierarquia dos critérios minimizando as inconsistências que surgem quando algumas comparações se contradizem com outras. Desta forma, os julgamentos consistentes devem satisfazer à condição $CR < 0,1$, sendo calculado por meio da equação (SAATY, 1980).

$$CR = \frac{CI}{RI} = \frac{\lambda_{máx} - n}{RI (n - 1)}$$

Onde,

IC = Índice de Consistência;

n = nº de critérios da matriz $< \lambda_{\text{máx}}$ ou autovalor principal da matriz de julgamentos;

RI = índice randômico baseado no tamanho da matriz n , conforme tabela 7 a seguir.

Tabela 7 – Número de critérios da matriz e o Índice de Constância Randômico

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Índice de Consistência Randômico (RI)	0	0	0,52	0,89	1,11	1,25	1,35	1,40	1,45	1,49

Fonte: Saaty; Vargas (2012).

3.4.3 Álgebra de mapas

A utilização da Álgebra de Mapas foi adotada como método para integrar as variáveis por meio de operações aritméticas, utilizando camadas *raster* e levando em consideração os pesos atribuídos pelo método AHP, detalhado anteriormente, baseado na equação expressa a seguir:

$$M = \omega_p P + \omega_s S + \omega_d D + \omega_u U + \omega_T T + \omega_V V$$

Onde:

M = Mapa final;

P = Precipitação;

S = Solos;

D = Declividade;

U = Uso e ocupação;

T = Temperatura

V = Vegetação

ω = Peso da respectiva variável

(obtido pelo método AHP).

Aplicação da AHP na avaliação da vulnerabilidade à seca, utilizando os critérios identificados e os pesos relativos calculados, forneceu uma visão geral dos fatores que contribuem para ocorrência desse fenômeno e ajudou a identificar as áreas que precisam de atenção prioritária. Os resultados foram apresentados em duas escalas, com detalhe para área urbana, no intuito de melhorar a visualização e enriquecer a discussão, tendo em vista a extensão reduzida da cidade em relação ao tamanho do município e da intensidade no uso e ocupação que diverge do restante do território municipal.

3.5 Modelagem de suscetibilidade à inundação

No âmbito da suscetibilidade, entende-se como suscetível uma área com terrenos que apresentam fortes características, como áreas próximas a cursos d'água, terrenos planos e com inclinação suave, presença de solos com baixa permeabilidade, dentre outras que tendem a favorecer a ocorrência de um desastre, independente de previsão acerca de quando poderá ocorrer um evento e tampouco do grau de certeza atribuível a essa possibilidade.

A presença de um fator, como um dos fatores predisponentes ao desenvolvimento do processo, torna a área passível de inclusão na análise de suscetibilidade. Portanto, o vínculo entre fatores predisponentes e propensão dos terrenos a processos é a base para compreensão e aplicação do conceito de suscetibilidade (BITTAR, 2014).

Os processos de inundação, por sua vez, são complexos e englobam diversos parâmetros. Por isso, para modelar e estimar o alcance de uma mancha de inundação, podem ser utilizados diversos métodos e variáveis, com destaque às variáveis topográficas e hidrológicas (CONCEIÇÃO; SIMÕES, 2021).

Em correspondência aos objetivos deste trabalho, no caso das inundações fluviais, tem-se que a suscetibilidade estaria associada às condições naturais do terreno que favorecem a elevação do nível d'água no canal de drenagem com transbordamento, atingindo as planícies aluviais e os terraços fluviais (BITAR, 2014). Mapear áreas suscetíveis, por sua vez, está contido nas diretrizes da Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDEC), estabelecida pela Lei Federal 12.608/2012 (PNPDEC, 2012).

Para alcançar o propósito, as diretrizes para a elaboração do modelo de inundação enfatizam a utilização de dados essencialmente topográficos, resultando em um modelo estático da área inundada, sem considerar os aspectos hidrológicos relacionados a períodos de retorno de chuva, volume hídrico e outros conceitos afins. Não incluindo qualquer tipo de análise acerca de perigo ou risco. Pois, são as áreas propensas ao desenvolvimento de um fenômeno ou processo correspondem às áreas suscetíveis.

A metodologia adotada na construção do modelo de inundação apresentado na pesquisa teve como base os trabalhos do Serviço Geológico do Brasil (SGB/CPRM), órgão referência em estudos sobre desastres naturais como inundações e movimentos de massa. Os procedimentos seguidos pelo referido órgão resultaram em Cartas de Suscetibilidade a movimentos de massa e inundações publicados em 2014, dentre os municípios mapeados está Sobral, que faz limite com Forquilha e está inserido na mesma Bacia Hidrográfica.

3.5.1 Materiais utilizados

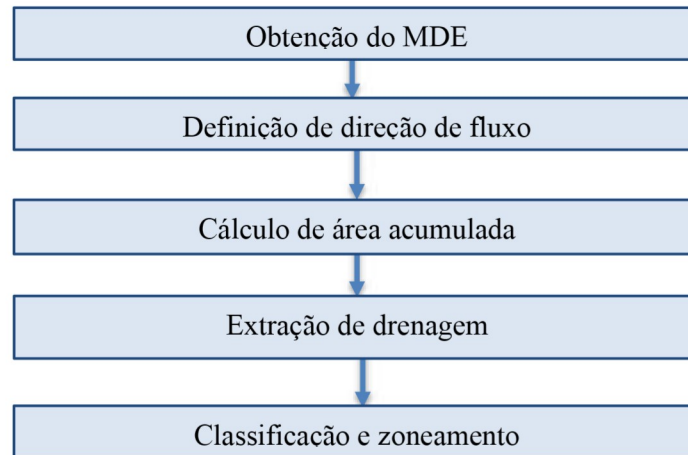
O modelo de inundação utilizou como entrada os dados derivados do Modelo Digital de Elevação (MDE) gerado a partir das imagens disponibilizadas pela missão *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) da *National Aeronautics and Space Administration* (NASA), com resolução de 30m adequada a escala do município e capaz de gerar resultados satisfatórios (CLAUDINO *et al.*, 2022; NOBRE *et al.*, 2015).

3.5.2 Procedimentos metodológicos

A modelagem a inundação foi alcançada pela aplicação do modelo normalizado de terreno, denominado *Height Above the Nearest Drainage* (HAND) (RENNÓ *et al.*, 2008). Considerando a proximidade entre Forquilha e Sobral, onde o HAND foi aplicado e obteve resultados relevantes (CPRM, 2014), tornou-se interessante investigar o desempenho do modelo para a área de estudo desta pesquisa. Isso se deve ao fato de que a delimitação municipal é um conceito político, e neste trabalho lidamos com variáveis ambientais que não se limitam a tais convenções. Contando com uma caracterização precisa das condições de suscetibilidade do município quando da ocorrência de eventos pluviométricos intensos.

Obedecendo as etapas metodológicas foram seguidos os procedimentos para gerar a modelagem que compôs o mapa pré-campo de suscetibilidade utilizando o programa *HAND Model* (NOBRE, 2016) disponível para aquisição no site do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). O programa automatiza o procedimento de geração do HAND obedecendo as etapas resumidas no fluxograma a seguir:

Figura 6 - Fluxograma para geração da suscetibilidade a inundações segundo o modelo HAND



Fonte: Bittar (2014).

3.5.3 Classificação da Distância a Drenagem Mais Próxima – HAND

A variável mais relevante em cálculos de modelos hidrostáticos é a cota de inundações de uma determinada área (CONCEIÇÃO; SIMÕES, 2019). Para identificar esta cota foi utilizado o modelo HAND.

Definido pelos desenvolvedores, como algoritmo topográfico quantitativo baseado em dados SRTM-DEM, o HAND calcula a altura acima da drenagem mais próxima, utilizando a diferença entre a altitude extraída do MDE e a rede de drenagem de referência, para calcular alturas relativas que possuem correlação com a profundidade do lençol freático e com a topografia do terreno (CONCEIÇÃO; SIMÕES, 2019). Dessa forma, regiões com baixa altura relativa tendem a ter maior suscetibilidade a inundações.

O conceito de contorno HAND funciona em duas etapas, primeiro é estabelecida a rede de direções locais de drenagem (LDD) formada pelos caminhos de fluxo sucessivos em encostas laterais que deságuam no canal do rio. Tem-se como referência o nível de água do canal mais próximo com a altura normalizada (uniforme e definida como zero) para o terreno circundante.

Durante a determinação do fluxo do canal são identificadas as depressões, que são células que apresentam uma altimetria incoerente com as vizinhas, causando interrupção na rede de drenagem (CLAUDINO *et al.*, 2022). Essa incoerência pode ser natural (como no relevo cárstico) ou, como na maioria dos casos, são ruídos nos dados gerados durante o processamento topográfico (MOMO *et al.*, 2016).

Por esse motivo, foi necessário corrigir o MDE removendo as depressões, sendo

utilizado neste trabalho o algoritmo presente no Sistema de Informação Geográfica *ArcGis*. Esse algoritmo utilizou os procedimentos de escavação (*carving*) ou de preenchimento (*filling*) dos *pixels*, baseando-se nos valores das cotas dos seus pontos vizinhos em direção ao exutório.

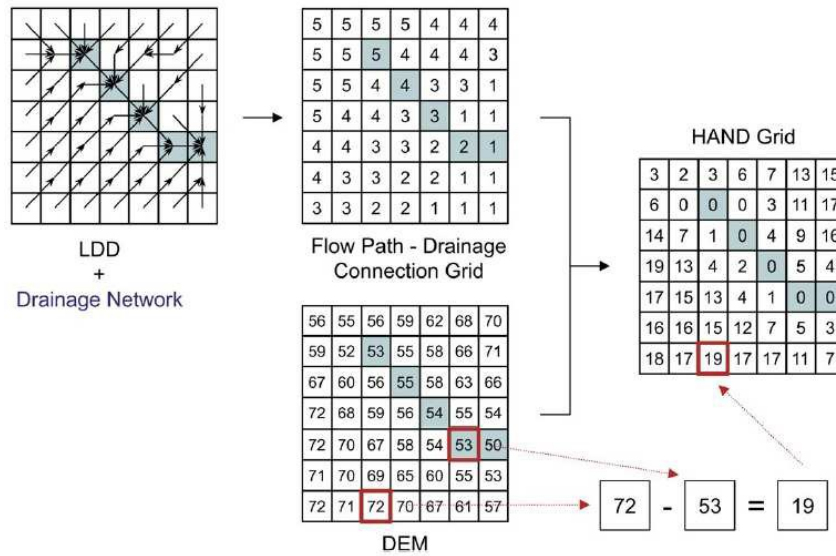
Posteriormente a LDD obtida, adotou-se um limiar de drenagem, chegando na matriz de rede de drenagem, que é um dos dados de entrada para a criação da matriz HAND. O limiar de drenagem é um ponto da matriz de área acumulada adotado como sendo o ponto mínimo da rede de drenagem que se busca determinar (CLAUDINO *et al.*, 2022). Foi a partir dele que se definiu a rede de drenagem formada pelos pontos que possuem valores maiores que o limiar considerado.

Isto significa que quanto maior o valor do limiar mínimo de drenagem adotado, menor será a grade que forma a rede de drenagem, o que é responsável por definir o grau de detalhamento do canal estudado. Sendo assim, a determinação da rede de drenagem depende do valor mínimo considerado para área de drenagem.

No caso deste trabalho, o valor da área de drenagem foi atribuído a partir de um processo de tentativa e erro (CLAUDINO *et al.*, 2022), utilizando-se de diferentes limiares (10, 100, 1000), em seguida os contornos gerados foram sobrepostos a imagens de satélite e comparados com as drenagens presentes na área de estudo, sendo definidas como o limiar 10 o que apresentou melhor resultado para área urbana e 1000 para escala municipal. Resultando em dois mapas com escalas distintas, de maior detalhe no centro urbano e outro abrangendo todo o município, apresentando discussões condizentes com a realidade para cada ambiente.

Após estabelecer a rede de drenagem representados pelos quadros cinzas e para onde convergem as setas pretas, conforme o exemplo da figura a seguir, a rede de drenagem é zerada e todos os percursos do fluxo são codificados de acordo com o ponto de drenagem mais próximo associado. De acordo com a Figura 7, o ponto marcado no MDE com altura 72 é conectado ao ponto de drenagem com altura 53 (ambos codificados com 2), resultando em um HAND de 19. Isso significa que o ponto de grade marcado está 19m acima de seu ponto de drenagem correspondente.

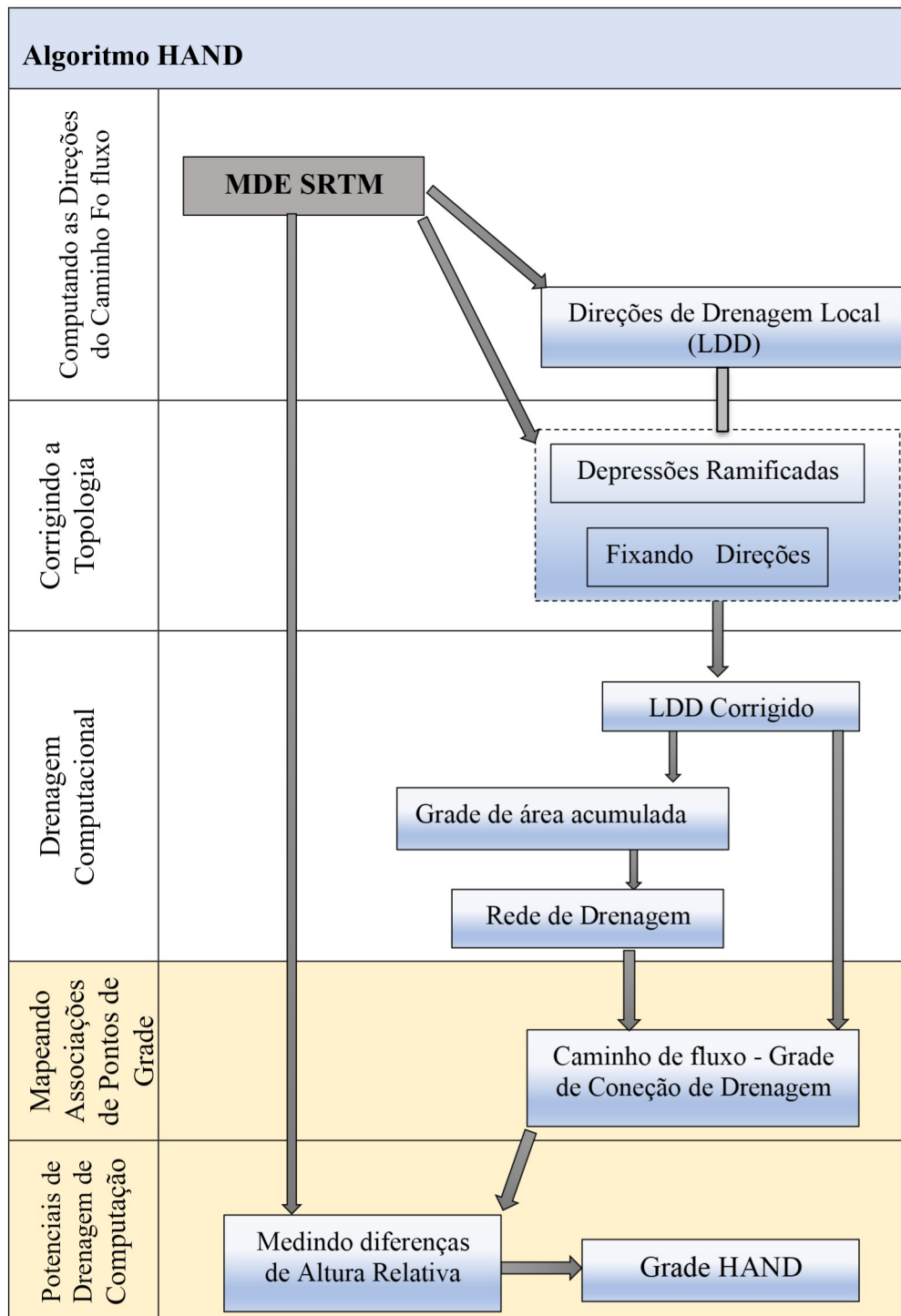
Figura 7 – Procedimento de cálculo da grelha HAND



Fonte: Rennó et. al. (2008).

As etapas seguidas pelo algoritmo HAND estão resumidas na Figura 8, partindo da delimitação da drenagem com base no MDE gerado do SRTM, passando pelos processamentos e correções para se chegar ao resultado com as alturas relativas à drenagem.

Figura 8 – Resumo das etapas do algoritmo HAND



Fonte: Traduzido de Rennó (2008).

Diversos trabalhos têm analisado e utilizado o modelo HAND como dado de entrada para realizar inúmeras comparações, modelagens de inundação estática e afins, obtendo bons resultados e afirmando que a qualidade do modelo é diretamente relacionada à qualidade do MDE (BITTAR, 2014; NOBRE *et al.*, 2015; CONCEIÇÃO; SIMÕES, 2019; 2020;

JOHNSON *et al.*, 2019; CLAUDINO *et. al.*, 2022)

No modelo proposto, o HAND foi categorizado de 1 a 3. Nessa escala, as áreas mais baixas em relação à captação receberam o peso 3, indicando maior suscetibilidade a inundações, enquanto às áreas mais altas foi adotado o peso 1, indicando que são menos suscetíveis.

A definição dos limiares das classes foi realizada por meio da análise estatística dos dados do HAND, utilizando o método do Quartil. Nesse método, a série de dados é dividida em quatro quartis, ou grupos, com igual frequência de ocorrência, representando cada um 25% do total de valores dos dados (RAMOS; SANCHEZ, 2000). Os dois primeiros quartis foram classificados com peso 3, o terceiro quartil recebeu peso 2 e o quarto quartil recebeu peso 1.

Por fim, com o mapa preliminar do HAND em mãos primeiro foi feita a checagem das drenagens geradas através das imagens no Google Earth para comparar se o modelo estava condizente com a realidade e de fato produziu drenagens aonde estas ocorrem. Feita a primeira comparação, realizou-se o trabalho de campo para verificação em loco do mapa HAND, com uso de drone, levantamento fotográfico e visita para conversar com residentes, quando perguntou-se “se é comum haver alagamentos nos pontos em questão?”, além de identificar estruturas implantadas nas casas para barrar a entrada a entrada da água quando chove, percorreu-se as áreas com acesso para validar o modelo e assegurar que é representativo.

4 O MUNICÍPIO DE FORQUILHA E A OCORRÊNCIA DE EVENTOS CLIMÁTICOS EXTREMOS

A seguir é feita a caracterização socioambiental do município. Posteriormente, demonstra-se a ocorrência dos eventos pluviométricos extremos, comprovando que os municípios do semiárido cearense são constantemente impactados não apenas com as consequências das secas, mas também, pelas inundações.

4.1 Caracterização socioambiental do município de Forquilha

Forquilha foi distrito subordinado a Sobral, criado pelo decreto estadual nº 1156, de 04 de dezembro de 1933, originado a partir do fluxo de comerciantes entre o litoral e a cidade de Sobral, que se destacava como pólo de desenvolvimento (ARAGÃO, 2011). Sendo elevado à categoria de cidade em 05 de fevereiro de 1985, pela lei estadual 11.012, recebendo a denominação atual (IPECE, 2017).

Com a construção do açude Forquilha, o município passou a atrair moradores vindos de municípios vizinhos para trabalhar nas obras do DNOCS e acabavam fixando moradia com suas famílias nas áreas próximas ao açude, principalmente para fugir da seca, em busca de rendimentos no trabalho em obras públicas (ARAGÃO; LOIOLA, 2006). A chegada dos migrantes se intensificou nas décadas de 1910 a 1980, na busca de trabalho nas construções, não só do açude, mas das estradas, canais de irrigação e no comércio (VASCONCELOS, 2010).

O município também possui um açude de pequeno porte, o Arrebita, construído pelo Governo do Estado do Ceará em 1992 na localidade homônima ao reservatório e está sob responsabilidade da Cogerh (ARAGÃO, 2011), além de diversos outros reservatórios públicos e privados espalhados pela zona rural.

De acordo com a hierarquia dos centros urbanos proposta pelo IBGE publicado em 2020, atualmente, o município é uma Capital Regional C (2C), integrante do Arranjo Populacional de Sobral/CE², sob a Região de Influência do Arranjo Populacional de Fortaleza/CE - Metrópole (1C) (IBGE, 2020).

² Agrupamentos de Municípios muito integrados por possuírem deslocamentos frequentes de populações para trabalho e estudo (IBGE, 2020).

4.1.1 Aspectos sociais e institucionais

A renda per capita foi de R\$ 8.682,12 em 2017, o setor de maior contribuição nos rendimentos foi o de administração, defesa, educação, saúde públicas e seguridade social, seguido de serviços, indústria e por último o agropecuário (IBGE, 2017).

De acordo com IBGE (2019), a produção agrícola tem como principais produtos a banana, mamão, laranja, castanha de caju, coco-da-baía, manga, batata-doce, mandioca, melancia, feijão e milho. Na pecuária são criados bovino, bubalino, caprino, equino, galináceo, mel de abelha, ovino e suíno, com o maior rebanho de galináceos e o mais rentável o bovino, com a produção do leite de vaca. A extração vegetal e silvicultura gira entorno dos insumos da carnaúba (ceras e fibras) e da extração de madeira para produção de carvão vegetal e lenha. Existem áreas destinadas a mineração dentro do perímetro municipal, as principais extrações são de calcário e rochas ornamentais (CEARÁ, 2019).

Segundo o IBGE, em 2018, o salário médio mensal era de 1,5 salários mínimos. E a proporção de pessoas ocupadas em relação à população total era de 9,0%. Considerando domicílios com rendimentos mensais de até meio salário mínimo por pessoa, tinha 45,1% da população nessas condições.

A taxa de analfabetismo da população de 15 anos ou mais de idade foi de 26,2%, havendo uma queda em comparação com o ano 2000, quando a taxa era de 37,4% (IBGE, 2010). O município conta com 12 estabelecimentos de ensino infantil e 14 de nível fundamental, em sua maioria mantidos pelo poder municipal, e apenas 1 de ensino médio (INEP, 2019).

Forquilha conta com 16 estabelecimentos de saúde, 15 pertencentes a esfera pública (IPECE, 2017), todos do tipo ambulatorial, sem leitos para internação, demonstrando total dependência de outros municípios para tratamento de pacientes que necessitem de internamento. A causa do maior número de mortes diagnosticadas foram por doenças do aparelho circulatório (IBGE, 2017). A taxa de mortalidade de menores de 1 ano por 1000 nascidos vivos foi de 17,79% em 2017, acima da taxa estadual de 13,21% (IBGE, 2017), enquanto a taxa de mortalidade para menores de 1 ano em 2018 foi de 32,4% (IPECE, 2019).

A taxa de cobertura do abastecimento urbano de água foi de 98,91%, com volume produzido de 832.056,90 m³ (IPECE, 2019). O índice de atendimento total de água (parcela da população, urbana e rural, efetivamente atendida por rede de abastecimento de água em relação à população total residente) foi de 56,46%, com índice de perda de 41,90% do volume total de

água disponibilizado (SNIS, 2018). O abastecimento rural é realizado pelo Sisar³ e, de acordo com Ceará (2020), Forquilha dispõe de 20 sistemas instalados que atendem 23 localidades com mais de 2.600 ligações totais, estando pouco mais de 2000 ativas.

A abrangência da rede de esgoto urbana ficou em 54,86% (IPECE, 2020). O Índice de atendimento de esgoto, que corresponde a população total (urbana e rural) efetivamente atendida por rede coletora de esgoto (com ou sem tratamento) em relação à população residente foi de 25,19% (SNIS, 2021).

A pavimentação e meio-fio na área urbana chegou a 90,5% e a cobertura de vias públicas com redes ou canais pluviais subterrâneos foi de 8,3%. Dos domicílios urbanos, 0,4% estão sujeitos a riscos de inundação. Enquanto o investimento per capita em drenagem e manejo de águas pluviais urbanas foi de 50,5 R\$/hab/ano, bem acima do valor verificado para o Estado, 9,79 R\$/hab/ano (SNIS, 2021).

O Índice de Desenvolvimento Humano do Município de Forquilha apresentou aumento entre os anos de 2000 e 2010, passou de 0,464 para 0,644, com evolução de 38,79%, acima do apresentado pelo Estado do Ceará de 26,06%. Dentre os municípios que compõem a Região Metropolitana de Sobral, Forquilha ocupa o 2º lugar no ranking do IDHM (TABELA 8), atrás apenas de Sobral, e em relação aos demais municípios cearenses ocupa a 30ª posição.

Considerando as dimensões que compõem o IDHM, também entre 2000 e 2010, verifica-se que o IDHM Longevidade apresentou alteração positiva de 8,42%, o IDHM Educação ascendeu 113,48% e IDHM Renda de 15,22% (PNUD, 2010).

³ “Organização Não Governamental sem fins lucrativos, formada por associações comunitárias da zona rural do Estado do Ceará, localizadas e distribuídas por bacias hidrográficas. Seu objetivo é a universalização do acesso à água de qualidade, garantindo a melhoria da qualidade de vida da população rural, assegurando a prestação dos serviços de manutenção em saneamento básico, de forma autogerida e sustentável, que contribui para o desenvolvimento social e a preservação ambiental” (CEARÁ, 2020, p. 47).

Tabela 8 - IDHM dos municípios que compõem a RM de Sobral

Territorialidades	IDHM 2010
Brasil	0,727
Ceará	0,682
Sobral	0,714
Forquilha	0,644
Groaíras	0,633
Pacujá	0,621
Meruoca	0,618
Massapê	0,616
Varjota	0,611
Coreaú	0,610
Mucambo	0,607
Frecheirinha	0,604
Senador Sá	0,603
Reriutaba	0,601
Alcântaras	0,600
Cariré	0,596
Miraíma	0,592
Pires Ferreira	0,591
Santana do Acaraú	0,587
Graça	0,570

Fonte: PNUD (2010).

Existem 23 entidades sem fins lucrativos em atuação: educação e pesquisa (1); religião (5); partidos políticos, sindicatos, associações patronais e profissionais (14), desenvolvimento e defesa de direitos (2) e outras instituições privadas sem fins lucrativos (1) (IBGE, 2016).

