



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CARIRI**  
**PRÓ-REITORIA DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E DA BIODIVERSIDADE**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO REGIONAL**  
**SUSTENTÁVEL**

**ORJANA DIAS PALÁCIO**

**ANÁLISE DA SUSCEPTIBILIDADE A ALAGAMENTO DO MUNICÍPIO DE**  
**JUAZEIRO DO NORTE-CE**

**CRATO**

**2020**

**ORJANA DIAS PALÁCIO**

**ANÁLISE DE SUSCEPTIBILIDADE A ALAGAMENTO NO MUNICÍPIO DE  
JUAZEIRO DO NORTE-CE**

Dissertação apresentada à banca examinadora do mestrado em Desenvolvimento Regional Sustentável da Universidade Federal do Cariri, Campus Crato - CE, como requisito parcial à obtenção do título de mestre em Desenvolvimento Regional Sustentável.

**Orientador:** Prof. Dr. Carlos Wagner Oliveira

**CRATO**

**2020**

**ORJANA DIAS PALÁCIO**

**ANÁLISE DA SUSCEPTIBILIDADE A ALAGAMENTO DO MUNICÍPIO DE  
JUAZEIRO DO NORTE-CE**

Dissertação apresentada à banca examinadora do mestrado em Desenvolvimento Regional Sustentável da Universidade Federal do Cariri, Campus Crato - CE, como requisito parcial à obtenção do título de mestre em Desenvolvimento Regional Sustentável.

**Área de Concentração:** Desenvolvimento Regional Sustentável.

**Linha de Pesquisa:** Tecnologia e Modelagem.

Aprovada em: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. Carlos Wagner Oliveira  
(Orientador/UFCA)

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Ana Célia Maia Meireles  
(Membro Interno/UFCA)

---

Prof. Dr. Antonio Júnior Alves Ribeiro  
(Membro Externo/IFCE)

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Anny Kariny Feitosa  
(Membro Externo/IFCE)

## AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, professor Dr. Carlos Wagner Oliveira, que foi imprescindível na colaboração e parceria em todas as etapas desta pesquisa, além de ter compartilhado conhecimento e experiência no decorrer deste período acadêmico.

Aos professores Dr<sup>a</sup>. Ana Célia Maia Meireles, Dr. Antonio Júnior Alves Ribeiro e Dr<sup>a</sup> Anny Kariny Feitosa, por terem aceitado o convite para compor a banca examinadora desta dissertação, cujas observações com certeza foram de grande relevância para a pesquisa.

A FUNCAP, por ter me concedido, uma bolsa acadêmica de mestrado. Através dessa bolsa, pude me deter ao PRODER e aos trabalhos estabelecidos pelo Programa de Pós-Graduação.

Ao amigo, Geógrafo, Mestrando do PRODER, o Prof. Teobaldo Gabriel de Souza Júnior, por ter disponibilizado tempo e conhecimento, compartilhando informações que enriqueceram a pesquisa e os trabalhos recorrentes do Programa de Desenvolvimento Regional Sustentável.

Aos meus colegas de mestrado que me acompanharam e compartilharam conhecimentos durante a trajetória do programa: Mirelle Tainá, Maria Inácio, Alcyllanna Nunes, Maria Anelice e Antonio Marcos.

A minha mãe, que não mediu esforços, para ser meu suporte em todas as ocasiões e ser assim possível executar e permanecer no mestrado do PRODER.

A minha prima, Débora Dias Macedo, que me auxiliou cuidando dos meus filhos, para que eu pudesse me dedicar no desenvolvimento desta dissertação.

Aos meus grandes amigos e familiares, que sempre se propuseram a me auxiliar, de alguma forma, nos trabalhos acadêmicos e a me amparar emocionalmente.

E por fim, a todos que compõe a UFCA e que contribuiriam direto ou indiretamente nessa etapa de formação acadêmica.

## RESUMO

O desenvolvimento sustentável carrega um caráter fundamentado em oito dimensões descritas pelo economista Ignacy Sachs. Dentre elas, a dimensão ambiental está intimamente ligada ao contexto deste estudo. Esta aborda relação de casualidade dos padrões de crescimento urbano com fenômenos ambientais, os quais tem nos Sistemas de Informações Geográficas (SIG) uma poderosa ferramenta de suporte ao planejamento urbano e à tomada de decisão. Neste sentido, a análise de susceptibilidade a alagamentos de regiões por meio de SIG representa uma informação importante para o poder público, como suporte ao processo de zoneamento urbano, de delimitação de áreas de risco e para a alocação de recursos públicos, com finalidade corretiva e preventiva. Desta forma, este estudo tem como objetivo determinar as áreas susceptíveis a alagamentos no município de Juazeiro do Norte, Ceará, através de técnicas de geoprocessamento. Para tanto serão utilizados dados de declividade, elevação, fluxo de água acumulada, curva número, tipo de solo e uso e ocupação do solo. Os resultados indicam que Juazeiro do Norte é uma cidade de média a alta susceptibilidade a alagamento. O mapa gerado serve como um instrumento de gestão e monitoramento de eventos hídricos extremos que acontecem rotineiramente na cidade. Ele também sinaliza a comunidade e gestores a tomarem medidas de prevenção e minimização do alagamento.

Palavras-Chave: Fenômeno Hidrológico. Vulnerabilidade. SIG.

## **ABSTRACT**

Sustainable development carries a character based on eight common standards by economist Ignacy Sachs. Among them, the environmental dimension is closely linked to the context of this study. This addresses the casual relationship between urban growth patterns and environmental phenomena, which we have in Geographic Information Systems (GIS) as a powerful tool to support urban planning and decision making. In this sense, an analysis of susceptibility to flooding of regions through GIS represents important information for the public power, as support for the urban zoning process, delimitation of risk areas and for the allocation of public resources, with corrective and preventive right. Thus, this study aims to determine areas susceptible to flooding in the municipality of Juazeiro do Norte, Ceará, using geoprocessing techniques. For this purpose, data on slope, elevation, accumulated water flow, number curve, soil type and land use and occupation were used. The results indicate that Juazeiro do Norte is a city of medium to high susceptibility to flooding. The generated map serves as an instrument for managing and monitoring extreme water events that happen routinely in the city. It also signals the community and managers to take measures to prevent and minimize flooding.

**Keywords:** Hydrological Phenomenon. Vulnerability. GIS.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

|  |    |
|--|----|
| Figura 1: Mancha urbana dos municípios: Crato, Juazeiro do Norte e Barbalha. ....                    | 9  |
| Figura 2: Senhor protestando contra o alagamento em Avenida Plácido Aderaldo Castelo. ....           | 11 |
| Figura 3: Motocicleta alagada na Avenida Padre Cícero após chuva de 50 milímetros. ....              | 12 |
| Figura 4: Ônibus congestionado pelo alagamento na Av. Padre Cícero. ....                             | 12 |
| Figura 5: Desocupação de estabelecimento na Avenida Plácido Castelo, Juazeiro do Norte. .            | 13 |
| Figura 6: Moradores sofrendo com abertura de crateras nas vias do bairro Jardim Gonzaga. .           | 13 |
| Figura 7: Degradação da Infraestrutura no Bairro Jardim Gonzaga, Juazeiro do Norte. ....             | 14 |
| Figura 8: Descrição dos Eventos de Inundação e Enchente. ....  | 16 |
| Figura 9: Descrição dos Eventos de Enxurradas em uma área urbana. ....                               | 17 |
| Figura 10: Descrição Eventos de alagamentos numa área urbana. ....                                   | 17 |
| Figura 11: Mapa de Localização do Município de Juazeiro do Norte-CE. ....                            | 20 |
| Figura 12: Precipitação Mensal em Juazeiro do Norte/CE (FUNCEME 1979-2019). ....                     | 21 |
| Figura 13: Temperatura média com Precipitação Mensal em Juazeiro do Norte/CE (INMET 1999-2019). .... | 22 |
| Figura 14: Mapa Geológico de Juazeiro do Norte-CE. ....  | 24 |
| Figura 15: Mapa Geomorfológico de Juazeiro do Norte-CE. ....   | 25 |
| Figura 16: Mapa Hidrológico de Juazeiro do Norte-CE. ....  | 26 |
| Figura 17: Fluxograma da Cadeia de Operação para a Execução do Trabalho. ....                        | 28 |
| Figura 18: Sobreposição das variáveis condicionantes ao alagamento. ....                             | 34 |
| Figura 19: Planta Baixa da Drenagem realizada em Juazeiro do Norte-CE. ....                          | 38 |
| Figura 20: Classes de Solos de Juazeiro do Norte. ....   | 40 |
| Figura 21: Classes do Uso e Ocupação de Juazeiro do Norte. ....                                      | 41 |
| Figura 22: Classes de Curva Número presentes em Juazeiro do Norte. ....                              | 42 |
| Figura 23: Classes de Elevação em Juazeiro do Norte. ....  | 43 |
| Figura 24: Classes da Declividade de Juazeiro do Norte. ....   | 44 |
| Figura 25: Classes do Fluxo Acumulado de Juazeiro do Norte. ....                                     | 45 |
| Figura 26: Susceptibilidade a Alagamentos do Município de Juazeiro do Norte. ....                    | 46 |
| Figura 27: Grau de Susceptibilidade a Alagamentos do Bairro Tiradentes. ....                         | 48 |
| Figura 28: População atingida pelo alagamento, frequência e duração do alagamento. ....              | 52 |
| Figura 29: Prejuízos causados pelo alagamento. ....  | 53 |
| Figura 30: Bocas de Lobo danificadas e obstruídas no Bairro Tiradentes. ....                         | 54 |
| Figura 31: Ligações Clandestinas de Efluente Doméstico. ....   | 55 |

## LISTA DE TABELAS

|   |    |
|---|----|
| Tabela 1: Principais causas das inundações ou enchentes nos municípios brasileiros.....     | 6  |
| Tabela 2: Eventos de alagamentos em Juazeiro do Norte de janeiro a abril, 2018 e 2019. .... | 10 |
| Tabela 3: Fenômenos hidrológicos e suas características. ....                               | 15 |
| Tabela 4: Classe de Solos do Município de Juazeiro do Norte e suas Características. ....    | 23 |
| Tabela 5: Variáveis, Classes, Pesos das classes, Pesos das variáveis. ....                  | 29 |
| Tabela 6: Valores de CN para Bacias Urbanas e Suburbanas. ....                              | 31 |
| Tabela 7: Classificação hidrológica do Solo para as condições brasileiras.....              | 32 |
| Tabela 8: Número de domicílios na amostra. ....   | 36 |
| Tabela 9: Resultados da Análise de Susceptibilidade a Alagamentos.....                      | 46 |
| Tabela 10: Área Urbana associada ao Grau de Susceptibilidade a Alagamentos. ....            | 47 |
| Tabela 11: Bairros associados ao Grau de Susceptibilidade a Alagamentos. ....               | 49 |

## LISTA DE ABREVIATURAS

**CE** – Ceará

**CMMAD** – Comissão Mundial para o Meio Ambiente e o Desenvolvimento

**CN** – Curva de Nível

**CPRM** – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais

**EMBRAPA** – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

**FAP** – Faculdade Paraíso

**FJN** – Faculdade de Juazeiro do Norte

**FMJ** – Faculdade de Medicina de Juazeiro do Norte

**FUNCEME** – Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos

**IBGE** – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

**IFCE** – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará

**IPECE** – Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará

**LVA** – Latossolos Vermelho Amarelo

**MDE** – Modelo de Elevação Digital

**PVA** – Argissolo Vermelho Amarelo

**RL** – Neossolo Litólico

**RMC** – Região Metropolitana do Cariri

**RQ** – Neossolo Quartizarênico

**RY** – Neossolo Flúvico

**SEINFRA** – Secretaria da Infraestrutura de Juazeiro do Norte

**SEMARH** – Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos

**SIG** – Sistema de Informação Geográfica

**UFCA** – Universidade Federal do Cariri

**UNILEÃO** – Universidade Leão Sampaio

**URCA** – Universidade Regional do Cariri

**UTM** – Universal Transversa de Mercator

**WGS** – World Geodetic System

## SUMÁRIO

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>1</b> | <b>INTRODUÇÃO .....</b>   | <b>1</b>  |
| 1.1      | Objetivos.....  | 3         |
| 1.1.1    | <i>Objetivo Geral .....</i>   | <i>3</i>  |
| 1.1.2    | <i>Objetivos Específicos .....</i>                                    | <i>3</i>  |
| <b>2</b> | <b>REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>                                      | <b>4</b>  |
| 2.1      | Urbanização e Desenvolvimento Sustentável.....                        | 4         |
| 2.1.1    | <i>Evolução Urbana e os Problemas de Alagamento no Brasil .....</i>   | <i>5</i>  |
| 2.1.2    | <i>Processo Evolutivo da Urbanização de Juazeiro do Norte/CE.....</i> | <i>7</i>  |
| 2.1.3    | <i>Eventos de Alagamento em Juazeiro do Norte .....</i>               | <i>9</i>  |
| 2.2      | Fenômenos Hidrológicos e Conceitos .....                              | 14        |
| 2.2.1    | <i>Cheia/Enchente/Inundação .....</i>                                 | <i>15</i> |
| 2.2.2    | <i>Enxurrada e Alagamento .....</i>                                   | <i>16</i> |
| 2.3      | Susceptibilidade.....   | 18        |
| 2.4      | Sistema de Informação Geográfica (SIG) .....                          | 18        |
| 2.4.1    | <i>Tipos de aplicação de Sistemas de Informação Geográfica.....</i>   | <i>19</i> |
| <b>3</b> | <b>METODOLOGIA.....</b>   | <b>20</b> |
| 3.1      | Caracterização da Área de Estudo .....                                | 20        |
| 3.1.1    | <i>Localização .....</i>  | <i>20</i> |
| 3.1.2    | <i>Clima.....</i>   | <i>21</i> |
| 3.1.3    | <i>Solo .....</i>   | <i>22</i> |
| 3.1.4    | <i>Geologia.....</i>  | <i>24</i> |
| 3.1.5    | <i>Geomorfologia .....</i>  | <i>25</i> |
| 3.1.6    | <i>Hidrografia .....</i>  | <i>26</i> |
| 3.2      | Tipologia da Pesquisa.....  | 27        |
| 3.3      | Etapas do Estudo .....  | 28        |
| 3.3.1    | <i>Classificação das Variáveis .....</i>                              | <i>29</i> |
| 3.3.2    | <i>Variáveis Condicionantes .....</i>                                 | <i>30</i> |
| 3.3.2.1  | <i>Solo.....</i>  | <i>30</i> |
| 3.3.2.2  | <i>Uso e Ocupação.....</i>  | <i>30</i> |
| 3.3.2.3  | <i>Curva Número .....</i>   | <i>31</i> |

|   |           |
|---|-----------|
| 3.3.2.4 Elevação.....   | 33        |
| 3.3.2.5 Declividade.....  | 33        |
| 3.3.2.6 Fluxo Acumulado de de Água .....                                | 34        |
| 3.3.3 <i>Integração de Dados</i> .....                                  | 34        |
| 3.3.4 <i>Validação de Dados</i> .....                                   | 35        |
| 3.3.4.1 Levantamento Amostral .....                                     | 35        |
| 3.3.4.1.1 <i>Amostragem estratificada proporcional por bairro</i> ..... | 35        |
| 3.3.4.1.2 <i>Amostragem intencional</i> .....                           | 37        |
| <b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>                                   | <b>39</b> |
| 4.1 Análise das Variáveis Condicionantes ao Alagamento .....            | 39        |
| 4.1.1 <i>Mapa de Solos</i> .....  | 39        |
| 4.1.2 <i>Mapa de Uso e Ocupação</i> .....                               | 40        |
| 4.1.3 <i>Mapa de Curva Número</i> .....                                 | 41        |
| 4.1.4 <i>Mapa de Elevação</i> .....                                     | 42        |
| 4.1.5 <i>Mapa de Declividade</i> .....                                  | 43        |
| 4.1.6 <i>Mapa de Fluxo Acumulado</i> .....                              | 44        |
| 4.2 Integração das Variáveis.....                                       | 45        |
| 4.3 Validação de Dados .....  | 50        |
| 4.3.1 <i>Instrumento de Validação I</i> .....                           | 51        |
| 4.3.2 <i>Instrumento de Validação II</i> .....                          | 54        |
| <b>5 CONCLUSÃO.....</b>   | <b>57</b> |
| <b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>                                 | <b>58</b> |
| <b>APÊNDICES</b>  |           |

# 1 INTRODUÇÃO

O percurso histórico do desenvolvimento sempre se manteve intimamente ligado à evolução sistemática da produção e à ideia de acumulação de bens, refletindo basicamente no crescimento econômico. No entanto, a partir da década de 70, o desenvolvimento tomou um novo conceito ligado à sustentabilidade, em que propõe a exploração consciente dos recursos naturais, sem degradar as suas condições existenciais e de regeneração, contemplando as necessidades humanas.

O desenvolvimento sustentável na sua complexidade conceitual carrega um caráter fundamentado nas oito dimensões descritas por Sachs (2002), sendo elas, ambiental, econômica, social, cultural, espacial, psicológica, política, nacional e internacional.

Neste contexto, os padrões de crescimento urbano e o arranjo do desenvolvimento das cidades devem estar ligados a essas dimensões, principalmente à dimensão ambiental, devido a sua relação de causalidade, no que se refere ao equilíbrio do ecossistema urbano. Pode-se dizer que as atividades desenvolvidas nas cidades interferem diretamente no meio ambiente, podendo gerar modificações nas relações entre seus componentes.

A urbanização é um fator importante de pressão sobre os ecossistemas. O meio ambiente satisfaz as demandas das populações e das atividades econômicas das cidades, recebendo em troca os resíduos gerados pelo processamento dos recursos naturais. A urbanização requer intenso uso e pressão sobre os recursos naturais que muitas vezes ultrapassam sua capacidade de suporte proporcionando condições de insustentabilidade urbana, expressa pela incapacidade das políticas públicas municipais em adequarem a oferta de serviços urbanos às demandas sociais.

Segundo Araújo (2013), o agravamento dos problemas urbanos vai de encontro ao conceito de desenvolvimento regional sustentável e tem afetado direta ou indiretamente a todos pela rápida degradação da qualidade de vida nas grandes e médias cidades brasileiras. De acordo com Licco (2015) as pressões da pobreza, o crescimento populacional nas grandes metrópoles, e o direito desigual da terra forçam as pessoas a ocuparem áreas de risco, como encostas íngremes ou margens de rios. Na ocorrência de um desastre, as consequências se acentuam, tomando grandes proporções sobre aqueles que menos têm acesso aos bens materiais básicos e principalmente autonomia emancipatória.

Por sua vez, esses problemas nas cidades têm provocado, dentre outros impactos, o agravamento dos cenários de inundação e a ampliação de sua frequência, além de motivar o surgimento de novos pontos de alagamento. Estes impactos provêm principalmente da crescente impermeabilização do solo, que tem como resultado o aumento do volume pluvial escoado e redução de áreas de amortecimento, causando aumentos significativos nas vazões máximas, que podem representar até seis vezes a vazão de pré-urbanização (TUCCI; GENS, 1995).

São vários os efeitos adversos causados pelos eventos extremos de alagamento nas zonas urbanas. Dentre eles, a degradação física da infraestrutura das cidades, que passam por processos de erosão, muitas vezes afeta as redes pluviais e coletoras de esgoto. Há também o aumento da poluição hídrica causado pela lixiviação de sedimentos e resíduos depositados

sobre as áreas de deflúvio que, somado a expansão de zonas de proliferação de vetores de doenças de veiculação hídrica, afeta diretamente a saúde pública.

A distribuição e ocorrência desses desastres hidrológicos estão associadas além dos processos climatológicos e meteorológicos de cada área geográfica, também estão relacionados a cada tipologia hidrológica, registros e os condicionantes físico-ambientais específicos à localidade (COSTA, 2018). Dentre os eventos hidrológicos potencialmente destrutivos ao meio urbano, tais como enchentes e inundações, são abordados neste estudo aqueles resultantes de alagamentos.

Ao contrário das enchentes e inundações, que estão diretamente relacionados ao aumento do nível da água no leito do corpo hídrico decorrente de fortes pluviosidades, os alagamentos, segundo definição de Carvalho et al. (2007), são acumulações de água na superfície de um terreno qualquer, devido a características do meio físico, mau funcionamento de obras de drenagem e escoamento e/ou precipitações pluviométricas de alta intensidade.

Tratando-se da problemática aqui discutida, sobretudo nas cidades brasileiras de porte médio, a Região Metropolitana do Cariri, localizada no Sul do Ceará, merece destaque pelo crescimento econômico e populacional assistido nas últimas décadas, sobretudo na cidade de Juazeiro do Norte, pólo da região. Com medida territorial de aproximadamente 248,55 km<sup>2</sup> e população aproximada de 271.926 habitantes (IBGE, 2018), a cidade apresenta a maior área urbanizada da região (TELES, 2018) e a quinta maior do estado (PEREIRA, 2013). Além desse fator, o comportamento demográfico da cidade possui regime sazonal, intensificado pelas tradicionais romarias aonde, em alguns períodos do ano, a população chega a dobrar. Apesar do seu desenvolvimento, observa-se um quadro vulnerável relacionado à gestão das águas pluviais, principalmente devido às intensas taxas de impermeabilização do solo e ocupação desordenada do espaço, trazendo variados níveis de degradação ambiental.

Mediante o contexto descrito, esse estudo limita-se em utilizar geotecnologias para detectar pontos suscetíveis a alagamento no município de Juazeiro do Norte, através de multicritérios de solo, uso e ocupação, declividade, elevação, acúmulo de fluxo d'água e curva número. Para tanto se procura identificar e analisar os níveis desse evento, observando os riscos e potenciais prejuízos sociais e econômicos que os alagamentos podem ocasionar.

Um desenvolvimento mais adequado aos padrões de sustentabilidade, segurança hídrica e urbana que visem à redução de riscos, previsão de danos e prevenção de acidentes devem ser buscados, visto a importância de se planejar medidas eficientes e viáveis de mitigação de impactos e manutenção do equilíbrio ecossistêmico do meio urbano.

Diante disso, uma ferramenta poderosa de geotecnologia que pode ser utilizada é o SIG, pois permite analisar as áreas susceptíveis a alagamentos no município, em que classifica e integra espacialmente as variáveis envolvidas no fenômeno, gerando o mapa de susceptibilidade a alagamentos.

## **1.1 Objetivos**

### ***1.1.1 Objetivo Geral***

Identificar e analisar áreas com susceptibilidade de alagamento como instrumento de gestão de drenagem urbana no município de Juazeiro do Norte-CE.