Tratando-se da presença de instituições do poder público e sociedade civil, além do DNOCS, Forquilha conta com projetos implementados pelo Governo do Estado do Ceará em parceria com instituições da sociedades civil que compõem a Articulação Semiárido Brasileiro (ASA)⁴ (MENDES JUNIOR; OLIVEIRA, 2017; 2016; CEARÁ, 2020).

O quadro 4 apresenta um resumo dos projetos e programas implantados em Forquilha que visam “universalizar o acesso à água potável e esgotamento sanitário em áreas rurais” (CEARÁ, 2020).

⁴ Rede que defende, propaga e põe em prática, inclusive através de políticas públicas, o projeto político da convivência com o Semiárido. É uma rede formada por mais de três mil organizações da sociedade civil – sindicatos rurais, associações de agricultores e agricultoras, cooperativas, ONG’s, Oscip, etc, organizadas em fóruns e redes atuantes nos 10 estados que compõem o Semiárido Brasileiro (ASA, 2020).

Quadro 4 – Projetos e Programas de acesso água em Forquilha

SERVIÇOS DE ÁGUA – PROJETO SÃO JOSÉ		
Período	Comunidade	Ação
2002 a 2008	Fazenda Salgado dos Mendes, Várzea da Cobra, Rasteira, Viração, Cacimbinha, Caiçara, Ingré, Perímetro Irrigado – Setor I e III, Pocinhos, São Lourenço, Caraúno, Massapê dos Vieiras, Perímetro Irrigado – Setor II, Campo Novo, Oficina, Primavera.	Sistema de Abastecimento e Módulos Sanitários
2015 a 2016	Cajazeiras.	Sistema de Abastecimento e Módulos Sanitários
SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA E CHAFARIZ		
2015	Cachoeira dos Louretos II	53 famílias atendidas pelo SAA
2017	Várzea da Cobra	Chafariz
CHAFARIZ, DESSALINIZADOR, SISTEMA DE INJEÇÃO DE ÁGUA NA REDE		
2009 a 2020	Fazenda Luz, Fetraece, Sítio Oriente, São Vicente, Cajazeira, Caiçara poço II, Cajazeiras.	Chafariz
2017	Olho d'água dos Casimiro (ingá)	Dessalinizador
CISTERNAS E BARRAGENS SUBTERRÂNEAS		
Programa	SDA	ASA
P1MC	939	497
P1+2	66	151
Cisterna Escolar	-	9
Barragem Subterrâneas	19	-

Fonte: elaborado pela autora com dados de Ceará (2020).

Além dos órgãos governamentais, a Universidade Federal do Ceará, enquanto instituição de ensino, pesquisa e extensão, desenvolve trabalhos de Educação Ambiental no município desde 2010, além de pesquisas científicas que resultaram em publicações de artigos, livros, monografias de graduação, dissertações e teses. O projeto mais recente se deu através do Laboratório de Geoprocessamento e Cartografia Social, denomina-se Nexus Caatinga financiado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico. Visando a implementação de tecnologias sociais e ações integradas de sustentabilidade para a garantia da segurança hídrica, energética e alimentar em nível comunitário (LABOCART, 2020).

4.1.2 Aspectos climáticos

O Nordeste semiárido é marcado pela sazonalidade dos sistemas atmosféricos produtores de precipitações. No Ceará a tendência é que ocorram chuvas durante o verão-outono do Hemisfério Sul, com concentração de maior intensidade entre fevereiro e maio.

Enquanto, durante o inverno-primavera o estado inicia a estação seca. O principal sistema produtor de instabilidade é a ZCIT que se encontra atuante no período chuvoso. Outros sistemas que também provocam precipitações consideráveis, muitas vezes associados a ZCIT, são VCANs - estação pré-chuvosa entre janeiro e fevereiro-, as LI – atuantes entre fevereiro e março –, os CCM que são sistemas formados por condições locais favoráveis e podem atuar ao longo do período chuvoso e os Distúrbios Ondulatórios de Leste responsáveis pelas chuvas de pós-estação, em junho e julho (OLÍMPIO; ZANELLA, 2017).

A atuação desses sistemas pode sofrer influência de mecanismos físicos provocando a ocorrência dos extremos climáticos, chuvas intensas ou estiagens prolongadas, estes são: El Niño e La Niña. Ambos são resultados da alteração nas temperaturas do Pacífico Equatorial e dos seus padrões normais da Temperatura da Superfície Marítima, com temperaturas elevadas (El Niño) ou uma redução acentuada da temperatura (La Niña). O El Niño e a La Niña são partes de um mesmo fenômeno atmosférico-oceânico que ocorre no oceano Pacífico Equatorial (e na atmosfera adjacente), denominado de El Niño Oscilação Sul (ENOS). O ENOS refere-se às situações nas quais o oceano Pacífico Equatorial apresenta um aumento ou redução na temperatura em relação à média histórica, acarretando efeitos globais na temperatura e precipitação (INPE, 2023).

Observar a ocorrência dos fenômenos de El Niño é estritamente importante no auxílio de previsões sobre o comportamento da chuva no Nordeste brasileiro, visto que tal fenômeno pode influenciar em um possível déficit de chuvas para a região, enquanto que nos anos de ocorrência de La Niña as chuvas podem superar as médias (MONTEIRO, 2016).

O tipo de clima em Forquilha é o Tropical quente semiárido, com precipitação média anual de 826,8 mm, período chuvoso concentrado entre os meses de fevereiro a abril e temperatura média variável entre 26° e 28°C (FUNCEME, 2019). Segundo Tomaz (2019), a partir de dados climáticos analisados, a perda de água por meio da evapotranspiração é elevada nesta região e o déficit hídrico é anual, considerando o longo período de estiagem, pois são 10 meses com números negativos, sendo o mês de outubro o que apresentou maior déficit e durante o mês de abril o armazenamento de água no solo é reposta. Para ela os resultados encontrados “convergem para um quadro de escassez hídrica tanto superficial como subterrânea” (p. 83).

4.1.3 Aspectos hidrográficos

Forquilha está inserido integralmente, juntamente com mais 27 municípios, na Bacia do rio Acaraú, localizada no setor norte-ocidental do estado do Ceará, tem como rio principal o Acaraú, com extensão de 315 Km, predominantemente no sentido sul-norte. Ocupa área de 14.423,00 Km², que corresponde a 10% do território cearense. O município se localiza no médio curso, a rede fluvial é densa, conforme mostra a Figura 9, com fluxo hídrico intermitente sazonal e baixo potencial de águas subterrâneas (CEARÁ, 2009).

As principais drenagens são o Riacho Madeira e o Rio Conceição, que dão origem ao açude Forquilha, com capacidade máxima de 50,13 hm³, que tem 39% do volume destinado à irrigação, 38% para suprir à zona urbana, 9% à zona rural e 14% a dessedentação animal (ANA, 2017).

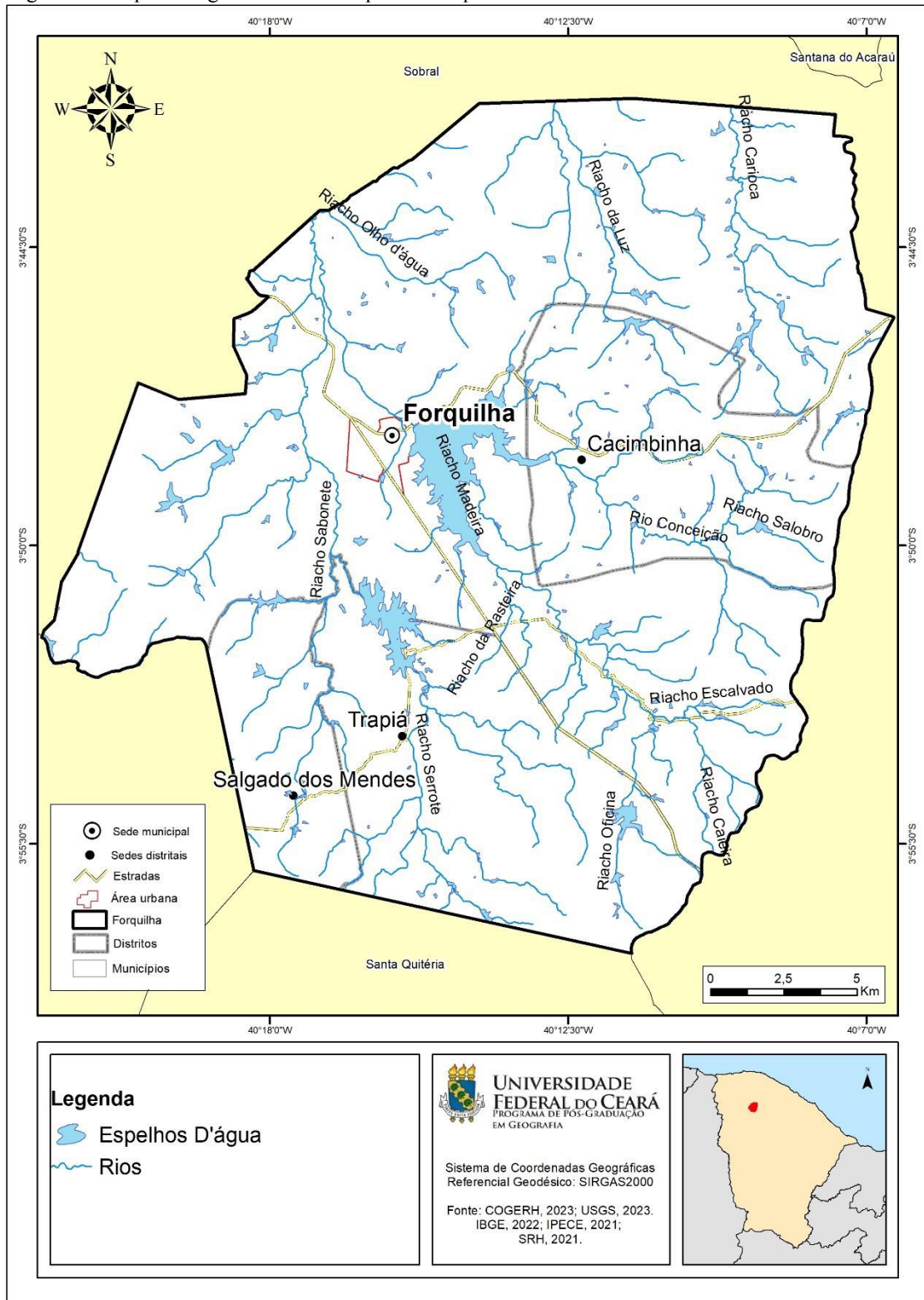
O segundo maior reservatório do município é o Arrebita, considerado de pequeno porte com capacidade de armazenamento de 19,6 hm³. Foi construído em área onde estavam estabelecidas três pequenas propriedades rurais, cujos proprietários foram indenizados e removidos para a circunvizinhança.

Além dos açudes descritos, Forquilha conta com outros reservatórios de menor porte, como o Xique-xique, Pitombeira, Açude Velho, dentre outros distribuídos ao longo do perímetro municipal, reforçando a prática comum no Ceará de fazer barramentos ao longo das drenagens.

Sobre os recursos hídricos subterrâneos, a bacia do Acaraú como um todo apresenta dois sistemas aquíferos: o das rochas sedimentares (porosos e aluviais) e os das rochas cristalinas (fissurais), sendo que Forquilha encontra-se totalmente assentado sobre o segundo tipo. Este apresenta “baixo potencial” hídrico, pois está inserido em áreas de rochas do embasamento cristalino, onde as zonas de fraturas são os únicos condicionantes da ocorrência de água. A recarga destas fraturas se dá através dos rios e riachos que estão encaixados nestas estruturas, o que ocorre somente no período chuvoso (CEARÁ, 2009).

De acordo com o Caderno Regional da Bacia do Acaraú publicado pelo Instituto de Estudos e Pesquisas para o Desenvolvimento do Estado do Ceará, até 2006 Forquilha contava com 75 poços (CEARÁ, 2009), todos do tipo tubulares, tendo como principais usos o doméstico, usos múltiplos e abastecimento urbano. Mas, considerando a defasagem dos dados, nos últimos anos é sabido que o município perfurou novos poços na tentativa de sanar os problemas com o abastecimento público de água (TOMAZ, 2019).

Figura 9 – Mapa hidrográfico do município de Forquilha



Fonte: Elaborado pela autora (2023)

4.1.4 Relevo e declividade

Forquilha se encontra no domínio geomorfológico denominado de Depressão

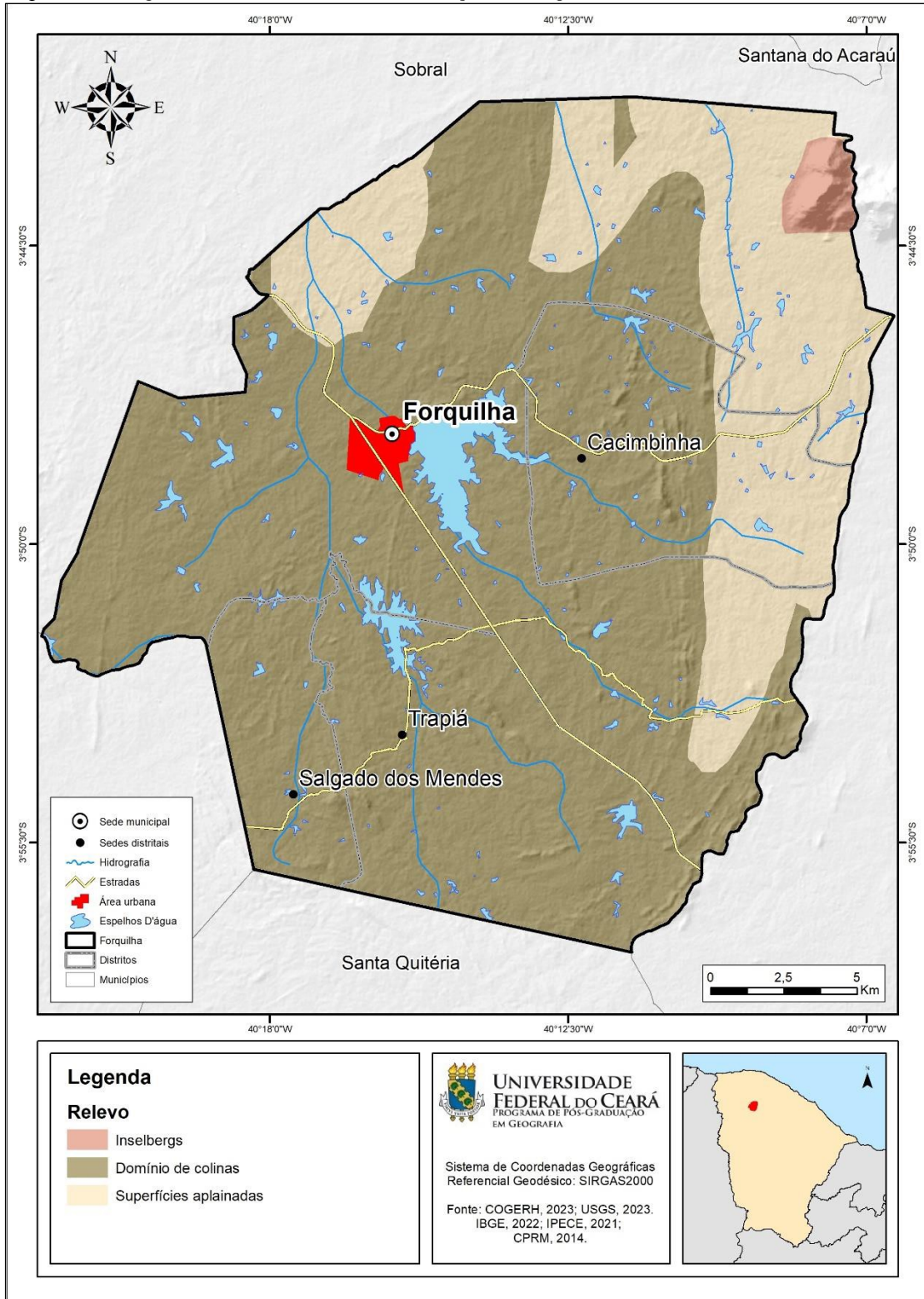
Sertaneja. Este domínio é constituído por vastos pediplanos incipientemente dissecados por uma rede de drenagem perene de baixa densidade e por extensos pedimentos posicionados no sopé de maciços montanhosos. Estes pediplanos se encontram, frequentemente, pontilhados por inselbergs e agrupamentos de inselbergs que, invariavelmente, destacam-se na paisagem monótona das superfícies aplainadas (BRANDÃO, 2014).

O município está dividido em três padrões de relevo, com o de maior abrangência sendo o domínio de colinas constituído de colinas pouco dissecadas, com vertentes convexas ou convexo-côncavas e topos amplos, de morfologia alongada ou arredondada, com vertentes de gradiente suave e baixas amplitudes de relevo. Apresenta baixa a média densidade de drenagem com padrão predominantemente dendrítico. Sistema de drenagem principal com deposição de planícies aluviais relativamente amplas. Ocorrências esporádicas, restritas a processos de erosão laminar. Geração de rampas de colúvios nas baixas vertentes. A amplitude de relevo varia de 20 a 50 m com inclinação das vertentes entre 3° e 10°.

A segunda classe mais presente são as Superfícies Aplainadas, variando de planas a levemente onduladas, promovidas pelo arrasamento geral dos terrenos, invariavelmente em cotas baixas. Inserem-se, também, no contexto das grandes depressões interplanálticas, embasado por rochas do embasamento ígneo-metamórfico Pré-Cambriano da Faixa de Dobramentos do Nordeste. Apresentando equilíbrio entre processos de pedogênese e morfogênese (a despeito das baixas declividades, prevalece o desenvolvimento de solos rasos e pedregosos e os processos de erosão laminar são significativos). A amplitude de relevo de 0 a 10 m e inclinação das vertentes de 2°-5° (BRANDÃO, 2014; DANTAS, 2016).

Por fim, encontra-se os inselbergs, residuais isolados, destacados na paisagem aplainada, remanescentes do arrasamento geral dos terrenos. Estas feições residuais são constituídas, invariavelmente, por rochas mais resistentes ao intemperismo e à erosão. Apresentam amplitude de 50 a 500 m, inclinação das vertentes que varia entre 25°-45°, com ocorrência de paredões rochosos subverticais (60°-90°) (BRANDÃO, 2014; DANTAS, 2016). Observa-se a abrangência e distribuição das classes de relevo na Figura 10 a seguir:

Figura 10 – Mapa das classes de Relevo do município de Forquilha



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

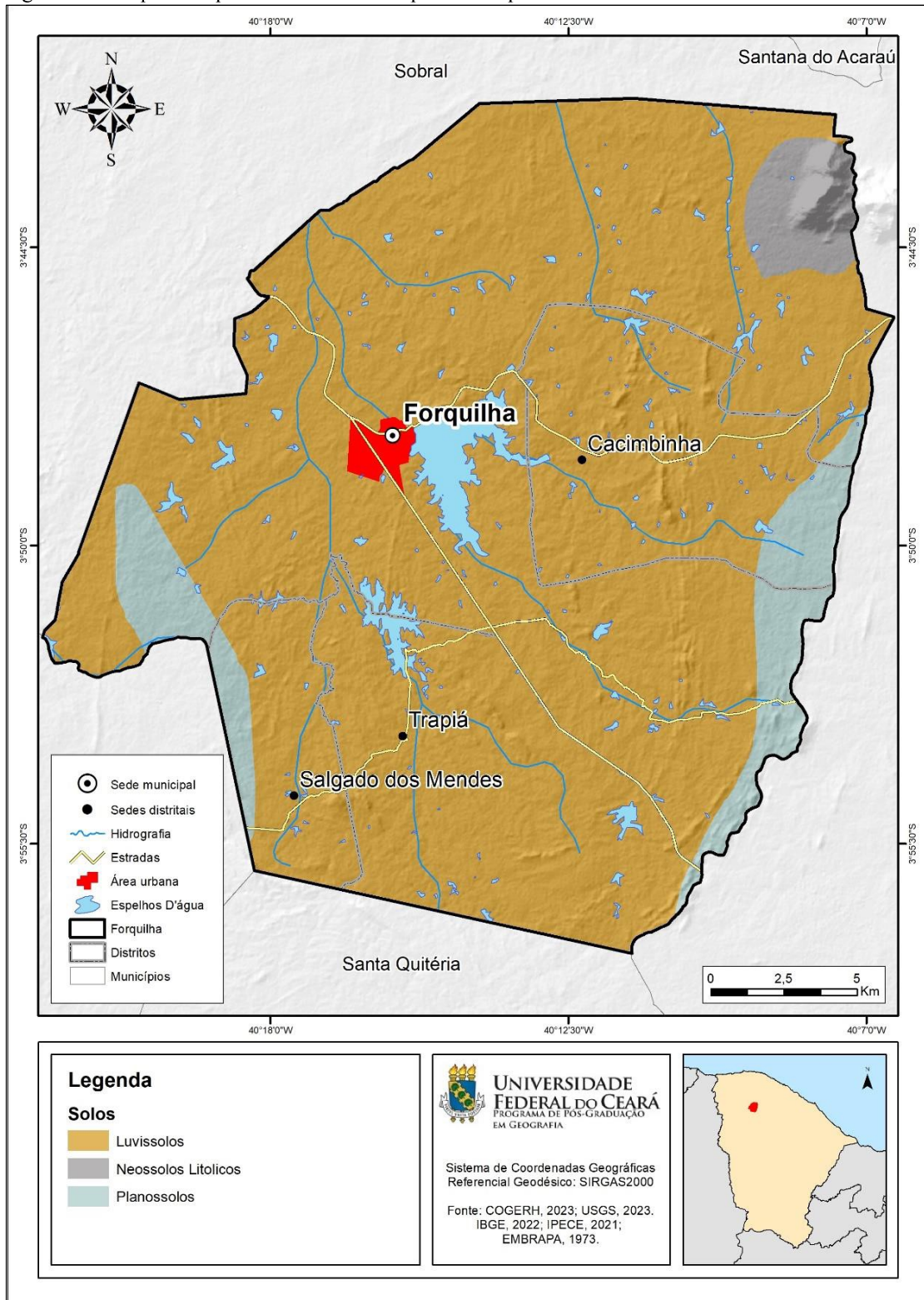
4.1.5 Tipos de solo e vegetação associada

A maior parte do município é recoberta pelos Luvisolos, solos minerais e não hidromórficos. Variam de bem a imperfeitamente drenados, normalmente pouco profundos, com sequência de horizontes A, Bt e C e nítida diferenciação entre os horizontes A e Bt, passando por mudança textural abrupta e horizonte B com presença de argila de atividade alta e saturação de bases elevada, imediatamente abaixo do horizonte A ou horizonte E, de coloração avermelhada, amarelada e estrutura usualmente em blocos. Podendo ou não apresentar pedregosidade na parte superficial (EMBRAPA, 2013). A vegetação predominante é a caatinga hiperxerófila e ocorrência da hipoxerófila (JACOMINE, *et. al.*, 1973). Essa vegetação encontra-se totalmente descaracterizada representando uma segunda vegetação, tendo sido substituído pelas plantações de milho e feijão e pela pecuária extensiva (TOMAZ, 2019).

Outro tipo presente são os Planossolos, encontrados a leste e oeste do território (IPECE, 2022), segundo a classificação da Embrapa (2013), são solos minerais imperfeitamente ou mal drenados, com horizonte A ou E seguido de horizonte B plânico de acentuada concentração de argila, permeabilidade lenta ou muito lenta, com diferenciação bem acentuada. Há presença de estrutura em blocos angulares no horizonte B e a presença de umidade, devido a retenção de água por algum tempo, as cores tendem a acinzentadas ou escurecidas. Ocorrem preferencialmente em áreas de relevo plano ou suave ondulado, principalmente nas superfícies aplainadas, e sem vegetação.

Os Neossolos Litólicos, ocorrem em menor quantidade, estão sobre o relevo ondulado e fortemente ondulado (EMBRAPA, 1973), preferencialmente na área de *inselberg*, não apresentam horizonte B, pois as alterações são inexpressivas em relação ao material originário devido à baixa intensidade de atuação dos processos pedogenéticos (EMBRAPA, 2013). Composto por vegetação predominantemente de caatinga hiperxerófila, ocorrendo pequenas áreas de caatinga hipoxerófila com presença de cactáceas e poucos componentes de caatinga arbustiva aberta em locais isolados (EMBRAPA, 1973; TOMAZ, 2019). A delimitação dos tipos de solos, podem ser observados na Figura 11:

Figura 11 – Mapa dos tipos de solo do município de Forquilha



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

4.2 Eventos Climáticos Extremos em Forquilha

A seção visa demonstrar a ocorrência de eventos extremos associados às condições climáticas características do município. A partir da aplicação de metodologias que buscam identificar estes eventos e possíveis anomalias climáticas, capazes de causar impacto direto sobre a população e necessitam de estudos na busca pela melhoria da capacidade adaptativa do lugar e dos grupos sociais habitantes.

Em acordo com a discussão já apresentada sobre os conceitos que envolvem os eventos extremos, bem como o detalhamento dos aspectos climáticos e hidrográficos, o presente item é iniciado com os resultados encontrados.

4.2.1 Análise dos resultados

Os anos da série histórica definida foram organizados na Tabela 9 a seguir, onde os extremos muito seco e muito chuvoso estão nas extremidades, seco e chuvoso são as classes adjacentes aos extremos e no meio os anos com precipitação normal.

Tabela 9 – Distribuição dos valores de chuva acumulada nos anos da série histórica e suas possíveis classificações de acordo com a divisão proposta na pesquisa

Ano	Total acumulado (mm)	Classificação
2012	285,20	
1993	344,60	
1998	351,70	Muito seco (15%)
1997	403,80	
1990	406,70	
2015	416,40	
2005	439,20	
1992	477,80	
2014	493,90	Secos (20%)
2016	552,90	
2007	558,70	
2021	593,6	
2013	598,80	
2010	663,60	
2006	681,50	
1991	692,30	
2003	697,00	
2022	717	Normais (30%)
2002	717,70	
2001	756,50	
2020	770,9	

Continuação...

2004	786,60	
1995	814,00	
1988	838,00	
2017	844,10	
2018	857,70	
1996	882,50	Chuvosos (20%)
2000	907,20	
1999	944,50	
1989	955,10	
2008	1003,80	
2019	1037,4	Muito chuvosos (15%)
2011	1075,90	
1994	1123,60	

Fonte: Adaptado de Monteiro, Rocha e Zanella (2012) com dados da FUNCEME (2023).

Para aplicação da técnica estatística de identificação dos quantis $Q(0,15)$, $Q(0,35)$, $Q(0,50)$, $Q(0,65)$ e $Q(0,85)$ os valores dos 34 anos foram ordenados de forma crescente, conforme Tabela 10.

Tabela 10 - Valores ordenados para aplicação da técnica de quantis em Forquilha - CE

i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
y(mm)	285,20	344,60	351,70	403,80	406,70	416,40	439,20	477,80	493,90	552,90
P=i/(N+1)	1/36	2/36	3/36	4/36	5/36	6/36	7/36	8/36	9/36	10/36
	0,028	0,056	0,083	0,111	0,139	0,167	0,194	0,222	0,250	0,278
i	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
y(mm)	558,70	593,6	598,80	663,60	681,50	692,30	697,00	717	717,70	756,50
P=i/(N+1)	11/36	12/36	13/36	14/36	15/36	16/36	17/36	18/36	19/36	20/36
	0,306	0,333	0,361	0,389	0,417	0,444	0,472	0,500	0,528	0,556
i	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
y(mm)	770,9	786,60	814,00	838,00	844,10	857,70	882,50	907,20	944,50	955,10
P=i/(N+1)	21/36	22/36	23/36	24/36	25/36	26/36	27/36	28/36	29/36	30/36
	0,583	0,611	0,639	0,667	0,694	0,722	0,750	0,778	0,806	0,833
i	31	32	33	34	35					
y(mm)	1003,80	1037,4	1075,90	1123,60	1246,60					
P=i/(N+1)	31/36	32/36	33/36	34/36	36/36					
	0,861	0,889	0,917	0,944	0,972					

Fonte: Elaborado com base em Monteiro, Rocha e Zanella (2012) e Monteiro (2016) usando dados da FUNCEME (2023).

Com base na Figura 12, a precipitação média para o município de Forquilha é de 717,00 mm, sendo que, os intervalos estabelecidos (mm) para cada classe extrema indicaram que valores abaixo de 403,8 mm serão considerados como muito seco e acima de 955,1 mm como muito chuvosos.

Figura 12 – Cálculo dos Quantis para o município de Forquilha - CE

$$Q(P) = y_i + \left\{ \frac{P - P_i}{P_{i+1} - P_i} \right\} * [y_{i+1} - y_i]$$

$$Q(0,15) = 403,8 + \left\{ \frac{15 - 11,1}{13,9 - 11,1} \right\} * [406,7 - 403,8] = 404,2\text{mm}$$

$$Q(0,35) = 593,6 + \left\{ \frac{35 - 33,3}{36,1 - 33,3} \right\} * [598,8 - 593,6] = 593,9\text{mm}$$

$$Q(0,50) = \text{mediana} = 717,0\text{mm}$$

$$Q(0,65) = 814 + \left\{ \frac{65 - 64}{67 - 64} \right\} * [838 - 814] = 814,0\text{mm}$$

$$Q(0,85) = 955,1 + \left\{ \frac{85 - 83}{86 - 83} \right\} * [1003,8 - 955,1] = 955,1\text{mm}$$

Fonte: Elaborado pela autora com dados da FUNCEME (2023).

Após utilizar a técnica de quantis são apresentados os valores das precipitações dispostos nas cinco classes de modo que 15% e 85% representam as classes extremas (muito seco e muito chuvoso), conforme a Figura 13.

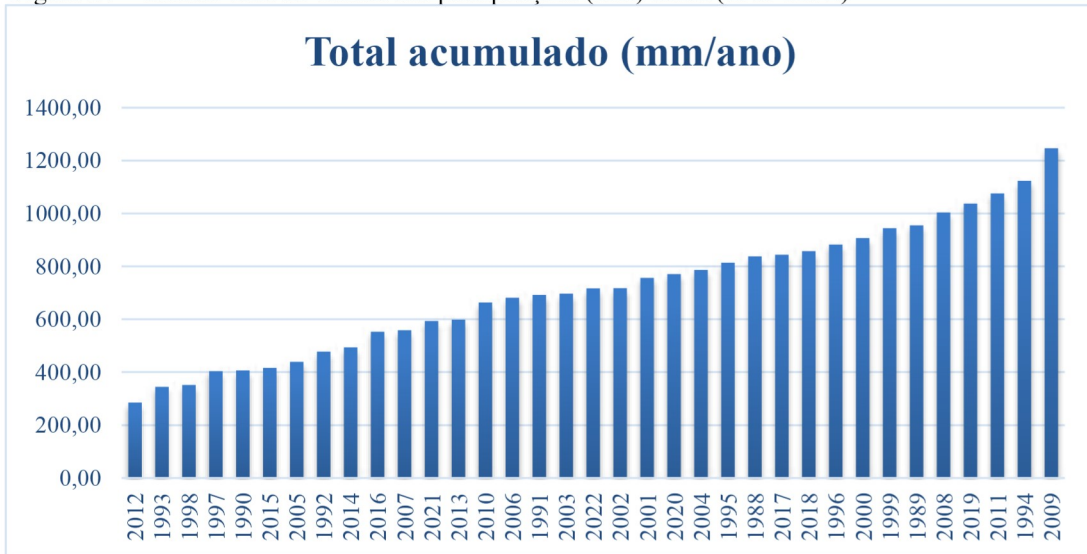
Figura 13 - Valores das precipitações (mm)

	15%	35%	50%	65%	85%
	←----- 404,2	←-----→ 593,9	←-----→ 814,0	←-----→ 955,1	-----→
	Muito Seco	Seco	Normal	Chuvoso	Muito Chuvoso
			717,0		
			Onde:		
Muito Seco	=		$X \leq Q(0,15) \rightarrow$		$X \leq 404,2$
Seco	=		$Q(0,15) < X \leq Q(0,35) \rightarrow$		$404,2 < X \leq 593,9$
Normal	=		$Q(0,35) < X < Q(0,65) \rightarrow$		$593,9 < X < 814,0$
Chuvoso	=		$Q(0,65) \leq X < Q(0,85) \rightarrow$		$814,0 \leq X < 955,1$
Muito chuvoso	=		$X \geq Q(0,85) \rightarrow$		$X \geq 955,1$

Fonte: Adaptado de Monteiro, Rocha, Zanella (2012).

Os dados sobre a dinâmica das chuvas representados no gráfico da Figura 14 podem ser comparados e qualificados com as informações coletadas na revisão e apresentados na discussão a seguir sobre os possíveis mecanismos físicos ou sistemas atmosféricos que atuaram na região no período analisado, contribuindo para um déficit de chuvas ou para chuvas acima do normal.

Figura 14 – Gráfico com os valores das precipitações (mm) anual (1989-2022)



Fonte: Elaborado pela autora com dados da FUNCEME (2023)

4.2.2 *Eventos de Seca*

Tendo em vista que Forquilha tem uma parcela considerável da população que vive no campo e as atividades econômicas desenvolvidas nestas comunidades, principalmente, a agricultura de subsistência, pecuária extensiva e criação de animais de pequeno porte e a pesca (TOMAZ *et. al.*, 2017) é possível prever que a falta de chuva por períodos prolongados gera grandes transtornos.

O ano identificado como mais seco em Forquilha foi 2012. Após 2009, considerado muito chuvoso, a pluviosidade de muitos municípios cearenses diminuiu bastante. Em 2010 a seca é identificada e permanece em muitas áreas do território cearense nos anos seguintes, principalmente no período de 2012/2013, quando muitos municípios apresentam déficit de chuvas (MONTEIRO, 2016). No entanto, em Forquilha a situação se agrava em 2013, mesmo classificado como um ano dentro da normalidade das precipitações, o acúmulo de tempo de estiagem afeta o abastecimento de água e as comunidades rurais passam a depender de carro-pipa (Figura 15).

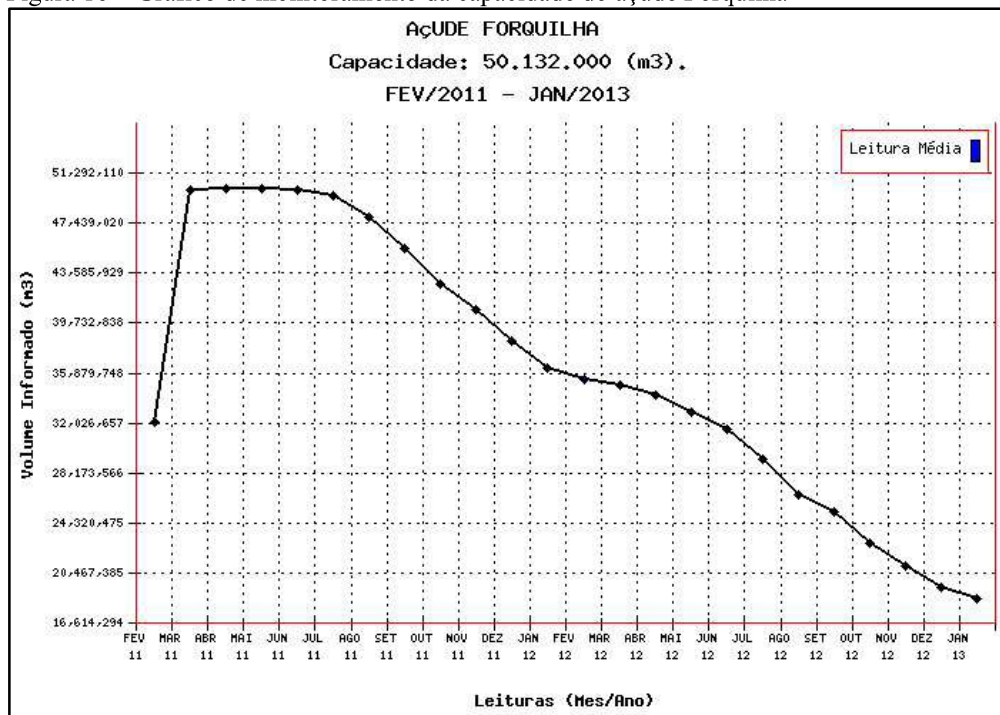
Figura 15 - Operação carro-pipa do Exército Brasileiro



Fonte: Cavalcante (2013)

Tomando por base o gráfico de monitoramento do açude Forquilha (FIGURA 16) é possível observar o declínio no acumulado de água no açude, demonstrando o impacto da seca no principal reservatório da cidade. Entre fevereiro e março de 2011 o açude chega a sua capacidade máxima, mantém alguns meses estáveis, mas sofre um declínio nos últimos meses de 2011 e durante todo o ano de 2012, apresentando situação crítica, com menos de 20% da sua capacidade, no início de 2013.

Figura 16 – Gráfico de monitoramento da capacidade do açude Forquilha



Fonte: Cavalcante (2013).

Dentro da série histórica, os anos de 2012, 1993 e 1998 tiveram os menores registros de precipitação, tanto que os dois últimos se tornaram notícia na imprensa local como os mais secos desde que o açude teve suas obras iniciadas em 1919 (Figura 17). Sendo 1998

caracterizado pela presença de El Niño. Já em 2012 tem início uma seca que perdurou até 2017 deixando o município em situação crítica com o açude Forquilha chegando a 6,07% da sua capacidade em 2015 (CAVALCANTE, 2015).

Figura 17 - Anos mais secos noticiados pela imprensa local.



Fonte: Cavalcante (2011)

Os anos secos podem ser explicados pelo afastamento antecipado da ZCIT, que se inicia entre fevereiro e março, enquanto em anos chuvosos inicia seu afastamento em direção ao Hemisfério Norte no início de maio, com o encerramento do que se considera a quadra chuvosa para o Ceará. Por ser o principal sistema atmosférico responsável pelas chuvas na região, quando sofre variações em sua duração e intensidade tem-se como resultado os longos períodos de estiagem (KAYANO; ANDREOLI, 2009, MELO; SOUZA, 2009).

Outro fenômeno citado como influencia na variabilidade das chuvas do Nordeste Setentrional é a Temperatura a Superfície Marítima (TSM) das áreas A e B do Oceano Atlântico intertropical. Conhecido como dipolo do atlântico (dipolo negativo), esse fenômeno pode ser favorável para uma maior ocorrência de chuvas no Estado do Ceará, enquanto que o seu oposto, o dipolo invertido (dipolo positivo) pode ser desfavorável, acarretando em um déficit de chuvas (XAVIER, 2001). As secas de 2012 e 1997 podem estar relacionadas a este fenômeno, já que os anos não foram de El Niño, mas de dipolo positivo (MONTEIRO, 2016).

Além da ZCIT, da TSM no Atlântico Intertropical e do ENOS, outros fatores podem influenciar na ocorrência de chuvas no Nordeste do Brasil, como a localização geográfica ou o relevo, com a presença de áreas elevadas que barram as chuvas, favorecendo as áreas a barlavento, mas reduzindo os índices pluviométricos a sotavento. As áreas litorâneas possuem

uma maior predisposição à ocorrência de chuvas, enquanto que as áreas interioranas, como é o caso de Forquilha, sob influência do clima semiárido, possuem volumes de chuva relativamente menores (MONTEIRO, 2016).

Observa-se que as secas são um fenômeno relativamente frequente em municípios do semiárido e os impactos são perceptíveis, principalmente no abastecimento de água para consumo humano, bem como na economia e nas condições de vida de quem depende da produção agropecuária. Este fenômeno causa prejuízos a longo prazo e nem sempre recebe a devida atenção antes de se tornar um desastre.

Outro fator agravante, característico do semiárido, são os períodos de estiagem durante a estação chuvosa, os denominados veranicos, que impactam, principalmente na agricultura. Tendo em vista a dependência econômica de Forquilha das atividades agrícolas e criação de peixe, a seca é um evento que afeta as condições básicas para o desenvolvimento humano no município.

Após a apresentação dos eventos de secas e discussão que se seguiu são apresentados no item abaixo os eventos de inundação.

4.2.3 *Eventos de inundações*

Goerl e Kobiyama (2005), definem que houve enchente quando as águas do rio se elevam até a altura de suas margens, mas sem transbordar. Quando ocorre transbordamento, é correto dizer que aconteceu uma inundação. Estes eventos são naturais e acontecem com certa regularidade nos cursos d'água, ocasionados por chuvas fortes e rápidas ou de longa duração.

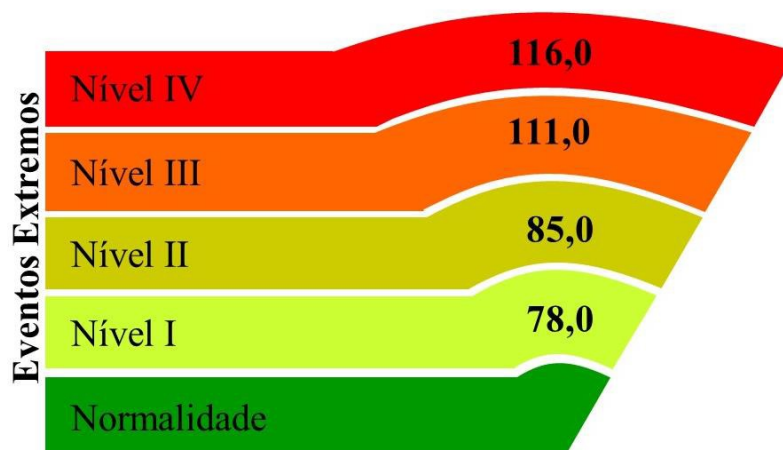
Em relação ao alagamento, se caracteriza pelo acúmulo de água formado por chuvas intensas, em áreas, total ou parcialmente, impermeabilizadas. O fenômeno está relacionado com a redução da infiltração natural nos solos urbanos provocada por: compactação e impermeabilização do solo; pavimentação de ruas e construção de calçadas reduzindo a superfície de infiltração; construção adensada de edificações, que contribuem para reduzir o solo exposto e concentrar o escoamento das águas; desflorestamento de encostas e assoreamento dos rios que se desenvolvem no espaço urbano; acumulação de detritos em galerias pluviais, canais de drenagem e cursos d'água; insuficiência da rede de galerias pluviais. É importante destacar, que é comum a combinação de dois fenômenos: enxurrada e alagamento, principalmente em áreas urbanas acidentadas (BARBIERI, 2014).

Ainda que o excesso de chuva ocorra como resultado de fenômenos atmosféricos de grande escala, as consequências podem ser agravadas devido aos erros cometidos na exploração do meio ambiente, contribuindo para intensificação dos impactos socioambientais no ambiente urbano (CONTI, 2011; CARVALHO; OGURAS, 2007).

De acordo com o gráfico da Figura 17 os anos mais chuvosos identificados no município foram 2009, 1994, 2011, 2019 e 2008, do maior para o menor acumulado anual. Ao analisar a série histórica dia a dia observou-se, apenas em 2019, dentre os anos mais chuvosos, um evento de pluviosidade extrema chegando a acumular 85,0 mm no dia 01 de abril. Por isso, é indispensável a análise dia a dia de todos os anos para identificar eventos capazes de gerar prejuízo e expor a vulnerabilidade do município quanto as chuvas intensas, pois nem sempre tais fenômenos ocorrem em anos considerados chuvosos.

Vale salientar a importância de considerar, além de todos os anos da série histórica, também o acumulado diário, tendo em vista que um evento de precipitação intensa pode ocorrer em dias fora da quadra chuvosa da região em análise (BARBIERI, 2014). Dessa forma, após a aplicação da metodologia dos máximos de precipitação foi confeccionado o disco de precipitação para facilitar a visualização dos valores extremos de chuva no município (FIGURA 18).

Figura 18 - Fragmento do disco de precipitação com níveis de intensidade dos eventos extremos diários de chuva



Fonte: Adaptado de Silva (2012 apud Monteiro, 2016).

Além do disco de precipitação foi elaborada uma tabela no intuito de visualizar com mais detalhe o quantitativo de ocorrências de eventos extremos no município de acordo com sua intensidade (Tabela 11).

Tabela 11 – Quantidade de Evento Extremo por nível

INTENSIDADE	Nº de Eventos
Nível IV	1
Nível III	4
Nível II	3
Nível I	13
Total	21

Fonte: Elaborado pela autora (2019).

Percebe-se, a partir da tabela, que os eventos extremos de Nível I tiveram maior ocorrência no município. Na medida em que aumenta o nível do evento extremo, há uma tendência para diminuição no número de registros, com 4 chuvas de grande intensidade e 3 de intensidade média. Para o Nível IV foi registrada apenas uma ocorrência em 14 de abril de 2001, quando choveu 116,0 mm em 24h, embora este não tenha sido um ano considerado chuvoso, alguns municípios decretaram Situação de Emergência e até Estado de Calamidade Pública devido ao acumulado de chuva (MONTEIRO, 2016).

Segundo Barbieri (2014) o ano de 2001 iniciou caracterizando um evento de La Niña, passando para um evento de neutralidade no decorrer do período chuvoso. No Oceano Atlântico Equatorial, apresentava-se um dipolo negativo passando para dipolo positivo no decorrer do período chuvoso. Com estas condições as chuvas registradas no Estado no período de janeiro a maio ficaram na categoria dentro da média e abaixo da média climatológica. Enquanto no final de março, quando Forquilha apresenta um evento de 50mm no dia 30, a ZCIT juntamente com um VCAN e LI atuam sobre o Estado, causando chuvas em todas as regiões entre os dias 29 e 30.

Ainda segundo a mesma autora o principal sistema que atuou durante o mês de abril sobre o estado foi a ZCIT, juntamente com a AB⁵. No dia 14 de abril de 2001 Forquilha registrou o maior acumulado pluviométrico da série histórica analisada, 116,0 mm em 24h.

Durante o ano de 2004 a RPH da Ibiapaba ficou na categoria acima da média (MONTEIRO, 2016), embora Forquilha tenha permanecido apenas dentro do normal, registrou dois eventos extremos de chuvas, sendo o mais expressivo deles acontecido no dia 29 de fevereiro (105,0 mm). Neste mês atuaram sobre o Nordeste provocando chuvas com boa distribuição espacial, a ZCIT, CV, VCAN, AB e CCMs.

⁵ Alta da Bolívia é um sistema de alta pressão em altos níveis (200hPa) que gira no sentido anti-horário, climatologicamente localizado sobre a Bolívia e Amazônia, tem origem devido ao forte aquecimento do continente durante o verão e o cavado corrente abaixo sobre o Oceano Atlântico (KOUSKY; GAN, 1981).

Em 10 de abril de 2018 foi registrado mais um evento de Nível III, desta vez Forquilha sofreu os impactos do extremo de precipitação que chegou a 105,0 mm em um dia. Houve transtornos e prejuízo com alagamento de ruas, danos ao patrimônio e impedimento da locomoção de pedestres (Figura 19).

Figura 19 – Chuva intensa é noticiada na mídia estadual



Fonte: g1.globo.com (2018).

Dez anos antes do último relato descrito, Forquilha já era notícia devido aos problemas de infraestrutura para enfrentar grande volume de chuva. Em 2008, entre os dias 19

e 20 de março, choveu 74mm na cidade causando a queda do muro do cemitério e, segundo a reportagem, houve alagamento de ruas e invasão das casas pela água (FIGURA 20).

Figura 20 – Danos causados por chuva em Forquilha

Chuva derruba parede de cemitério em Forquilha (CE)

VC KÁRISON DE CASTRO SOUSA
MESQUITA
Internauta, Sobral, CE

As informações desta página foram enviadas por um leitor do G1.
Quer participar também? [Clique aqui e saiba como.](#)

ALTERA O TAMANHO DA LETRA **A-** **A+**



A parede do cemitério da cidade de Forquilha (CE) desabou no dia 19 de março, e a forte chuva foi a culpada por ocasionar esse acidente.

Envie notícias, fotos e vídeos para o VC no G1

A chuva durou mais de três horas e também causou enchente e invadiu algumas casas.

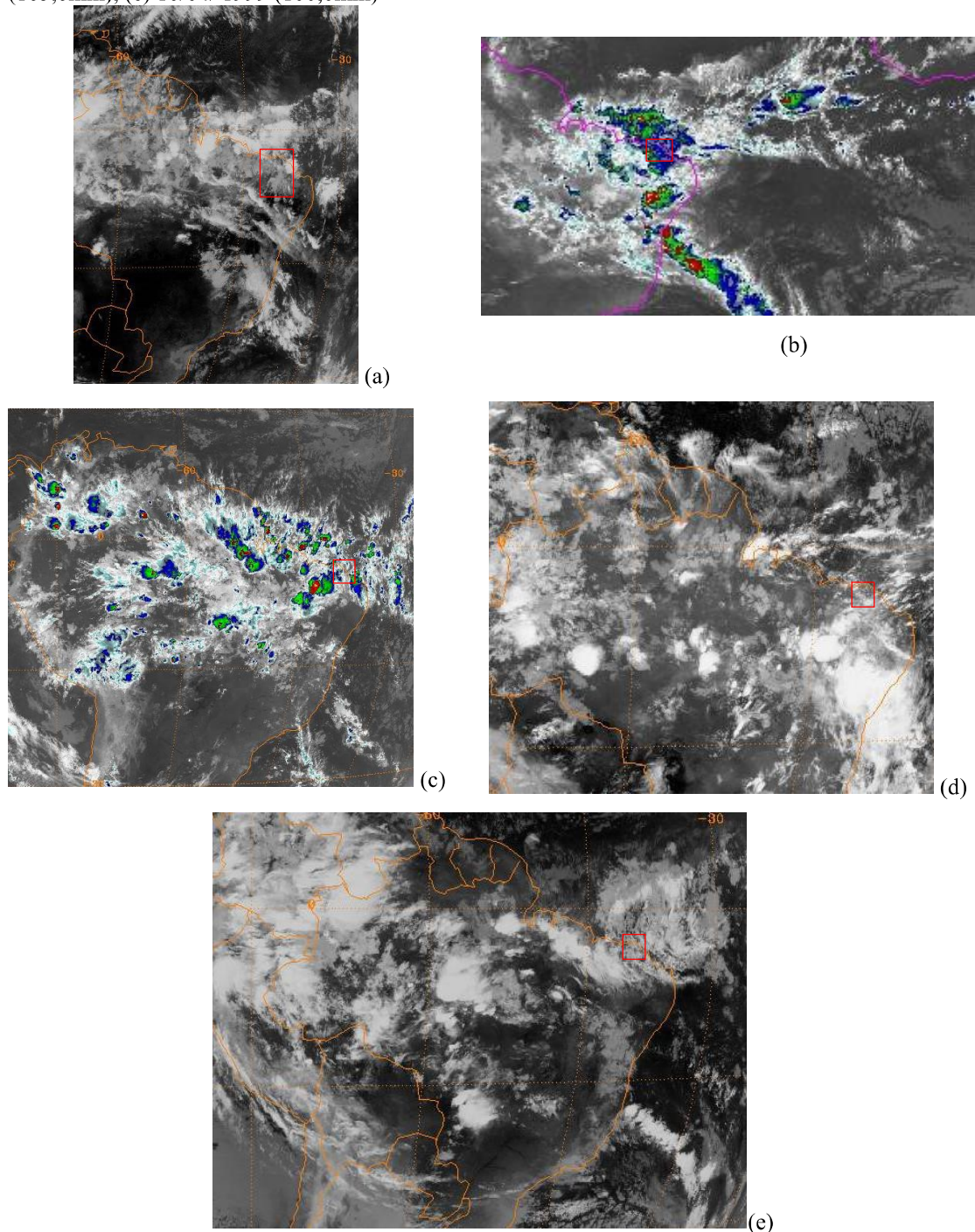
No dia 19 de março comemora-se o dia de

Parede do cemitério caiu, em Forquilha, devido às fortes chuvas (Foto: Kárison de Castro Sousa Mesquita/VC no G1)

Fonte: Vc no G1 - NOTÍCIAS (2008).