### ***1.1.2 Objetivos Específicos***

- i. Identificar através das classes de solo do município de Juazeiro do Norte as características de capacidade de infiltração e escoamento;
- ii. Gerar um mapa de uso e ocupação de solo de Juazeiro do Norte através de imagens de Sensoriamento Remoto;
- iii. Gerar mapa de curva número, através dos dados de solo e uso e ocupação de Juazeiro do Norte;
- iv. Extrair mapa de declividade e de fluxo acumulado de água através dos parâmetros de elevação;
- v. Integrar os mapas de solo, uso e ocupação, curva número, declividade, elevação e fluxo acumulado através de geotecnologias de SIG;
- vi. Gerar mapa de susceptibilidade a alagamento do município de Juazeiro do Norte; e
- vii. Validar em campo os resultados obtidos no mapa de susceptibilidade, em prol de averiguar a veracidade do estudo.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Urbanização e Desenvolvimento Sustentável

O termo “desenvolvimento sustentável” surgiu a partir de estudos da Organização das Nações Unidas sobre as mudanças climáticas, como uma resposta para a humanidade perante a crise social e ambiental pela qual o mundo passava a partir da segunda metade do século XX. Na Comissão Mundial para o Meio Ambiente e o Desenvolvimento (CMMAD), também conhecida como Conferência de Brundtland, foi desenvolvido um relatório conhecido como “Nosso Futuro Comum”, na qual destaca as questões sociais, principalmente no que se refere ao uso da terra, sua ocupação, suprimento de água, abrigo e serviços sociais, educativos e sanitários, além de administração do crescimento urbano (BARBOSA, 2008).

Segundo Barbosa (2008), o relatório Brundtland considera que a pobreza generalizada não é mais inevitável e que o desenvolvimento de uma cidade deve privilegiar o atendimento das necessidades básicas de todos e oferecer oportunidades de melhoria de qualidade de vida para a população. Um dos principais conceitos debatidos pelo relatório foi o de “equidade” como condição para que haja a participação efetiva da sociedade na tomada de decisões, através de processos democráticos, para o desenvolvimento urbano.

O relatório ainda ressaltou, em relação às questões urbanas, a necessidade de descentralização das aplicações de recursos financeiros e humanos e a necessidade do poder público favorecer as cidades em sua escala local. No tocante aos recursos naturais, avaliou a capacidade da biosfera de absorver os efeitos causados pela atividade humana, e afirmou que a pobreza já pode ser considerada como um problema ambiental e como um tópico fundamental para a busca da sustentabilidade.

O conceito de desenvolvimento sustentável foi firmado na Agenda 21, documento desenvolvido na Conferência “Rio 92” e incorporado em outras agendas mundiais de desenvolvimento e de direitos humanos, mas o conceito ainda está em construção segundo a maioria dos autores que escrevem sobre o tema, como por exemplo, Canepa (2007), Veiga (2005) e Ascelard (1999).

Embora os temas sustentabilidade ambiental e desenvolvimento urbano sustentável venham permeando a produção acadêmica, o discurso dos formuladores de políticas públicas e dos formadores de opinião pouco tem desvendado sobre o que, de fato, venham a ser ou significar tais terminologias. Adotam-se os termos sem a necessária compreensão dos seus limites conceituais e de sua relação com o conceito de desenvolvimento econômico, ou melhor, crescimento econômico, tornando-os similares. No entanto o que se tornou senso comum é que as questões ambientais são globais e comuns à forma dominante da vida em sociedade, ou seja, a cidade contemporânea (MACHADO, 2000).

Embora os processos de urbanização e metropolização que ocorrem no território nacional tendam a seguir a lógica da reestruturação produtiva em escala mundial — a que afasta contingentes populacionais consideráveis dos benefícios da concentração de capital, renda, trabalho, informação, tecnologia, e, por conseguinte, da qualidade de vida — esses processos não ocorrem da mesma forma e ao mesmo tempo em todos os lugares, assim como não são iguais aos Estados-Nações, as conformações físico-territoriais e a quantidade de recursos naturais disponíveis para a apropriação humana (MACHADO, 2000).

Machado (2000) ainda afirma que os problemas que se referem à habitabilidade, salubridade e acessibilidade aos recursos básicos da vida urbana, como a água, o esgotamento sanitário e a drenagem, se tornaram impeditivo ou oneroso à expansão do mundo moderno. Com diferentes conotações e denominações, esses entraves fizeram parte do processo de transformação da vida rural para a predominantemente urbana.

Não resta dúvida que durante o processo de urbanização as relações humanas com seu meio vêm sendo conduzida de forma incoerente. A ocupação dos vazios urbanos, sem um prévio planejamento, causa problemas ambientais e conseqüentemente afeta a qualidade de vida da população. Conforme Jacobi (1999), estes problemas decorrem do impacto da urbanização predatória sobre o ecossistema e refletem os efeitos da ausência ou inadequação de políticas que atendam ao déficit habitacional cada vez mais acentuado.

Partindo deste princípio faz-se necessário que, as políticas, as estratégias e as iniciativas de intervenção, formuladas pelos diversos setores, enfoque no desenvolvimento sustentável, para que seja aplicado no âmbito do crescimento urbano, fundamentando primordialmente na minimização das disparidades sociais, raciais, na promoção da distribuição de renda, na equidade democrática e na sua efetivação. Todos esses processos permitem o fluxo de um planejamento adequado do espaço, que se adéqua a realidade da população e que promove a conservação do ambiente urbano, possibilitando qualidade de vida.

### ***2.1.1 Evolução Urbana e os Problemas de Alagamento no Brasil***

Para Barbosa (2006), é sabido que a urbanização consiste em um dos processos antrópicos que mais promove impactos ao meio, destacando principalmente nos países subdesenvolvidos e em desenvolvimento, aonde o crescimento urbano vem ocorrendo de forma insustentável com deterioração da qualidade de vida e do meio ambiente. Trata-se de um conjunto de ações que têm conseqüências preocupantes, tanto ambientais como sociais.

Essa urbanização ocorre de forma espontânea, em que o planejamento urbano é geralmente focado às áreas de média e alta renda, diferente das áreas de baixa renda e de periferia que o processo se dá de forma irregular ou clandestina. Este processo é ainda mais expressivo na América Latina onde 77% da população é urbana, bem acima de 48% da porcentagem a nível mundial (TUCCI, 2004).

De acordo com SEMARH (2003), nos últimos anos o processo de urbanização no Brasil ocorreu com o crescimento mais expressivo das cidades médias e um crescimento menor das metrópoles. Hoje a população urbana brasileira é da ordem de 80%, bem acima quando comparado à urbanização na década de 40 a 50, abaixo de 40%. O processo de urbanização no Brasil foi desordenado e falho na previsão da população total.

A análise dos cenários urbanos brasileiros revela a forma desordenada de apropriação, norteado pela ausência de planejamento que considere o disciplinamento do uso e ocupação do solo como prerrogativa básica de seu ordenamento. Essa desordem traz como conseqüência, níveis abusivos de degradação ambiental evidentes no cotidiano urbano (OLIVEIRA, 1998). Os impactos sobre as águas urbanas, em geral, ficam atrelados ao forte adensamento urbano, além das questões climáticas e às práticas inconseqüentes da população,

tais como: o despejo de esgoto, sem tratamento, nos rios; os depósitos de resíduos sólidos, que contaminam as águas superficiais e subterrâneas; a ocupação do solo urbano sem controle do impacto sobre o sistema hídrico (TUCCI, 2008).

Conforme Santos (2017) a ocupação do solo urbano sem planejamento tem como consequência, dentre outros impactos ambientais negativos: i) a sobrecarga no sistema de drenagem urbana por meio do aumento da impermeabilização do solo e da diminuição da infiltração; ii) a perda da cobertura vegetal por pavimentos impermeáveis, diminuindo a infiltração da água no solo e aumentando a sua quantidade e a sua velocidade de escoamento; iii) a escassez e a diminuição da qualidade dos recursos hídricos; iv) o acúmulo de resíduos sólidos nos elementos do sistema de drenagem (canais, bueiros, bocas de lobo, etc.), obstruindo-os e, com isso, ocasionando seus transbordamentos em períodos de chuva; e v) o aumento da densidade urbana em determinadas zonas, principalmente as consideradas de baixo valor especulativo imobiliário da cidade.

Perante esses impactos, uma das principais questões a ser levantadas nesse estudo são os eventos de alagamentos que estão muito associados à questão da urbanização. Segundo Carvalho et al. (2007) alagamentos são acumulações de água na superfície de um terreno qualquer, devido a características do meio físico, mau funcionamento de obras de drenagem e escoamento e/ou precipitações pluviométricas de alta intensidade em regiões associadas ou não à hidrografia da região.

As situações extremas de alagamentos e inundações no Brasil já se configuram como problemas de natureza crônica. Geralmente esses fenômenos hidrológicos interrompem o trânsito de veículos, e em casos piores, podem destruir prédios e outras construções. Estes problemas afetam as comunidades de baixa renda, principalmente, por causa da localização das residências.

Em um estudo técnico realizado pelo IBGE (2008), foram identificados o número de municípios por região que apresentam problemas de inundação e/ou estrangulamento na área urbana e pontos de estrangulamento no sistema de drenagem. A Tabela 1 ilustra respectivamente a distribuição do número total de municípios por região no Brasil e os principais fatores agravantes das inundações ou enchentes.

Tabela 1: Principais causas das inundações ou enchentes nos municípios brasileiros.

| <b>Grandes Regiões</b>                                | <b>Brasil</b> | <b>Norte</b> | <b>Nordeste</b> | <b>Sudeste</b> | <b>Sul</b> | <b>Centro-Oeste</b> |
|---|---------------|--------------|-----------------|----------------|------------|---------------------|
| Total de Municípios                                   | 5.507         | 449          | 1.787           | 1.666          | 1.159      | 446                 |
| Municípios que sofrem inundação ou enchentes          | 1.235         | 57           | 238             | 539            | 356        | 45                  |
| <b>Fatores Agravantes das Inundações ou Enchentes</b> |               |              |                 |                |            |                     |
| Dimensionamento inadequado de projeto                 | 339           | 8            | 63              | 166            | 92         | 10                  |
| Obstrução de bueiros / bocas de lobo                  | 631           | 38           | 123             | 260            | 192        | 18                  |

|   |        |       |       |        |        |       |
|---|--------|-------|-------|--------|--------|-------|
| Obras inadequadas                                 | 345    | 16    | 67    | 145    | 104    | 13    |
| Adensamento populacional                          | 391    | 16    | 75    | 192    | 95     | 13    |
| Lençol freático alto                              | 205    | 13    | 54    | 69     | 58     | 11    |
| Existência de interferência física                | 298    | 8     | 57    | 130    | 91     | 12    |
| Outros  | 237    | 13    | 26    | 110    | 78     | 10    |
| Sem declaração                                    | 3      | 1     | 1     | 1      | -      | -     |
| Áreas onde ocorreram inundações ou enchentes (ha) | 48.809 | 1.629 | 6.606 | 10.171 | 28.176 | 2.227 |

Fonte: adaptado de IBGE (2008).

### ***2.1.2 Processo Evolutivo da Urbanização de Juazeiro do Norte/CE***

O processo de expansão do povoado do atual município de Juazeiro do Norte teve grande influência dos coronéis e principalmente da igreja. A transformação social, cultural e principalmente econômica teve como principal fator a vinda do Padre Cícero Romão Batista em meados do século XIX, cuja inteligência política, assistência social dedicada a quem o procuravam, orientações em assuntos de comércio, agropecuária, educação, entre outros, instituiu na antiga fazenda “Tabuleiro Grande”, o início de um processo evolutivo no que se refere ao desenvolvimento urbano.

Pereira (2013) afirma que o início das romarias foi resultado de um fato inusitado, ocorrido em 1889 com a beata Maria de Araújo, conhecido como o “milagre da hóstia”, que até os dias atuais vem atraindo indivíduos de todas as regiões, sendo este milagre interpretado pelo sertanejo como um sinal de que aquela terra seria destinada ao alento para seu sofrimento. Esse episódio conferiu ao município fama nacional e internacional, o que vem motivando a organização de eventos científicos e culturais, a exemplo do Simpósio Internacional do Padre Cícero, atualmente na sua 4ª edição. É nesse contexto que a história de fé em Juazeiro do Norte se confunde com a própria história de evolução da cidade, já que o povoado se desenvolveu mediante os olhos da religiosidade.

É importante destacar que antes, durante e depois do “milagre da hóstia”, aconteceram graves secas no Nordeste, que influenciaram a migração para o Cariri e o aumento da densidade populacional dos municípios e cidades. As principais que tiveram consequências foram as secas de 1877, 1888, 1898, 1900 e 1915. Sendo para o Juazeiro do Norte o maior fluxo de migração, tanto pela questão mística do sacerdote e da propagação da sua fama de milagreiro pelo interior nordestino, como pelas secas devastadoras, gerando um expressivo mercado consumidor e expansão da área.

Dessa forma o Juazeiro do Norte cresce sob o fluxo de romeiros, imbuindo suas formas de vida na paisagem, conferindo dinamismo econômico por meio dos ensinamentos e

orientações deixadas pelo Padre Cícero sobre a construção de um espaço urbano, influenciando nas dimensões econômicas, política, social e cultural. Tendo as dimensões econômicas atreladas ao sagrado, a religiosidade se apresenta hoje como vitrine de um marketing urbano da venda da cidade pelo turismo, inclusive ligado ao planejamento urbano pelo poder público.

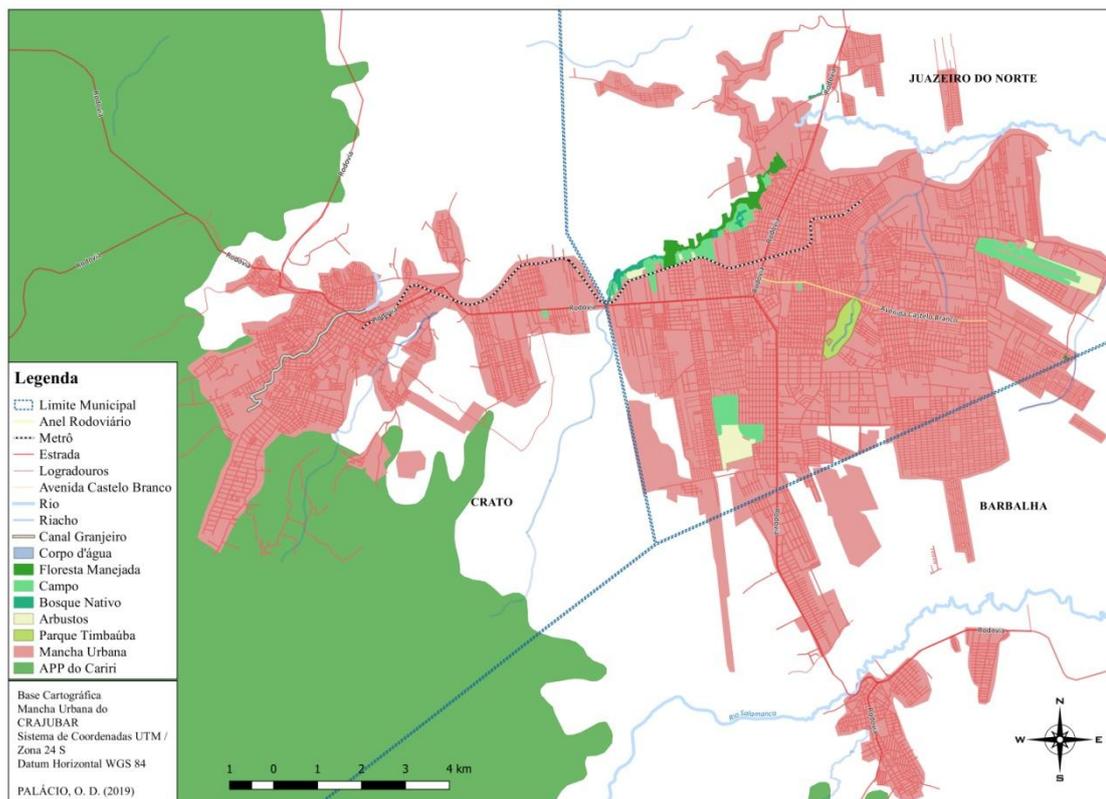
Setores relevantes, como os de comércio e serviços, foram ganhando dinamismo através de iniciativas dos comerciantes locais, influenciados pela instalação do Mercado Público do Pirajá. Instalou-se na cidade uma nova área com expressão ao longo dos últimos trinta anos, tornando-se primeiro uma alternativa de compras para a população, sobretudo a mais periférica, e também um lugar de referência das atividades comerciais, com a instalação de bancos e indústrias (PEREIRA, 2014).

Também entra no contexto histórico como contribuintes de expansão e urbanização da cidade a implantação de instituições de ensino superior, como o Instituto Federal de Ciência, Educação e Tecnologia (IFCE), Universidade Regional do Cariri (URCA), Universidade Federal do Cariri (UFCA) e ensino superior privado, como a Universidade Leão Sampaio (UNILEÃO), Faculdade Paraíso do Ceará (FAP), Faculdade de Juazeiro do Norte (FJN), e Faculdade de Medicina de Juazeiro (FMJ), conferindo um aumento no fluxo anual de estudantes para o local.

Em resposta a implantação desses setores de comércio e ensino, e expansão de novas áreas do município, a população foi crescendo significativamente. Realizando um comparativo de dados de 1909, quando Juazeiro tinha 15 mil habitantes, com a década de 1940, com 38.145 habitantes, é possível perceber que em 20 anos houve um acréscimo de 20 mil habitantes, chegando a dobrar a população. Nas outras décadas, com intervalos de 10 anos, há uma diferença média de 30 mil habitantes. Considerando os 70 anos passados do início do Censo oficial em 1940, com 38.145 habitantes, e a população de 2010, com 249.939, obtém-se um crescimento populacional de Juazeiro de 211.794 habitantes, que representa um aumento de 455,23%.

A Região Metropolitana do Cariri surgiu a partir da conurbação entre os municípios de Juazeiro do Norte, Crato e Barbalha, chamada triângulo CRAJUBAR. Somando-se a eles, foram incluídas as cidades limítrofes as estas três, situadas no Cariri cearense, tais como: Caririaçu, Farias Brito, Jardim, Missão Velha, Nova Olinda e Santana do Cariri. A população atual de Juazeiro do Norte representa 60% da população total da região metropolitana, apresentando uma expansão demográfica significativamente superior aos demais municípios como Barbalha e Crato. A Figura 1 apresenta a mancha urbana do triângulo CRAJUBAR resultante dessa aglomeração. Encontra-se em destaque com maior mancha a área urbana do município de Juazeiro do Norte.

Figura 1: Mancha urbana dos municípios: Crato, Juazeiro do Norte e Barbalha.



Fonte: Autor (2020).

Segundo o IPECE (2015), a taxa de urbanização do município de Juazeiro do Norte é de 96,07%, sendo a quinta maior do estado do Ceará. É nesse sentido que o processo de urbanização do município de Juazeiro do Norte se consolida em virtude da religiosidade pelos fluxos das romarias, posteriormente pela inserção do comércio e serviços, destacando o setor calçadista e pelas fundações das instituições universitárias e de faculdades, sendo elas públicas e privadas.

### 2.1.3 Eventos de Alagamento em Juazeiro do Norte

De acordo com Araújo (2013) Crato, Barbalha e Juazeiro do Norte são cidades onde se percebe um agravamento da problemática urbana em decorrência do desequilíbrio social. Uma parcela significativa da população não possui uma devida apropriação dos espaços públicos, revelados especialmente por uma dissociação entre a *urbes* (forma espacial e arquitetônica da cidade) e a *civitas* (relações humanas e políticas que nela se geram).

O município de Juazeiro do Norte ampliou rapidamente sua malha urbana e sua concentração comercial, tanto em decorrência do turismo religioso, como pela instalação de indústrias, atraindo mão de obra e serviços. No entanto nota-se que o sistema de infraestrutura urbana não acompanhou o ritmo de tal crescimento o que acarreta diariamente problemas relacionados à qualidade de vida da população.

A ocupação desordenada do município foi estabelecida pela ausência de planejamento de uso e ocupação do espaço, trazendo variados níveis de degradação ambiental. Conforme

Araújo (2013) a problemática do saneamento ambiental é desenvolvida pelo processo de urbanização e crescimento populacional. O abastecimento de água na cidade é deficiente, principalmente nos períodos de romarias e o sistema de esgotamento sanitário contempla parcialmente a área urbana (38,7%), com reduzido número de ligações ativas das residências às redes coletoras de esgoto. São visíveis também problemas relacionados à destinação de resíduos sólidos, em virtude da inexistência de aterro sanitário no município.

É importante destacar a existência de um sistema ineficiente de drenagem urbana na cidade. A drenagem foi instalada parcialmente dentro da área urbana, tendo três bairros não contemplados pela rede, sendo eles: Frei Damião, Lagoa Seca e Jardim Gonzaga. Além disso, nos locais em que foi inserido o sistema, não houve um devido estudo e análise da capacidade de suporte de escoamento gerado localmente, causando diversos transtornos de saúde pública e mobilidade urbana em períodos de precipitação intensa. Sem contar que não há manutenção da integridade estrutural da microdrenagem existente e limpeza das bocas de lobo, provocando o acúmulo de resíduos sólidos. Tendo como intensificador da problemática, a comunidade, que em sua grande parte, realiza ligações clandestinas de águas residuárias à galeria pluvial.

Diante disso, o município torna-se um cenário susceptível a eventos de alagamento, visto também suas características físicas e a ocorrência de chuvas intensas em áreas impermeabilizadas, onde a rede de drenagem pluvial não consegue escoar uma vazão superior àquela para a qual foi projetada.

A Tabela 2 registra alguns eventos de alagamentos através de noticiários eletrônicos, datadas no ano de 2018 e 2019.

Tabela 2: Eventos de alagamentos em Juazeiro do Norte de janeiro a abril, 2018 e 2019.

| <b>Datas</b>          | <b>Eventos</b>   | <b>Precipitação (mm)</b> |
|-----------------------|--|--------------------------|
| 20:01 hs   07/01/2018 | Alagamento na Avenida Padre Cícero<br>Alagamento na Rua Jardim Gonzaga Mota<br>Alagamento de duas escolas          | 40                       |
| 13:45 hs   07/02/2018 | Alagamento na Avenida Padre Cícero<br>Alagamento na Rua Rui Barbosa<br>Alagamento na Rua Zeferino Pedro dos Santos | 50                       |
| 16:48 hs   02/04/2018 | Alagamento na Avenida Padre Cícero   | 50                       |
| 10:02 hs   05/04/2018 | Alagamento na Avenida Padre Cícero<br>Alagamento na Avenida Leão Sampaio<br>Alagamento de algumas vias             | 100                      |
| 16/04/2018            | Alagamento na Avenida Padre Cícero<br>Alagamento na Rua Zeferino Pedro dos Santos                                  | 37                       |
| 17:00 hs 16/01/2019   | Alagamento de algumas vias   | 19                       |
| 10:40 hs   22/02/2019 | Alagamento na Avenida Padre Cícero<br>Alagamento na Avenida Leão Sampaio   | 42                       |

|                       |  |    |
|-----------------------|--|----|
| 10:00 hs   28/03/2019 | Alagamento na Avenida Leão Sampaio<br>Alagamento na Avenida Plácido Aderaldo Castelo<br>Alagamento no Bairro Jardim Gonzaga    | 56 |
| 07:29 hs   04/04/2019 | Alagamento na Avenida Leão Sampaio<br>Alagamento na Rua Padre Manoel Germano<br>Alagamento na Avenida Plácido Aderaldo Castelo | 98 |

Fonte: Noticiários eletrônicos (2018) e (2019).

De acordo com a CPRM (2005) o estado do Ceará apresenta, em termos gerais, um regime pluviométrico do tipo tropical, marcada pela irregularidade das chuvas no tempo e no espaço. No tempo, pela concentração das chuvas num curto intervalo, caracterizando a existência de dois períodos distintos: um chuvoso e outro seco. E no espaço, pela irregular distribuição das chuvas de um ano para o outro em áreas diferentes e, sobretudo, num mesmo ano e numa mesma área.

O período crítico de alagamentos em Juazeiro do Norte ocorre, na maioria das vezes, entre janeiro a abril, intervalo da quadra invernososa, em que há máximas precipitações. Em contrapartida é notável pela Tabela 2 que independente de precipitações mínimas ou máximas há publicidade de eventos de alagamento, visto a influência de outros fatores decisivos para sua ocorrência.

Nas Figuras 2, 3 e 4 são ilustrados os eventos de alagamentos descritos na Tabela 2, com maior destaque para o bairro Lagoa Seca e para a Avenida Padre Cícero. A Figura 2 apresenta o bairro Lagoa Seca, no trecho conhecido como Lagoa da APUC, onde se formou uma lâmina de água com altura aproximada de um metro. Um senhor vendo este cenário, resolveu passear de canoa em plena Avenida Plácido Aderaldo Castelo, chamando atenção em forma de protesto.

Figura 2: Senhor protestando contra o alagamento em Avenida Plácido Aderaldo Castelo.



Fonte: Diário do Nordeste (2019).

É bem comum um intenso fluxo de automóveis na Avenida Padre Cícero, já que é considerada a avenida principal que conecta as cidades da Região Metropolitana do Cariri. É nessa avenida que existem pontos críticos de alagamento, as Figuras 3 e 4 mostram a obstrução de trânsito dessa avenida, após uma chuva de 50 mm, gerando nível de fluxo de água acumulada, e causando transtornos, como alagamento de veículos e atrasos das atividades e prestações de serviços em gerais.

Figura 3: Motocicleta alagada na Avenida Padre Cícero após chuva de 50 milímetros.



Fonte: OPOVO (2018).

Figura 4: Ônibus congestionado pelo alagamento na Av. Padre Cícero.



Fonte: Redes Sociais (2018).

São diversos danos que o alagamento pode causar. Dentre eles, destacam-se: a degradação física da infraestrutura das cidades; a deterioração dos pavimentos urbanos e

automóveis; a obstrução das redes de coleta e distribuição de água e esgoto, pelos sedimentos erodidos; o aumento da poluição hídrica, causado pela lixiviação de sedimentos e resíduos; e a expansão de zonas de proliferação de vetores de doenças de veiculação hídrica, que afeta diretamente a saúde pública. As Figuras 5, 6 e 7 ilustram alguns danos vivenciados na cidade de Juazeiro do Norte em períodos chuvosos.

Figura 5: Desocupação de estabelecimento na Avenida Plácido Castelo, Juazeiro do Norte.



Fonte: G1 (2019).

Embora a cidade esteja localizada numa região de baixíssima precipitação e de altas temperaturas é comum observar cenários de desocupação de moradias e/ou comércios em períodos de chuva. Como representado na Figura 5, esses cenários além de gerarem danos de magnitude social, também geram danos econômicos, prejudicando a economia da região, com a paralisação forçada dos serviços atingidos pela água.

Figura 6: Moradores sofrendo com abertura de crateras nas vias do bairro Jardim Gonzaga.



Fonte: Tribuna do Ceará (2018).

Um dano bastante corriqueiro são as aberturas das vias de pavimentação asfáltica. A cidade quase que por inteiro é marcada pelo desgaste físico causado pelo alagamento, até mesmo as vias recém-estruturadas. A Figura 6 apresenta a abertura de uma cratera no Bairro Jardim Gonzaga devido à recorretes eventos de alagamento e enxurradas na localidade. Essas aberturas são alvos de possíveis acidentes de trânsito dependendo da sua dimensão e localização.

Figura 7: Degradação da Infraestrutura no Bairro Jardim Gonzaga, Juazeiro do Norte.



Fonte: G1 (2019).

Outro desgaste físico visto na cidade é a deterioração e derrubada de postes (Figura 7) resultante do assoreamento, das vias não pavimentadas, promovido pelo alagamento. Esses danos atingem diretamente a população, que acabam insetos de energia por certo tempo.

## 2.2 Fenômenos Hidrológicos e Conceitos

Os fenômenos hidrológicos são definidos como mecanismos de armazenamento e transporte entre as diversas fases do ciclo da água em nosso planeta, com atenção especial para as áreas continentais. As intensidades com que esses fenômenos se manifestam apresentam uma marcante variabilidade ao longo do tempo e do espaço, em decorrência das variações, algumas regulares e irregulares, dos climas globais e regionais, bem como das particularidades regionais e locais, sob os aspectos meteorológicos, geomorfológicos, de propriedades e uso do solo, entre tantos outros.

Os fenômenos hidrológicos e as variáveis características são apresentados na Tabela 3 abaixo.

Tabela 3: Fenômenos hidrológicos e suas grandezas características.

| Características e Variáveis Hidrológicas |  |   |
|--|--|---|
| Fenômeno                                 | Variáveis  | Unidades  |
| Precipitação                             | Altura<br>Intensidade<br>Duração                 | mm, cm<br>mm/h<br>h, min  |
| Evaporação/Evapotranspiração             | Total<br>Intensidade                             | mm, cm<br>mm/dia, mm/mês  |
| Infiltração                              | Altura<br>Intensidade                            | mm, cm<br>mm/h  |
| Escoamento Total                         | Fluxo<br>Volume<br>Altura equivalente (Deflúvio) | l/s, m <sup>3</sup> /s<br>m <sup>3</sup> , 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> , (m <sup>3</sup> /s)<br>mm ou cm |
| Escoamento Subterrâneo                   | Fluxo<br>Volume                                  | l/min, l/h, m <sup>3</sup> /dia<br>m <sup>3</sup> , 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>                          |

Fonte: Adaptado da Agência Nacional de Águas (ANA).

As enchentes, inundações, enxurradas e alagamentos são eventos derivados de fenômenos naturais hidrológicos, variando de acordo com as intensidades dos fenômenos recorrentes. No entanto, não são apenas os fenômenos hidrológicos que influenciam a ocorrência destes eventos, mas também a influência do homem sobre o meio, como impermeabilização do solo e alocação desordenada do espaço.

### 2.2.1 Cheia/Enchente/Inundação

Inundação, enchentes ou cheias são eventos naturais que ocorrem nos cursos d'água (rios, córregos), derivados de fenômenos ou perigos naturais de caráter hidrológico. Elas representam um dos principais fenômenos naturais que afligem comunidades urbanas ou rurais quando atingidas. Esses fenômenos de natureza hidrometeorológica fazem parte da dinâmica natural (MinC, IPT, 2007).

Esses eventos ocorrem frequentemente deflagrados por chuvas rápidas e fortes, chuvas intensas de longa duração, degelo nas montanhas e outros eventos climáticos tais como furacões e tornados, sendo intensificados pelas alterações ambientais e intervenções urbanas de origem antrópica (MinC, IPT, 2007).

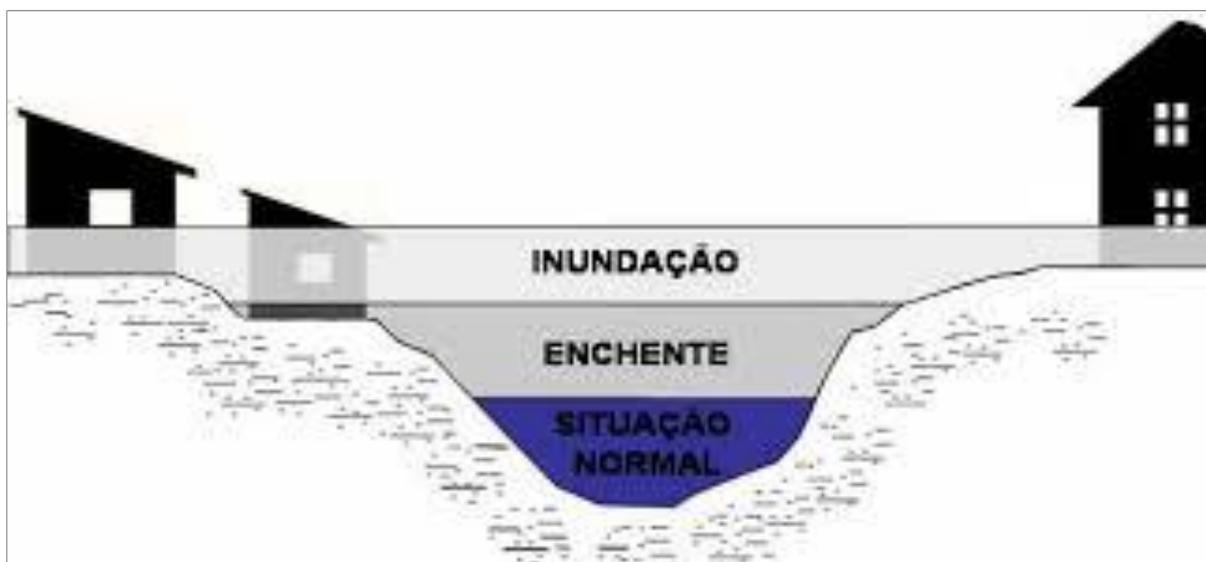
De acordo Lima (2010), no que se refere ao acúmulo de água no solo e ao extravasamento de cursos hídricos, há diferentes formas de conceituar estes fenômenos, sendo que os termos de cheia, enchentes e inundação são frequentemente utilizados como sinônimos em diversos trabalhos.

Mas nesta pesquisa considera o termo cheia/enchente como elevação temporária do nível regular de um corpo hídrico, devido às precipitações intensas e/ou prolongadas, sem extravasar os limites da calha de drenagem.

Segundo (Brasil, 2016) teremos inundação, em casos que, a precipitação seja suficiente para que a lâmina d'água da enchente ultrapasse as margens do arroio, rio ou lago, atingindo terras normalmente secas.

Na Figura 8 são representados os eventos hidrológicos de caráter natural que ocorrem em cursos d'água dependendo do grau de precipitação manifestado.

Figura 8: Descrição dos Eventos de Inundação e Enchente.



Fonte: Ministério das Cidades/IPT (2007).

### ***2.2.2 Enxurrada e Alagamento***

Diferente das inundações e enchentes, que são relacionadas com os corpos d'água, as enxurradas e alagamentos podem ou não estar associadas ao traçado das drenagens, ou seja, podem escoar pelas encostas, atingindo a área urbana, até chegar aos córregos e rios, recebendo o excesso hídrico e iniciando o processo de enchimento (MinC, IPT, 2007).

Conforme Brasil (2016), enxurrada é definida como o escoamento superficial concentrado e com alta energia de transporte ocasionado em eventos chuvosos intensos ou extremos. Ocorrem geralmente quando não há tempo hábil para os moradores tomarem os devidos procedimentos para se protegerem ou salvarem os seus bens. É também denominado de inundação brusca.

A Figura 9 apresenta o seguinte evento descrito.

Figura 9: Descrição dos Eventos de Enxurradas em uma área urbana.



Fonte: Visualizando Geociências (2016).

De acordo com Brasil (2016), alagamento é definido como o acúmulo de água provocado por chuvas intensas em áreas total ou parcialmente impermeabilizadas e onde a rede de drenagem pluvial não consegue escoar uma vazão superior àquela para qual foi projetada.

Além desses fatores, a falta de limpeza das ruas na área provoca entupimento do sistema de drenagem com o acúmulo de resíduos, a falta de manutenção da integridade estrutural das redes e a presença de ligações clandestinas de esgoto doméstico, elevam drasticamente a presença de eventos de alagamento.

A Figura 10 ilustra esse evento com mais dinamismo.

Figura 10: Descrição Eventos de alagamentos numa área urbana.



Fonte: Visualizando Geociências (2016).

## 2.3 Susceptibilidade

O Dicionário Eletrônico Michaelis define suscetibilidade como a qualidade do que é suscetível, passível, sensível a algo ou alguém receber influências ou sofrer impressões ou modificações. Existem estudos voltados para áreas sujeitas a determinados fenômenos, ou seja, áreas mais ou menos suscetíveis (instáveis ou estáveis) à ocorrência de fenômenos ligadas as suas características físicas. Percebe-se uma inclinação de autores em utilizar esse termo como indicativo de predisposição natural a desastres.

Para a identificação das áreas sujeitas a alagamento é utilizada a denominação susceptibilidade como um ou mais atributos físicos que uma determinada área possui e que torna potencialmente sujeito à ocorrência de fenômenos relacionados à dinâmica hídrica. Entretanto acrescenta-se a ação humana como um dos agentes intensificadores da susceptibilidade, dado a capacidade do homem em contribuir para uma significativa alteração da dinâmica hídrica natural. É importante salientar que suscetibilidade expressa apenas uma condição potencial, não uma certeza de que ocorrerá esse evento.

## 2.4 Sistema de Informação Geográfica (SIG)

Dentro do conjunto de tecnologias utilizadas para realizar a coleta, o processamento, análise e disponibilização de informações com referência geográfica de uma determinada localidade, chamado geotecnologia, está a ferramenta SIG.

Há múltiplas abordagens referentes ao conceito de SIG dado sua ampla aplicação em várias áreas científicas ou de domínios de atividades humanas. Alguns autores a definem através dos componentes de hardware e software que trabalham como plataforma de funcionamento dos SIG. Outros optam por um sentido mais amplo, tal como Aronoff (1989), que define os SIG não só pelas suas potencialidades computacionais, mas também pelo conjunto de operações e meios manuais necessários para o armazenamento, o acesso e a manipulação da informação georreferenciada.

O Sistema de Informação Geográfica (SIG) pode ser definido como um conjunto de ferramentas para recolher, armazenar, recuperar, transformar e visualizar as informações espaciais sobre os elementos que compõem a superfície terrestre, aplicando-se à análise, gestão ou representação do espaço e dos fenômenos que nele ocorrem (FERRAZ, 2012).

De acordo Esri Portugal (2011) os SIG integram *hardware*, *software*, dados, procedimentos e capital humano.

Os SIG evoluíram a partir destes componentes isolados, verificando muitas características comuns ou semelhantes. Segundo Maguire (1991), a característica mais importante dos SIG reside no seu grande poder de análise, o que o distingue de qualquer dos outros sistemas. Eles basicamente permitem realizar operações de inquirição e análises, sendo possível a visualização dos resultados destas operações.

Neste sentido os SIG são uma das mais potentes tecnologias de informação recentemente difundidas a partir dos meios científicos e tecnológicos, ocupando um papel preponderante em diversos domínios ligados ao ordenamento, tais como a cartografia, a

geografia, o planejamento urbanístico, o ambiente, os transportes, o abastecimento de água e tratamento de resíduos, a agricultura e a proteção civil, entre outros.

Para o presente estudo a utilização do Sistema de Informação Geográfica, com enfoque na integração de dados extraídos da componente espacial, foi de extrema importância para a análise de áreas suscetíveis a alagamento. Assim, a intersecção de dados característicos da realidade do município de Juazeiro do Norte aliado a ferramentas de processamento gráfico como acontece nos SIG, conseguirá dar resposta a este tipo de problema.

#### ***2.4.1 Tipos de aplicação de Sistemas de Informação Geográfica***

A informação geográfica pode assumir um papel integrador em sistemas de informação, devido à grande parte de informação a ser localizada espacial com recurso a um sistema de coordenadas (X,Y) associado a um dado objeto ou fenómeno.

A estrutura levantada e desenhada pelos recursos humanos, recursos naturais e pelas informações disponíveis para a construção e operação de um Sistema de Informação Geográfica pode apresentar-se de variados níveis de complexidade, sendo definida, segundo esta perspectiva, através de dois tipos de SIG: o SIG de projeto e o SIG de gestão.

Em um SIG de projeto, o objetivo é a resolução de um dado problema, sem preocupação com a posterior utilização e manutenção, ainda que os resultados possam vir a ser reutilizados, embora num contexto que se considera exterior ao projeto. Neste tipo de SIG, a atividade incide principalmente sobre a coleta de informação e sobre as operações de análise espacial e de interrogação. A componente de atualização dos dados não é fundamental, pois a duração do projeto é curta, e o número de utilizadores é reduzido, pelo que as questões de segurança e gestão do sistema frequentemente não se colocam. Não há em geral funções que estejam dependentes do serviço do SIG, pelo que a fiabilidade do sistema, no que concerne à sua operacionalidade, não é também relevante.

Num SIG de gestão prevalecem às preocupações com a segurança, a integridade, a condição e o desenvolvimento de aplicações específicas de utilização, distribuição e manutenção dos dados. Frequentemente, os responsáveis pela gestão do sistema não se integram no grupo de utilizadores e assumem a responsabilidade pela continuidade e qualidade do serviço do sistema (MATOS, 2001).

### 3 METODOLOGIA

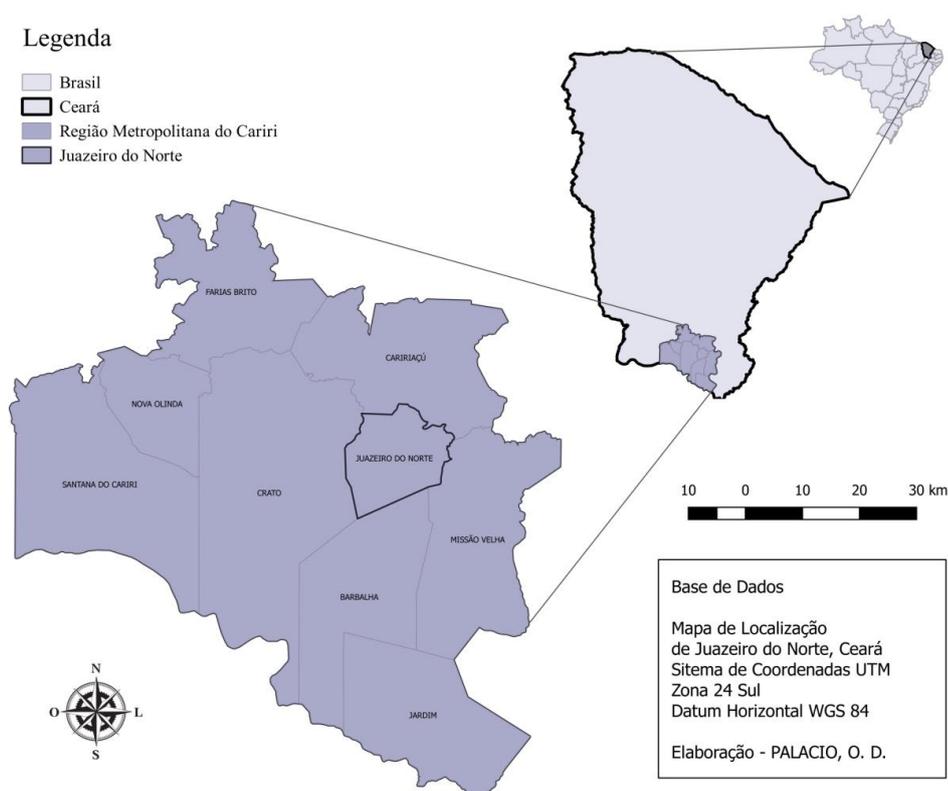
#### 3.1 Caracterização da Área de Estudo

##### 3.1.1 Localização

O estudo foi desenvolvido em Juazeiro do Norte. O município situa-se na região do Cariri, porção sudoeste do estado do Ceará, fazendo limite com os municípios: Cariri, ao Norte; Crato, Barbalha e Missão Velha, ao Sul; Missão Velha e Cariri, a Leste; e Crato, ao Oeste. Compreende uma área de 219 km<sup>2</sup>, localizada na carta topográfica Crato (SB.24-Y-D-D).

A Figura 11 representa a área de estudo, Município de Juazeiro do Norte-CE.

Figura 11: Mapa de Localização do Município de Juazeiro do Norte-CE.



Fonte: Autor (2016).

A escolha da área de estudo se deu pelo comportamento do crescimento urbano da cidade de Juazeiro do Norte, destacando-se entre as demais cidades da região do Cariri. Os critérios adotados para a escolha da área de pesquisa foram:

- I. Frequência de eventos extremos de alagamento de acordo com registros fotográficos atuais e consultas a moradores locais;
- II. Diagnóstico do sistema de drenagem implantada;

- III. Condições sanitárias verificadas *in loco*, no que se refere principalmente a esgotamento sanitário e manejo de resíduos sólidos urbanos; e
- IV. Situação da urbanização na cidade.

A identificação prévia da frequência de eventos críticos de alagamento na área foi feita através de informações fornecidas pelos moradores e noticiários.

### 3.1.2 Clima

Conforme dados da CPRM (2005), o estado do Ceará apresenta em termos gerais, um clima do tipo tropical seco (Aw), segundo a classificação de Köppen e Geiger (1936). Tal clima, explica-se pela ação conjugada dos sistemas de circulação e dos aspectos geográficos, e também pela marcante irregularidade das chuvas no tempo e no espaço.

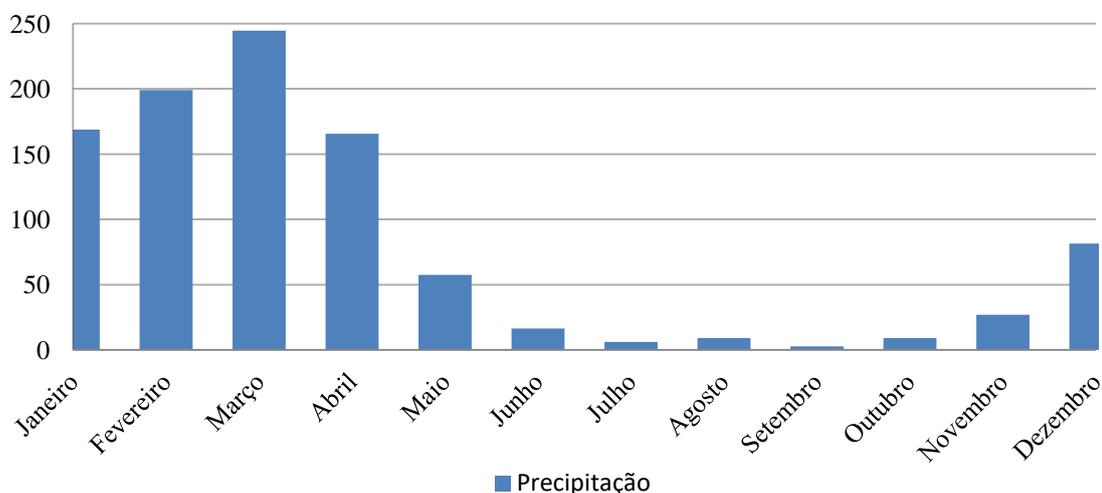
No tempo, pela concentração das chuvas num curto intervalo, determinando dois períodos distintos: um chuvoso e outro seco. No espaço, pela irregular distribuição das chuvas de um ano para o outro em áreas diferentes e, sobretudo, num mesmo ano e numa mesma área.

O período chuvoso começa no verão e atinge o seu auge na transição verão-outono. O verão tem muito mais pluviosidade que o inverno. Os índices mensais máximos ocorrem entre fevereiro e março.