Diante do exposto observa-se que os eventos extremos de maior expressividade, embora não tenham ocorrido em anos considerados muito chuvosos, foram registrados entre os meses de fevereiro e abril, classificados dentro da quadra chuvosa para o município, quando a ZCIT está em sua posição mais favorável para precipitações no Ceará. A figura 21 mostra a atuação e a composição dos sistemas atmosféricos durante os 5 eventos de maior precipitação no município.

Figura 21- Sistemas atmosféricos atuantes durante os eventos extremos de precipitação em: (a) 12/04/2001 (116,0mm); (b) 15/04/1988 (111,0mm); (c) 10/04/2018 (105,0mm); (d) 29/02/2004 (105,0mm); (e) 10/04/ 1999 (100,0mm)



Fonte: Knapp, K. R., et al. 2008.

A análise diária de precipitações, para classificação de eventos extremos de chuvas se justifica, também, por identificar extremos climáticos isolados, a exemplo do dia 25 de junho de 1988 com pluviosidade acumulada de 75mm fora da quadra chuvosa.

Mesmo durante a seca de 2012 a 2017 o município apresentou 9 registros de pluviosidade extrema que variaram de 50mm a 85mm, todos concentrados entre os meses de janeiro e maio (quadra pré-chuvosa e chuvosa).

Discutir eventos de pluviosidade intensa no semiárido se torna controverso, pois à medida que a seca é esperada e faz parte do cotidiano da população, inclusive como foco de políticas públicas para redução dos impactos, a chuva é aguardada e celebrada como forma de amenizar os prejuízos da estiagem. No entanto, conforme as cidades crescem e se urbanizam, os problemas aumentam, pois não há preparo suficiente dos municípios semiáridos para lidar com esses fenômenos.

5 VULNERABILIDADE AMBIENTAL ÀS SECAS E SUSCETIBILIDADE A INUNDAÇÕES

A seguir são apresentados os resultados após a aplicação das metodologias descritas anteriormente, com intuito de caracterizar ambientalmente o município de Forquilha frente aos eventos de seca e inundação. Áreas são identificadas e classificadas quanto ao grau de intensidade e revelando, com base nos componentes ambientais, as mais e menos afetadas quando há ocorrência desses fenômenos.

5.1 Vulnerabilidade ambiental às secas com base na Análise Multicritério

Conforme proposto na análise multicritério com base na análise hierárquica de prioridades, após o processo de reclassificação das variáveis selecionadas, chegou-se aos resultados seguindo a ordem de prioridade encontrada na Tabela 12 com a ponderação dos valores na matriz de decisão.

Tabela 12 – Ranking com os resultados ponderados na comparação entre pares

CATEGORIA	PRIORIDADE	RANK
1 Precipitação	50.1%	1
2 Temperatura	27.8%	2
3 Uso e cobertura do solo	8.0%	3
4 Declividade	4.8%	4
5 Tipos de solo	4.7%	5
6 Vegetação	4.5%	6

Fonte: Elaborado pela autora com dados da Matriz de Ponderação gerados pelo programa AHP-OS (2023).

A seguir, as variáveis ponderadas são descritas, de forma decrescente, em relação a importância que cada uma exerce na vulnerabilidade a seca do município de Forquilha. Foram identificados os graus de intensidade, para cada fator isoladamente, que afeta o município. A partir da espacialização nos mapas correspondentes foram descritas as áreas mais e menos vulneráveis a ameaça da seca, de acordo com a intensidade de ocorrência de cada fator isolado. Por fim, seguiu-se a espacialização dos graus de vulnerabilidade resultado da sobreposição entre todas as variáveis.

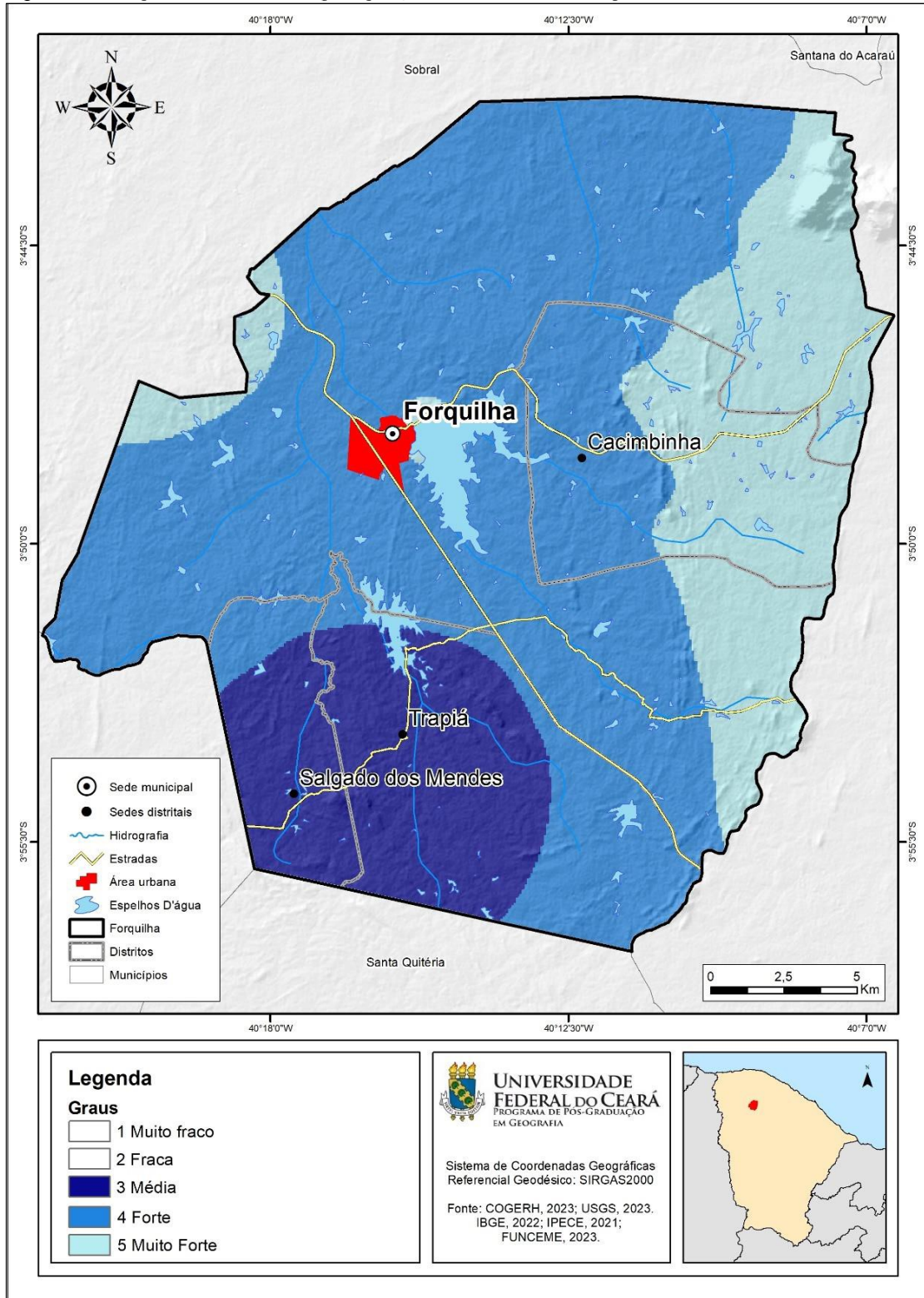
Seguindo a ordem, primeiramente aparece a precipitação como o critério de maior

importância quando se trata de vulnerabilidade a seca, com prioridade de 50,1%.

A região pluviométrica na qual Forquilha está inserido tem variação com precipitação média anual de 557 mm à 977 mm. As classes que abrangem o município têm o mínimo de chuva de 743mm, indo até o máximo encontrado. O setor onde mais chove é o Sudoeste no distrito de Salgado dos Mendes, em quase sua totalidade, e a sede do distrito de Trapiá, conforme pode ser observado na Figura 22.

A classe de grau 2, com precipitação variando entre 768,1mm e 804mm predomina sobre o território, incluindo o centro urbano. Os setores com menores quantitativos estão localizados no oeste e leste, agravando o cenário de secas prolongadas, pois além das comunidades residentes terem menos possibilidade de armazenar água, o setor leste fica a montante do maior reservatório da cidade, o Forquilha. Menos precipitação nestas áreas significa menos água para recarga do açude, resultado em redução rápida do volume e problemas com o abastecimento.

Figura 22 – Mapa reclassificado de precipitação média anual de Forquilha



Fonte: Elaborado pela autora (2023) com dados da Funceme (2023).

A temperatura é a segunda variável com maior influência sobre os graus de vulnerabilidade de regiões que afetadas pela seca. Em Forquilha a variação encontrada para

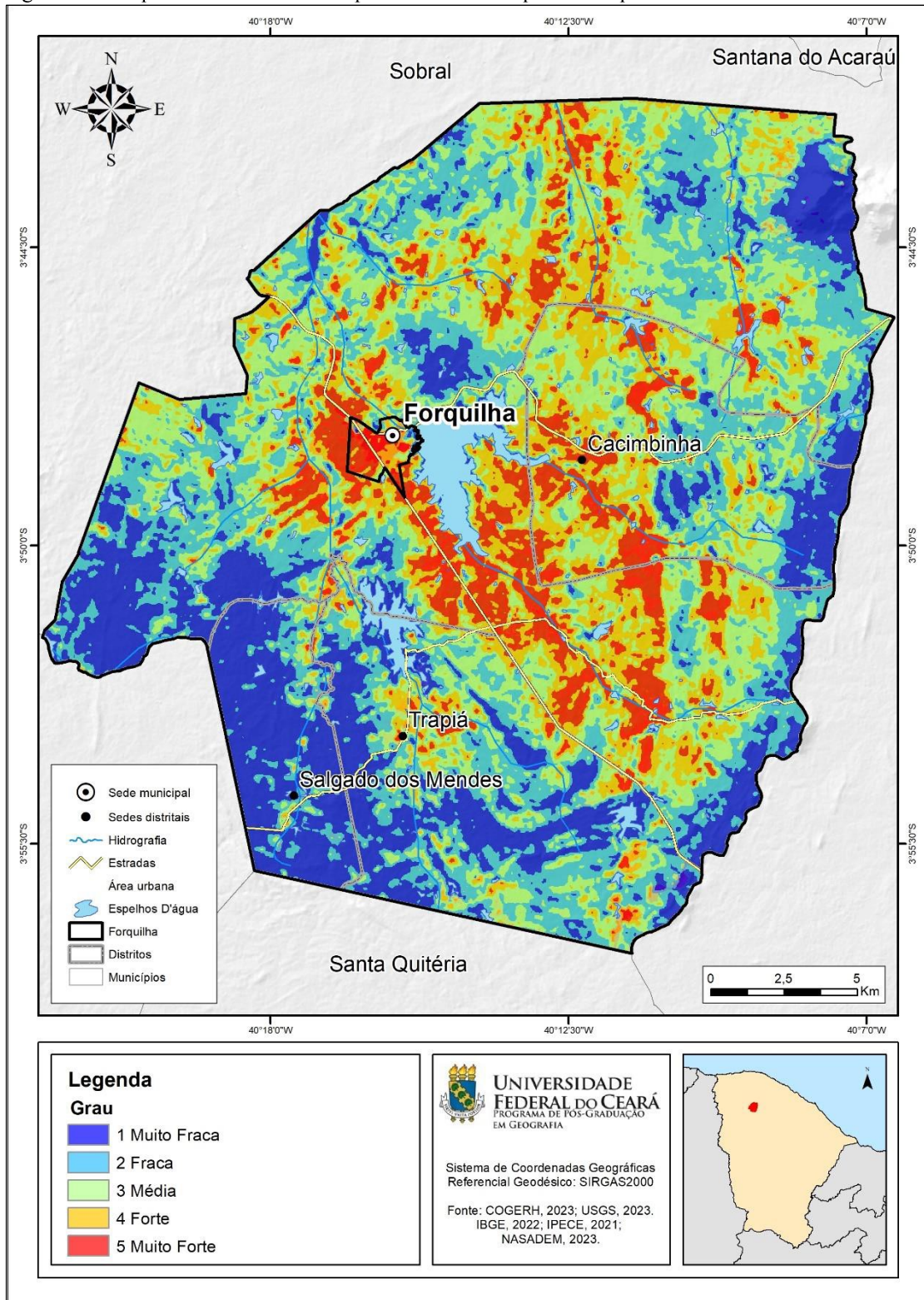
temperatura ajustada a superfície do solo foi mínima de 14°C a máxima de 26°C.

Conforme o mapa apresentado a seguir (FIGURA 23), existe uma concentração das classes com valores de Ts mais elevados nos setores centro e norte do município, principalmente na área urbana e entorno, o que aumenta a evapotranspiração no açude Forquilha, que se encontra na área pertencente a classe de grau 5.

Os setores com menores variações estão nas áreas com maior elevação, como exemplo na serra do Barriga, o local de maior altimetria encontrado. O açude Arrebita, segundo maior reservatório, também está em área com Ts mais amena, fator favorável à manutenção do aporte de água acumulado durante o período chuvoso.

Vale destacar que esta variação de temperatura ajustada a superfície do solo resultou de imagens de satélite que passaram sobre o município em um período do ano e em horário específico, quando a temperatura não atinge seu máximo. Por tanto, as áreas classificadas com os maiores valores estão propensas a sofrer mais danos quando a Ts atingir o máximo nos períodos sem chuva e com maior incidência de raios solares.

Figura 23 – Mapa reclassificado de temperatura do município de Forquilha



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Para a variável uso e ocupação do solo, a classe de maior ocorrência no município corresponde a de grau 2, representada pela formação de floresta/matias naturais que em Forquilha

abarca a formação florestas e, principalmente, a formação savânica. Esta classe é intercalada por manchas da classe grau 4 que corresponde as áreas antrópicas agrícolas, onde se concentram as pastagens e agricultura e se encontram principalmente ao longo dos recursos hídricos superficiais.

A presença de drenagens evita as secas e a degradação das terras, evidencia-se, portanto, a importância de preservar a vegetação as margens dos recursos hídricos, pois a presença de cobertura vegetal apresenta um importante fator na proteção do solo contra processos erosivos, contribuindo na recarga dos aquíferos, amenizando o microclima e contribuindo para a preservação da fauna local (NASCIMENTO *et al.*, 2016). Em Forquilha percebemos forte grau de vulnerabilidade nestas áreas, que se deve, principalmente, pela presença de áreas destinadas a pastagem e a presença de ocupação humana, oferecendo maior vulnerabilidade em comparação às áreas de vegetação natural.

Mas o pior cenário, com grau muito forte de vulnerabilidade, são os setores destinados à mineração, principalmente exploração de calcário, onde diversas “clareiras” são abertas (FIGURA 24.1 e 24.2), que além da retirada da caatinga na abertura das áreas de exploração, também há a retirada de lenha para alimentar o processo de beneficiamento (FIGURA 24.3), não havendo monitoramento e nem o corte seletivo (TOMAZ, 2019).

As áreas mais impactadas pela mineração se localizam ao Sul, havendo pequenas extrações de rochas ornamentais ao norte do município. Nesta classe também se encaixam as áreas não vegetadas e urbanizadas, onde se localizam as sedes dos distritos e o centro urbano, tendo em vista que o grau 5 corresponde as formações de áreas urbanas, desmatadas, mineração e solo exposto. Estas classes, que compõem as ocupações antrópicas não-agrícolas, por sua vez, alteram constantemente as relações de equilíbrio natural de um sistema ambiental (NASCIMENTO *et al.*, 2016).

Todas as classes descritas podem ser observadas na Figura 25 que apresenta o mapa com a abrangência dos graus de vulnerabilidade das classes encontradas para o município.

Figura 24 – Extrações de calcário em Forquilha



1 – Clareira aberta com a extração de calcário

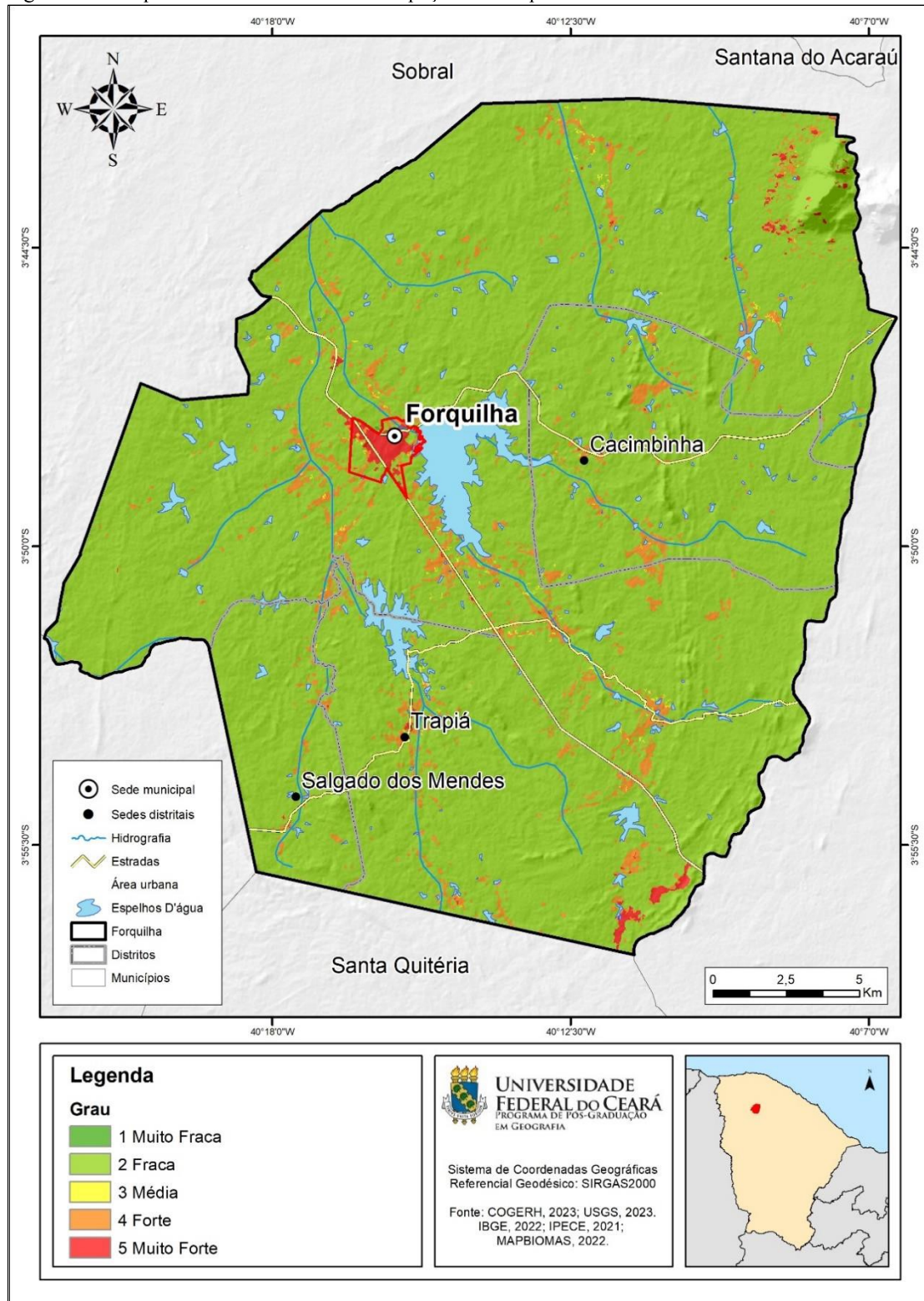


2 – Estrutura utilizada na extração do calcário



3 – Produção de calcário próximo a comunidade
Fonte: Rabelo (2023)

Figura 25 – Mapa reclassificado de uso e ocupação de Forquilha



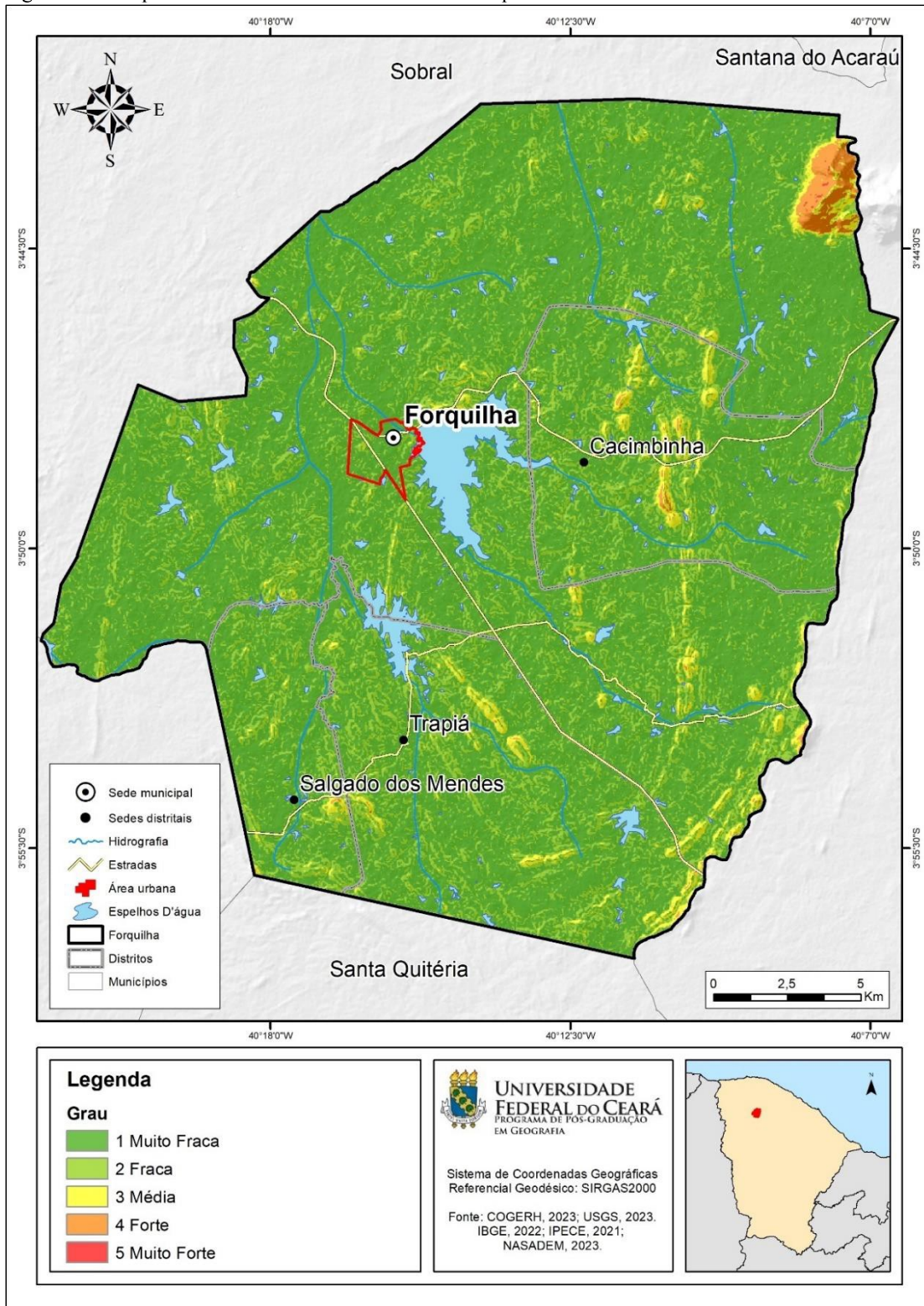
Fonte: Elaborado pela autora (2023).

As três últimas variáveis resultaram em valores de importância bem semelhantes, sendo a declividade a de maior importância dentre elas. O município em questão apresenta pouca variação altimétrica, com predominância de relevo plano a suave-ondulado, com setores

ondulados e poucos setores classificados como forte-ondulado, concentrados, principalmente, na serra do Barriga.

Por conta do relevo pouco movimento, com grau de vulnerabilidade variando de muito fraca à média (graus de 1 a 3), característico da depressão sertaneja, a declividade tem maior contribuição para tornar o município mais vulnerável quando associada a outros fatores, como os tipos de solos com vulnerabilidade muito forte, que é o caso dos Luvisolos encontrados na maior parte do território, principalmente, nas áreas dos domínios de colinas. Os Neossolos litólicos, presentes nos inselbergs, neste caso, no setor norte onde se encontra a serra do Barriga e as maiores variações na inclinação das vertentes. Conforme o mapa de vulnerabilidade da declividade apresentado na Figura 26.

Figura 26 – Mapa reclassificado de declividade em Forquilha



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Em Forquilha há predominância de Luvisolos e Neossolos litólicos, classificados como grau 5, de vulnerabilidade muito forte a ocorrência de seca. O alto grau de vulnerabilidade está associado ao fato dos Luvisolos, classe mais presente em todo território, possuírem alta

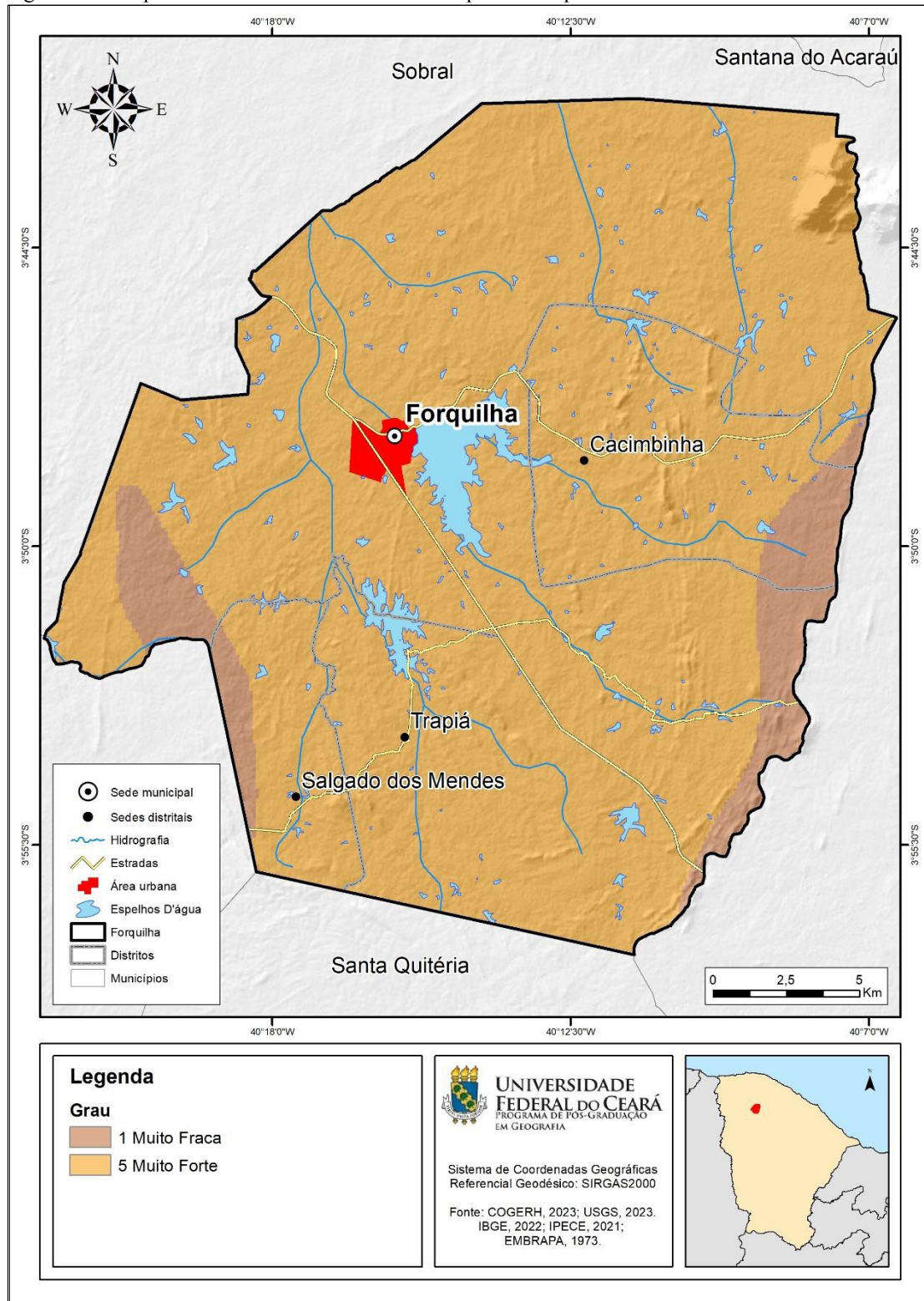
capacidade específica de retenção hídrica e taxa de infiltração lenta e muito lenta. Isso resulta em baixa eficiência no aproveitamento das chuvas, especialmente durante eventos torrenciais.

A combinação de elevada capacidade de retenção de água e infiltração lenta torna esses solos menos propícios a absorver a água das chuvas rapidamente. Assim, quando ocorrem chuvas intensas, o escoamento superficial é mais significativo, transportando a água em maior quantidade e velocidade.

Essa situação é particularmente evidente nos pequenos talwegues, que são as depressões ou canais formados pelo escoamento de água em áreas declivosas. Nessas áreas, a água pode fluir de forma concentrada, intensificando o processo erosivo e contribuindo para a formação de voçorocas e sulcos ao longo do tempo. São potencialmente vulneráveis em regiões semiáridas quando as chuvas se concentram em alguns meses, caindo em grande quantidade num curto período de tempo.

Na Figura 27 se observa apenas pequenas manchas de Planossolos, que estão classificados como grau 1 de vulnerabilidade muito fraca e baixo nível de degradação classificado pelo Atlas das áreas susceptíveis à desertificação (BRASIL, 2005).

Figura 27 – Mapa reclassificado de solos do município de Forquilha



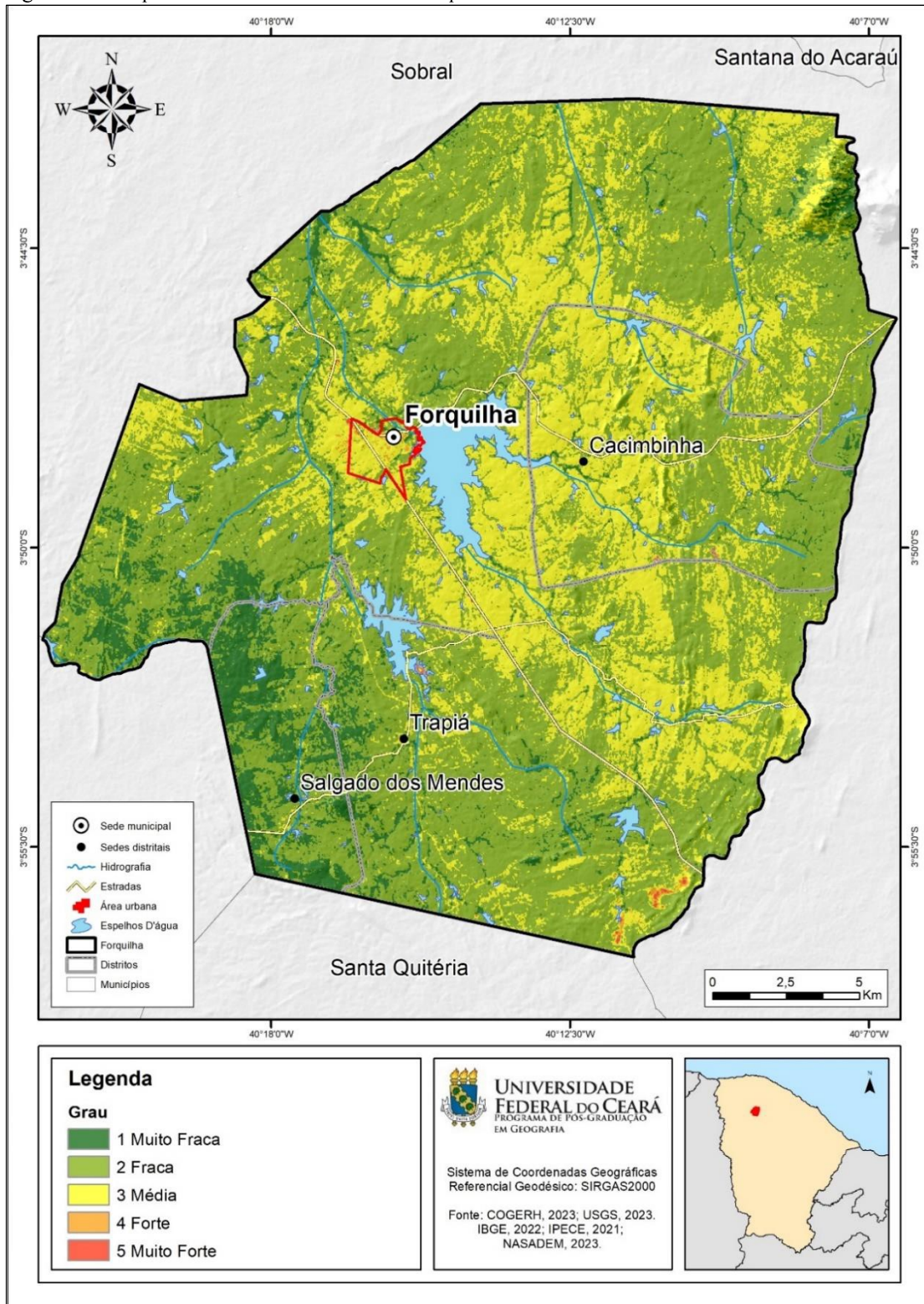
Fonte: Elaborado pela autora (2023).

A última variável a ser descrita é a vegetação, a partir do Índice de vegetação ajusto ao solo (SAVI). Conforme o mapa do SAVI reclassificado (FIGURA 28) para mostrar as áreas de acordo com o grau de vulnerabilidade a seca, Forquilha apresentou uma vegetação com

resposta fotossintética com predomínio das classes fraca (grau 2) e média vulnerabilidade (grau 3). Com poucos setores de grau 1 (muito fraca) e uma pequena porção a sudeste, com vulnerabilidade que variou de forte a muito forte correspondente as áreas de extração mineral mais significativas.

O grau 1 predominou sobre o distrito Salgado dos Mendes, a sudoeste, onde ocorrem os maiores índices de precipitação e os menores valores para a temperatura ajustado a superfície do solo. Seguindo a leste a mancha de vegetação mais conservada continua sobre os solos do tipo Planossolo, classificados com muito fraca vulnerabilidade, e abrange as áreas de grau 2, com fraca vulnerabilidade, para o uso e ocupação com a presença de florestas e matas naturais.

Figura 28 – Mapa reclassificado do SAVI em Forquilha



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

5.1.1 Avaliação da vulnerabilidade ambiental a seca em Forquilha – CE

Após a descrição das variáveis ambientais ponderadas de acordo com o grau de importância que cada uma exerce sobre a classificação da vulnerabilidade ambiental no município de Forquilha. A seguir são descritos os resultados encontrados após a aplicação da álgebra de mapas para sobreposição dos fatores obedecendo a intensidade de importância para cada variável com a utilização dos pesos resultantes da aplicação da AHP (TABELA 13).

Tabela 13 – Pesos aplicados para produção do mapa de vulnerabilidade a secas em Forquilha

Precipitação	Temperatura	Uso e Cobertura do Solo	Declividade	Tipos de Solo	Vegetação
0.501437	0.278347	0.080102	0.048089	0.046559	0.045465

Fonte: elaborado pela autora com dados da Matriz de Ponderação gerados pelo programa AHP-OS

A espacialização do índice resultou em 5 classes que variam de muito fraca a muito forte. A Figura 28 mostra a ocorrência dos graus de vulnerabilidade para os bairros do centro urbano, enquanto a Figura 29 mostra o cenário para todo município. Os mapas seguintes apresentam a ocorrência do efeito “sal-pimenta” comum quando a área de interesse possui grande heterogeneidade nos resultados e pixels vizinhos possuem informações distintas, como no caso dos cenários urbanos, resultando em mapas com grande variação nas cores que representam os resultados (BLASCHKE; LANG; HAY, 2008; YU *et al.*, 2006),

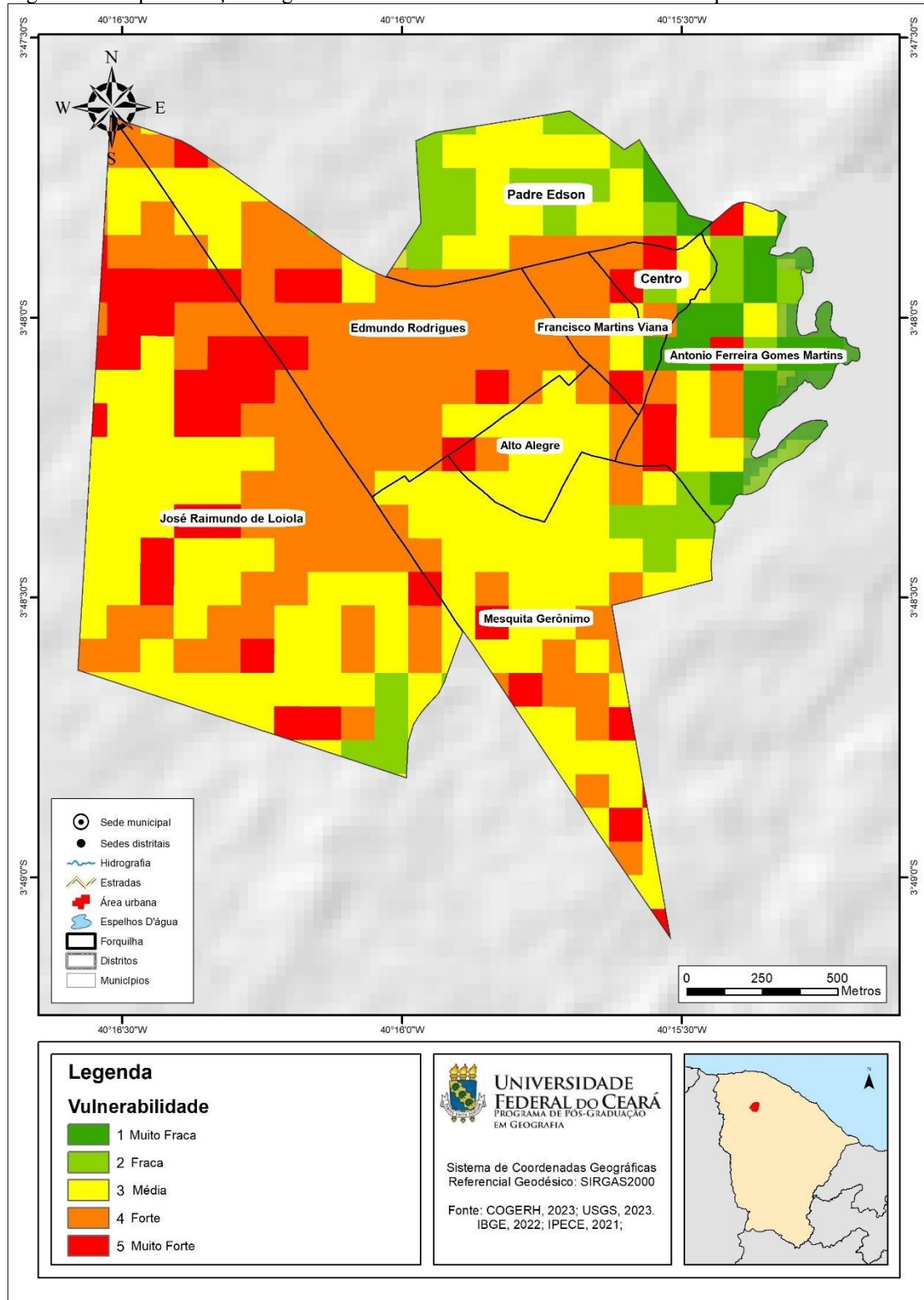
A área urbana do município apresentou todos os graus de vulnerabilidade, havendo predominância das classes de média e forte vulnerabilidade. Considerado que este é setor do município com maior ação antrópica, o que gera degradação ambiental, impermeabilização do solo, desmatamento das áreas verdes, conforme foi descrito na análise individual de cada variável, é compreensível o cenário preocupante encontrado.

Observa-se que os bairros com piores quadros são o José Raimundo Loiola, Edmundo Rodrigues, Alto Alegre, Mesquita Jerônimo e Francisco Martins Viana, vale ressaltar que são os bairros mais distantes do açude Forquilha. Significando que a presença do reservatório promove o menor impacto da seca, pois mesmo em avançado processo de degradação, mantém o mínimo de equilíbrio ambiental em seu entorno próximo. Como mostra os graus de vulnerabilidade muito fraca e fraca alcançados nos bairros Pedro Edson e Antônio Ferreira Gomes Martins localizados as margens do açude.

Mas, à medida que o açude promove o equilíbrio ambiental, a intensa ocupação que teve início exatamente com a sua construção, o crescimento desordenado observado no entorno

do açude tem ocasionado a retirada da vegetação para especulação imobiliária (Figura 30) e a poluição dos corpos hídricos que compõem a bacia do açude (Figura 31).

Figura 29 – Espacialização do grau de Vulnerabilidade à seca na cidade de Forquilha



Fonte: Elaborado pela autora (2023)

Figura 30 – Especulação imobiliária as margens do açude



Fonte: Rabelo (2023).

Figura 31 – Fotografia de corpo hídrico eutrofizado no bairro Mesquita Jerônimo ao lado do açude



Fonte: Rabelo (2023).

Quanto a espacialização dos resultados para todo o território municipal, observa-se a predominância das classes média (grau 3), forte (grau 4) e muito forte (grau 5) na porção central, seguindo de norte a sul e na área da serra do Barriga a nordeste, corroborando com os resultados encontrados na maioria das variáveis analisadas.

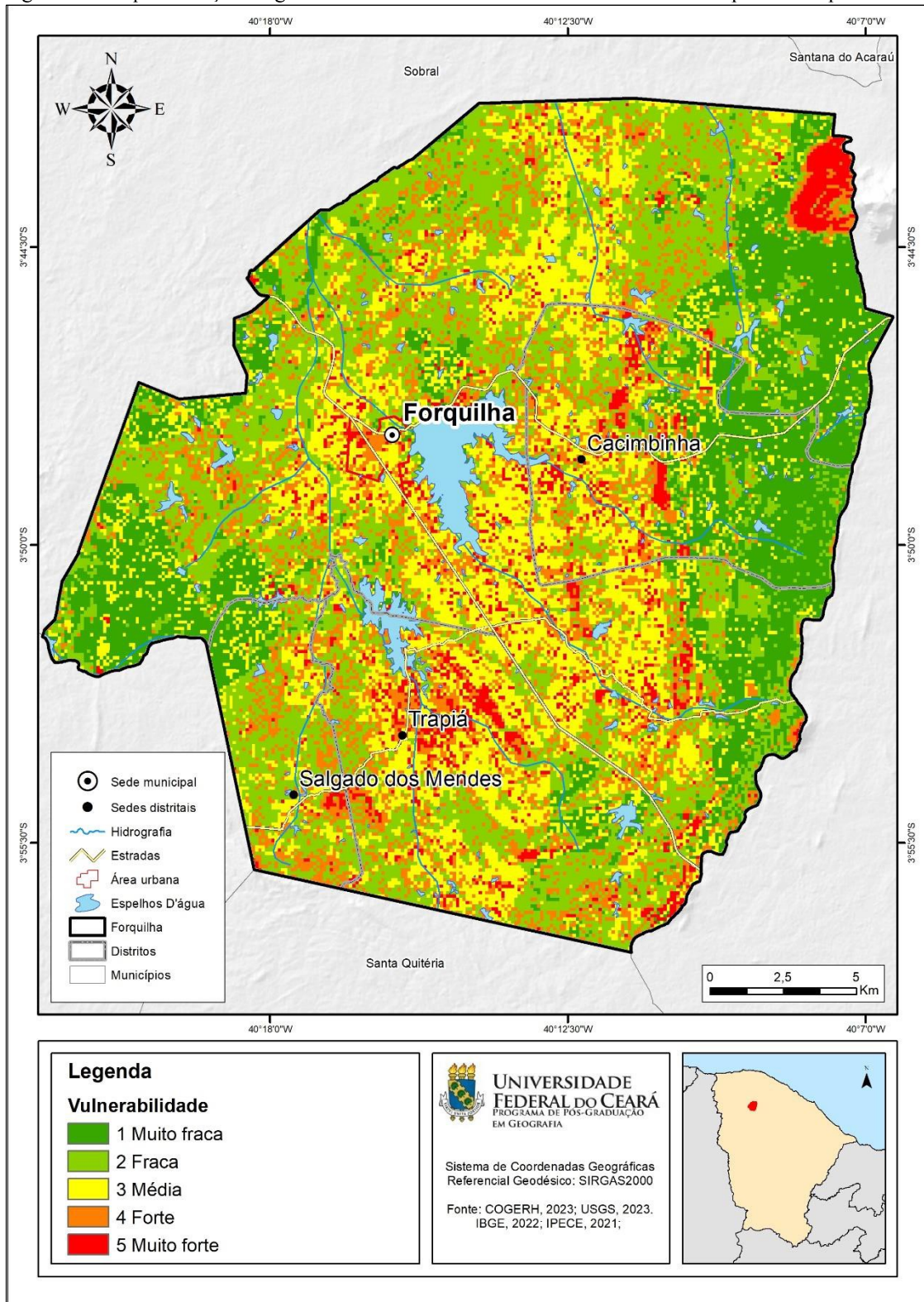
Pois, a maior porção do território tem os solos mais vulneráveis, a resposta fotossintética da vegetação de média a baixa, áreas com as formações mais vulneráveis quanto ao uso e ocupação (áreas urbanas, degradadas e mineração) e os maiores valores para temperatura ajustada a superfície do solo. Quanto a declividade, os setores com maiores ondulações que ficam exatamente no limite entre a predominância das classes 1 e 2 a leste do

município e na serra do Barriga também apresentam os graus mais elevados.

As porções a oeste e a leste concentram os melhores resultados do índice, com muito fraca e fraca vulnerabilidade, correspondentes aos graus 1 e 2. Estes setores são os menos ocupados, apresentam os Planossolos, solos menos vulneráveis, menos intervenção antrópica, melhor resposta fotossintética da vegetação, Ts mais amenas e a declividade com menos ondulações.

Dentre os distritos que compõem o município de Forquilha, Salgado dos Mendes tem os melhores índices de vulnerabilidade, com o menor quantitativo de áreas classificados com grau 5. Enquanto Trapiá apresenta a maior concentração de áreas variando de muito forte a forte, depois da sede urbana, principalmente próximo a sede e nas áreas de mineração. Cacimbinha acumula a maior quantidade de áreas menos vulneráveis, de graus 1 e 2, proporcional a extensão territorial. Tendo em vista que o maior distrito é Forquilha e abarca desde áreas com vulnerabilidade muito forte, como o centro urbano e a serra do Barriga, até áreas com vulnerabilidade muito fraca concentradas a oeste.

Figura 32 – Espacialização do grau de Vulnerabilidade ambiental a seca no município de Forquilha



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

5.2 Modelo de Inundações e mapeamento da suscetibilidade

O contorno HAND utilizado para mapear as áreas quanto ao grau de suscetibilidade à inundação inferida diretamente no modelo digital de elevação do terreno, obteve como resultado que as áreas mais baixas em relação as drenagens são as mais propensas a serem atingidas pelo excesso de água que extravasa do canal e entra no terreno das margens.

Para realizar a delimitação da altura que essa água pode chegar, o HAND apresenta uma versão normalizada da topografia que é referenciada ao canal do rio. Isso significa que o modelo separa os gradientes nas encostas laterais dos gradientes longitudinais do canal do rio. Os contornos do modelo mantêm uma relação topológica consistente com o nível de água do canal mais próximo, pois o próprio canal se torna a altura de referência normalizada, sendo considerada como zero, para o terreno circundante.

Essa abordagem permite que as variações de elevação ao longo das encostas laterais sejam mais facilmente distinguidas das elevações no leito do rio. Além disso, ao utilizar o canal do rio como referência, o modelo HAND proporciona uma representação mais precisa do relevo local em relação ao nível da água, auxiliando na análise hidrológica e no estudo de inundações.

Consequentemente, no modelo, a inundação forma uma superfície virtual em que a linha de contorno do HAND se mantém nivelada. Ao plotar esse contorno na topografia real, ele se torna uma linha que varia gradualmente em altura enquanto cruza os contornos topográficos de nível (NOBRE *et al.*, 2015). Dessa forma, os contornos HAND seguem rios e afluentes em qualquer direção, independentemente da altura acima do nível do mar, do gradiente longitudinal do canal ou da distância horizontal até o canal mais próximo.

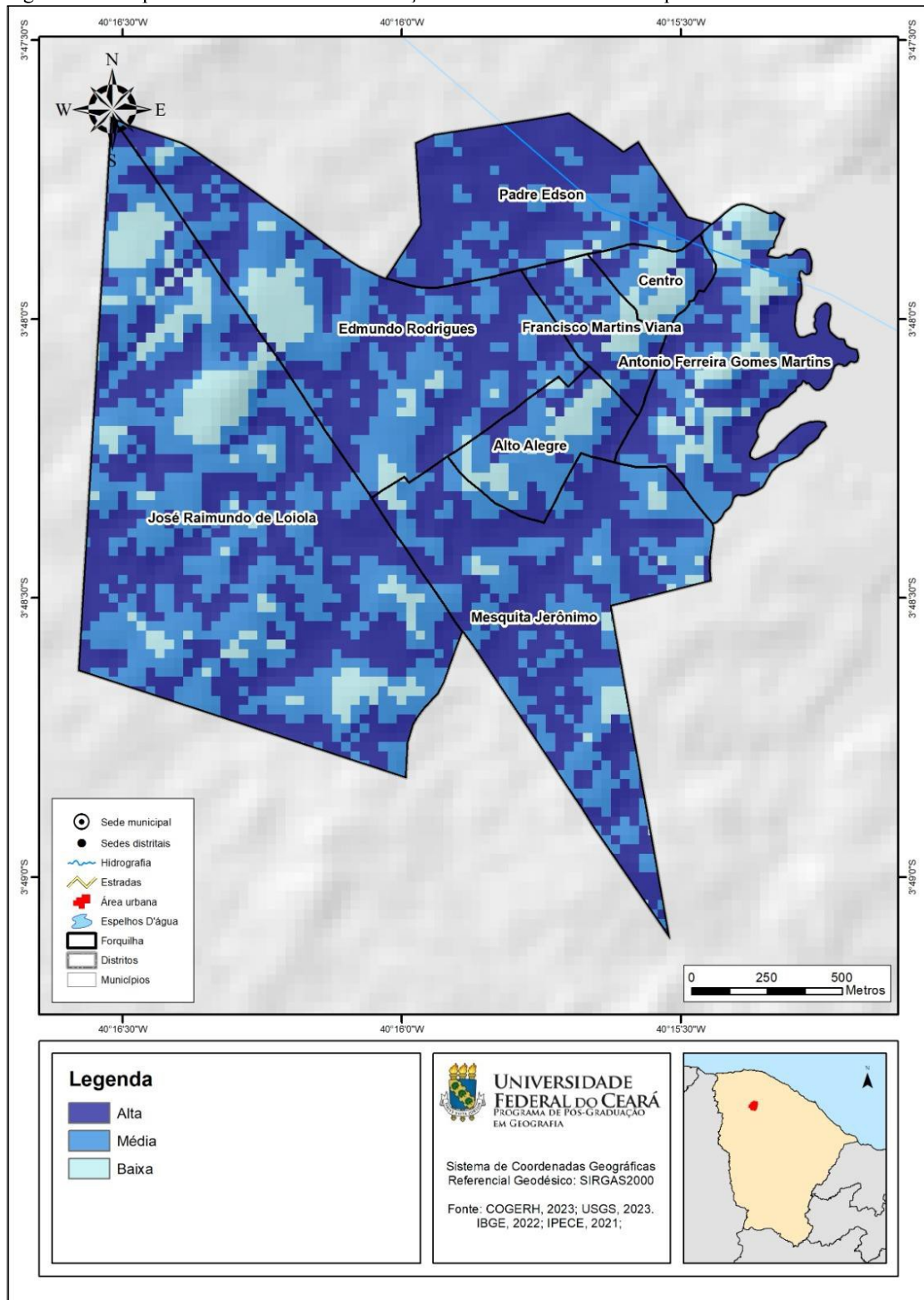
O modelo HAND, de forma geral já foi validado em diversos trabalhos (RENNÓ *et al.*, 2008; NOBRE *et al.*, 2015; BITTAR, 2014), inclusive tendo sido aplicado em Sobral, gerando uma carta de suscetibilidade a inundações (CPRM, 2014), conforme citado anteriormente.