Conforme a série histórica de 40 anos (1979-2019) fornecida pela FUNCEME (2020), Juazeiro do Norte apresenta uma precipitação média anual de 979 mm, com picos nos meses de janeiro a abril. Sendo nesse intervalo, o período de maior destaque para eventos de alagamento registrados na cidade. Em maio cai a maioria da precipitação, com uma média de 57.5 mm e setembro, mês mais seco, com 3 mm, ficando em menor evidência o fenômeno em questão.

A Figura 12 representa o gráfico de distribuição mensal de precipitações (mm) incidentes em Juazeiro do Norte.

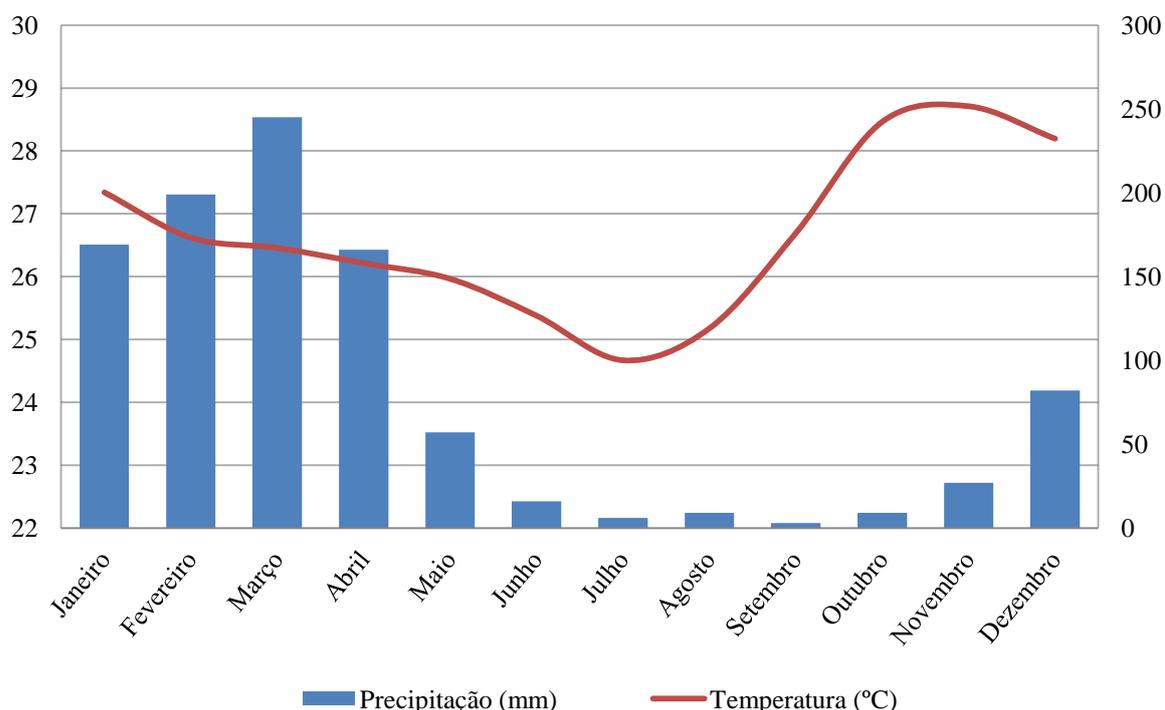
Figura 12: Precipitação Mensal em Juazeiro do Norte/CE (FUNCEME 1979-2019).



Fonte: Autor (2020).

Segundo a série histórica de 20 anos (1999-2019) fornecida pelo INMET (2020), Juazeiro do Norte atinge uma temperatura média anual de 26.7 °C, com 28.7 °C de temperatura média do mês de novembro, o mês mais quente do ano e 24.7 °C a temperatura média mais baixa de todo o ano, no caso, o mês de julho. A Figura 13 destaca bem a distribuição desses valores.

Figura 13: Temperatura média com Precipitação Mensal em Juazeiro do Norte/CE (INMET 1999-2019).



Fonte: Autor (2020).

Comparando o mês mais seco ao mês mais chuvoso existe uma diferença de 242 mm de precipitação. Vale destacar que o mês mais frio do ano (julho) apresenta uma das mais baixas precipitações. Isso tudo reflete a marcante irregularidade das chuvas no município durante o ano.

### 3.1.3 Solo

Dentre as diversas características e comportamentos que um solo pode apresentar, destacam-se aqui a capacidade de infiltração (permeabilidade), profundidade, textura e granulometria. Dependendo da combinação desses fatores, as águas pluviais apresentarão maior tendência à infiltração ou ao escoamento quanto entrar em contato com determinada classe de solo.

A Funceme (2012) aponta como principais solos na Mesorregião Sul Cearense, os Latossolos, Argissolos, Neossolos Litólicos, Neossolos Flúvicos, Neossolos Quartzarênicos, Vertissolos, Luviosolos, Nitossolos e Planossolos. Especificamente, na área delimitada para este estudo, estão presentes as classes de solos os Latossolos Vermelho-Amarelos (LVA1), Argissolos Vermelho-Amarelos (PVA5 e PVA7), Neossolos Flúvicos (RY3), Neossolos Litólicos (RL5, RL17 e RL25) e Neossolos Quartzarênicos (RQ1).

Na Tabela 4 são descritas as características de cada solo, segundo a potencialidade de infiltração ou retenção de água de cada uma. Essas informações foram extraídas do Levantamento de Intensidade de Solos do Ceará elaborado pela Funceme (2012) e Embrapa (2006).

Tabela 4: Classe de Solos do Município de Juazeiro do Norte e suas Características.

| <b>Classes</b>               | <b>Características</b>   |
|------------------------------|--|
| Latossolos Vermelho Amarelos | Podem ser excessivamente drenados, fortemente drenados e acentuadamente drenados, com alta permeabilidade de água. Ocorrem em topografia plana a suavemente ondulada (Embrapa 2006). Por serem profundos e porosos ou muito porosos, apresentam condições adequadas para um bom desenvolvimento radicular em profundidade, sendo ampliadas estas condições em solos eutróficos.  |
| Argissolos Vermelho Amarelos | Apresentam baixa média de permeabilidade (Salomão & Antunes, 1998 apud Batista, 2014), com textura e profundidades variáveis e ocorrem em relevo ondulado ou fortemente ondulado (Embrapa 2006). As principais restrições são relacionadas à fertilidade, em alguns casos, e susceptibilidade à erosão.  |
| Neossolos Flúvicos           | Solos rudimentares, pouco evoluídos, não hidromórficos, formados em sedimentos aluvionares ou lacustres recentes, apresentando apenas o horizonte A. Situam-se em planícies aluvionares. O relevo é aplainado. Em média predominam os solos profundos, elemento limitante a presença do lençol freático (Sartori, 2005).<br>De acorco (DNPM, 1996; LIMA e BARRETO, 2012), estes solos apresentam risco de inundações nos períodos chuvosos.  |
| Neossolos Litólicos          | São solos rasos, com espessura inferior a 50 cm. Entretanto, com substrato diabásio ocorrem em relevo forte ondulado ou montanhoso e são muito suscetíveis à erosão. O contato lítico próximo à superfície proporciona um grande potencial para o escoamento superficial (Sartori, 2005).  |
| Neossolos Quartzarênicos     | Apresentam sequência de horizontes A-C, sem caráter litóide dentro de 50 cm de profundidade, de textura areno-quartzosa, são profundos e com alta permeabilidade, baixa compressibilidade e expansividade nula. Possuem variável suscetibilidade à erosão, em função da declividade, sendo baixa em planícies e alta em colinas e morrotes. Pequenas concentrações de águas pluviais e/ou servidas podem provocar grandes ravinas e, quando interceptado o lençol freático, voçorocas (Sartori, 2005). |

Fonte: Adaptado de Embrapa (2006).

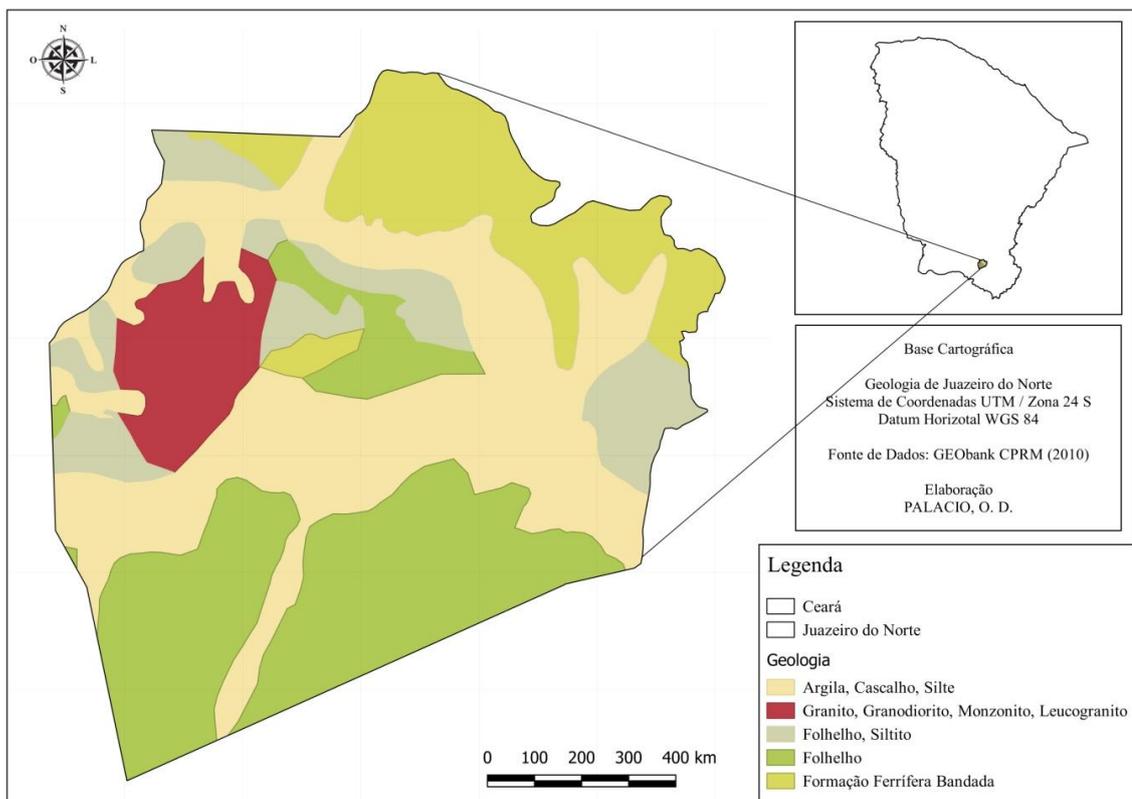
### 3.1.4 Geologia

Levando em consideração às sequências evolutivas da bacia do Araripe, Assine (2007) atribui à área do município às sequências Paleozóico (Formação Cariri, arenitos imaturos, de granulação média a muito grossa, com grãos angulares a subangulares, interpretados como fácies de sistemas fluviais entrelaçados), Pré-rifte (Formação Brejo Santo, Folhelhos e Lamitos vermelhos, e Formação Missão Velha, Arenitos Quartzosos, por vezes Feldspáticos e/ou Caolínicos, localmente conglomerado) e Rifte (Formação Abaiara, Folhelhos Silticos e Siltitos vermelhos).

Pode-se ainda evidenciar a presença de depósitos aluvionares ao longo das drenagens do rio Salgadinho e riacho das Timbaúbas, que formam os Neossolos Flúvicos presentes. Cobertura sedimentar do Cenozóico: sedimentos argilo-arenosos e areno-argilosos, alaranjados, avermelhados e amarelados, em certos locais, cascalhosos e laterizados, que se relacionam com os Argissolos eutróficos, presente na maior parte do seu território. Na Colina do Horto há a presença de rochas granitóides do pré-cambriano formadas principalmente por quartzo, mica e feldspato, coberto predominantemente pelos Neossolos Litólicos (CPRM, 2007; EMBRAPA, 2011).

A Figura 14 representa bem a geologia da área de estudo.

Figura 14: Mapa Geológico de Juazeiro do Norte-CE.



Fonte: Autor (2020).

### 3.1.5 Geomorfologia

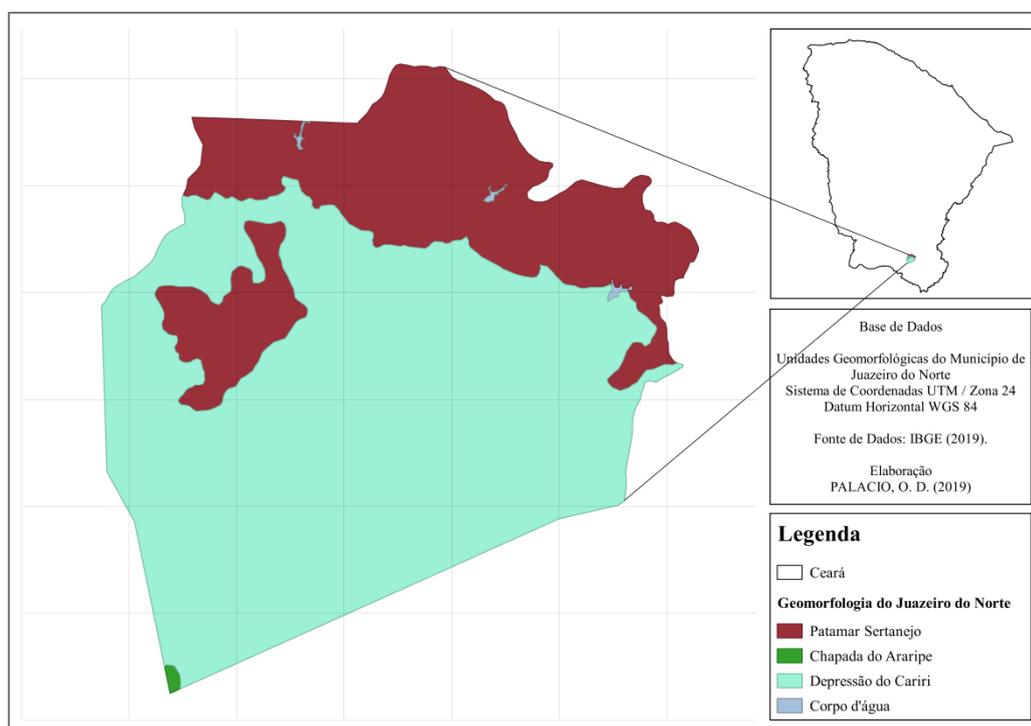
O município de Juazeiro do Norte está localizado sobre a bacia sedimentar do Araripe. Esta corresponde a uma das morfoestruturais mais complexas dentre as formações fanerozóicas do interior do Nordeste brasileiro, associado ao rifteamento da Gondwana e à abertura do Atlântico sul. A bacia do Araripe se formou sobre a Província Borborema, um intenso sistema de dobramento e falhas, gerados a partir de um dos principais eventos tectônicos, a Orogênese Brasileira (SALES; PEULVAST, 2007).

Conforme o projeto RADAMBRASIL (1981), Juazeiro do Norte está inserido no Planalto Sertanejo, caracterizado por formas tabulares, relevo de topo plano, separados por vales de fundo plano; e na porção noroeste do município, por relevos de topo convexos, com diferentes ordens de grandezas e de aprofundamento de drenagem, separados por vales em “V”.

Mont’Alverne (1996) aponta que o domínio do município contempla uma topografia, com altitude média em torno de 400 metros, caracterizada por morros alongados entremeados por vales amplos de fundo plano.

Em geral, a geomorfologia de Juazeiro do Norte (Figura 15) apresenta nível topográfico de alta à média declividade, propícia a uma drenagem natural. Oliveira (2008) afirma que, embora o município contenha essas condições topográficas favoráveis para o escoamento das águas pluviais, há a contaminação e obstrução da drenagem natural em decorrência da urbanização e ocupação dessas áreas, trazendo grandes transtornos para a população, acumulando água e lixo pelas ruas, elevando o caos principalmente em períodos de romarias.

Figura 15: Mapa Geomorfológico de Juazeiro do Norte-CE.



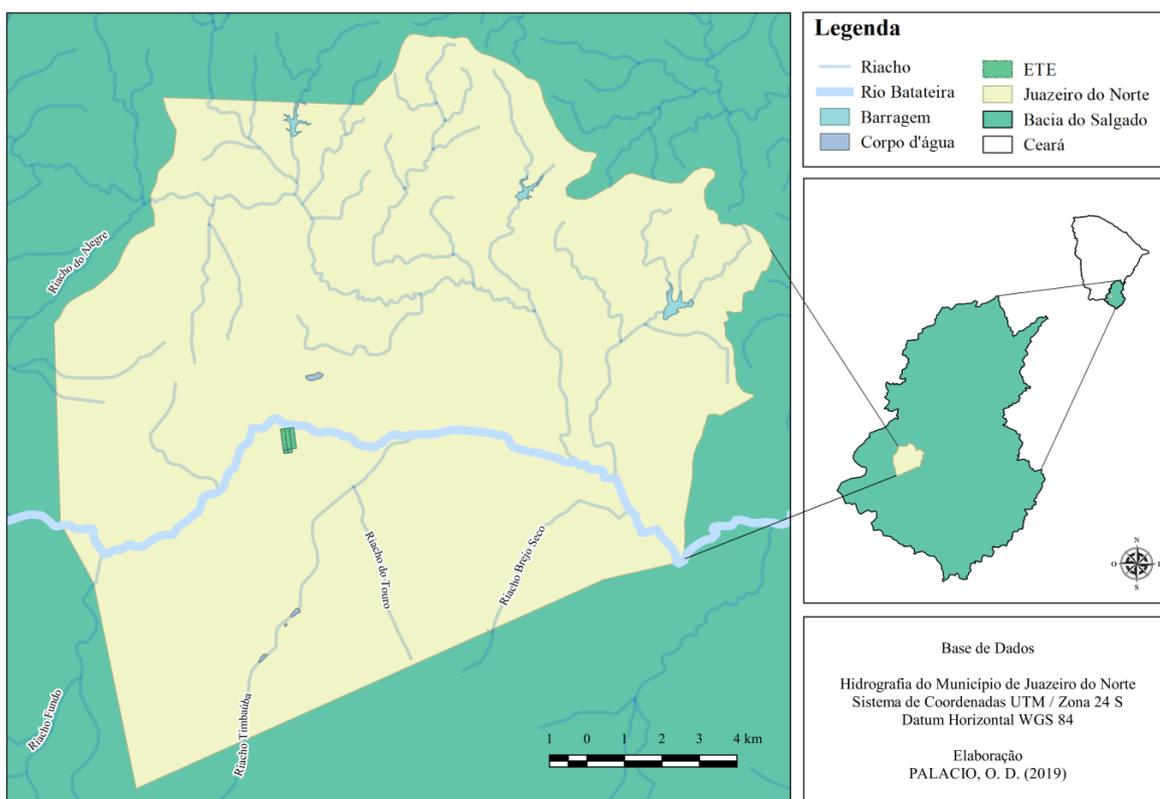
Fonte: Autor (2020).

### 3.1.6 Hidrografia

O município está totalmente inserido na bacia hidrográfica do Salgado, onde se encontra como principais drenagens o rio Carás e os riachos Macacos e Batateira e como principal reservatório o açude Riacho dos Carneiros, com capacidade igual a 37.180.000 m<sup>3</sup> (GOMES, 2002).

O mapa da Figura 16 representa as características hidrológicas do município.

Figura 16: Mapa Hidrológico de Juazeiro do Norte-CE.



Fonte: Autor (2020).

Também conta como principais drenagens naturais neste espaço, o rio Salgadinho e o riacho das Timbaúbas, afluente presente na malha urbana. O rio Salgadinho faz parte da sub-bacia hidrográfica do rio Salgado e atravessa a parte norte do meio urbano, no sentido W – E. Este se forma da confluência dos Rios Batateiras e Grangeiro, na cidade de Crato, recebendo ainda, fluxo dos rios Saco Lobo e Salamanca. O leito do Salgadinho apresenta-se assoreado, com talvegue raso, e por vezes com fluxo efêmero. Os interflúvios são de baixa declividade, tendo a sua vertente ao sul crescente ocupação domiciliar, comercial e industrial.

A drenagem do riacho das Timbaúbas atravessa um ambiente totalmente urbanizado, no sentido S – N de Juazeiro do Norte. Nesta área se forma uma várzea, tendo no vale um fluxo difuso e disperso, concentrando-se a jusante quando se conflui com o Salgadinho, na

porção norte do sítio urbano. Seu leito é muito favorável a enchentes, mantendo, mesmo em época de estiagem, os solos úmidos, garantindo instabilidade às ocupações. Suas vertentes são totalmente ocupadas por oito bairros (Fátima, Pio XII, Franciscanos, Timbaúbas, Limoeiro, José Geraldo da Cruz, João Cabral e Lagoa Seca).

O padrão destas construções acompanha o restante da maior parte da cidade, com casas ligadas entre si, com a maior parte das ruas com pavimentação asfáltica. Este tipo de cobertura no solo, aumenta o escoamento superficial (run off), tanto pelas casas, que escoam a água da chuva pelas calhas nos telhados, quanto pelo solo asfaltado, que aumenta a velocidade e poder destrutivo do escoamento. O resultado deste processo são erosões próximas ao leito do rio, recebendo todo o fluxo e detrito das encostas. As casas mais próximas a estas áreas muitas vezes têm a sua estrutura condenada tanto pela erosão, quanto pelo alagamento e inundação.

### **3.2 Tipologia da Pesquisa**

O presente estudo foi desenvolvido através do método Hipotético-Dedutivo, em que combinam as declarações e teste de hipóteses, a partir da observação, do levantamento, da antecipação, da intuição e de testes de hipóteses científicas (GIL, 2008). A observação parte sobre o fenômeno de alagamento no município de Juazeiro do Norte, que intui a sua ocorrência em consequência das variáveis físicas, sociais e ambientais da área de estudo.

Para alcançar os objetivos específicos do estudo foram utilizados os métodos observacionais, notando a influência de multicritérios sobre os eventos de alagamento; comparativo, que buscou identificar as semelhanças e diferenças entre os pontos de alagamento identificados pelo mapa de suscetibilidade e a validação em campo e estatístico, que envolveu a modelagem estatística da incerteza aleatória subjacentes aos objetos de estudo.

A pesquisa foi aplicada, já que tem como característica fundamental o interesse na aplicação, utilização e consequências práticas dos conhecimentos. O seu nível de pesquisa foi exploratório e descritivo, envolvendo revisões bibliográficas, pesquisa documental, pesquisa de campo, análise qualitativa e análise estatística de variáveis, em que se compromete descrever as características do fenômeno de alagamento no município de Juazeiro do Norte e estabelece relações entre variáveis pertinentes.

O trabalho foi baseado no modelo clássico de pesquisa, que procura a máxima objetividade e neutralidade do pesquisador em relação aos objetos de estudo, detendo-se apenas aos fatos observáveis.

A pesquisa percorre bibliografias como, livros, dissertações e artigos, tangenciando trabalhos de Vojtek *et al.* (2019), Soares Neto *et al.* (2017), Leite (2016), Araújo (2013), Cajazeiro (2012), Campana (2001). A pesquisa documental trata-se de noticiários eletrônicos, reportagens de jornal e documentos públicos. É realizado também o levantamento em campo de coordenadas e fotografias. E finalmente a pesquisa de estudo de caso, que busca investigar profundamente o município de Juazeiro do Norte, Ceará, de maneira a permitir conhecimento amplo e detalhado do mesmo.