Embora venha passando por atualização (COCEIÇÃO; SIMÕES, 2019; 2021), os resultados em Forquilha foram condizentes, tanto na comparação em imagens de satélite, quanto na validação em campo. Demonstrando a capacidade do método em revelar a extensão da inundação. Isso significa que o modelo HAND é eficaz na delimitação das áreas inundadas, fornecendo informações precisas sobre as regiões que seriam afetadas em caso de cheias ou inundações.

Conforme a Figura 33, com destaque no centro urbano, após aplicação do modelo,

o bairro mais suscetível a inundação é o Padre Edson, de fato o bairro é cortado por uma drenagem, como pode ser observado no mapa hidrográfico. A presença do corpo hídrico aumenta o grau de suscetibilidade aos eventos de inundação com a ocorrência de chuvas intensas que provoquem o transbordamento do canal.

Figura 33 – Mapa de suscetibilidade a inundação do centro urbano de Forquilha



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

A Figura 34, com a foto aérea do bairro, mostra que nas áreas mais distantes da avenida há presença de diversos corpos hídricos, não apenas córregos, como também pequenos reservatórios, tanto que a paisagem se revela com considerável presença de vegetação. A

ocupação de fato se concentra nas proximidades da Avenida Centro.

Figura 34 – Bairro Pe Edson localizado a margem da Avenida Centro



Fonte: Rabelo (2023).

Os bairros Centro, Francisco Martins e Alto Alegre apresentam os menores valores de suscetibilidade à inundação, pois estão em áreas mais distantes dos cursos d'água. Estas drenagens adquirem maior expressividade nos bairros vizinhos Mesquita Jerônimo, Edmundo Rodrigues e Antônio Ferreira Gomes Martins.

Os três últimos bairros citados intercalam classes de alta, média e baixa suscetibilidade. No caso do Antônio Ferreira Gomes Martins, que faz limite com o açude Forquilha (Figura 35), é possível observar que o setor mais próximo do reservatório é o mais ameaçado por inundações. Na parte central do bairro ficam as áreas mais elevadas com distância mais segura, logo em seguida aparece uma transição de média a alta suscetibilidade bordejando um curso d'água próximo ao limite com os bairros Francisco Martins Viana e Alto Alegre.

Figura 35 – Foto área do bairro Antônio Ferreira Gomes Martins no limite com o açude Forquilha



Fonte: Rabelo (2023).

O bairro Mesquita Jerônimo está em processo de expansão, ao comparar a delimitação dos setores censitários, realizada pelo IBGE, que compõem o bairro em 2010 e 2023, houve um prolongamento territorial em direção sul, exatamente se aproximando do açude e aumentando as áreas com alta suscetibilidade a inundação. Além da grande abrangência de setores com alta suscetibilidade presentes na porção norte, que é o mais antigo do bairro.

São encontradas áreas de alta suscetibilidade à inundações, também, no Edmundo Rodrigues. Neste bairro os moradores da rua Irmãos Liberato de Matos relataram constantes eventos de inundação, inclusive noticiados na imprensa (<https://diariodonordeste.verdesmares.com.br/regiao/chuva-invade-casas-e-deixa-ruas-alagadas-em-forquilha>, 2018). Sendo possível identificar nas casas em ruas adjacentes, estruturas para barrar a entrada da água da chuva nas casas (FIGURA 36.1) e calçadas altas para dificultar a subida da água (FIGURA 36.2).

Figura 36 – Fotos de adaptações nas construções do bairro Edmundo Rodrigues para reduzir os impactos das inundações nas residências.



1 – Estruturas de concreto para reduzir a entrada da água nas casas



2 – Entrada da casa elevada com muitos degraus para evitar as inundações

Fonte: Rabelo (2023).

Com maior extensão territorial, o bairro José Raimundo de Loiola apresenta um quadro bem diversificado quanto a suscetibilidade a inundações. É perceptível que existem drenagens que cruzam o bairro, assim como áreas mais distantes, aonde a possibilidade de subida da água é baixa. Na figura 37 se observa áreas com vegetação mais densa, com possibilidade de maior acúmulo de água, bem como setores mais elevados e com vegetação mais seca e espaçada, que correspondem as áreas de baixa suscetibilidade.

Figura 37 – Exemplos da variação à suscetibilidade a inundações no bairro José Raimundo Loiola



1 – Presença de vegetação mais densa em setores mais baixos, indicando presença de curso d'água



2 – Rua com áreas mais elevadas e maior distância das drenagens

Fonte: Rabelo (2023)

No contexto municipal a suscetibilidade a inundações é fator preponderante sobre o território. O cenário não surpreende à medida que Forquilha surgiu pela construção do açude, já era de se esperar um adensamento na rede de drenagem, que mesmo em contexto semiárido, com predominância de rios de pequena ordem e intermitentes em sua maioria, as drenagens retomam seus leitos em períodos de chuva.

Embora predomine um relevo pouco movimentado, sem grandes elevações, existe diferença de nível em todo o contexto do município, inclusive na cidade. Tendendo a convergir para áreas mais baixas aonde correm os rios e riachos que se formam, principalmente, durante a quadra chuvosa e se tornam potencialmente perigosos em eventos de precipitação intensa.

Observando a Figura 38, percebe-se que as áreas de baixa suscetibilidade se concentram principalmente no setor centro-oeste do município, onde no mapa de relevo estão

dispostas pequenas elevações que movimentam o terreno e pertencem a classe dos domínios de colinas. Com destaque para serra do Barriga, o setor de maior elevação pertencente a classe de *inselbergs*.

Ainda a oeste, no limite com o município de Sobral, estendendo-se até o Sul estão as nascentes das drenagens que correm em direção nordeste, conforme o mapa hidrográfico apresentado no capítulo 4. Nas cabeceiras é comum o predomínio de baixa suscetibilidade a inundações, devido à presença de elevadas amplitudes, relevos com encostas mais íngremes e planícies de inundações mais encaixadas (NOBRE *et. al.*, 2015).

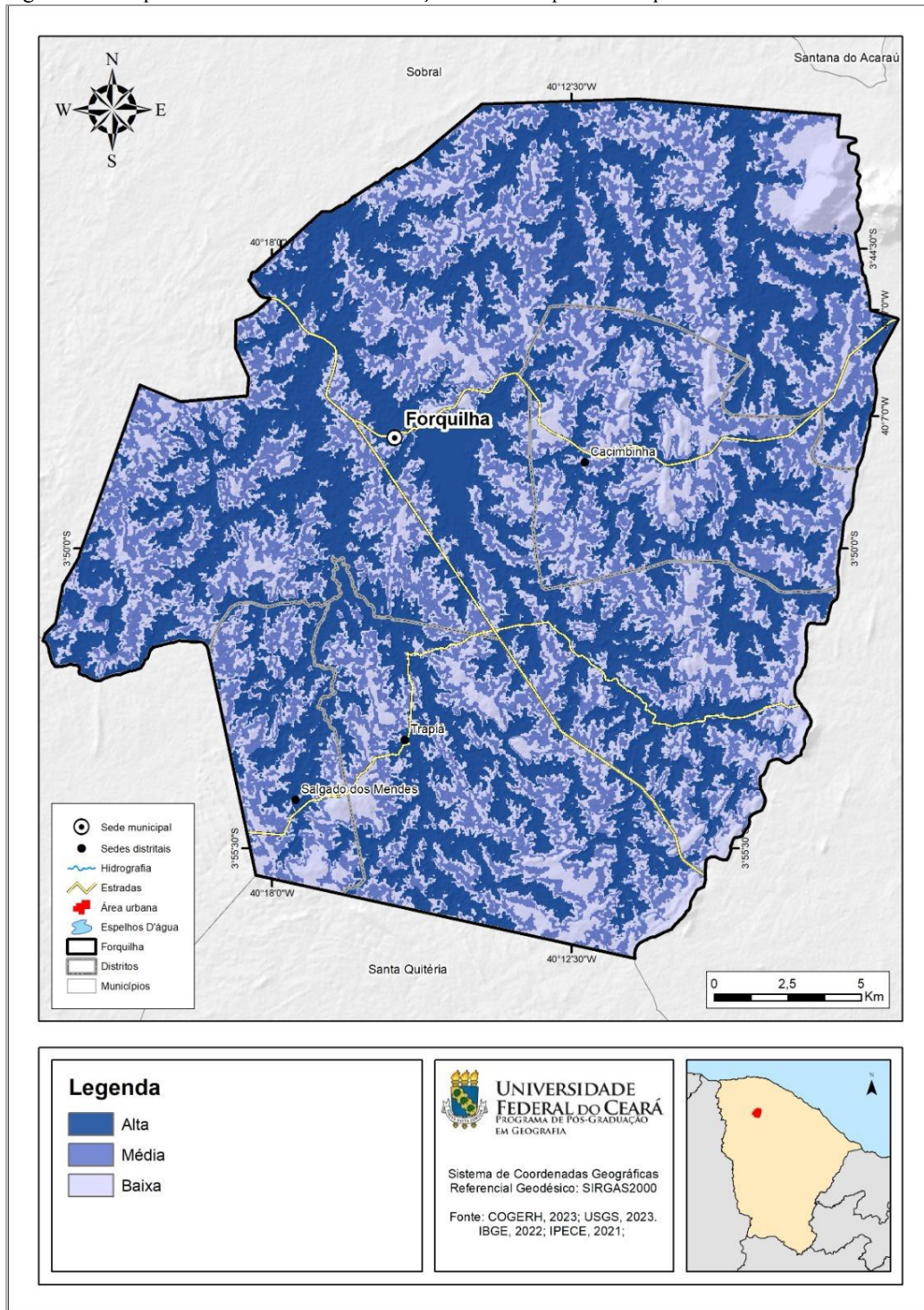
Há maior concentração de alta suscetibilidade nos setores correspondentes a classe de superfícies aplainadas, que se encontram a Nordeste, onde o relevo é mais plano e estão as planícies de inundações mais extensas com os rios ocupando áreas maiores. O outro setor está a Noroeste, nas imediações da serra do Barriga, onde se encontra a mesma classe de relevo.

No distrito Salgado dos Mendes existe o predomínio da classe média suscetibilidade, com exceção das planícies de inundações, pois a maior parte do território é ocupada por áreas mais elevadas, localizando-se as cabeceiras de drenagem. Enquanto Trapiá, com maior extensão territorial, tem mais variação das classes de inundações, predominando a baixa suscetibilidade a sudoeste e tendendo a alta ao sul.

Cacimbinha é o distrito de maior concentração da baixa suscetibilidade, pois seu território tem relevo forte ondulado, chegando a áreas que podem atingir 45m, coincidindo com as áreas menos propensas a inundações. Enquanto no distrito Forquilha, de maior extensão territorial, percebe-se o predomínio das classes média e alta apresentando a menor variação na declividade, assim como concentra as planícies de inundações a jusante do açude.

Diante das considerações anteriores, acerca da aplicação do HAND para mapeamento de suscetibilidade à inundações, é possível afirmar que o modelo obteve êxito na caracterização do município. Embora resultados mais precisos possam ser encontrados com o uso de imagens com melhor resolução e a inclusão de outras variáveis, como classes de relevo, altimetria e declividade (CONCEIÇÃO; SIMÕES, 2019). Possibilitou-se destacar os setores que precisam de mais atenção em relação a ocorrência de inundações, principalmente em áreas com adensamento populacional.

Figura 38 - Mapa de suscetibilidade a inunda o do município de Forquilha - CE



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

6 AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE HÍDRICA EM FORQUILHA, CE

Discutir vulnerabilidade hídrica abrange diversas dimensões referente às questões ambientais, como a ocorrência de eventos climáticos somados a variáveis ambientais, como tipo de solos, características geomorfológicas, proximidade de cursos de d'água. Bem como a caracterização dos ambientes afetados por tais ameaças e a capacidade de retorno às condições anteriores ao acontecimento de um desastre que os atinja.

Uma série de fatores pode influenciar na vulnerabilidade hídrica, incluindo categorias de cunho local e social, por exemplo, às relativas diretamente à água, como o acesso e a qualidade, outros que envolvem questões mais abrangentes, como as mudanças climáticas e a ocorrência de eventos climáticos extremos. Além de aspectos que buscam entender as relações entre as populações e os recursos hídricos, como avaliação da gestão, demanda crescente por água, dentre outros.

Por isso, a avaliação desse tipo de vulnerabilidade é fundamental para identificar áreas que estão mais expostas a riscos relacionados à água. Com base nessa compreensão, podem ser desenvolvidas estratégias e políticas adequadas para melhorar a resiliência e reduzir os aspectos que os torna vulneráveis, promovendo o uso sustentável e equitativo dos recursos hídricos. Por tanto, entender o ambiente é imprescindível para um planejamento condizente com a realidade.

Nesse intuito, este capítulo apresenta a avaliação da vulnerabilidade hídrica em Forquilha, município semiárido, com características ambientais que resultam em problemas com secas prolongadas e episódios de inundações. E para promover a convivência com o clima local necessita o conhecimento do ambiente e a promoção de políticas públicas eficientes. Para tanto, realizou-se o levantamento dos fatores ambientais capazes de intensificar a realidade preocupante do município, não só acerca da escassez de água, mas também, dos problemas enfrentados com os eventos pluviométricos intensos.

6.1 Vulnerabilidade Hídrica frente a ocorrência de extremos pluviométricos

As pesquisas realizadas no campo dos recursos hídricos destacam a natureza intrinsecamente geográfica das águas. Ao mesmo tempo em que a água é um recurso natural, ela também desempenha um papel fundamental no desenvolvimento da sociedade. “Em outras palavras, a água exprime a relação direta e indissociável entre sociedade e natureza”

(CARVALHO, 2012, p. 2).

Por ser um bem indispensável ao desenvolvimento humano, questões relativas à água têm desencadeado o acirramento de uma crise que teve início no século XXI, em razão de uma soma de fatores próprios de uma sociedade que, a partir do século XIX, deixou de ser eminentemente agrária e se tornou urbana. Este processo de urbanização acelerado está ligado à vulnerabilidade hídrica de várias regiões do globo (BOLSON; HAONOT, 2016).

É de conhecimento geral que a ação do homem sobre o solo produz diversas alterações substanciais nos processos hidrológicos terrestres. O impacto do desenvolvimento urbano resulta em efeitos significativos sobre o ambiente, criando condições extremamente desfavoráveis sobre os rios, principalmente na vizinhança dos centros urbanos. Se agravando com a ocupação de áreas ambientalmente vulneráveis fruto de um processo de expansão urbana desordenado, resultando em quadros de vulnerabilidade, não apenas ambiental, mas das pessoas que ocupam estes locais (CARVALHO, 2012).

Mas a vulnerabilidade hídrica não está associada apenas aos centros urbanos, Marengo (2008) afirma uma persistência na vulnerabilidade hídrica das comunidades rurais no semiárido brasileiro que, embora o clima no semiárido seja fator preponderante na disponibilidade hídrica, os aspectos de cunho econômico e social agravam a situação local.

Compreende-se que para analisar a vulnerabilidade hídrica, deve-se tomar como pressuposto o fato de que conhecer o ambiente é o ponto de partida para chegar à avaliação de um determinado espaço geográfico e entender as relações estabelecidas pela sociedade ali instituída. Embora certamente não seja significativo usar a mesma ferramenta de avaliação da vulnerabilidade da água em todos os lugares e em todas as escalas, pesquisadores e gestores de recursos hídricos podem construir e adaptar ferramentas à sua situação (PLUMMER; LOË; ARMITAGE, 2012).

Observa-se que a vulnerabilidade hídrica, devido a ocorrência de eventos extremos, pode surgir devido a inundações e disponibilidade hídrica em períodos de secas (TUCCI; CHAGAS, 2017), que dependendo da magnitude e da vulnerabilidade das áreas impactadas, esses eventos podem vir a si tornar desastres. À luz do aumento na frequência desses eventos extremos, conhecer e medir a vulnerabilidade torna-se um instrumento de auxílio à ciência no caminho de transição para um mundo mais sustentável e resiliente, pois tão fundamental quanto prevenir um desastre é garantir que uma localidade dele se recupere (DAMACENA, 2015).

No intuito de cumprir os pressupostos estabelecidos, buscou-se propor um modelo de avaliação da vulnerabilidade hídrica aos extremos climáticos em contexto semiárido, a partir

do uso de indicadores ambientais capazes de captar as peculiaridades do lugar. Considerando que, por mais desafiador que seja a capacidade de medir a vulnerabilidade frente a ocorrência de episódios climáticos extremos, como estiagem e inundação é, cada vez mais, compreendida como um passo fundamental para a redução eficaz do risco e a promoção de uma cultura de resistência (CARVALHO, 2012).

Com base na classificação da vulnerabilidade ambiental frente a ocorrência das secas, encontrou-se um cenário preocupante em Forquilha, podendo ser estendido para outros município no semiárido cearense. Considerando os problemas já identificados previamente, como insegurança hídrica das famílias que não têm a demanda por água atendida de modo satisfatório (TOMAZ, 2019), se torna mais preocupante na ocorrência do prolongamento das secas.

Embora os fatores ambientais não possam ser considerados determinantes nos problemas que as pessoas enfrentam com a água, tendo em vista que deve existir uma gestão eficiente em qualquer contexto, seja ele de escassez ou excesso, estes exercem forte influência sobre a relação das populações com os recursos hídricos.

A descrição da vulnerabilidade ambiental à seca em Forquilha demonstrou que de fato as variáveis ambientais tem forte influência no aumento do grau de vulnerabilidade, pois os setores com os tipos de solo e classes relevo de mais vulneráveis, temperatura mais elevada e menor resposta fotossintética da vegetação tiveram os piores resultados, com maiores graus de vulnerabilidade. Os resultados foram intensificados com a inclusão do uso e cobertura do solo, revelando que áreas degradadas e intensamente urbanizadas são fatores determinantes no aumento da vulnerabilidade.

No contexto urbano, em análise individual por bairro, encontram-se os melhores resultados para os bairros mais próximos do açude, levando a concluir que o mínimo de preservação existente às margens do reservatório diminui a vulnerabilidade ambiental na cidade. Em contrapartida, os bairros mais distantes e, principalmente, com relevos mais movimentados estão mais vulneráveis aos efeitos da seca.

Já no contexto rural, observou-se que as áreas mais preservadas, com menor intensidade de ocupação e menos uso tiveram os menores graus de vulnerabilidade. À medida que a ocupação se dá de modo desordenado e há práticas degradantes, como a mineração descontrolada encontrada em Forquilha, o ambiente se torna mais vulnerável.

Em contraponto a ocorrência de secas estão as inundações decorrentes dos eventos de precipitação intensa que se tornam cada vez mais presentes em solo brasileiro e alertam para

quão catastrófica pode ser a situação no futuro (DAMACENA, 2015). Estes eventos se tornam mais catastróficos em contexto urbano, principalmente quando há ocupação de áreas próximas às drenagens e além dos problemas ambientais, existe a perda da vida humana e prejuízos econômicos.

Os resultados encontrados para a cidade de Forquilha mostram que a proximidade com o açude torna os bairros mais suscetíveis à inundação. Os mais distantes do reservatório e as áreas mais afastadas dos recursos hídricos que drenam a cidade têm menor suscetibilidade à inundação. Assim como àquelas com maior altitude que dificultam a chegada da água em caso de chuvas volumosas.

Outro fator que aumenta o grau de suscetibilidade é o processo de impermeabilização do solo, como é o caso de Forquilha com a pavimentação chegando a 90,5%, dificultando a infiltração da água. Somado ao fato de apenas 8,3% das vias públicas possuírem cobertura de redes ou canais pluviais, impossibilitando o escoamento.

Ao contrário do resultado encontrado na vulnerabilidade à seca, onde o reservatório funciona como um regulador ambiental, na ocorrência de inundações, quanto mais próximo dos corpos hídricos mais risco há de sofrer os impactos de uma possível inundação. Pois à medida que a presença de água reduz o impacto da seca, aumenta a suscetibilidade a inundação.

Carvalho (2012) afirma que as populações com carência em termos de escolaridade, baixa renda e poucas perspectivas de ascensão social e econômica, muitas vezes é levada a ocupar áreas de baixa assistência à saúde, com pouco ou nenhum serviço de saneamento básico, repercutindo em maior pressão sobre os recursos hídricos locais. Este cenário também foi encontrado em Forquilha, principalmente no bairro Antônio Ferreira Gomes Martins, onde as áreas mais suscetíveis a sofrer com a subida das águas em eventos de precipitação intensa são ocupadas pelas pessoas em maior vulnerabilidade social (TOMAZ, 2019).

Já na zona rural existe a preferência das ocupações pelas áreas com presença de recursos hídricos, o que facilita o cotidiano, principalmente em momentos de escassez, mesmo que ofereça algum risco em cenário de chuvas muito intensas, estas áreas não sofrem tanto com inundações, principalmente pela baixa impermeabilização do solo e a maior facilidade no escoamento das águas pluviais.

Mas, o mais preocupante é o fato de, na maioria das vezes, a população que ocupa as áreas mais suscetíveis é, principalmente, a de baixa renda e a mais vulnerável em virtude da baixa qualidade de vida e das limitações apresentadas em termos de sustentabilidade social, econômica e ambiental, resultando em viverem em um ciclo que se repete e de pouca

possibilidade de ascensão social (CARVALHO, 2012).

Diante as diversas situações encontradas, percebe-se que a avaliação da vulnerabilidade hídrica, com base nos indicadores ambientais, é capaz de representar o cenário problemático ao qual está propícia a enfrentar as populações que vivem no semiárido. Lembrando que a realidade muda, tanto do contexto rural para o urbano, quanto de um município para outro, tornando indispensável o olhar diverso entre os contextos analisados.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As questões relacionadas a água estão cada vez mais presentes em discussões, tanto no âmbito das ciências quanto do senso comum, pois inquestionavelmente traz prejuízos a todos. Em Forquilha ocorre o mesmo, os problemas com a água para as mais diversas atividades se tornaram, em alguns momentos, o foco principal de preocupações e transtornos, tanto ocasionado pela falta de chuva e a escassez do recurso, ou pelo excesso de precipitação, que não garante disponibilidade de água e ainda causa prejuízos.

Com base na pesquisa desenvolvida, conclui-se que é possível avaliar a vulnerabilidade hídrica das pessoas que vivem no semiárido, a partir do uso de indicadores ambientais. Por mais difícil que seja quantificar os fatores que influenciam no quadro da vulnerabilidade, devido a diversidade de dimensões que compõem esse tipo de estudo, é possível apresentar propostas de caráter holístico, adaptado ao contexto de interesse.

Os municípios do semiárido estão expostos a variabilidade climática, mas, mais do que isso podem ser afetados negativamente pela ocorrência de eventos pluviométricos extremos. Forquilha, enquanto área de estudo, comprovou as oscilações climáticas nos municípios semiáridos e a caracterização pontual da ocorrência dos extremos de secas e inundações demonstraram os impactos sobre o município e a população. Justificando a necessidade deste tipo de investigação que se propõe a identificar as áreas mais atingidas, conseqüentemente as pessoas que residem, e como são afetados por esses fenômenos.

Embora, os governos invistam em infraestrutura e políticas visando a redução dos impactos. As pessoas continuam incapacitadas de lidar com a ocorrência destes eventos que se tornam cada vez mais danosos, principalmente, no total descaso acerca das inundações. Pois são os próprios moradores que tentam promover o mínimo de proteção contra os impactos sofridos em suas construções adaptadas ao grande volume de água que inunda as ruas em fortes chuva. Ainda mais pela falta de ordenamento territorial com a expansão dos bairros sem planejamento que se direcionam para áreas de alta suscetibilidade.

Considerando a importância das variáveis ambientais na definição do quadro de vulnerabilidade hídrica, o levantamento ambiental que considerou as condições climáticas (precipitação média e temperatura ajustada a superfície), cobertura vegetal (SAVI), uso e ocupação, tipos de solo e declividade, resultou em um município vulnerável à seca.

A caracterização ambiental revelou a baixa capacidade do meio em oferecer recursos suficientes para a população quando ocorrem as secas. Os tipos de solo associado a

cobertura vegetal e a baixa precipitação, característica do semiárido, somada as práticas de exploração mineral e degradação da vegetação demonstrou um município com grau de vulnerabilidade variando de média a muito forte em mais da metade do território, principalmente nas áreas com maior ocupação antrópica.

Sobre os efeitos das inundações o modelo de suscetibilidade aplicado mostrou um município com muitos setores de média a alta suscetibilidade, uma situação comum na região de entorno, tendo em vista que o mesmo método foi aplicado em Sobral, que já tem histórico de inundações e obteve resultado semelhante. O relevo pouco movimento e a densidade de drenagens já preconizava o quadro encontrado. Embora a maioria dos rios sejam intermitentes e tendam a aparecer apenas no período chuvoso, o modelo pontuou as áreas com maior propensão a serem atingidas pelo transbordamento da água.

Desse modo, as técnicas aplicadas identificaram a ocorrência de eventos pluviométricos extremos demonstrando que um município localizado no semiárido cearense está exposto a estes eventos, tanto a escassez, quanto ao excesso de chuvas, comprovando que sofre com extremos climáticos, representados pelo binômio, seca e inundação.

Enquanto a utilização de indicadores ambientais, considerando a interrelação entre eles, revelou os setores com mais problemas relativos à escassez de água, bem como com maior suscetibilidade a inundações, condizentes com o cenário encontrado, principalmente na área rural. Os dados de bancos disponíveis gratuitamente possibilitaram chegar à avaliação válida das condições de vulnerabilidade em município localizado no semiárido cearense. Confirmando a hipótese de que é possível avaliar a vulnerabilidade hídrica a estes eventos pluviométricos extremos, baseado em fatores ambientais e utilizando dados acessíveis.