### 3.3 Etapas do Estudo

A metodologia utilizada trata-se da classificação espacial de variáveis, pertinentes ao fenômeno estudado, através do algoritmo média ponderada.

O algoritmo classificador (média ponderada) foi aplicado a uma estrutura de matrizes, onde o somatório dos pesos dos planos de informações (variáveis) é expresso no intervalo de 0 a 1, significando a unidade.

Para que as variáveis sejam comparáveis, elas foram reclassificadas em cinco classes (5 - muito alta, 4 - alta, 3 - moderada, 2 - baixa e 1 - muito baixa) com base no seu potencial de contribuição ao evento.

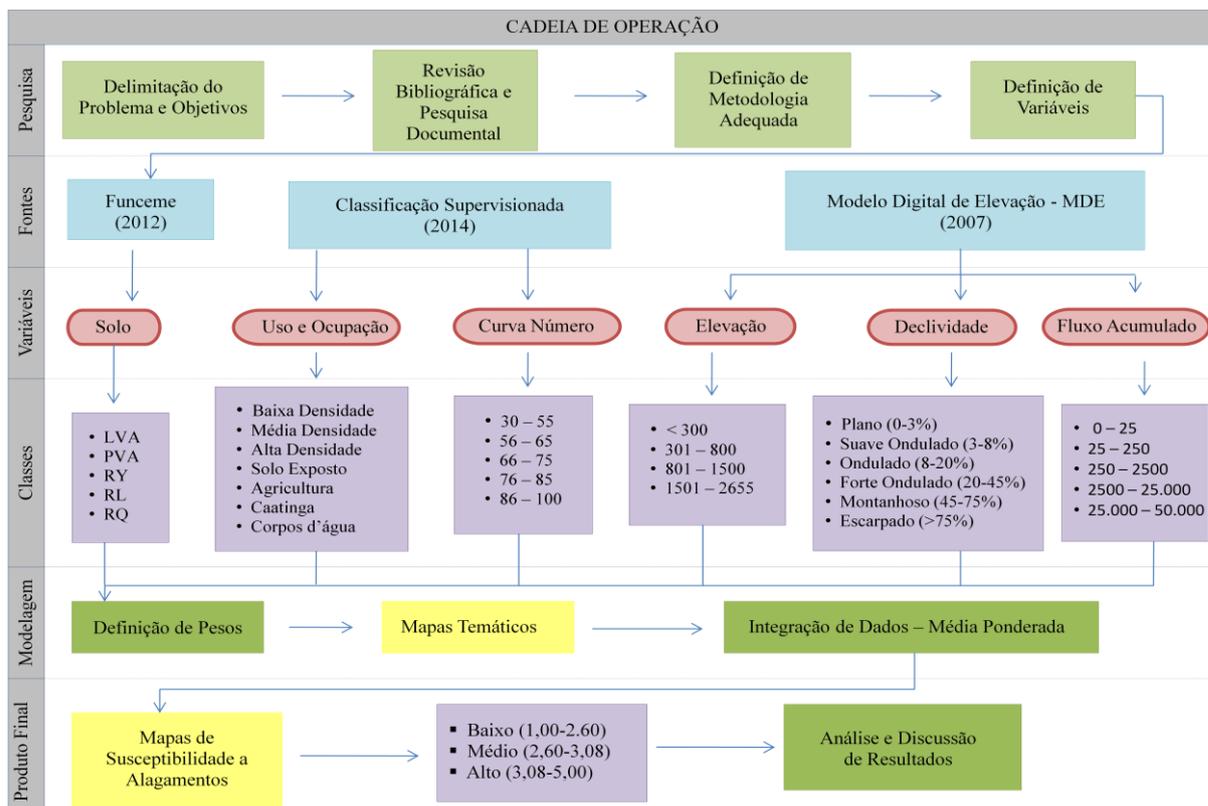
Esse potencial foi avaliado e atribuído peso de forma empírica. Para numerar esses valores foi considerada sua influência no evento estimado, de acordo com o menor ou maior grau de contribuição da classe ao processo de alagamento de áreas.

Assim, foram elaborados mapas temáticos de cada variável condicionante ao alagamento e integrados por meio do algoritmo, permitindo, de tal modo, a análise e discussão dos resultados obtidos.

Tanto a integração dos dados quanto os processamentos anteriores foram realizados utilizando o pacote de ferramentas do QGIS 2.18 *Las Palmas* e extensões associadas.

Para atender um adequado desempenho na realização do trabalho foi estruturado um fluxograma de procedimentos (Figura 17) ordenados na busca da concretização dos objetivos estabelecidos. No fluxograma são destacadas as variáveis que serão descritas posteriormente e seus respectivos pesos.

Figura 17: Fluxograma da Cadeia de Operação para a Execução do Trabalho.



Fonte: Autor (2020).

### 3.3.1 Classificação das Variáveis

No mapeamento de susceptibilidade houve a entrada de vários dados de diferentes fontes em SIG. Para tanto, foi construída uma base de dados através de levantamentos quantitativos e qualitativos, no que diz respeito à produção de mapas temáticos das variáveis condicionantes para o alagamento.

Foram selecionadas seis variáveis condicionantes, sendo elas: fluxo acumulado de água, elevação, declividade, solo, curva número e uso e ocupação do solo. Variáveis estas, que consideram as características hidrológicas, morfométricas e de permeabilidade do município. Esses componentes ambientais são intrínsecos aos processos de alagamento.

Essas variáveis foram fundamentadas nos trabalhos de Vojtek *et al.* (2019) e Soares Neto *et al.* (2017). Ambos os autores destacaram variáveis ligadas a hidrografia, hidrologia, morfometria e permeabilidade, destinando pesos de maior e menor grau de contribuição.

Dessa forma foi inferido valores em função da importância que cada autor descrito adotou como fator preponderante a eventos de alagamento, mesclando a realidade de Juazeiro do Norte, Ceará.

A Tabela 5 esmiúça as variáveis com seus pesos relativos ao fenômeno, variando entre 0 a 1 e suas classes variando de peso entre 1 a 5.

Tabela 5: Variáveis, Classes, Pesos das classes, Pesos das variáveis.

| Variáveis            | Classes                    | Peso das Classes | Peso das Variáveis |
|----------------------|----------------------------|------------------|--------------------|
| Solo                 | Neossolo Quartzarenico     | 1                | 0,05               |
|                      | Latosolo Vermelho Amarelo  | 2                |                    |
|                      | Argissolo Vermelho Amarelo | 3                |                    |
|                      | Neossolo Litólico          | 4                |                    |
|                      | Neossolo Flúvico           | 5                |                    |
| Uso e Ocupação       | Mata Ciliar                | 1                | 0,2                |
|                      | Caatinga Densa             | 1                |                    |
|                      | Caatinga Rala              | 2                |                    |
|                      | Solo Exposto               | 3                |                    |
|                      | Área Urbana                | 4                |                    |
|                      | Área Asfáltica             | 5                |                    |
| Curva de Número (CN) | 30 – 55                    | 1                | 0,15               |
|                      | 56 – 65                    | 2                |                    |
|                      | 66 – 75                    | 3                |                    |
|                      | 76 – 85                    | 4                |                    |
|                      | 86 – 100                   | 5                |                    |

|                               |                           |   |     |
|-------------------------------|---------------------------|---|-----|
| Elevação                      | < 300                     | 5 | 0,1 |
|                               | 301 – 800                 | 4 |     |
|                               | 801 – 1500                | 3 |     |
|                               | 1501 – 2566               | 2 |     |
| Declividade                   | Plano (0 – 3%)            | 5 | 0,3 |
|                               | Suave Ondulado (3 – 8%)   | 4 |     |
|                               | Ondulado (8 – 20%)        | 3 |     |
|                               | Forte Ondulado (20 – 45%) | 2 |     |
|                               | Montanhoso (45 – 75%)     | 1 |     |
| Fluxo<br>Acumulado de<br>Água | 0 – 25                    | 1 | 0,2 |
|                               | 25 – 250                  | 2 |     |
|                               | 250 – 2500                | 3 |     |
|                               | 2500 – 25.000             | 4 |     |
|                               | 25.000 – 50.000           | 5 |     |

Fonte: Autor (2020).

A análise espacial dos dados foi trabalhada em raster, cuja as variáveis vetoriais condicionantes foram convertidas para um formato *raster* com tamanho da célula de 5 x 5 m. Todas as variáveis foram processadas no software QGIS 2.18 *Las Palmas* usando o sistema de coordenadas UTM Zona 24 Sul e o sistema de referência WGS 84.

Nos subtópicos à seguir descreve-se a coleta e processamento de cada variável condicionante ao alagamento.

### 3.3.2 Variáveis Condicionantes

#### 3.3.2.1 Solo

Considerando as características físicas genéricas de cada classe de solo, encontrada na bibliografia consultada, foram avaliados como preponderante ao alagamento os fatores de maior importância para a velocidade de infiltração de águas. Dependendo da combinação desses fatores, as águas pluviais apresentarão maior tendência à infiltração ou ao escoamento quanto entrar em contato com determinada classe de solo.

Para identificar os tipos de solos característicos de Juazeiro do Norte foi extraída da FUNCEME (2012) a base de dados referente ao tema pedologia e gerado o mapa de solos do município.

A tabela 8 contempla as classes de solos e os valores dos pesos atribuídos para cada classe peculiar à localidade. Nessa variável foi adotado um grau de influência de 5%.

#### 3.3.2.2 Uso e Ocupação

A base de dados do uso e ocupação do solo foi atingida pela Classificação Supervisionada, com a ferramenta Semi-Atomic Classification do software QGIS 2.18 *Las Palmas*. A imagem foi obtida no ano de 2014 entre os meses de maio e junho, do satélite *Rapideye*, com resolução espacial de 5 m, produto compatível com a escala de 1:25.000.

Segundo a classificação adotada, a área de estudo foi dividida nas principais categorias de uso e ocupação que ocorrem no local. O peso dado a cada uma delas foi baseado no nível de impermeabilização e na propensão ao escoamento das águas pluviais. Nessa variável foi adotado um grau de influência de 20%.

### 3.3.2.3 Curva Número

Os valores de Curva Número (CN) calculados para o município foram detectadas através do Método Curva Número NRCS (1997), desenvolvido pelo Soil Conservation Service – USDA. Esse método se utiliza de informações relativas à chuva e ao complexo hidrológico solo-vegetação definido pelo SCS-USDA.

Esse parâmetro (variável) depende de fatores de solo, condições de uso e ocupação, umidade antecedente e do grupo hidrológico do solo.

Para isso, foi avaliada a situação atual de uso e de impermeabilização do solo através dos dados disponíveis na imagem de uso e ocupação desenvolvida. Perante as características encontradas na área de estudo, o conjunto de valores foi fixado baseada na Tabela 6 e reclassificado em cinco classes de acordo com o potencial de escoamento da CN.

Tabela 6: Valores de CN para Bacias Urbanas e Suburbanas.

| Utilização ou Cobertura do Solo  |   | Grupo de Solos      |    |    |    |    |
|--|---|---------------------|----|----|----|----|
|  |   | A                   | B  | C  | D  |    |
| Zonas cultivadas: sem conservação do solo  |   | 72                  | 81 | 88 | 91 |    |
| Zonas cultivadas: com conservação do solo  |   | 62                  | 71 | 78 | 81 |    |
| Pastagens ou terrenos em más condições   |   | 68                  | 79 | 86 | 89 |    |
| Baldios em boas condições  |   | 39                  | 61 | 74 | 80 |    |
| Prado em boas condições  |   | 30                  | 58 | 71 | 78 |    |
| Bosques ou zonas com cobertura ruim  |   | 45                  | 66 | 77 | 83 |    |
| Floresta: cobertura boa  |   | 25                  | 55 | 70 | 77 |    |
| Espaços abertos, relvados, parques, campos de golfe, cemitérios, boas condições. | Com relva em mais de 75% da área            | 39                  | 61 | 74 | 80 |    |
|  | Com relva de 50% a 75% da área              | 49                  | 69 | 79 | 84 |    |
| Zonas comerciais e de escritórios  |   | 89                  | 92 | 94 | 95 |    |
| Zonas industriais  |   | 81                  | 88 | 91 | 93 |    |
| Zonas residenciais   | Lotes de (m <sup>2</sup> )                  | % média impermeável |    |    |    |    |
|  | <500  | 65                  | 77 | 85 | 90 | 92 |
|  | 1000  | 38                  | 61 | 75 | 83 | 87 |
|  | 1300  | 30                  | 57 | 72 | 81 | 86 |
|  | 2000  | 25                  | 54 | 70 | 80 | 85 |
|  | 4000  | 20                  | 51 | 68 | 79 | 84 |
| Parques de estacionamentos, telhados, viadutos, etc.                             |   | 98                  | 98 | 98 | 98 |    |
| Arruamentos e estradas   | Asfaltadas e com drenagem de águas pluviais | 98                  | 98 | 98 | 98 |    |
|  | Paralelepípedos                             | 76                  | 85 | 89 | 91 |    |
|  | Terra                                       | 72                  | 82 | 87 | 89 |    |

Fonte: (Tucci et al, 1993).

Para ser possível a identificação dos grupos hidrológicos presentes em Juazeiro do Norte houve um comparativo dos solos que compõe a localidade com a Tabela 7, apontando os grupos hidrológicos que cada solo se encaixava e determinando por fim as classes de CN.

Tabela 7: Classificação hidrológica do Solo para as condições brasileiras.

---

| <b>Grupo Hidrológico A</b>   |
|--|
| <ul style="list-style-type: none"><li>✓ Solos muito profundos (prof. &gt; 200 cm) ou profundos (100 a 200 cm);</li><li>✓ Solos com alta taxa de infiltração e com alto grau de resistência e tolerância à erosão;</li><li>✓ Solos porosos com baixo gradiente textural (&lt; 1,20);</li><li>✓ Solos de textura média; , Solos de textura argilosa ou muito argilosa desde que a estrutura proporcione alta macroporosidade em todo o perfil;</li><li>✓ Solos bem drenados ou excessivamente drenados;</li><li>✓ Solos com argila de atividade baixa (Tb), minerais de argila 1:1;</li><li>✓ A textura dos horizontes superficial e subsuperficial pode ser: média/média, argilosa/argilosa e muito argilosa/muito argilosa.</li></ul>                            |
| <p><b>Enquadra-se neste grupo o:</b></p> <p>LATOSSOLO AMARELO, LATOSSOLO VERMELHO AMARELO, LATOSSOLO VERMELHO, ambos de textura argilosa ou muito argilosa e com alta macroporosidade; LATOSSOLO AMARELO E LATOSSOLO VERMELHO AMARELO, ambos de textura média, mas com horizonte superficial não arenoso.</p>  |
| <b>Grupo Hidrológico B</b>   |
| <ul style="list-style-type: none"><li>✓ Solos profundos (100 a 200 cm);</li><li>✓ Solos com moderada taxa de infiltração, mas com moderada resistência e tolerância a erosão;</li><li>✓ Solos porosos com gradiente textural variando entre 1,20 e 1,50;</li><li>✓ Solos de textura arenosa ao longo do perfil ou de textura média com horizonte superficial arenoso;</li><li>✓ Solos de textura argilosa ou muito argilosa desde que a estrutura proporcione boa macroporosidade em todo o perfil;</li><li>✓ Solos com argila de atividade baixa (Tb), minerais de argila 1:1;</li><li>✓ A textura dos horizontes superficial e subsuperficial pode ser: arenosa/arenosa, arenosa/média, média/argilosa, argilosa/argilosa e argilosa/muito argilosa.</li></ul> |
| <p><b>Enquadra-se neste grupo o:</b></p> <p>LATOSSOLO AMARELO e LATOSSOLO VERMELHO AMARELO, ambos de textura média, mas com horizonte superficial de textura arenosa; LATOSSOLO BRUNO; NITOSSOLO VERMELHO; NEOSSOLO QUARTZARÊNICO; ARGISSOLO VERMELHO ou VERMELHO AMA-RELO de textura arenosa/média, média/argilosa, argilosa/argilosa ou argilosa/muito argilosa que não apresentam mudança textural abrupta.</p>   |
| <b>Grupo Hidrológico C</b>   |
| <ul style="list-style-type: none"><li>✓ Solos profundos (100 a 200 cm) ou pouco profundos (50 a 100 cm);</li><li>✓ Solos com baixa taxa de infiltração e baixa resistência e tolerância à erosão;</li><li>✓ São solos com gradiente textural maior que 1,50 e comumente apresentam mudança textural abrupta; , Solos associados a argila de atividade baixa (Tb);</li><li>✓ A textura nos horizontes superficial e subsuperficial pode ser: arenosa/média e média/argilosa apresentando mudança textural abrupta; arenosa/argilosa e arenosa/muito argilosa.</li></ul>   |
| <p><b>Enquadra-se neste grupo o:</b></p> <p>ARGISSOLO pouco profundo, mas não apresentando mudança textural abrupta ou ARGISSOLO VERMELHO, ARGISSOLO VERMELHO AMARELO e ARGISSOLO AMARELO, ambos</p>   |

---

---

profundos e apresentando mudança textural abrupta; CAMBISSOLO de textura média e CAMBISSOLO HÁPLICO ou HÚMICO, mas com características físicas semelhantes aos LATOSSOLOS (latossólico); ESPODOSSOLO FERROCÁRBICO; NEOSSOLO FLÚVICO.

---

#### ***Grupo Hidrológico D***

---

- ✓ Solos com taxa de infiltração muito baixa oferecendo pouquíssima resistência e tolerância a erosão;
- ✓ Solos rasos (prof. < 50 cm);
- ✓ Solos pouco profundos associados à mudança textural abrupta ou solos profundos apresentando mudança textural abrupta aliada à argila de alta atividade (Ta), minerais de argila 2:1;
- ✓ Solos argilosos associados à argila de atividade alta (Ta);
- ✓ Solos orgânicos.

#### ***Enquadra-se neste grupo o:***

NEOSSOLO LITÓLICO; ORGANOSSOLO; GLEISSOLO; CHERNOSSOLO; PLANOSSOLO; VERTISSOLO; ALISSOLO; LUVISSOLO; PLINTOSSOLO; SOLOS DE MANGUE; AFLORAMENTOS DE ROCHA; Demais CAMBISSOLOS que não se enquadram no Grupo C; ARGISSOLO VERMELHO AMARELO e ARGISSOLO AMARELO, ambos pouco profundos e associados à mudança textural abrupta.

---

Fonte: Sartori (2004).

A tabela 8 contempla as classes de curva número e os valores dos pesos atribuídos para cada classe gerada. Nessa variável foi adotado um grau de influência de 15%.

#### 3.3.2.4 Elevação

Os dados de elevação foram extraídos a partir do MDE (Modelo de Elevação) de Juazeiro do Norte. A imagem foi datada no ano de 2007, em que foi interpolada a partir de linhas de contorno e pontos de elevação. Os intervalos hipsométricos de 50 m foram reclassificados de acordo com o trabalho de Vojtek (2019).

Seus pesos foram definidos perante a influência inversa que a elevação proporciona ao alagamento, ou seja, a suscetibilidade ao alagamento aumenta com a diminuição significativa da elevação, já que elevações menores são mais susceptíveis ao alagamento.

A tabela 8 contempla as classes de elevação e os valores dos pesos atribuídos para cada classe peculiar à localidade. Nessa variável foi adotado um grau de influência de 10%.

#### 3.3.2.5 Declividade

Outra predisposição física significativa para o alagamento é a declividade. Tal dado foi derivado do Modelo Digital de Elevação do terreno de Juazeiro do Norte, datado em 2007, com resolução espacial de 30 m. Foram definidas as classes de declividade conforme o trabalho de Soares Neto *et al.* (2017), apresentadas na tabela 1.

Considerando a declividade como a variável de maior influência para o fenômeno estudado, aplicou-se um maior peso na integração dos dados.

A tabela 8 contempla as classes de declividade e os valores dos pesos atribuídos para cada classe peculiar à localidade. Nessa variável foi adotado um grau de influência de 30%.

### 3.3.2.6 Fluxo Acumulado de Água

Esse dado, assim como elevação e declividade, é derivado também do MDE de Juazeiro do Norte, datado de 2007 e derivado da varredura na direção de fluxo. Na varredura de acumulação de fluxo cada célula contém informações sobre o número de células que fluem para ela, o que significa que cada célula é também um perfil de descarga. Nesse sentido, um aumento na acumulação de fluxo deve refletir um aumento na susceptibilidade ao alagamento.

De acordo com o grau de fluxo acumulado, foram definidas suas classes, na qual os pesos adotados foram baseados pelo trabalho de Soares Neto *et al.* (2017), que varia o fluxo de mínimo a muito alto.

A tabela 8 contempla as classes de fluxo acumulado e os valores dos pesos atribuídos para cada classe peculiar à localidade. Nessa variável foi adotado um grau de influência de 20%.

### 3.3.3 Integração de Dados

A integração dos dados se deu através de sobreposição (combinação) das variáveis citadas e a aplicação do algoritmo de média ponderada, com vistas à identificação das áreas passíveis ao alagamento. As mesmas foram agregadas na sequência conforme a Figura 18.

Para isso, os principais passos foram identificar a significância de cada variável e seus pesos correspondentes. A importância relativa às variáveis selecionadas foi atribuída com base no conhecimento empírico e estudos bibliográficos. Essas variáveis variam de peso entre 5 (maior importância) a 1 (menor importância), como mostrou a Tabela 6. Além dos pesos atribuídos às variáveis, foi também atribuído peso às classes de cada variável, em que apresentam graus distintos de contribuição para o fenômeno estudado.

As diferentes combinações de pesos das variáveis foram testadas, a fim de encontrar a melhor coincidência com as áreas afetadas por alagamentos na cidade.

Figura 18: Sobreposição das variáveis condicionantes ao alagamento.



Fonte: Autor (2020).

### 3.3.4 Validação de Dados

Após a produção do Mapa de Suscetibilidade e a quantificação total de pontos de alagamento que atinge o município, foi feita uma validação desses dados, com visitas de campo nos pontos amostrais de alagamento.

As informações coletadas em campo foram incorporadas através de questionários (Apêndice A) aplicados a moradores que se encontravam próximos aos pontos amostrais.

Houve também, uma breve análise da estrutura do sistema de drenagem de Juazeiro do Norte, avaliando a integridade das bocas de lobo e a presença ou não de obstruções (Apêndice B), posto a sua influência ao evento em questão.

Na validação dos dados foram levantados:

- Coordenadas UTM;
- Documentação Fotográfica atualizada e vias de acesso;
- Diagnóstico de obstruções e danos à estrutura do dispositivo de drenagem; e
- Diagnóstico da presença de ligações clandestinas do sistema de esgotamento sanitário.

No subtópico, a seguir, descreve como se deu a amostragem dos dados para determinar a quantidade de questionários e de galerias pluviais avaliadas nas visitas em campo.