Diante do exposto, a vulnerabilidade hídrica que afeta Forquilha, enquanto município localizado no Semiárido brasileiro, tem relação direta com as condições ambientais do lugar. Mas também é preciso considerar que o manejo errôneo e gestão dos recursos hídricos afeta as condições ecológicas necessárias para a produção e manutenção dos recursos hídricos. Pois práticas com forte degradação, como a mineração, o desrespeito a manutenção das áreas de preservação permanente dos recursos hídricos e a poluição dos córregos, resultante da ocupação desordenada, são fatores que promovem problemas como agravamento da erosão, assoreamento de rios, nascentes e reservatórios, reduzindo a capacidade de produção e armazenamento de água. Com consequências na falta de água, insuficiência no suprimento das necessidades básicas da população e a ausência de estruturas naturais de proteção diante do excesso de água, no caso de alto volume pluviométrico.

Por essa razão, o estudo e a implementação de medidas para a redução das vulnerabilidades e promoção da resiliência dos recursos hídricos se impõem. Para isso, aumentar a consistência entre as ferramentas de avaliação da vulnerabilidade hídrica, ao mesmo tempo em que permite a adaptação contextual, pode ajudar a facilitar as comparações e destacar as melhores práticas. As ferramentas de avaliação expressam seu potencial em referência a determinantes ambientais, numa abordagem holística, que a curto prazo podem surtir efeito, mas para isto são necessários esforços conjuntos com o intuito de disponibilizar cada vez mais dados atualizados que possam ser utilizados no desenvolvimento e aplicação de metodologias acessíveis.

Pois, como foi visto, é possível associar diferentes metodologias e técnicas, usando dados secundários, para chegar a um resultado viável e condizente com a realidade, podendo ser utilizado pelo poder público para promover o bem-estar social. Mas, para isso, é preciso investir no estudo prévio capaz gerar dados concisos que possam revelar as lacunas onde o poder público pode intervir.

Essas considerações focam a atenção na captura da suscetibilidade, mas principalmente, na capacidade de resposta de um sistema aos riscos relacionados à água. Necessitando de oportunidades para melhorar as avaliações existentes, incorporando cada vez mais variáveis ambientais, mas, também, sociais e institucionais para capturar e medir, de forma o mais holística possível, esses aspectos de maneira significativa. Embora não seja fácil, pela dificuldade na aquisição de dados institucionais e por eles não se darem facilmente à expressão numérica, mas vale o esforço.

REFERÊNCIAS

- ADGER, W. N. Vulnerability. **Global Environmental Change**, v. 16, n. 3, p. 268–281, 2006.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEMAENTO BÁSICO (ANA). **Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil**. Brasília: Agência Nacional de Águas, 2013.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEMAENTO BÁSICO (ANA). SAIBA mais: Açudes do Nordeste. *In: Reservatórios do Nordeste e Semiárido*. [S. l.], 23 jun. 2017. Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br/sala-de-situacao/acudes-do-semiarido/saiba-mais>. Acesso em: 14 set. 2020.
- ARAGÃO, D. de A. **Diagnóstico de aspectos sociambientais da microbacia do Açude do Arrebita- Forquilha-CE**. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente)—Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, 2011.
- ARAGÃO, Joab; LOIOLA, Jeta. **Três riachos, uma Forquilha. Forquilha, CE**: Edição do Autor, 2006.
- ARTIS, D.A.; CARNAHAN, W.H. Survey of Emissivity Variability in Thennography of Urban Areas. **Remote Sensing of Environment**, v.12, p.313-329, 1982.
- ASA. **ASA Brasil - Articulação no Semiárido Brasileiro**. Asabrazil.org.br. Disponível em: <https://www.asabrazil.org.br/sobre-nos/historia>. Acesso em: 10 out. 2020.
- AUGÉ, Miguel. **Vulnerabilidad de acuíferos: conceptos e métodos**. Universidad de Buenos Aires. 2005. Disponível em: <http://tierra.rediris.es/hidrored/ebvulnerabilidad.html>. Acesso em: 25/07/2020.
- BANCO MUNDIAL. **Relatório anual de 2019: erradicar a pobreza, investir em oportunidades**. [S. l.]: BIRD - AID, 2019. 190 p. Disponível em: <https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/30326/211296PT.pdf?sequence=9&isAllowed=y>. Acesso em: 30 set. 2020.
- BARBIERI, G. M. L. **Eventos associados de chuvas extremas associados a sistemas atmosféricos de escala sinótica e escala local no estado do Ceará**. Tese (Doutorado em Geografia)—Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, 2014.
- BITAR, O. Y. Cartas de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundações : 1:25.000 (livro eletrônico): **Nota técnica explicativa**. São Paulo : IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo ; Brasília, DF : CPRM – Serviço Geológico do Brasil, 2014. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/Gestao-Territorial/Prevencao-de-Desastres/Cartas-de-Suscetibilidade-a-Movimentos-Gravitacionais-de-Massa-e-Inundacoes-5379.html>. Acessado em: 09 mai. 2023.
- BLASCHKE, T.; LANG, S.; HAY, G. J. **Object-based image analysis, spatial concepts for knowledge-driven remote sensing applications**. Springer, 2008.

BOLSON, S. H.; HAONAT, A. I.. A governança da água, a vulnerabilidade hídrica e os impactos das mudanças climáticas no Brasil. **Veredas do Direito**, Belo Horizonte, v. 13, n. 25, p. 223-248, Janeiro/Abril 2016. DOI: 10.18623/rvd.v13i25.575. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/302918229>. Acesso em: 18 jun. 2019.

BRANDÃO, R. de L. **Geodiversidade do estado do Ceará**. Fortaleza: CPRM, 2014. 214 p. ISBN 978-85-7499-140-5. Disponível em: www.cprm.gov.br. Acesso em: 11 jun. 2023.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Programa Nacional de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca – PAN-Brasil**. Brasília - DF: Secretaria de Recursos Hídricos, 2005.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações. Sistema de Informações e Análises sobre Impactos das Mudanças Climáticas. *In*: MCTI. **AdaptaBrasil**. [S. l.], 2020. Disponível em: <https://adaptabrasil.mcti.gov.br/sobre>. Acesso em: 30 mai. 2023

BURITI, C. O.; BARBOSA, H. A. Secas E Vulnerabilidade Socioambiental No Semiárido Brasileiro : a Institucionalização Dos Estudos Científicos E Das Políticas Hídricas Na Região Drought and Socio-Environmental Vulnerability in the Semi-Arid. **Ciência Geográfica**, v. XXIII, n. 1, p. 267–282, 2019.

CALVETTI, L.; et al. Definição de Classes de Precipitação para utilização em previsões por Categoria e Hidrológica. *In*: XIV CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 2006, Florianópolis - SC. **Anais...** Florianópolis-SC, 2006.

CAMPOS, J. N. B. VULNERABILIDADES HIDROLÓGICAS DO SEMI-ÁRIDO ÀS SECAS. **Planejamento E Políticas Públicas**, 2022. Disponível em: [//www.ipea.gov.br/ppp/index.php/PPP/article/view/120](http://www.ipea.gov.br/ppp/index.php/PPP/article/view/120). Acesso em: 09/05/2019

CARVALHO, M. OGURAS, organizadores. **Mapeamento de Riscos em Encostas e Margem de Rios**. Brasília, Ministério das Cidades, Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), 2007. 176 pp.

CARVALHO, Márcia Eliane Silva. VULNERABILIDADE HÍDRICA NA BACIA SERGIPANA DO RIO VAZA BARRIS. **Ra´e Ga**, Curitiba, v. 25, p.186-217, 2012. Disponível em: www.geografia.ufpr.br/raega/. Acesso em: 18 jun. 2019.

CASTRO, I. S. *et al.* VULNERABILIDADE AMBIENTAL E DESERTIFICAÇÃO. *In*: SEMANA CIENTÍFICA, 22., 2018, Bahia. **Anais [...]**. Bahia: [s. n.], 2018. Disponível em: <https://periodicos.uefs.br/index.php/semic/article/view/3913>. Acesso em: 7 jun. 2023.

CAVALCANTE, C. Município de Forquilha banhado por chuvas. *In*: **FORQUILHA ONTEM HOJE E SEMPRE**. Ceará: Célio Cavalcante, 10 jan. 2011. Disponível em: <http://forquilhaontemhojeesempre.blogspot.com/2011/01/>. Acesso em: 28 maio 2019.

CAVALCANTE, C. Registro pluviométrico deste último domingo dia 03 de novembro em Forquilha-Ceará. *In*: **FORQUILHA ONTEM HOJE E SEMPRE**. Ceará: Célio Cavalcante, 04 nov. 2013. Disponível em: <http://forquilhaontemhojeesempre.blogspot.com/2013/01/>. Acesso em: 28 maio 2019.

CAVALCANTE, C. Açude público de Forquilha dados hidrológicos e pluviométricos. In: **FORQUILHA ONTEM HOJE E SEMPRE**. Ceará: Célio Cavalcante, 14 abr. 2015. Disponível em: <http://forquilhaontemhojeesempre.blogspot.com/2015/04/>. Acesso em: 28 maio 2019.

CEARÁ. Assembleia Legislativa. **Caderno regional da bacia do Acaraú**. Fortaleza: 2009. 128 p. v. 1. ISBN 978-85-7973-000-9 (v.). Disponível em: <https://portal.cogerh.com.br/wp-content/uploads/2018/09/Bacia-do-Acara%C3%BA.pdf>. Acesso em: 27 nov. 2020.

CEARÁ. Assembleia Legislativa. **Projeto Atlas Geológico e da Mineração do Ceará**. Fortaleza, 2019. Disponível em: <http://atlas.cogerh.com.br/cogerh/imgAtlas?pathImagem=/imagensMeioAmbiente/geologia.png>. Acesso em: 10 out. 2020

CEARÁ. Assembleia Legislativa. **Caderno da bacia hidrográfica do rio Acaraú: informações sobre saneamento básico**. Fortaleza: INESP, 2020. 64 p. Disponível em: <http://www.al.ce.gov.br/index.php/8-institucional/52-biblioteca>. Acesso em: 7 dez. 2020.

CLAUDINO, C. M. de A. *et al.* AVALIAÇÃO DE DIFERENTES MODELOS DIGITAIS DE ELEVAÇÃO NA GERAÇÃO DE MAPAS DE SUSCETIBILIDADE A INUNDAÇÃO PARTIR DO MODELO HEIGHT ABOVE THE NEAREST DRAINAGE (HAND). **Revista de Geociências**, São Paulo, v. 41, n. 1, p. 227 - 241, 2022. Disponível em: <https://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/geociencias/article/view/16313>. Acesso em: 19 jun. 2023.

COELHO, A. L. N.; CORREA, W. de S. C. TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE CELSIUS DO SENSOR TIRS/LANDSAT-8: METODOLOGIA E APLICAÇÕES. **Rev. Geogr. Acadêmica**, [s. l.], v. 7, n. 1, ed. xii, p. 31-45, 2013. Disponível em: <http://revista.ufrr.br/index.php/rga/article/view/2996>. Acesso em: 11 jun. 2023.

CONCEIÇÃO, R. A. C.; SIMÕES, P. M. L. NOTA TÉCNICA PARA ELABORAÇÃO DE MODELAGENS DE INUNDAÇÃO. **Relatórios Internos**, CPRM, 2021. Disponível em: <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/22079>. Acesso em: 5 maio 2023.

CONCEIÇÃO, Raimundo; SIMÕES, Patrícia. MODELAGEM DE SUSCETIBILIDADE A INUNDAÇÃO UTILIZANDO PROCESSO ANALÍTICO HIERÁRQUICO (AHP) E LÓGICA FUZZY. In: ANAIS DO XIX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2019, Santos. **Anais eletrônicos...** São José dos Campos, INPE, 2019. Disponível em: <https://proceedings.science/sbsr-2019/trabalhos/modelagem-de-suscetibilidade-a-inundacao-utilizando-processo-analitico-hierarqui?lang=pt-br>. Acesso em: 18 maio. 2023.

CONTI, José Bueno. **Clima e meio ambiente**. 7. ed. São Paulo: Atual, 2011. 96 p.

CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL (Mapas). **Carta de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundação: município de Sobral - CE**. [S. l.]: CPRM, 2014. 1 carta. Escala 1:150.000. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/23645>. Acesso em: 20 maio 2023.

CREPANI, Edison *et.al.* Curso de Sensoriamento Remoto aplicado ao Zoneamento Ecológico-Econômico. Metodologia desenvolvida para subsidiar o Zoneamento Ecológico-

Econômico e capacitar os técnicos dos Estados da Amazônia Legal. São José dos Campos: INPE, 1996. Disponível em: <http://mtc-m12.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/sergio/2004/05.13.15.34/doc/publicacao.pdf>. Acesso em 30 set. 2020.

CUNHA, APMA, *et. al.*. Desafios para a consolidação de um sistema de alerta deriscão de desastre associado às secas no Brasil. **Sustentabilidade em Debate**, Brasília - DF, 2019 (1), 60–76 (8) Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/332819966_Desafios_para_a_Consolidacao_de_um_Sistema_de_Alerta_de_Risco_de_Desastre_Associado_as_Secas_no_Brasil. Acessado em: 09 maio 2023.

CUTTER, S. L. Vulnerability to hazards. **Progress in Human Geography**, v. 20, n. 4, p. 529–539, 1996.

CUTTER, S. L. The Vulnerability of Scienc and the Science of Vulenerability. **Annals of the Association of American Geographers**, v. 12, n. 1, p. 1–12, 2003.

CUTTER, Susan L. A ciência da vulnerabilidade: modelos, métodos e indicadores », **Revista Crítica de Ciências Sociais** [Online], 93 | 2011, colocado online no dia 01 outubro 2012, criado a 19 abril 2019. Disponível: <http://journals.openedition.org/rccs/165> ; DOI : 10.4000/rccs.165>. Acesso em: 26 abril 2023.

DAMACENA, F. D. L. Fundamentos jurídicos para redução da vulnerabilidade hídrica. **Revista Direito Ambiental e sociedade**, v. 2015, p. 54–79, 2015.

DANTAS, ME. Biblioteca de padrões derelevo: carta de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundação. **Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - CPRM**, 2016. Disponível: <http://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/handle/doc/16589>. Acesso: 13 jun. 2023.

DE ALCÂNTARA SILVA, V. M. et al. O DESASTRE SECA NO NORDESTE BRASILEIRO. **POLÊMICA**, [S.l.], v. 12, n. 2, p. 284-293, jun. 2013. ISSN 1676-0727. Disponível em: <https://www.e-publicacoes.uerj.br/index.php/polemica/article/view/6431/4857>. Acesso em: 11 fev. 2021.

DESCHAMPS, M. V. Vulnerabilidade Socioambiental na Região Meropolitana de Curitiba/PR. **Tese (Doutorado em Meio Ambiente e Desenvolvimento) - Universidade Federal do Paraná.**, p. 1–155, 2004.

DESCHAMPS, M. V. Vulnerabilidade socioambiental das regiões metropolitanas brasileiras. **Observatório das Metrôpoles**, p. 184, 2009.

DIÁRIO DO NORDESTE. **Chuva invade casas e deixa ruas alagadas em Forquilha**. Disponível em: <https://diariodonordeste.verdesmares.com.br/regiao/chuva-invade-casas-e-deixa-ruas-alagadas-em-forquilha-1.2093447?page=4>. Acesso em: 17 mai. 2019.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Levantamento Exploratório - Reconhecimento de Solos do Estado do Ceará**, 1973.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Serviço Nacional de levantamento e conservação de Solos**. Em: Reunião técnica de levantamento de solos, 1979, Rio de Janeiro. Súmula, Rio de Janeiro, 83pág. Disponível em: <https://edepot.wur.nl/480004> . Acesso em: 10 de maio. 2023

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3. ed. rev. e aum. Brasília, DF: Embrapa, 2013. 353 p. ISBN 978-85-7035-198-2. Disponível em: <http://livimagens.sct.embrapa.br/amostras/00053080.pdf>. Acesso em: 4 jun. 2023.

FERNANDES, L. A.; BORGES, E. F., FORTUNATO, U. M. C. Desertificação: Análise Multitemporal da Temperatura de Superfície correlacionada ao Índice Topográfico de Umidade, no Polo de Desertificação de Jeremoabo-Ba. In: ANAIS DO XIX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2019, Santos. **Anais eletrônicos...** São José dos Campos, INPE, 2019. Disponível em: <https://proceedings.science/sbsr-2019/trabalhos/modelagem-de-suscetibilidade-a-inundacao-utilizando-processo-analitico-hierarqui?lang=pt-br>. Acesso em: 18 maio 2023.

FERREIRA, A. G.; MELLO, N. G. DA S. Principais Sistemas Atmosféricos Atuantes Sobre a Região Nordeste do Brasil e a Influência dos Oceanos Pacífico e Atlântico no clima da Região. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 1, n. 1, p. 15–28, 2005.

FERREIRA, P. S.; SILVA, C. A. O método AHP e a álgebra de mapas para determinar a fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do Rio Brilhante (Mato Grosso do Sul/Brasil), proposições para a gestão do território. **Open Edition Journals: Confins**, [s. l.], ed. 46, p. 1-19, 2020. DOI <https://doi.org/10.4000/confins.30897>. Disponível em: <https://journals.openedition.org/confins/30897>. Acesso em: 13 jun. 2023.

FRICH, P.; ALEXANDER, L. V.; DELLA-MARTA, P.; GLEASON, B.; HAYLOCK, M.; KLEIN-TANK, A. M. G.; PETERSON, T. Observed coherent changes in climatic extremes during the second half of the twentieth century. *Climate Research*, 2002, p 193-212.

FUNDAÇÃO CEARENSE DE METEOROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS - FUNCEME. **Postos Pluviométricos**. 2019. Disponível em: <http://www3.funceme.br/funceme2.5/>. Acesso em: 14 mai. 2019.

GALLOPÍN, G. C. Environmental and sustainability indicators and the concept of situational indicators. A systems approach. **Environmental Modeling & Assessment**, 1996.

GALLOPÍN, G. C. Linkages between vulnerability, resilience, and adaptive capacity. **Global Environmental Change**, v. 16, n. 3, p. 293–303, 2006.

GOPEL, K.D. Implementation of an Online Software Tool for the Analytic Hierarchy Process (AHP-OS). **International Journal of the Analytic Hierarchy Process**, Vol. 10 Issue 3 2018, pp 469-487. Disponível em: <https://doi.org/10.13033/ijahp.v10i3.590>. Acessado em: 01 jun. 2023

GOERL, Roberto Fabris; KOBAYAMA, Masato. Redução dos desastres naturais: desafio dos geógrafos. **Revista Ambiência**, Guarapuava – PR, v.9, n.1, p.145-172, 2013.

GOUVEIA A. P., SANTOS R. C. DOS, TOMASELLA, J. **BALANÇO HÍDRICO NA REGIÃO NORDESTE DURANTE EPISÓDIO ENSO 1982- 1983**. XII Congresso Brasileiro de Meteorologia. **Anais...**Foz de Iguazu-PR: 2002

HUETE, Alfredo R. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). Remote sensing of environment, v. 25, n. 3, p. 295-309, 1988. Disponível em <https://www.sciencedirect.com/science>. Acesso em: 10 jun. 2023.

INTERGOVERNMENTAL PANEL IN CLIMATE CHANGE - IPCC. **Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability**. Genebra, Suíça, 2001.

INTERGOVERNMENTAL PANEL IN CLIMATE CHANGE - IPCC. **Fourth assessment report climate change 2007**. Geneva: Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007.

INTERGOVERNMENTAL PANEL IN CLIMATE CHANGE - IPCC. **Climate Change 2014: impacts, adaptation, and vulnerability**. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2014.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA – IPEA. **Vulnerabilidade social no Brasil: conceitos, métodos e primeiros resultados para municípios e regiões METROPOLITANAS BRASILEIRAS**. Rio de Janeiro: Ipea, 2018.

INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ - IPECE. **Perfil Municipal 2017**: Forquilha. Fortaleza: Ipece, 2017. Disponível em: <https://www.ipece.ce.gov.br/>. Acesso em: 12 ago. 2020.

INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ - IPECE. **Perfil Municipal 2018**: Forquilha. Fortaleza: Ipece, 2018. Disponível em: <https://www.ipece.ce.gov.br/>. Acesso em: 12 ago. 2020.

INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ - IPECE. **IPECEDATA**: Sistema de Informações Geossocioeconômicas do Ceará 2019. Disponível em: <http://ipecedata.ipece.ce.gov.br/ipece-data-web/module/perfil-municipal.xhtml>. Acesso em: 7 out. 2020.

INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ - IPECE. **Índice Municipal de Alerta**: um instrumento para orientações preventivas sobre as adversidades climáticas. Fortaleza: IPECE, 2020. 41 p. Disponível em: <https://www.ipece.ce.gov.br/indice-municipal-de-alerta/>. Acesso em: 26 ago. 2020.

INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ - IPECE. **Índice Municipal de Alerta**: um instrumento para orientações preventivas sobre as adversidades climáticas. Fortaleza: IPECE, 2021. 45 p. Disponível em: <https://www.ipece.ce.gov.br/indice-municipal-de-alerta/>. Acesso em: 26 mar. 2023.

INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ - IPECE. **Mapas ambientais**: tipos de solos. Fortaleza: IPECE, 2021. Disponível em: <http://mapas.ipece.ce.gov.br>. Acesso em: 05 jun. 2023.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION - ISO. **ISO Guide 73**, 2009. Disponível em: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:guide:73:ed-1:v1:en>. Acesso em: 3 ago. 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Regiões de Influência das Cidades 2018**. Rio de Janeiro: IBGE, 2020. 193 p. ISBN 978-65-87201-04-7.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Mapa do Semiárido**. Mapas Regionais, 2018. Localização do Semiárido Brasileiro. Escala 1:27.000. Disponível em: https://geoftp.ibge.gov.br/organizacao_do_territorio/estrutura_territorial/semiario_brasileiro/Situacao_23nov2017/mapa_Brasil_Semiario_2017_11_23.pdf. Acesso em: 2 out. 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Censo 2010 resultados**. Disponível em: <https://censo2010.ibge.gov.br/resultados.html>. Acesso em: 7 ago. 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **@Cidades: Produto Interno Bruto dos Municípios, 2017**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ce/forquilha/pesquisa/38/46996>. Acesso em: 28 set. 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **@Cidades: Fundações privadas e associações sem fins lucrativos, 2016**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ce/forquilha/pesquisa/35/29951>. Acesso em: 28 set. 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **@Cidades: Extração vegetal e Silvicultura, 2019**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ce/forquilha/pesquisa/16/12705>. Acesso em: 28 set. 2020.

INSTITUTO NACIONAL DE ESTUDOS E PESQUISAS EDUCACIONAIS ANÍSIO TEIXEIRA - INEP. Sinopse Estatística da Educação Básica 2018. In: IBGE. **@cidades: Censo escolar - sinopse**. Disponível em < <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ce/forquilha/pesquisa/13/78117>>. Acesso em: 28 set. 2020.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE. Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos - CPTEC. El Niño e La Niña. In: **CONDIÇÕES ATUAIS DO ENOS**, 28 fev. 2023. Disponível em: <http://enos.cptec.inpe.br/>. Acesso em: 10 mar. 2023.

JOHNSON, J. M.; MUNASINGHE, D. E.; COHEN, S. An integrated evaluation of the NationalWater Model (NWM)–Height Above Nearest Drainage (HAND) flood mapping methodology. **Natural Hazards and Earth System Sciences**, [s. l.], n. 19, p. 2405–2420, 19 set. 2019.

KAYANO, M. T; ANDREOLI, R. V. Clima da região Nordeste do Brasil. In: CAVALCANTI, I. F. A; FERREIRA, N. J; SILVA, M. G. A; DIAS, M. A. F. S. (Orgs.). **Tempo e Clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

KAZTMAN, R.; FILGUEIRA, F. As normas como bem público e privado: Reflexões nas fronteiras do enfoque “ativos, vulnerabilidade e estrutura de oportunidades” (Aveo). **Novas metrópoles paulistas: População, vulnerabilidade e segregação**, n. 2005, p. 67–94, 2006.

KNAPP, K. R., Ansari, et al. Globally gridded satellite (GridSat) observations for climate studies. **Bulletin of the American Meteorological Society**, 92, 893-907, 2011. Disponível em: doi:10.1175/2011BAMS3039.1. Acesso em: 30 mai. 2019.

KOUSKY, V. E. e GAN, M. A. Upper tropospheric cyclonic vortices in the Tropical South Atlantic. **Tellus**, v. 33(6), pp. 538-551 1981.

LABORATÓRIO DE GEOPROCESSAMENTO E CARTOGRAFIA SOCIAL – LABOCART. **Tecnologias sociais e ações integradas de sustentabilidade para a garantia da segurança hídrica, energética e alimentar em nível comunitário no semiárido cearense**. Disponível em: http://www.labocart.ufc.br/?page_id=412. Acesso em: 7 nov. 2020.

LC, W. Socio-Demographic Vulnerability: Old and New Risks for Communities, Households and Individuals Offprint. **CEPAL**, v. 2170, n. December, p. 82, 2002.

LEAL, F. B. *et al.* Modelagem geoambiental da vulnerabilidade à desertificação em municípios do Agreste Pernambucano. **Revista GEAMA: Ciências Ambientais e Biotecnologia**, [s. l.], ano 3, n. 6, p. 40-53, DEZEMBRO/ 2020.

LEITE, J. C. F.; SOUZA, K. L. **O Novo Perfil do Nordeste Brasileiro no Censo Demográfico 2010**. Preliminar. ed. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil, 2012. 106 p.

LINDOSO, D. P. et al. Climate change and vulnerability to drought in the semiarid: the case of smallholder farmers in the brazilian northeast. In: MOTTA, R. S. et al. (Ed.). **Climate Change in Brazil: economic, social and regulatory aspects**. Brasília: IPEA, 2011. p. 358.

LIRA, K. C. S.; FRANCISCO, H. R.; FEIDEN, A. Classificação de fragilidade ambiental em bacia hidrográfica usando lógica Fuzzy e método AHP. **Sociedade e Natureza**, Uberlândia, MG, v. 54, p. 1-17, 2022.

MACHADO FILHO, H. (org.). **Glossário de termos do Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 6**. [S. l.]: ONUBR, 2018. 38 p.

MAIA, I. F.; SCHNLZ, L. M.; VITTORAZZI, R. Combinação entre o método AHP e SIG na identificação de áreas prioritárias para implantação de caixas secas no Município de Linhares – ES. **Revista Foz**, São Mateus, ES, v. 4, n. 1, p. 119-139, 2022.

MAPBiomass. Mapa de cobertura e uso da terra no Brasil. 2022. Mapa. Escala 1:1000km, 2022.

MARANDOLA, E.; HOGAN, D. J. As dimensões da vulnerabilidade. **São Paulo em Perspectiva**, v. 20, n. 1, p. 33–43, 2006.

MARENGO, J. A. Vulnerabilidade, impactos e adaptação à mudança do clima no setor agropecuário e solos agrícolas. **Parcerias Estratégicas**, n. 27, p. 149–176, 2008.

MARENGO, J. A.; TORRES, R. R.; ALVES, L. M. Drought in Northeast Brazil—past, present, and future. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 129, n. 3–4, p. 1189–1200, 2017.

MAXWELL, D. *et al.* **Urban Livelihoods and Food and Nutrition Security in Greater Accra, Ghana**. The International Food Policy Research Institute, 2000. 190 p. v. 112. ISBN

0-89629-115-4. Disponível em: www.cgiar.org/ifpri/pubs/pubs.htm#rreport. Acesso em: 8 out. 2020.

McKEE, Thomas B., NOLAN J. Doesken and John Kleist, **The relationship of drought frequency and duration to time scales**, Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology. Vol. 17. No. 22. Boston, MA: American Meteorological Society, 1993.

MEDEIROS, S. de S. *et al.* **Sinopse do Censo Demográfico para o Semiárido Brasileiro**. Campina Grande: INSA, 2012. 103 p. ISBN 978-85-64265-04-2. Disponível em: www.insa.gov.br. Acesso em: 30 set. 2020.

MELKEVIK, B. Vulnerabilidade, Direito e Autonomia: Um Ensaio Sobre o Sujeito de Direito. **Rev. Faculdade Direito Universidade Federal Minas Gerais**, v. 71, p. 641, 2017.

MELO, A. B. C; SOUZA, P. P. Zona de Convergência Intertropical do Atlântico. In: FERREIRA, N. J; DIAS, M. A. F. S; SILVA, M. G. A. J. (Orgs.). **Tempo e Clima no Brasil**, São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

MENDES JUNIOR, R. C. OLIVEIRA; O., M. L. V. M. Análise do Programa Um Milhão de Cisternas Rurais - P1MC, no Município de Forquilha (Ceará-Brasil). **CONIDIS**, p. 12, 2016.

MENDES JUNIOR, R. C. OLIVEIRA; O., M. L. V. M. **Segurança e soberania alimentar em terras secas brasileiras: um olhar sobre as tecnologias sociais de convivência com o semiárido**. ENANPEGE. **Anais...** Porto Alegre: 2017. Disponível em: www.enanpege.ggf.br/2017. Acesso em: 04 ago. 2023.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - MMA. **Índice de vulnerabilidade aos desastres naturais relacionados às secas no contexto da mudança do clima**. Brasília, Df: MMA, 2017. 125 p. Disponível em: https://d3nehc6y19qzo4.cloudfront.net/downloads/estudo_secas_completo_com_isbn.pdf. Acesso em: 05 nov. 2018.

MOLINA VARGAS, Jesus; CANOVAS-GARCIA, Fulgêncio. Caracterização do risco de inundação no ordenamento do território: avanços e desafios para a incorporação da vulnerabilidade. **Boletim da Associação de Geógrafos Espanhóis**, [s. l.], n. 92, p. 1-48, 25 fev. 2022. DOI 10.21138/bage.3200. Disponível em: <https://doi.org/10.21138/bage.3200>. Acesso em: 4 abr. 2023.

MOLINA, J. V. **Propuesta metodológica para la evaluación y el análisis de la vulnerabilidad a las sequías a escala de demarcación hidrográfica: aplicación al caso del Guadalete-Barbate**. 2016. 419 f. Tese (Doutorado) - Universidad Pablo Olavide, Sevilla, 2016.

MOMO, M.R.; PINHEIRO, A.; SEVERO, D.L.; CUARTAS, L.A.; NOBRE, A.D. Desempenho do modelo HAND no mapeamento de áreas suscetíveis à inundação usando dados de alta resolução espacial. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 21, n. 1, p. 200–208, 2016.

MONTEIRO, J. B. **Chover, mas chover de mansinho: desastres naturais e chuvas extremas no estado do Ceara**. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Centro de Ciências, Universidade Estadual do Ceara, Fortaleza, 2011.

MONTEIRO, J. B. **Desastres naturais no estado do ceará: uma análise de episódios pluviométricos extremos**. 2016. 257 f. Tese (Doutorado) - Curso de Doutorado em Geografia, Geografia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2016. Disponível em: <http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/17661>. Acesso em: 26 maio 2019.

MONTEIRO, J. B.; ROCHA, A. B.; ZANELLA, M. E. Técnica dos quantis para caracterização de anos secos e chuvosos (1980-2009): baixo curso do Apodi Mossoró/RN. **Geography Department, University Of Sao Paulo**, [s.l.], p.232-249, 2012. Universidade de São Paulo Sistema Integrado de Bibliotecas - SIBiUSP. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.7154/rdg.2012.0023.0010>. Acesso em: 25 maio 2019

MONTEIRO, J. B.; ZANELLA, M. E. A metodologia dos máximos de precipitação aplicada ao estudo de eventos extremos diários nos municípios de Crato, Fortaleza e Sobral-CE. **GeoTextos**, v. 13, n. 2, p. 135–160, 2017.

MOURA, M. R. F. de; SANTOS, F. M. dos; GALVÃO, C. de O.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; SILVA, S. R. da. Segurança e vulnerabilidade hídrica: evoluções conceituais à luz da Gestão Integrada e Sustentável. **Rev. C&Trópico**, v. 44, n. 1, p. 119-141, 2020. DOI: [https://doi.org/10.33148/cetropicov44n1\(2020\)art6](https://doi.org/10.33148/cetropicov44n1(2020)art6).

MOURA, M. S. B. et al. Clima e água de chuva no semiárido. **Potencialidades da água de chuva no Semi-Árido brasileiro**, p. 37–59, 2007.

NASCIMENTO, N. S. *et al.* Estudo da vulnerabilidade ambiental em uma micro bacia hidrográfica empregando hierarquia nominal e operador local. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [s. l.], v. 09, n. 03, p. 897-916, 16 maio 2016.

NOBRE A.D., *et al.*, HAND contour: a new proxy predictor of inundation extent. **Wiley Online Library**, 2015. Disponível em: Hydrological Processes, 30(2), 320-333. <https://doi.org/10.1002/hyp.10581>. Acessado em: 14 maio 2023.

NOBRE, A. HAND model. Online, 2016. Disponível em: http://handmodel.ccst.inpe.br/?page_id=161&lang=en. Acesso em: 5 jun. 2023.

OLIMPIO, J. L. S. **Desastres naturais associados à dinâmica climática no estado do Ceará: subsídios a gestão dos riscos de secas e de inundações**. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceara, Fortaleza, 2013.

OLÍMPIO, J. L. S.; ZANELLA, M. E. Avaliação intermunicipal dos riscos de desastres naturais associados à dinâmica climática no estado do Ceará. **GEOUSP: Espaço e Tempo (Online)**, v. 21, n. 1, p. 156, 2017.

OLIVEIRA, U. C.; NUNES, A. B. A. Análise de Áreas de Vulnerabilidade a processos erosivos por meio de lógica fuzzy e Análise multicritério, na Bacia Hidrográfica do Rio Boa Viagem, Ceará, Brasil. **Revista de Geociências**, São Paulo, UNESP, v. 41, n. 4, p. 927 - 942, 2022.

PAINEL BRASILEIRO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS - PBMC. **Mudanças Climáticas e Cidades: Relatório Especial do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas**. Rio de Janeiro: COPPE - UFRJ, 2016. 116 p. ISBN 978-85-285-0344-9.

PAINEL BRASILEIRO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS - PBMC. **Contribuição do Grupo de Trabalho 2 ao Primeiro Relatório de Avaliação Nacional do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas**: Sumário Executivo do GT2. ed. Rio de Janeiro: PBMC, 2013. 28 p. ISBN 978-85-285-0208-4.

PAINEL BRASILEIRO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS - PBMC. **Contribuição do Grupo de Trabalho 1 ao Primeiro Relatório de Avaliação Nacional do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas**: Sumário Executivo GT1. Rio de Janeiro: PBMC, 2013. 24 p. ISBN 978-85-285-0208-4.

PALMER, W.C. Meteorological drought. Washington, 1965. 58p.

PEREIRA, M. L. T. et al. Variabilidade climática no Agreste de Pernambuco e os desastres decorrentes dos extremos climáticos. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, v. 2, n. 4, p. 394–402, 15 ago. 2017.

PEREIRA, V. R.; RODRIGUEZ, D. A. VULNERABILIDADES DA SEGURANÇA HÍDRICA NO BRASIL FRENTE ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS. **Derbyana**, São Paulo, v. 43, p. 1-14, 2022. DOI DOI 10.14295/derb.v43.777. Disponível em: <https://revistaig.emnuvens.com.br/derbyana/article/view/777/764>. Acesso em: 6 jul. 2023.

PEREZ-MARIN, A. M.; SANTOS, A. P. S. dos (coord.). **O Semiárido brasileiro**: riquezas, diversidades e saberes. Campina Grande: INSA/MCTI, 2013. 73 p. ISBN 978-85-64265-06-6.

PINKAYAN, S. Conditional probabilities of occurrence of Wet and Dry Years Over a Large Continental Area. **Hidrology papers**, Colorado, n.12, p.1-53, 1966.

PLUMMER, Ryan; DE LOË, Rob; ARMITAGE, Derek. A systematic review of water vulnerability assessment tools. **Water resources management**, v. 26, n. 15, p. 4327-4346, 2012.

POLÍTICA NACIONAL DE PROTEÇÃO E DEFESA CIVIL - PNPDEC. **Lei nº 12608, de 10 de abril de 2012**. Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil - SINPDEC e o Conselho Nacional de Proteção e Defesa Civil - CONPDEC. [S. l.], 13 abr. 2013. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112608.htm. Acesso em: 15 jun. 2023.

PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO - PNUD. **Atlas Brasil**. Disponível em: <http://www.atlasbrasil.org.br/consulta/map>. Acesso em: 10 out. 2020.

RAMOS, C. S.; SANCHEZ, M. C. (2000). **Estudo Metodológico da Classificação de Dados para Cartografia**. **Geografia**, v. 25, n. 2, p. 23–52, ago.

REBELO, F. Risco e crise nas inundações rápidas em espaço urbano. Alguns exemplos portugueses analisados a diferentes escalas. **Territorium**, n. 4, p. 29–47, 1997.

REBELO, F. **Riscos naturais e acção antrópica**. Coimbra: Imprensa da Universidade de Coimbra, 2001. 274 p. ISBN 97-298225-7-3.

RENNÓ C.D., NOBRE A. D., CUARTAS, L. A., SOARES, J. V., HODNETT, M. G., TOMASELLA, J., WATERLOO, M. J. HAND, a new terrain descriptor using SRTM-DEM;

Mapping terra-firme rainforest environments in Amazonia. **Remote Sensing of Environment**, 2008. 112 (9):3469-3481.

ROSS, J. L. S. - O registro cartográfico dos fatos Geomórficos e a questão da taxonomia do relevo. **Revista do Departamento de Geografia/FFLCH/USP**, n.º 6, 17-29, 1994.

SAATY, T. L. Axiomatic foundation of the analytic hierarchy process. **Management Science**, v.32, p.841-855, 1986.

SAATY, T.L., VARGAS, L.G. (2012). How to Make a Decision. In: **Models, Methods, Concepts & Applications of the Analytic Hierarchy Process**. International Series in Operations Research & Management Science, vol 175. Springer, Boston, MA. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-1-4614-3597-6_1. Acesso em: 25 maio 2023.

SANTOS, A. S. Vulnerabilidades socioambientais diante das mudanças climáticas projetadas para o semi-árido da Bahia. p. 153, 2008.

SANTOS, F. A.; CRUZ, M. L. B. INDICADORES BIOFÍSICOS E A SUSCETIBILIDADE A SECAS DO ALTO VALE DA SUB-BACIA DO RIO PIRACURUCA (CE-PI). **GEOgraphia**, Niterói, v. 22, n. 49, p. 1-17, 2020.

SANTOS, J. O. Relações entre fragilidade ambiental e vulnerabilidade social na susceptibilidade aos riscos. **Mercator**, Fortaleza, v. 14, n. 2, p. 75-90, maio/ago. 2015.

SANTOS, Rozely, Ferreira dos; CALDEYRO, Verônica Sabatino. Paisagens, Condicionantes e Mudanças. In: SANTOS, Rozely Ferreira dos (Org.). **Vulnerabilidade ambiental: desastres naturais ou fenômenos induzidos?** Brasília: MMA, 2007. p. 13-22 .

SANTOS, S. R. Q. dos; CUNHA, A. P. M. do A.; RIBEIRO-NETO, G. G. Avaliação de Dados de Precipitação para o Monitoramento do Padrão Espaço-Temporal da Seca no Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, [s. l.], ano 15, v. 25, p. 80-100, jun/dez. 2019. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/62018/38884>. Acesso em: 11 fev. 2021.

SCHUMANN, L. R. M. A. **A multidimensionalidade da construção teórica da vulnerabilidade: análise histórico-conceitual e uma proposta de índice sintético**. 2014. 165 f. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento, Sociedade e Cooperação Internacional, Centro de Estudos Avançados e Multidisciplinares, Universidade de Brasília, Brasília, 2014. Disponível em: <http://repositorio.unb.br/handle/10482/17001>. Acesso em: 18 jun. 2019.

SIEGEL, P. B.; ALWANG, J. VULNERABILITY: A VIEW FROM DIFFERENT DISCIPLINES. **Social Protection: The World Bank**, n. 0115, p. 1–36, 2001.

SILVA, Cristiano Alves da. Os desastres Pluviométricos nas Grandes e Médias Cidades do Paraná. UFPR, 2012. 144 f. **Dissertação de Mestrado**—Programa de Pós Graduação em Geografia do Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, 2012.

SILVA, K. K. R. Nos caminhos da memória, nas águas do Jaguaribe: memórias das enchentes em Jaguaruana-CE (1960, 1974, 1985). UFC, 2006. 171f. **Dissertação de Mestrado**—Programa de Pós-Graduação em História Social, Universidade Federal do Ceará, 2006.

SILVA, P. C. G. DA et al. Caracterização do Semiárido brasileiro: fatores naturais e humanos. **Semiárido brasileiro: pesquisa, desenvolvimento e inovação. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2010.**, p. 18–48, 2010.

SILVA DIAS, Maria Assunção Faus da. Sistemas de Mesoescala e previsão de tempo a curto prazo. **Revista Brasileira de Meteorologia**, [S.I], V. 2, p. 133-150, 1987.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO - SNIS.
Acompanhamento da coleta: mapa de indicadores de água. 2018. Disponível em: http://appsnis.mdr.gov.br/indicadores/web/agua_esgoto/mapa-agua. Acesso em: 10 nov. 2020.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO - SNIS..
Acompanhamento da coleta: mapa de indicadores de esgoto. 2018. Disponível em: http://appsnis.mdr.gov.br/indicadores/web/agua_esgoto/mapa-esgoto. Acesso em: 10 nov. 2020.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO - SNIS.
Acompanhamento da coleta: mapa de indicadores de águas pluviais. 2018. Disponível em: http://appsnis.mdr.gov.br/indicadores/web/aguas_pluviais/mapa-aguas-pluviais. Acesso em: 10 nov. 2020.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO - SNIS.
Acompanhamento da coleta: mapa de indicadores de esgoto e água. 2021. Disponível em: http://appsnis.mdr.gov.br/indicadores/web/agua_esgoto/mapa-esgoto. Acesso em: 10 mar. 2023.

SOUSA, F. *et al.* Vulnerabilidade social em contextos de riscos naturais: uma revisão sistemática da literatura. **RECH-Revista Ensino de Ciências e Humanidades:** Cidadania, Diversidade e Bem Estar, UFAM, ano 4, v. IV, n. 2, p. 486-509, jul-dez 2020.

SOUZA, Everaldo Barreiros de; ALVES, José Maria Brabo. Estudo diagnóstico de um complexo convectivo demesoescala observado no norte do Nordeste brasileiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 10., 1998, Brasília. **Anais...**1998. CD-ROM.

SOUZA, Lucas Barbosae; ZANELLA, Maria Elisa. **Percepção de riscos ambientais:** Teoria e Aplicações. 2ª Ed. Fortaleza: Edições UFC, 2010. 240p.

SOUZA, Marcos José Nogueira de. Compartimentação Geoambiental do Ceará. In: SILVA, José Borzacchiello; CAVALCANTE, Tércia Correia; DANTAS, Eustógio Wanderley Correia. **Ceará: um novo olhar geográfico.** Fortaleza: Edições Demócrito Rocha, 2007. p.127-140.

SUPERINTENDÊNCIA DO DESENVOLVIMENTO DO NORDESTE - SUDENE. **RESOLUÇÃO nº 115, de 27 de julho de 2017.** Aprova a Proposição nº 113/2017, que acrescenta municípios a relação aprovada pela Resolução CONDEL nº 107. Disponível em: <https://www.gov.br/sudene/pt-br/centrais-de-conteudo/resolucao115-23112017-delimitacaodosemiarido-dou-pdf>. Acesso em: 5 ago. 2020.

SUPERINTENDÊNCIA DO DESENVOLVIMENTO DO NORDESTE - SUDENE.
Delimitação do Semiárido - 2021: Relatório Final. 2021

TAGLIANI, Carlos R.A. **Técnica para Avaliação da Vulnerabilidade Ambiental de Ambientes Costeiros utilizando um Sistema Geográfico de Informações**. Anais XI SBSR, Belo Horizonte, Brasil, 05 - 10 abril 2003, INPE, p. 1657 - 1664.

TÁNAGO, I.G. *et al.* Learning from experience: a systematic review of assessments of vulnerability to drought. **Nat Hazards**, Springer, ed. 80, p. 951–973, 17 out. 2015.

TEIXEIRA, Raul Fritz Bechtel. O fenômeno da brisa e sua relação com a chuva sobre Fortaleza-CE. **Revista Brasileira de Meteorologia**, [S.I], v.23, n.3, p. 282-291, 2008.

TEOFILO, Rodolfo. **A seca de 1915**. Fortaleza: Edições UFC, 1980. 135 p.

THOMAZIELLO, Sueli. Usos da Terra e sua Influência sobre a qualidade ambiental In: SANTOS, Rozely Ferreira dos (Org.). **Vulnerabilidade ambiental: desastres naturais ou fenômenos induzidos?** Brasília: MMA, 2007. p. 23-38.

TOMAZ, P. A. et al. **Insegurança hídrica durante a seca atual: estudo de caso em Forquilha - CE**. In: XXXVI Encontro De Iniciação Científica, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: UFC, 2017.

TOMAZ, P. A. **Insegurança hídrica domiciliar no município de Forquilha, Ceará, Brasil**. 2019. 219 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Programa de Pós Graduação em Geografia, Fortaleza, 2019. Disponível em: <http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/45367>. Acesso em: 1 out. 2020.

TOMINAGA, Lídia Keiko. Desastres Naturais: Por que ocorrem? In: TOMINAGA, Lídia Keiko; SANTORO, Jair; AMARAL, Rosângela do (organizadores). **Desastres Naturais: conhecer para prevenir**. São Paulo: Instituto Geológico, 2009. 196p.

TORRES, Fillipe Tamiozzo Pereira; MACHADO, Pedro José de Oliveira. **Introdução à Climatologia**. São Paulo: Cengage Learning, 2011. 256 p.

TRAVASSOS, Ibrahim Soares; SOUZA, Bartolomeu Israel de.; SILVA, Anieres Barbosa da. Secas, desertificação e políticas públicas no semiárido nordestino. **Revista Okara: Geografia em Debate**, João Pessoa –PB, v.7, n.1, p. 147-164, 2013.

TUCCI, Carlos Eduardo Morelli; CHAGAS, Maria de Fátima. Segurança hídrica: conceitos e estratégia para Minas Gerais. **Revista de Gestão de Água da América Latina**, Porto Alegre, v. 14, n. 1, p.01-16, 2017. Semestral. Associação Brasileira de Recursos Hídricos - ABRH. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.21168/reg.v14e12>. Acesso em: 18 jun. 2019.

UNDP: Reducing disaster risk. A challenge for development, UNDP/Bureau for Crisis Prevention and Recovery, New York, 2004. Disponível em <http://www.undp.org/bcpr/disred/rdr.htm>. Acesso em: 31 maio 2023.

UNITED NATION OFFICE FOR DISASTER RISK REDUCTION - UNISDR. **Terminología sobre Reducción del Riesgo de Desastres**. Ginebra, Suiza, 2009.

UNITED NATIONS. General comment No. 15: The right to water (arts. 11 and 12 of the Covenant) - Twenty-ninth session (2002). **Human Rights Instruments, Vol. I. Compilation**

of General Comments and General Recommendations Adopted by Human Rights Treaty Bodies - HRI/GEN/1/Rev.9, v. 2003, n. 15, p. 97–113, 2002.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA-UFSC. Centro de Estudos e Pesquisas em Engenharia e Defesa Civil – Ceped/UFSC. **Atlas Digital de Desastres no Brasil**. Site. 2020. Disponível em: www.atlas.ceped.ufsc.br. Acesso em: 11 out. 2021.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA-UFSC. Centro de Estudos e Pesquisas em Engenharia e Defesa Civil - Ceped/UFSC. **Atlas Brasileiro de Desastres Naturais 2012**. 2. ed. Florianópolis/SC, 2013. 27 volumes. Escala 1:1000km. Disponível em: <https://www.ceped.ufsc.br/atlas-brasileiro-de-desastres-naturais-2012/>. Acesso em: 19 set. 2018.

VALOR, E.; CASELLES, V. Mapping Land Surface Emissivity from NDVI: Application to European, African, and South American Areas. **Remote Sensing of Environment**, v.57, p.167-184, 1996.

VARGAS, J.; PANEQUE, P. **Propuesta metodológica para la evaluación y el análisis de la vulnerabilidad a las sequías a escala de demarcación hidrográfica**. In: IX Congreso Ibérico sobre Planificación y Gestión de Agua. Fundación Nueva Cultura del Agua (FNCA), At Valencia, 2016.

VARGAS, J.; PANEQUE, P.: Methodology for the analysis of causes of drought vulnerability on river basin scale. **Natural Hazards**, 89, 2017. DOI 10.1007/s11069-017-2982-4.

VASCONCELOS, A. C. **Forquilha (origem e evolução)**. Fortaleza: Editel, 1983.

Vc no G1 - NOTÍCIAS. **Chuva derruba parede de cemitério em Forquilha (CE)**. Disponível em: <http://g1.globo.com/VCnoG1/0,,MUL360334-8491,00-CHUVA+DERRUBA+PAREDE+DE+CEMITERIO+EM+FORQUILHA+CE.html>. Acesso em: 25 mai. 2020.

WEISS, R. ; PIPPI, L. G. A. . Análise multicritério na definição de vulnerabilidade ambiental. **TERR@ PLURAL (UEPG. ONLINE)** , v. 13, p. 296-312, 2019.

WILHITE, D.A. Drought as a Natural Hazard: Concepts and Definitions. **DigitalCommons@University of Nebraska-Lincoln**. Chapter, 1, 1-18. 2000. Disponível em: <https://pdfs.semanticscholar.org/978b/179885ad9cd08da8ef466ca717425a4eb82c.pdf>. Acesso em: 28 maio 2023

WORLD BANK. **World development report: attacking poverty**. New York: Oxford University Press, 2000. 356 p. ISBN 0163-5085. Disponível em: <http://documents1.worldbank.org/>. Acesso em: 13 ago. 2020.

WORLD BANK. **Risk and Opportunity: managing risk for development**. Washington DC: [s. n.], 2013. 363 p. ISBN 978-0-8213-9903-3. DOI 10.1596/978-0-8213-9903-3. Disponível em: www.worldbank.org. Acesso em: 13 ago. 2020.

XAVIER, T. de M. B. S. **Tempo de chuva: estudos climáticos e de previsão para o Ceará e Nordeste setentrional**. Fortaleza: ABC Editora, 2001.

XAVIER, T. de M. B. S.; XAVIER, A. F. S. Papel da componente meridional do vento na costa do Nordeste para a previsão da chuva no Estado do Ceará. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 11., 1997, Vitória, ES. **Anais...** Vitória, 2004. p. 537-543.

XAVIER, T. de M. B. S.; XAVIER, A. F. S.; ALVES, J. M. B. **Quantis e eventos extremos: aplicações em ciências da terra e ambientais.** Fortaleza: RDS, 2007. 278 p.

YASUKO, L. et al. A utilização do conceito “vulnerabilidade” pela enfermagem. **Revista Latino-Americana de Enfermagem**, v. 16, n. 5, 2008.

YOSHINO, G. H. **Estudo da vulnerabilidade hídrica das populações que moram na região do lago da usina hidrelétrica de Tucuruí no Estado do Pará.** 2017. 218 f. Tese (Desenvolvimento Socioambiental) - Núcleo de Altos Estudos Amazônicos, Universidade Federal do Pará, Belém, 2017. Disponível em: <http://repositorio.ufpa.br:8080/jspui/handle/2011/9415>. Acesso em: 16 set. 2020.

YU, P.T.; LIN, T.C. Salt-Pepper Impulse Noise Detection and Removal Using Multiple Thresholds for Image Restoration. **Journal of Information Science and Engineering.** 2006, 22,189-198.

ZANELLA, M. E. **Inundações em Curitiba: impactos, risco e vulnerabilidade socioambiental.** Fortaleza: Edições UFC, 2012. 194 p. ISBN 978-85-7282-542-9.

ZANELLA, M. E. Considerações Sobre O Clima E Os Recursos Hídricos. **Caderno Prudentino de Geografia**, v. Especial, n. 36, p. 126–142, 2014.

ZHANG, X.; LIAO, C.; LI, J.; SUN, Q. Fractional vegetation cover estimation in arid and semi-arid environments using HJ-1 satellite hyperspectral data. **Int. J. Appl. Earth Observ. Geoinf.**, p.1-7, 2012.