#### 3.3.4.1 Levantamento Amostral

##### 3.3.4.1.1 Amostragem estratificada proporcional por bairro

Esta pesquisa foi baseada na amostragem estratificada proporcional por bairro desenvolvida por FEITOSA *et al.* (2018). A amostragem estratificada caracteriza-se pela seleção de uma amostra de cada subgrupo da população considerada em estudo. A amostragem estratificada pode ser proporcional ou não proporcional. Nesse caso, seleciona-se de cada grupo uma amostra aleatória, sendo proporcional à extensão de cada subgrupo determinado por alguma propriedade tida como relevante (GIL, 2008).

Seguindo a Equação 1 (GIL, 2008) fixa o tamanho da amostra (número de domicílios da pesquisa) em questão.

$$n = \frac{N \times Z^2 \times p(1-p)}{Z^2 \times p(1-p) + (N-1)} \quad (1)$$

Onde:

n = Tamanho da amostra (número de domicílios da pesquisa);

N = Número total de domicílios na cidade de Juazeiro do Norte;

Z = Variável normal padronizada associada ao nível de confiança;

p = Porcentagem com a qual o fenômeno se verifica (probabilidade de ocorrência);

e<sup>2</sup> = Erro amostral

Dessa maneira, FEITOSA *et al.* (2018) determinou o número de domicílios da cidade de Juazeiro do Norte, através de dados levantados pela Secretaria de Gestão, setor de cadastro

imobiliário do município. Adotando um nível de confiança de 95%, de 109.044 domicílios em 2016, obteve-se uma amostra final de 360 domicílios.

Diante desses dados, foram aplicados nessa pesquisa, 360 questionários (APÊNDICE A) distribuídos nos 39 estratos dos bairros de Juazeiro do Norte, Ceará. A distribuição da quantidade de questionários aplicados nos bairros segue representada na Tabela 9.

Tabela 8: Número de domicílios na amostra.

| <b>Bairros</b>         | <b>Nº de Domicílios</b> | <b>Nº de Domicílio Amostral</b> |
|------------------------|-------------------------|---------------------------------|
| Distrito Industrial    | 67                      | 2                               |
| Vila Padre Cicero      | 96                      | 2                               |
| Pedrinhas              | 104                     | 2                               |
| Cidade Universitária   | 164                     | 2                               |
| Carité                 | 241                     | 2                               |
| Três Marias            | 271                     | 2                               |
| Mons. Francisco Murilo | 617                     | 3                               |
| Socorro                | 930                     | 3                               |
| Salgadinho             | 978                     | 3                               |
| Leandro Bezerra        | 1.089                   | 4                               |
| Romeiro Aureliano      | 1.169                   | 4                               |
| Horto                  | 1.374                   | 5                               |
| Fátima                 | 1.384                   | 5                               |
| Juvêncio Santana       | 1.411                   | 5                               |
| Campo Alegre           | 1.609                   | 5                               |
| Novo Juazeiro          | 2.001                   | 7                               |
| Romeirão               | 2.152                   | 7                               |
| Brejo Seco             | 2.336                   | 8                               |
| Planalto               | 2.489                   | 8                               |
| José Geraldo da Cruz   | 2.544                   | 8                               |
| Pio XII                | 2.653                   | 9                               |
| Antônio Vieira         | 2.882                   | 9                               |
| Santa Tereza           | 3.007                   | 10                              |
| Timbaúba               | 3.072                   | 10                              |
| Betolândia             | 3.098                   | 10                              |
| João Cabral            | 3.309                   | 11                              |
| Franciscanos           | 3.488                   | 11                              |
| Triângulo              | 3.652                   | 12                              |
| São Miguel             | 3.856                   | 12                              |
| Lagoa Seca             | 4.165                   | 13                              |
| Frei Damião            | 4.411                   | 14                              |
| Pirajá                 | 4.535                   | 14                              |
| Limoeiro               | 4.651                   | 14                              |
| Aeroporto              | 5.398                   | 17                              |

|                |                |            |
|----------------|----------------|------------|
| Jardim Gonzaga | 5.598          | 18         |
| Centro         | 5.961          | 19         |
| Tiradentes     | 6.222          | 20         |
| São José       | 6.940          | 22         |
| Salesianos     | 9.120          | 28         |
| <b>Total</b>   | <b>109.044</b> | <b>360</b> |

Fonte: Feitosa et al. (2018).

#### 3.3.4.1.2 Amostragem intencional

Outro tipo de amostragem trabalhada neste estudo foi a amostragem intencional, na qual foi aplicada diretamente sobre a população de galerias pluviais da área urbana de Juazeiro do Norte. De acordo Gil (2008) a amostragem intencional não é de caracter probabilístico. Ela consiste em selecionar um subgrupo da população que, com base nas informações disponíveis, possa ser considerado representativo a toda população, dessa forma, requer considerável conhecimento da população e do subgrupo selecionado.

Por meio de informações coletadas na Secretaria de Infraestrutura de Juazeiro do Norte (SEINFRA), foi contabilizado em 2014, 18 galerias pluviais instaladas na cidade. Usando esses valores, é feito uma amostragem intencional, sendo avaliadas 26 bocas de lobo, estudado conforme requisitos descritos no Apêndice B.

As bocas de lobo avaliadas pertencem ao bairro mais atingido, eventualmente, pelo evento hídrico em questão. A Figura 19 contempla a planta baixa da drenagem urbana realizada, com as respectivas galerias pluviais.



## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com os objetivos deste trabalho, que propôs a extração de dados referentes às variáveis e a sobreposição de suas informações, foi possível obter resultados através de geotecnologias, produzindo mapas temáticos e a integração dos mesmos, para identificar e analisar a susceptibilidade a alagamento em Juazeiro do Norte.

É abordada nos subtópicos, a seguir, a descrição de cada mapa temático resultante do levantamento e processamento dos dados, como proposto na metodologia apresentada.

### 4.1 Análise das Variáveis Condicionantes ao Alagamento

#### 4.1.1 Mapa de Solos

É sabido que, dependendo das classes de solo de um local, as água pluviais podem apresentar uma maior tendência à infiltração ou ao escoamento. Isso reflete muito do perfil de drenagem característico de um solo, que aumenta ou diminui a capacidade de infiltração ou escoamento da água quando entra em contato com seu substrato específico.

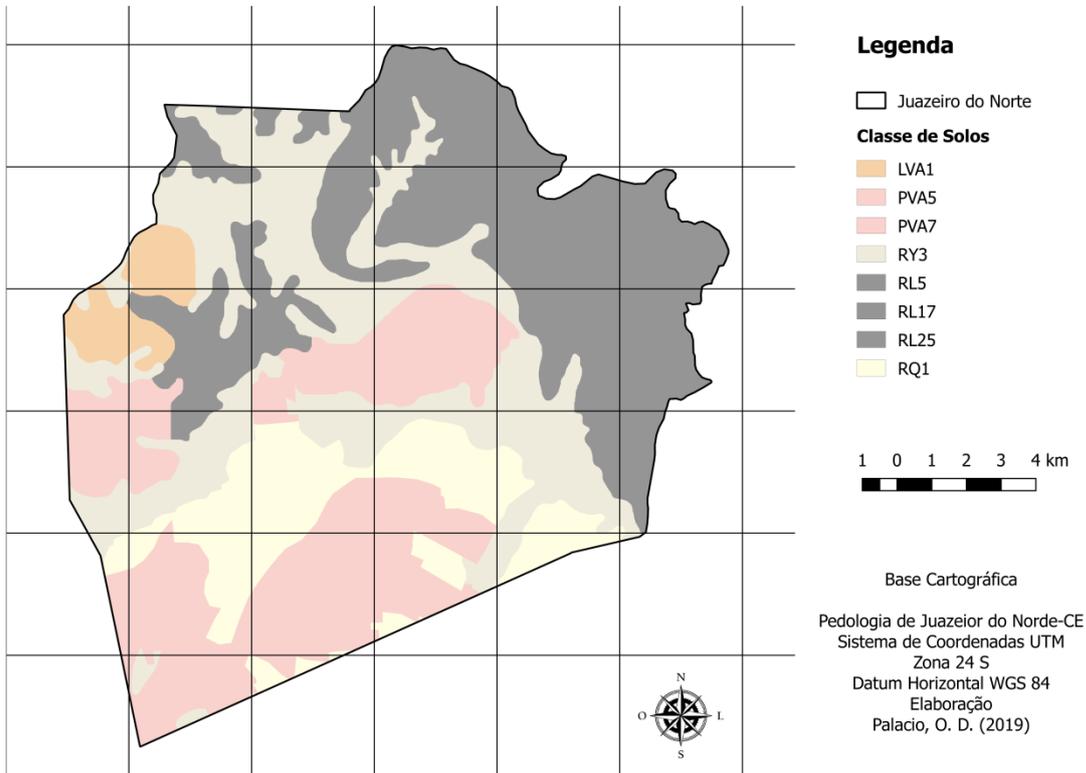
Desse modo, com a metodologia proposta, foi identificado, utilizando dados extraídos da FUNCEME (2012), quatro classes de solos em Juazeiro do Norte.

Conforme o mapa representado na Figura 20, a distribuição das classes no município se procede da seguinte forma; a área urbana tomada ao norte por Neossolos Quartizarênicos (peso 1), e ao sul por Argissolos Vermelho Amarelos (peso 3). Embora existam os Neossolos Quartizarênicos (NQ), que apresentam alta permeabilidade e bastantes tendenciosos a infiltração, há os Argissolos, tendenciosos ao escoamento superficial, que somado a pavimentação asfáltica são decisivos a eventos de alagamento em períodos chuvosos na cidade.

A área rural é tomada ao leste por Neossolos Litólicos (peso 4), a oeste por Neossolos Flúvicos (peso 5) e Latossolos Vermelho Amarelos (peso 2); e centro-oeste por Argissolos Vermelho Amarelos (peso 3). A área onde se concentra os Neossolos Litólicos (RL) e Neossolos Flúvicos (RY) apresentam várias acumulações de corpo hídrico, como o açude Riacho dos Carneiros, justificando seu grande potencial para o escoamento e risco de inundações em períodos chuvosos. Já na área que se concentram os Latossolos Vermelho Amarelos (LVA), são solos excessivamente drenados, com alta permeabilidade. Os Argissolos Vermelho Amarelos (PVA), na área mais central, são caracterizados como solos de baixa a média permeabilidade, na qual explica seu peso adotado no trabalho.

A Figura 20 exhibe as classes de solo presentes no município e a Tabela 6 contempla seus correspondentes níveis (pesos) de permeabilidade.

Figura 20: Classes de Solos de Juazeiro do Norte.



Fonte: Autor (2020).

#### 4.1.2 Mapa de Uso e Ocupação

Pelo método de Classificação Supervisionada, com a ferramenta Semi-Automatic Classification do software QGIS 2.18 *Las Palmas*, foi possível dividir o município de Juazeiro do Norte em sete classes principais de categoria de uso e ocupação, gerando o mapa da Figura 21. Vale ressaltar, que o peso dado a cada classe, foi baseado no nível de impermeabilização e na propensão ao escoamento das águas pluviais.

Dos resultados, temos a área urbana (peso 4) e pavimentada (peso 5) concentradas na parte sudoeste do mapa, cobrindo aproximadamente 18,4% da área total do município. Seus altos pesos se justificam pela elevada impermeabilização, sendo que a área urbana consta um peso a menos em decorrência da existência de áreas não impermeabilizadas, seja nas edificações ou em terrenos sem construção existentes.

Pela representação, o solo exposto (peso 3) encontra-se em maior destaque na parte central do município, cobrindo aproximadamente 1% da área total. Seu peso médio justifica-se pela falta de cobertura que potencializa o escoamento superficial e consequentemente eleva a suscetibilidade a alagamento. Nota-se também que a Caatinga Rala (peso 2) está distribuída na parte central do mapa, com maior abrangência que o solo exposto, cobrindo 14,3% da área total.

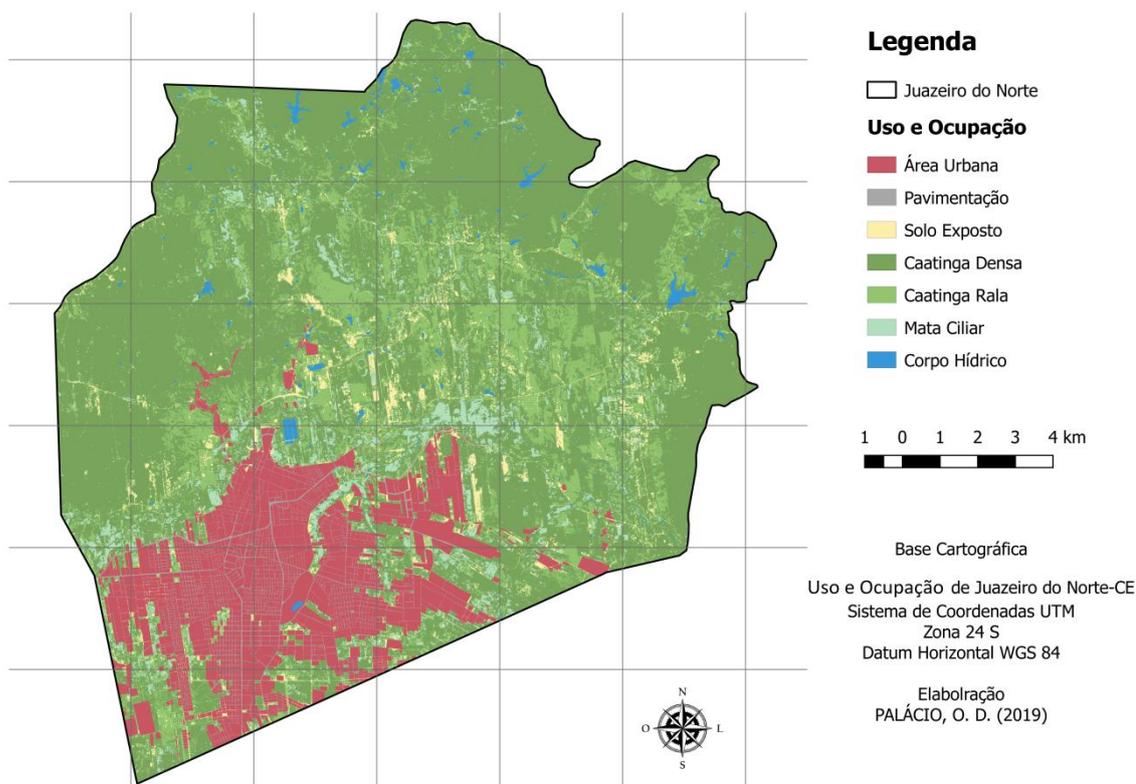
A classe correspondente à Caatinga Densa (peso 1) é a que possui maior abrangência, onde cobre 62% da área total. Já a Mata Ciliar (peso 1) cobre 3,3%, acompanhando o trajeto

dos cursos d'água existentes no município. O baixo peso de ambas as classes se justifica pela alta cobertura vegetal que proporciona baixíssimos níveis de impermeabilização da área ocupada.

A última cobertura gerada, a classe Corpo Hídrico (peso 5), cobre em sua grande parte a zona rural do município. Na zona urbana conta apenas com dois corpos hídricos, o rio Salgadinho e riacho das Timbaúbas.

Essa classe possui maior peso, visto que o nível de impermeabilização é um dos fatores de maior influência sobre o evento.

Figura 21: Classes do Uso e Ocupação de Juazeiro do Norte.



Fonte: Autor (2020).

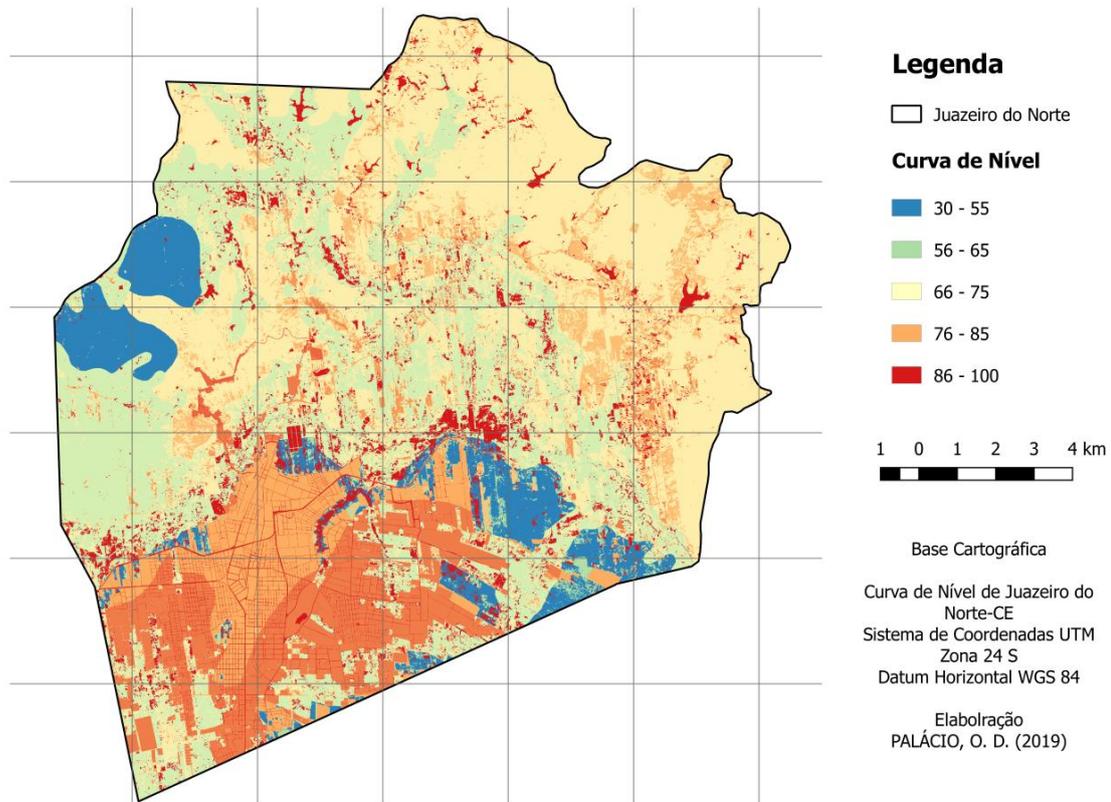
#### 4.1.3 Mapa de Curva Número

Sabendo as classes de solos característicos do município, os grupos hidrológicos que se encaixaram foram do Grupo A (LATOSSOLO VERMELHO AMARELO), Grupo B (NEOSSOLO QUARTZARÊNICO), Grupo C (ARGISSOLO VERMELHO AMARELO e NEOSSOLO FLÚVICO) e o Grupo D (NEOSSOLO LITÓLICO).

Dessa forma, o conjunto de valores foi fixado e reclassificado em cinco classes de acordo com o potencial de escoamento da CN.

A distribuição das cinco classes está contemplada na Figura 22.

Figura 22: Classes de Curva Número presentes em Juazeiro do Norte.



Fonte: Autor (2020).

Dos resultados obtidos, tem-se a área urbana atingida pelas maiores classes de Curva Número, com valores variando de 76 a 100, indicando altos índices de escoamento pluvial. Esse intervalo está similar aos valores indicados no trabalho de Fernandes *et al.* (2017), em que o CN varia de 70 a 95 para vazões máximas de escoamento em Juazeiro do Norte.

Os valores intermediários de CN variaram de 66 a 75, onde atingem mais ao leste do município. Já os valores mais baixos de CN, variaram de 30 a 65, atingindo a oeste do município e ao redor da área urbana.

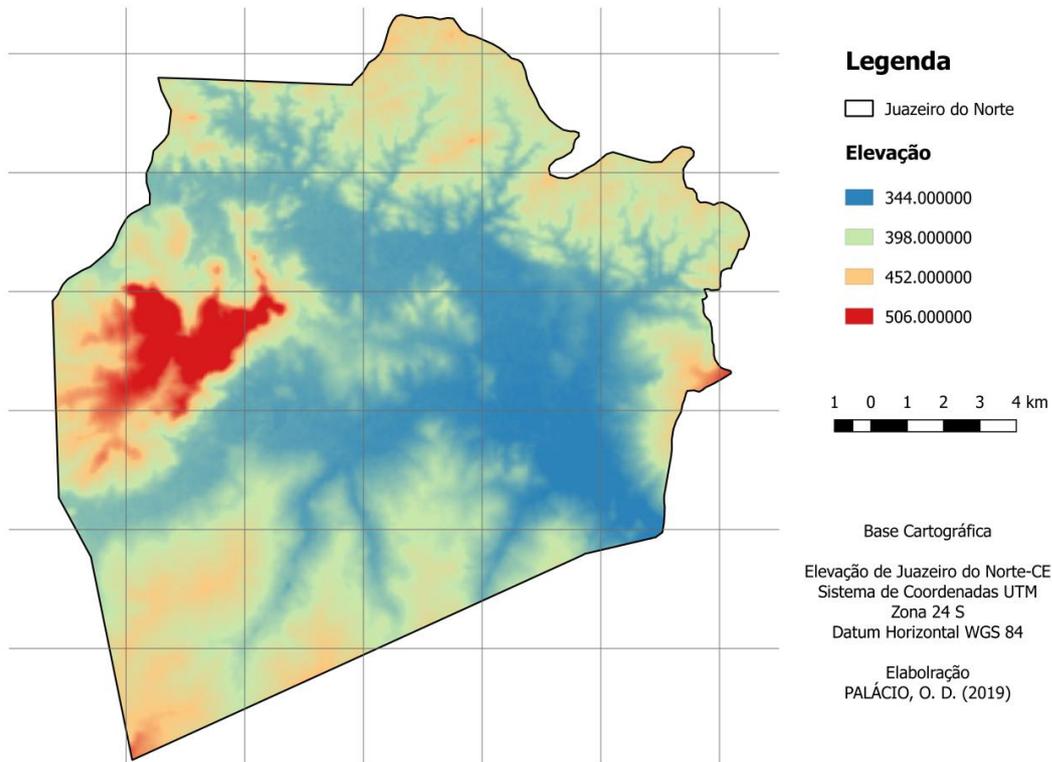
#### 4.1.4 Mapa de Elevação

Na reclassificação do MDE de Juazeiro do Norte foi identificado quatro classes de elevação, com valores variando de 344 a 506 metros (Figura 23). Resultados semelhantes aos de Evangelista et al. (2019), que variam de 401 a 550 metros por está situado em áreas de depressão circundadas à Chapada do Araripe.

Dos valores obtidos, o de maior peso (influência) se refere à classe de menor valor numérico de elevação, já que essa variável é inversamente proporcional à suscetibilidade ao alagamento.

A Figura 23 representa bem essa distribuição de classes de elevação.

Figura 23: Classes de Elevação em Juazeiro do Norte.



Fonte: Autor (2020).

Dessa maneira, de acordo com os resultados, a classe de menor valor é localizada na zona rural do município, cortando a porção leste da cidade, com maior potencialidade ao evento hidrológico nessas áreas.

As maiores elevações estão localizadas em áreas próximas ao horto, com menor peso de influência ao alagamento.

#### 4.1.5 Mapa de Declividade

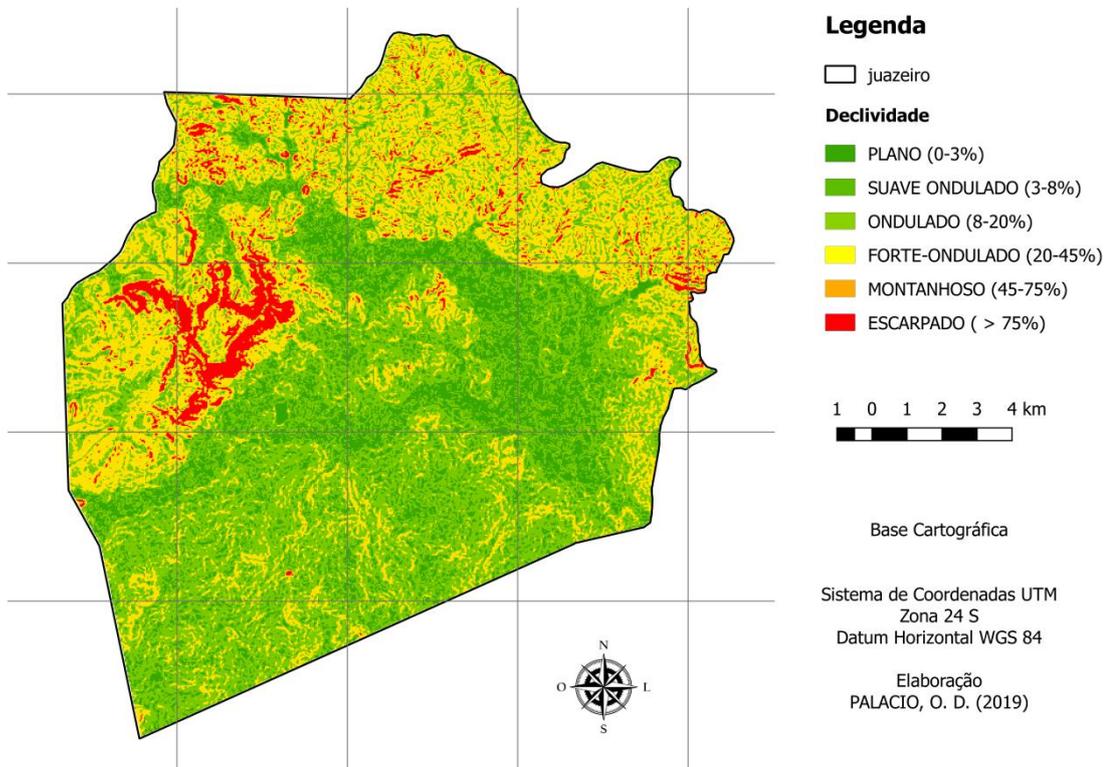
Assim como a variável elevação, o mapa de declividade foi gerado através do modelo de elevação de Juazeiro do Norte, acompanhando seis classes com influência inversa sobre o evento de alagamento.

Em grande parte da extensão, o município é composto por áreas planas (0-3% de declividade), sendo bastante tendencioso ao evento em questão. Fora isso, as áreas de declividade fortemente onduladas (20-45%) e pequenas porções de escarpado (>75% de declividade) se concentram ao norte do município, com menor tendência ao alagamento.

Esses valores estão similares aos de Evangelista *et al.* (2019), que propôs o mapeamento geomorfológico do Cariri derivada do MDE da região, incluído Juazeiro do Norte.

No mapa da Figura 24 estão ilustradas as seis classes geradas de declividade de Juazeiro do Norte.

Figura 24: Classes da Declividade de Juazeiro do Norte.



Fonte: Autor (2020).

É importante lembrar que essa variável em especial, atende na combinação de variáveis (integração) com maior peso e conseqüentemente, maior influência sobre a suscetibilidade ao alagamento. Sendo importante esclarecer, que a área urbana de Juazeiro do Norte apresenta menores elevações do CRAJUBAR, conseqüente, menores declividades, formando um aporte de grande peso para este evento hidrológico.

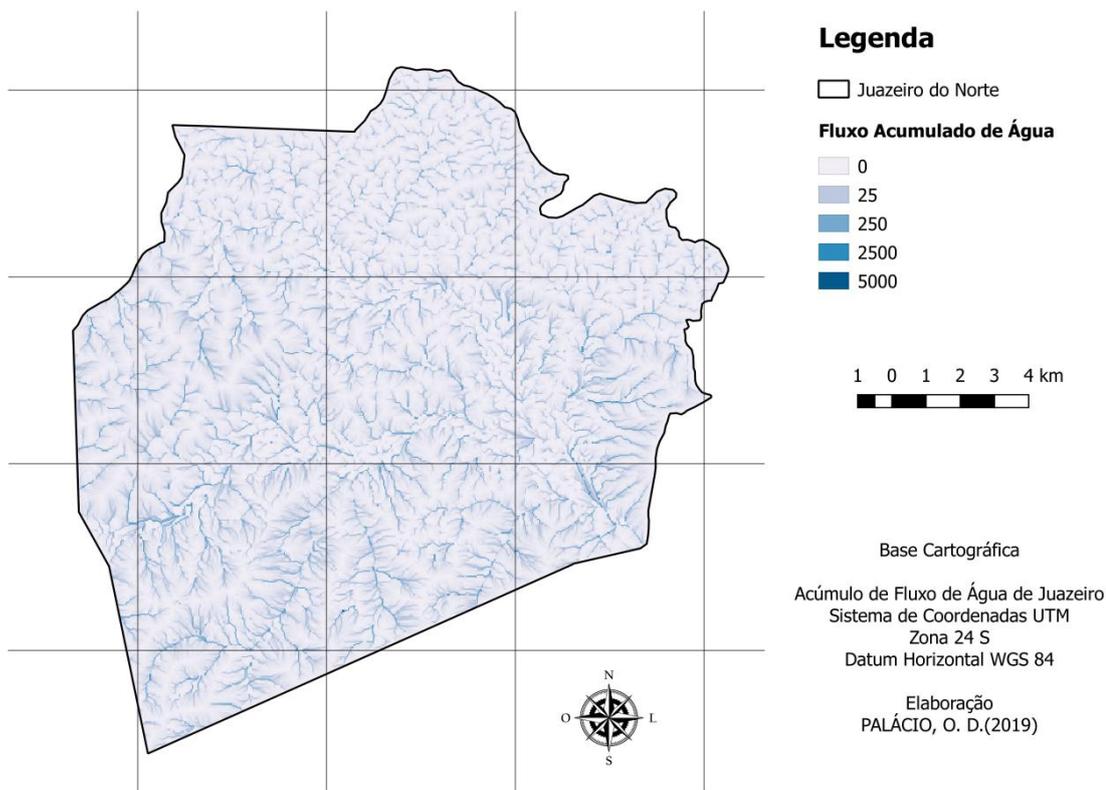
#### 4.1.6 Mapa de Fluxo Acumulado

A segunda variável de maior destaque ao evento estudado foi também derivada do modelo de elevação de Juazeiro do Norte e da varredura das direções dos fluxos.

Conforme os resultados, o grau de acúmulo de fluxo foi dividido em 5 classes (Figura 25), variando o fluxo de mínimo a muito alto. Quanto maior a acumulação do fluxo, maior será a suscetibilidade ao alagamento.

Ao longo de toda a extensão do mapa abaixo, há diversas ramificações e alcance de fluxos acumulados, tendo maior alargamento e concentração de fluxos ao sul do município, atingindo a área urbana.

Figura 25: Classes do Fluxo Acumulado de Juazeiro do Norte.



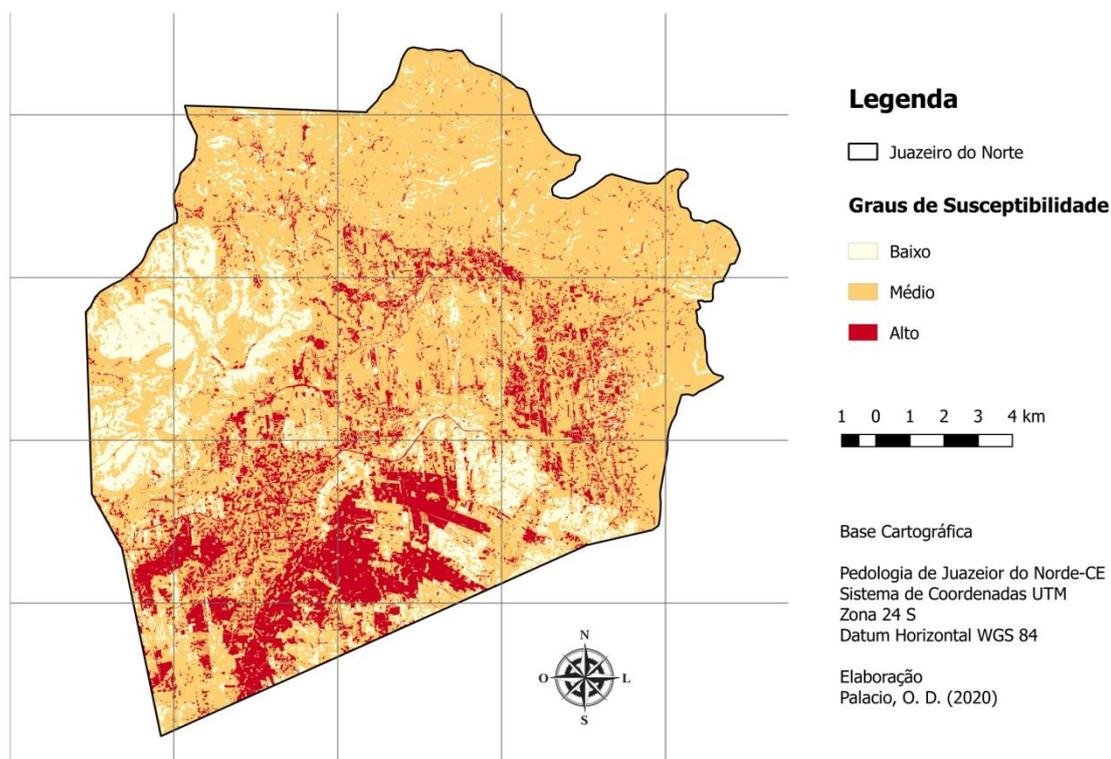
Fonte: Autor (2020).

Como Juazeiro do Norte possui as menores elevações entre as cidades do CRAJUBAR (Crato, Juazeiro do Norte e Barbalha), grande parte das águas que cortam a região e nascem na Chapada do Araripe, são direcionadas para Juazeiro do Norte, gerando um grande acúmulo de água escoada.

## 4.2 Integração das Variáveis

Através da aplicação da soma ponderada de todas as variáveis condicionantes e tomando como base o modelo recomendado, foram identificadas as principais zonas susceptíveis ao processo de alagamento no município de Juazeiro do Norte. Foram definidas três classes de níveis de susceptibilidade: baixa, média e alta, conforme a aptidão da área em acumular água. O resultado alcançado é representado na Figura 26.

Figura 26: Susceptibilidade a Alagamentos do Município de Juazeiro do Norte.



Fonte: Autor (2020).

Em relação ao método aplicado foi considerado o mais apropriado para classificar zonas de susceptibilidade a alagamentos, baseado nos resultados obtidos dos trabalhos de Soares Neto (2017) e Vojte (2019). A área calculada para Juazeiro do Norte das zonas de susceptibilidade a alagamentos e suas porcentagens correspondentes são apresentadas na Tabela 9.

Tabela 9: Resultados da Análise de Susceptibilidade a Alagamentos.

| Graus de Susceptibilidade | Área (ha)        | Área (%)   |
|---------------------------|------------------|------------|
| Baixo                     | 7.533,33         | 30,3       |
| Médio                     | 13.093,98        | 52,7       |
| Alto                      | 4.236,62         | 17         |
| <b>Total</b>              | <b>24.863,93</b> | <b>100</b> |

Fonte: Autor (2020).

Quanto ao grau de participação das classes de susceptibilidade a alagamentos (porcentagem de área), a menor participação foi registrada na classe alta (17%). A média classe de susceptibilidade a alagamentos cobre área de 52,7%, enquanto a classe de baixa susceptibilidade registrou a participação de 30,3%.

Desta forma, Juazeiro do Norte pode ser considerado um município de médio grau de susceptibilidade a alagamentos, devido apresentar uma maior porcentagem de contribuição de toda a área analisada.

Da mesma maneira, ocorre uma maior predominância de “Médio” grau de susceptibilidade a alagamentos analisando individualmente a Área Urbana, que representa 15% do município de Juazeiro do Norte.

Embora o município seja considerado uma cidade de média susceptibilidade a alagamento, 23.53% de sua área urbana total corresponde às áreas mais susceptíveis a processos de alagamento, e 3,54%, quando comparado à área total do município. Esses valores estão inseridos na Tabela 10, abaixo.

Tabela 10: Área Urbana associada ao Grau de Susceptibilidade a Alagamentos.

| <b>Área Urbana</b>               |                  |                              |                       |
|----------------------------------|------------------|------------------------------|-----------------------|
| <b>Graus de Susceptibilidade</b> | <b>Área (ha)</b> | <b>Área Urbana Total (%)</b> | <b>Área Total (%)</b> |
| Baixo                            | 403,01           | 10,76                        | 1,62                  |
| Médio                            | 2.459,75         | 69,70                        | 9,90                  |
| Alto                             | 881,25           | 23,53                        | 3,54                  |
| <b>Total</b>                     | <b>3.744,01</b>  | <b>100</b>                   | <b>15,06</b>          |

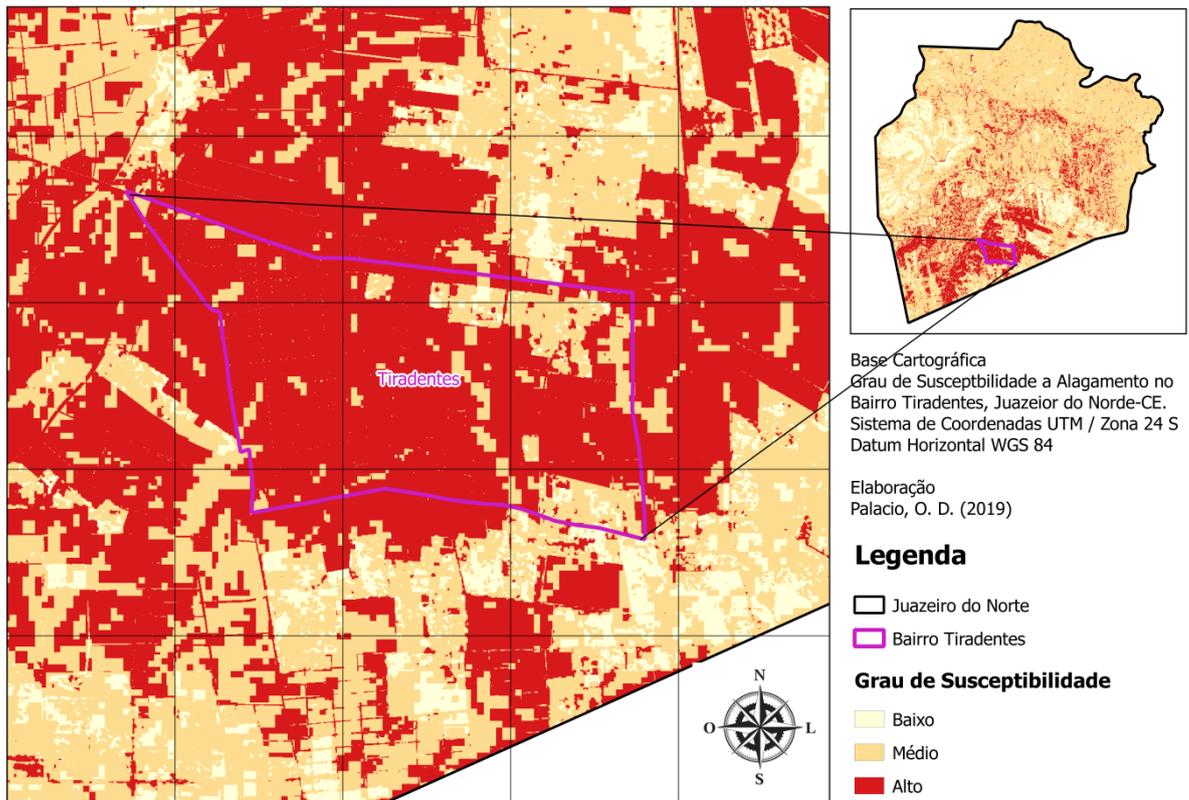
Fonte: Autor (2020).

O modelo proposto aponta que dentro das áreas mais susceptíveis a processos de alagamento das áreas urbanas, estão em destaque àquelas encontradas nos bairros: Tiradentes (40%), Lagoa Seca (31%), Betolândia (30%), Novo Juazeiro (29%) e José Geraldo (29%).

O bairro Tiradentes está em maior evidência, já que o “Alto” grau de susceptibilidade a alagamentos cobre quase metade de sua extensão, além de está bem distribuído na área (Figura 27).

Embora seja contemplado com o solo Argissolo Vermelho-Amarelo (PVA), que tem como característica boa drenagem, sua baixa declividade e intensa impermeabilização do solo pela ocupação urbana, levam a esse nível de susceptibilidade a alagamentos no bairro.

Figura 27: Grau de Susceptibilidade a Alagamentos do Bairro Tiradentes.



Fonte: Autor (2020).

Acompanhando a sequência da Tabela 11, em que ocorreu a associação dos Bairros da Área Urbana de Juazeiro do Norte com os graus de susceptibilidade a alagamentos, é visto que fora os bairros de maior grau de susceptibilidade, destaca-se o bairro São Miguel e Leandro Bezerra, com “Médio” e “Baixo” nível de vulnerabilidade a alagamentos.

De fato, poucos são os registros de alagamento no bairro Leandro Bezerra, visto sua baixa ocupação urbana e média cobertura de caatinga densa e mata ciliar que elevam a taxa de infiltração na área. São mais presenciados e noticiados eventos críticos de alagamento nos bairros Tiradentes e Lagoa Seca.

Tabela 11: Bairros associados ao Grau de Susceptibilidade a Alagamentos.

| <b>Graus de Susceptibilidade</b> |                  |                  |                 |                   |
|----------------------------------|------------------|------------------|-----------------|-------------------|
| <b>Bairros</b>                   | <b>Baixo (%)</b> | <b>Médio (%)</b> | <b>Alto (%)</b> | <b>Total (ha)</b> |
| Aeroporto                        | 3                | 45               | 23              | 464               |
| Antonio Vieira                   | 11               | 77               | 12              | 90                |
| Betolândia                       | 20               | 50               | 30              | 183               |
| Brejo Santo                      | 55               | 34               | 11              | 447               |
| Campo Alegre                     | 52               | 33               | 15              | 276               |
| Carité                           | 11               | 67               | 22              | 223               |
| Centro                           | 22               | 69               | 9               | 156               |
| Cidade Universitária             | 54               | 39               | 6               | 216               |
| Fátima                           | 55               | 42               | 3               | 122               |
| Franciscanos                     | 6                | 88               | 6               | 74                |
| Frei Damião                      | 42               | 41               | 17              | 716               |
| Horto                            | 33               | 48               | 19              | 517               |
| Jardim Gonzaga                   | 33               | 47               | 20              | 445               |
| João Cabral                      | 29               | 61               | 10              | 69                |
| José Geraldo da Cruz             | 21               | 50               | 29              | 195               |
| Juvencio Santana                 | 44               | 42               | 14              | 185               |
| Lagoa Seca                       | 14               | 55               | 31              | 329               |
| Leandro Bezerra                  | 56               | 33               | 12              | 166               |
| Limoeiro                         | 22               | 56               | 22              | 139               |
| Novo Juazeiro                    | 30               | 41               | 29              | 77                |
| Pedrinhas                        | 53               | 40               | 7               | 513               |
| Pio XII                          | 9                | 87               | 4               | 46                |
| Pirajá                           | 11               | 77               | 12              | 74                |
| Planalto                         | 41               | 42               | 18              | 156               |
| Romeirão                         | 13               | 82               | 5               | 54                |
| Salesiano                        | 9                | 80               | 11              | 150               |
| Salgadinho                       | 10               | 62               | 28              | 172               |
| Santa Tereza                     | 9                | 85               | 7               | 65                |
| Santo Antônio                    | 27               | 64               | 9               | 100               |
| São José                         | 19               | 59               | 23              | 423               |
| São Miguel                       | 3                | 90               | 6               | 58                |
| Socorro                          | 10               | 84               | 6               | 24                |
| Tiradentes                       | 17               | 44               | 40              | 242               |
| Timbaúba                         | 38               | 52               | 10              | 102               |
| Três Marias                      | 49               | 40               | 11              | 398               |
| Triângulo                        | 13               | 78               | 9               | 134               |
| <b>Total</b>                     |                  |                  |                 | <b>7.394</b>      |

Fonte: Autor (2020).

Relativo às áreas de alto grau de susceptibilidade associadas às demais classes de uso e ocupação, exceto a urbana, é justificada sua ocorrência, até mesmo em área de cobertura vegetal, através do baixíssimo nível de declividade acometido em Neossolos Flúvicos (RY) e Neossolos Litólicos (RL), solos de imperfeita drenagem, que apontam no aumento de escoamento superficial e, por conseguinte, no acúmulo de água no local.

Outras áreas identificadas como alta vulnerabilidade a alagamentos foram as de corpos hídricos, em virtude do peso de classe (5) adotada no estudo. Justifica-se sua adoção por ser uma área de grande acúmulo de água no decorrer do ano, sendo elas, perene ou não.

A respeito da variável declividade há uma tendência geral para que ocorram conformações mais planas ao longo da área de estudo, aumentando a susceptibilidade a alagamentos na maioria dos trechos.

Quando se compara o mapa de declividade com o grau de susceptibilidade, nota-se uma relação direta entre as áreas de maior susceptibilidade com aquelas de conformação mais planas, especialmente quando associadas às áreas urbanas.

Já nos extremos, norte, nordeste e noroeste da unidade de estudo há a ocorrência de elevadas declividades que apresentam baixo grau de susceptibilidade, mesmo com solos de difícil drenagem. Tal fenômeno se justifica pela elevação do relevo que inviabiliza o acúmulo de água no local.

O mapa de susceptibilidade a alagamentos foi comparado com históricos reais de eventos de alagamento registrados em noticiários, possuindo uma certa concordância. No entanto, pode-se afirmar que não existe na literatura quais e quantas variáveis precisas devem ser aplicadas para análise de suscetibilidade.

Mahmoud et al. (2018) recomenda o uso de mais de seis variáveis para não produzir pesos não representativos dominados por um único peso que pode aumentar a possibilidade de sobreclassificação de algumas variáveis condicionantes para o alagamento.

Desta forma, o número de variáveis condicionantes ao alagamento também deve ser ajustado as condições físicas fidedignos a área de estudo, sendo aplicadas seis variáveis que contemplam os fatores pedológicos, morfológicos, hidrológicos e de impermeabilidade no município.

### **4.3 Validação de Dados**

Para validar os resultados foi feito um estudo em campo com levantamento de informações sobre a frequência, duração, potenciais prejuízos e a compreensão e envolvimento da população ao evento em estudo. Também foi avaliado o sistema de drenagem do bairro Tiradentes, o qual, segundo os resultados, foi mais susceptível ao alagamento.

A obtenção das informações se deu através do questionário disponível no APENDICE A e a avaliação do sistema de drenagem ocorreu por meio da planilha que consta no APENDICE B.

No momento em que foi detectado a frequência do fenômeno estudado, o nível de educação ambiental da população e a ineficiência dos componentes físicos e estruturais do sistema de drenagem, justifica-se o grau de susceptibilidade ao alagamento na cidade. Assim, seguindo esses parâmetros, foi analisado o nível de concordância do mapa de susceptibilidade com dois instrumentos de validação. Seus resultados são descritos logo abaixo.

#### ***4.3.1 Instrumento de Validação I***

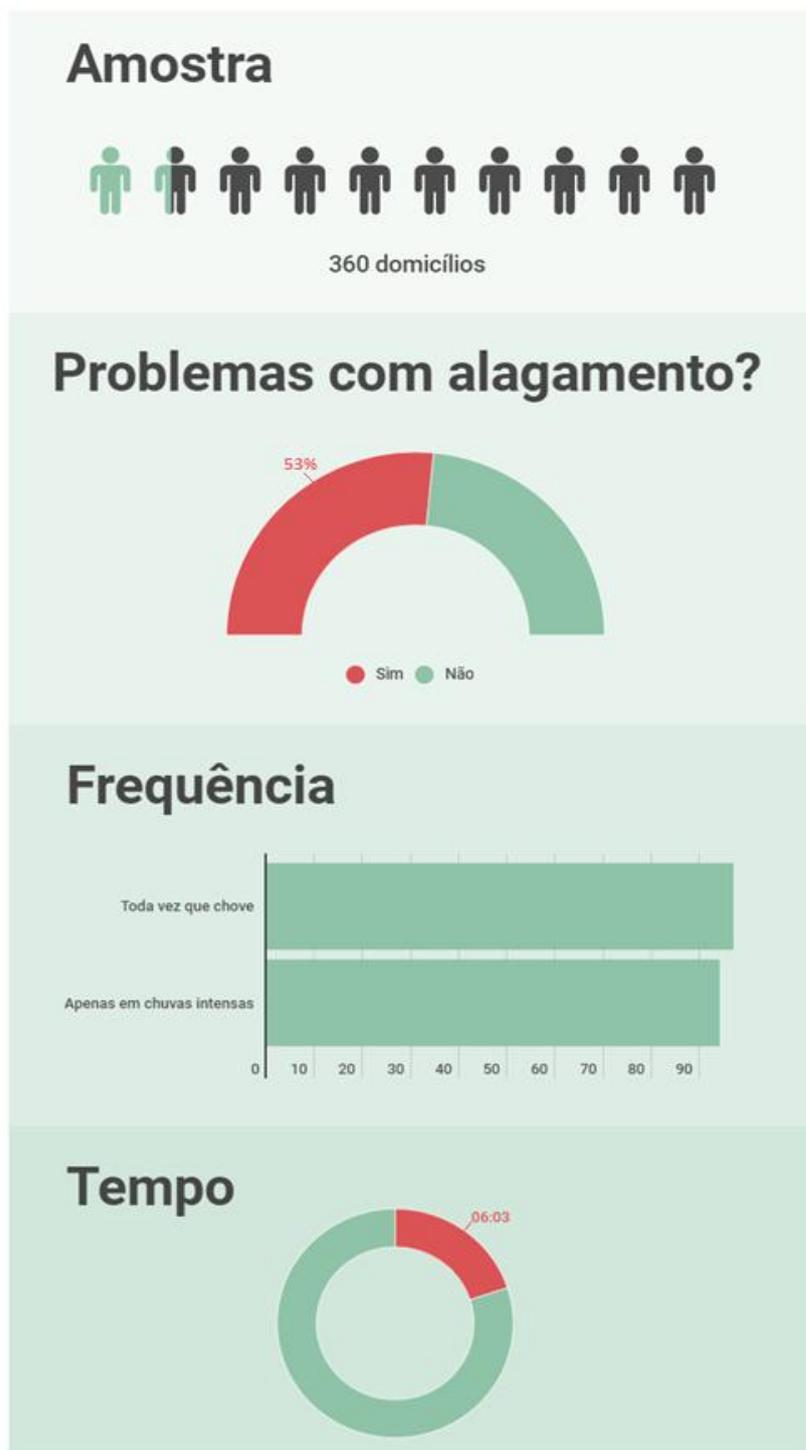
Como sabe-se, o Instrumento de Validação I trata-se das informações levantadas pelo questionário aplicado aos moradores de Juazeiro do Norte. Foram entrevistados 360 domicílios, como ilustra a Figura 28. Deste total de questionários aplicados, foram constatados que mais da metade (53%) dos domicílios já sofreram com eventos de alagamento. Essa porcentagem está acima do grau de alta susceptibilidade a alagamento da Tabela 10 e do mapa da Figura 26, que corresponde a 23.5% da área urbana. Nesse sentido, é válido afirmar, de acordo com esses dados, que menos de um terço dos domicílios sofrem com o alagamento.

Através deste questionário (Instrumento de Validação I) detectou-se que 65% dos domicílios do bairro Tiradentes são atingidas por alagamentos. Já no mapa de susceptibilidade, 40% do bairro é atingido pelo alagamento. Embora os valores levantados no questionário estejam distintos dos detectados pelo mapa, ambos dados mostram maior susceptibilidade a alagamento no mesmo bairro. Dessa forma, o resultado do mapa de susceptibilidade é validado pelos questionários aplicados.

Dentro dos domicílios urbanos atingidos pelo alagamento, 51% das pessoas, afirmam que esse evento ocorre em todas as vezes que existe precipitação. Logo, os alagamentos são mais frequentes na quadra chuvosa, de janeiro a abril. Já 49% dos entrevistados, afirmam que o alagamento ocorre apenas em precipitações intensas, nesse caso, de fevereiro a março, meses de intensa precipitação.

De qualquer forma, além de atingir um terço da cidade, o alagamento é bastante corriqueiro, pelo menos, de 2 a 4 meses no ano e durando aproximadamente 6 horas. Tempo suficiente para provocar diversos danos e prejuízos a população residente do município. Este caso é ilustrado pela Figura 28, abaixo.

Figura 28: População atingida pelo alagamento, frequência e duração do alagamento.



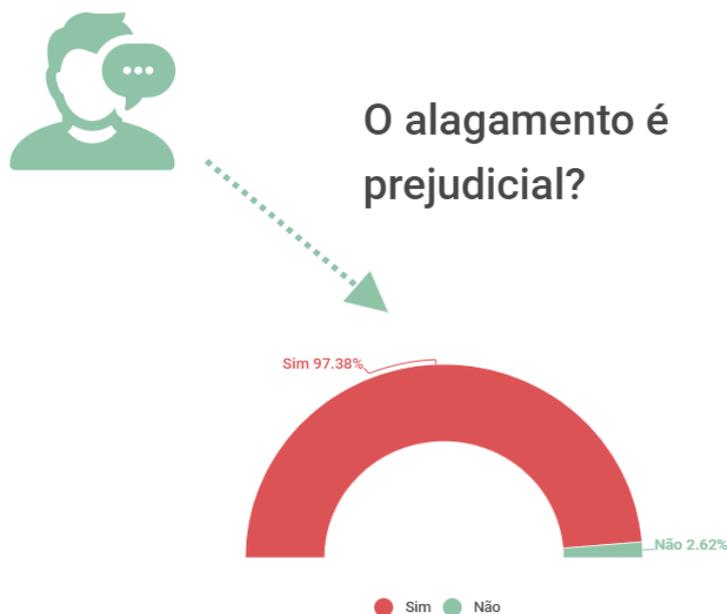
Fonte: Autor (2020).

Ainda, pelo Instrumento de Validação I, foi identificado os possíveis prejuízos causados por alagamento na cidade, sendo observado, no mínimo, quatro danos a comunidade de Juazeiro do Norte. Dos atingidos pelo alagamento, 60,6% afirmaram passar por problemas na mobilidade urbana. Logo, mais da metade da população sentem dificuldade para se locomover em períodos chuvosos; 22% passam por problemas com a degradação física de

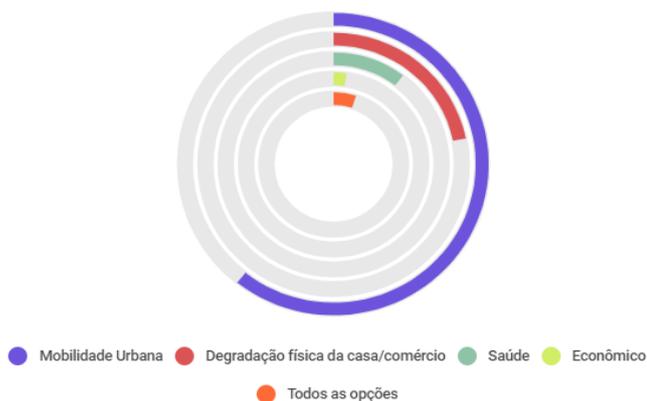
casas e/ou comércios; 10,4% sentem sua saúde prejudica, contraindo doenças de veiculação hídrica; 2,2% sentem prejudicados com a paralização ou degradação física de seus comércios, causando redução da economia local; e 5% da população se diz prejudicada em todos os aspectos citados anteriormente.

A Figura 29 também representa parte do Instrumento de Validação I. Ela ilustra os danos causados por alagamento em Juazeiro do Norte.

Figura 29: Prejuízos causados pelo alagamento.



## Prejuízos



Fonte: Autor (2020).

Embora o alagamento cause diversos prejuízos a população juazeirense, mais da metade da população não demonstra preocupação ou alerta com o evento em questão, não adotando medidas de prevenção ao alagamento e nem cobrando das autoridades medidas para sanar tal problema.

Pela Figura 29, nota-se que 53% da população não sabem, se quer, para onde são direcionados os efluentes gerados em suas residências. Já 12.5% afirmam que seus efluente são direcionados direto para a galeria pluvial, sobrecarregando o sistema de drenagem em períodos de chuva. Isso reflete que a população não se responsabiliza pela ocorrência dos alagamentos na cidade.

#### 4.3.2 Instrumento de Validação II

Nos dados apresentados na planilha (APÊNDICE B), das 16 bocas de lobo observadas no bairro Tiradentes, 8 apresentaram sua integridade visivelmente danificada (Figura 30). É importante salientar que a preservação da integridade estrutural de um sistema de microdrenagem é fundamental para seu adequado funcionamento. Entretanto, 50% do sistema de drenagem do bairro, não atendem de forma adequada sua função (capacidade de engolimento), além de oferecer risco ao tráfego e a circulação dos habitantes locais devido à conformação das vias, assim como ilustrado na Figura 30, abaixo.

Figura 30: Bocas de Lobo danificadas e obstruídas no Bairro Tiradentes.



- A: Boca de Lobo apresenta obstrução de resíduos sólidos urbanos e estrutura física danificada;  
B: Boca de Lobo apresenta estrutura física danifica e com ligação clandestina de efluentes domésticos;  
C: de Lobo apresenta obstrução de resíduos sólidos urbanos e estrutura física danificada;  
D: Boca de Lobo apresenta obstrução de resíduos sólidos urbanos e sem grade.  
Fonte: Autor (2020).

Assim como os danos à integridade dos dispositivos de drenagem, a presença de obstruções nas bocas de lobo também pode condicionar a um inadequado funcionamento do sistema. No caso específico, foram detectadas 13 bocas de lobo com obstruções (81,25% do total de BL), sejam elas interna ou externa. Foi observada uma quantidade expressiva de acúmulo de resíduos sólidos domésticos e sedimentos carregados por chuva e vento, que reflete também na ineficiência no sistema de gerenciamento de resíduos sólidos no bairro.

Uma realidade bem comum em Juazeiro do Norte são as ligações clandestinas de esgotamento sanitário na rede de drenagem (galeria pluvial). Dos resultados obtidos, observou-se que em todos os dispositivos de drenagem, do bairro, há ligações clandestinas de esgoto doméstico, como ilustra a Figura 31, em que há o escoamento de efluente em período de seca, não restando dúvidas que se trata de efluente doméstico.

Figura 31: Ligações Clandestinas de Efluente Doméstico.



Fonte: Autor (2020).

As ligações clandestinas sobrecarregam o sistema de drenagem em períodos de precipitação e podem favorecer a disseminação de doenças de vinculação hídrica. Além da

liberação de odores que provocam situações indesejáveis aos moradores que habitam próximo aos locais de instalação dos dispositivos, gerando desconforto populacional e disseminação de doenças.

Também pelas coordenadas apresentadas no Apêndice B, percebe-se que não estão distribuídas de forma estratégica para escoar o fluxo de água gerado no bairro Tiradentes, sem contar, na pouca quantidade de dispositivos de drenagem ali instalados.

Todos esses impecílios no bairro Tiradentes, somada a baixa declividade, são decisivos para destacar o bairro como o mais susceptível a alagamento.

## 5 CONCLUSÃO

As variáveis, preconizadas como condicionantes ao alagamento, foram estudadas, coletadas, armazenadas e processadas através de geotecnologia (QGIS), gerando um mapa de susceptibilidade a alagamento em Juazeiro do Norte.

Por meio deste mapa, pode-se concluir que Juazeiro do Norte, trata-se de um município com médio a alto grau de susceptibilidade a alagamento. Este resultado é o reflexo das características físicas do município, como: baixo relevo, onde concentra a área urbana da cidade (área pavimentada), sendo a mais baixa da Região do Crajubar (Crato, Juazeiro e Barbalha), escoando grande parte do fluxo acumulado de água precipitado na região; e sistema de drenagem ineficiente, que não houve um devido planejamento na sua instalação, não sendo distribuídas de forma estratégica as bocas de lobo na zona urbana, além de receberem uma demanda de fluxo acima do que foram projetadas.

Além, destas características físicas, do município, levarem a este grau de susceptibilidade a alagamento, também há influência do baixo nível de educação ambiental da população. Grandes partes dos domicílios estão ligadas clandestinamente à galeria pluvial, contribuindo expressivamente no aumento do nível d'água, sobrecarregando o sistema de drenagem em períodos de precipitação. Também boa parte do sistema de drenagem está obstruída por resíduos sólidos, não havendo uma coleta de lixo e limpeza municipal adequada.

Todas essas características e comportamentos são decisivos ao evento em estudo. Dessa forma, o mapa de susceptibilidade, os questionários e gráficos (APÊNDICE A) e planilha (APÊNDICE B) desenvolvidos, podem, portanto, ser utilizados para direcionar ações emergenciais de reparos aos dispositivos de drenagem que se encontram danificados e/ou obstruídos, além de inserir estrategicamente novos dispositivos de drenagem, que reduza o fluxo de água digressionado a cidade em períodos de precipitação. Também alerta aos gestores a promover ações de conscientização ambiental e sanitária da população, desenvolvendo trabalhos educativos e de fiscalização, de modo a tornar a cidade menos susceptível às situações extremas de alagamento, tão comumente vivenciadas pelos residentes.

Desse modo, conclui-se que a integração de dados com uso de geotecnologias (QGIS) contribui de forma eficiente como ferramenta na gestão de drenagem urbana, por fornecer informações representativas de risco hídrico eminente, compreendendo assim o suprimento técnico necessário à identificação de pontos sensíveis (susceptíveis) e o planejamento de ações corretivas específicas em curto e longo prazo.

A otimização do mapa pode ser feita abrangendo mais variáveis que possam caracterizar melhor o estado da cidade.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACSELRAD, H.; LEROY, J. P. Novas premissas da sustentabilidade democrática. **Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais**, v. 1. 1999.

ARAÚJO, R. S. **Análise histórica do processo de expansão urbana das cidades de Crato, Barbalha e Juazeiro do Norte**. 2013. 175 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Regional Sustentável) – UFCA, Juazeiro do Norte.

ARONOFF, S. **Geographic information systems: a management perspective**. Ottawa: DL Publications, 1989. 249p.

BARBOSA, G. S. O desafio do desenvolvimento sustentável. *Revista Visões*, 4. ed, n. 4, v. 1. 2008.

BRASIL (2016). Classificação e Codificação Brasileira de Desastres (Cobrade). Brasília: Autor. Disponível em: <http://www.mi.gov.br/web/guest/defesacivil/cenad/entenda-os-desastres>. Acesso em: 10 abr. 2020.

CAJAZEIRO, J. M. D. **Análise da susceptibilidade à formação de inundações nas bacias e áreas de contribuição do ribeirão arrudas e córrego da onça em termos de índices morfométricos e impermeabilização**. 2012. 104 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – UFMG, Belo Horizonte.

CAMPANA, N.; TUCCI, C.E.M. Predicting floods from urban development scenarios: case study of the dilúvio basin. *Urban Water*, Porto Alegre, v. 3, n. 2. p. 113-124. 2001.

CANEPA, C. **Cidades Sustentáveis: o município como lócus da sustentabilidade**. São Paulo: Editora RCS, 2007.

COSTA, J. N. et al. Riscos e desastres relacionados a eventos extremos (climáticos e meteorológicos) no estado da Paraíba. **REGNE**, Rio Grande do Norte, v. 4. 2018.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS – CPRM. Mapa litoestratigráfico da bacia sedimentar do Araripe. Brasil: CPRM, 2007. Escala 1: 100.000.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS – CPRM. Hidrogeologia da Porção Oriental da Bacia Sedimentar do Araripe. Brasil: CPRM, 2005.

DIÁRIO DO NORDESTE. Chove em mais de 100 municípios nas últimas 24h. Disponível em: <http://diariodonordeste.verdesmares.com.br/cadernos/regional/online/chove-em-mais-de-100-municipios-nas-ultimas-24h-juazeiro-registra-alagamentos-1.1919060>. Acesso em: 10 jun. 2020.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SPI, 2006.

ESRI/PORTUGAL (2012). O que são os SIG? . Disponível em:  
<http://www.esriportugal.pt/para-comecar/conceitos-basicos/oque-sao-os-sig>. Acesso em: 10 mai. 2019.

EVANGELISTA, A. S. et al. Mapeamento geomorfológico do cariri cearense: a utilização de mapas derivados do MDT. *In: Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada*, 18., 2019, Fortaleza. **Ebook Geografia Física e as Mudanças Globais**. Fortaleza: UFC, 2019.

FEITOSA, A.K; BARDEN, J. E.; KONRAD, O.; MATOS, M. A. A. Economic valuation in selective solid waste collection. **Revista Sustentabilidade em Debate**, v. 9, n. 3, 2018.

FUNDAÇÃO CEARENSE DE METEOROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS – FUNCEME. Levantamento de Reconhecimento de Média Intensidade dos Solos da Mesorregião do Sul Cearense. Fortaleza: FUNCEME, 2012.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6 ed. Atlas Novo: São Paulo, 2008.

GOMES, C. C. **Método de Elementos Analíticos para modelagem matemática de fluxo hídrico subterrâneo regional**. 2002. 193 p. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos) – Programa de pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Ceará.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. População estimada [2018] para Juazeiro do Norte - CE. Juazeiro do Norte: IBGE, 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Pesquisa Nacional de Saneamento Básico [2008]. Juazeiro do Norte: IBGE, 2008.

JACOBI, P. R. **Os desafios da interdisciplinaridade**. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Ciência Ambiental, USP. São Paulo: FAPESP, 1999.

KÖPPEN, W.; Gebr, B. **Geographische System der Klimate**. 1936. p. 1-44.

LEITE, M. E.; ROCHA, A. M. Mapeamento da susceptibilidade à inundação em áreas urbanas: o caso da cidade de Montes Claros - MG. **Geosul**, Florianópolis, v. 31, n. 62, p. 125-150. 2016.

LICCO, E. A. et al. Alagamentos, Enchentes Enxurradas e Inundações: Digressões sobre seus impactos sócio econômicos e governança. **Revista de Iniciação Científica, Tecnológica e Artística**, São Paulo, v. 5, n. 3, dez. 2015.

MACHADO, M. H. F. Urbanização e Sustentabilidade Ambiental: questões de território. **Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais**, n. 3, p. 81- 94. 2000.

MAGUIRE, D.J. An overview and definition of GIS. *In: MAGUIRE, D.J.; GOODCHILD, M.F; RHIND, D.W. Geographical Information Systems: Principles and Applications*, Wiley, Hoboken, v. 1, p. 9-20. 1991.

MAHMOUD, S. H.; GAN, T. Y. Mult-criteria approach to develop flood susceptibility maps in arid regions of Middle East. **Journal of Cleaner Production**, v. 196, p. 216-229, 2018.

MATOS, J.L. **Fundamentos de Informação Geográfica**. Editora: LIDEL, Lisboa, 344 p. 2001.

MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL – MDR; INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS – IPT. Mapeamento de riscos em encostas e margens de rios. Brasília: MDR; IPT, 176 p, 2007.

OLIVEIRA, R. C. **Medidas não estruturais na prevenção e controle de enchentes em área urbanas, como subsídios para o planejamento de uso e ocupação do solo: estudo de caso – bacia do córrego do Gregório – São Carlos (SP)**. Dissertação (mestrado) EESC-USP, São Carlos, 1998.

OLIVEIRA, L. C. **Espaço urbano e turismo religioso: avaliação da política de reordenamento do centro da cidade de Juazeiro do Norte – CE**. 2008. 170 f. Dissertação (Mestrado em Avaliação de Políticas Públicas) – UFCA, Fortaleza.

OPOVO. Forte chuva alaga avenidas e prejudica voos em Juazeiro. Disponível em: <https://www.opovo.com.br/noticias/ceara/juazeirodonorte/2018/02/forte-chuva-alaga-avenidas-e-prejudica-voos-em-juazeiro.html>. Acesso em: 10 jun. 2018.

PEREIRA, C. M. C. **Análise Socioambiental da Cidade de Juazeiro do Norte: Subsídios para a Construção da Agenda 21 Local**. 2013. 158 f. Dissertação (Doutorado em Geografia) – UNESP, Rio Claro.

PEREIRA, C. S. S. **Centro, centralidade e cidade média: o papel do comércio e serviços na reestruturação da Cidade de Juazeiro do Norte/CE**. 2014. 329 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – FCT/UNESP, Presidente Prudente.

QGIS.org (YEAR). QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. <http://qgis.org>

RADAMBRASIL. Mapa geomorfológico. Folha SB 24/25 Jaguaribe/Natal. Rio de Janeiro: Ministério de Minas e Energia, 1981. Escala 1: 1.000.000.

SACHS, I. **Caminhos para o Desenvolvimento Sustentável**. In: São Paulo, 2002.

SARTORI, A.; GENOVEZ, A. M.; LOMBARDI NETO, F. Classificação Hidrológica de Solos Brasileiros para a Estimativa da Chuva Excedente com o Método do Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos Parte 1: Classificação. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 10, n. 4, p. 5-18, 2005.

SECRETARIA DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS HÍDRICOS – SEMARH. Drenagem Urbana Sustentável no Brasil. Goiânia: SEMARH, 2003.

SOARES NETO, G. B. et al. Análise de susceptibilidade a alagamento na bacia hidrográfica do Riacho Fundo – Distrito Federal por meio de sistemas de informação geográfica – SIG. **Territorium**, n. 24, p. 77-87, 2017.

TELES, R. P.; SILVA, M. L. G.; RIBEIRO, A. J. A. Avaliação geoespacial da expansão do aglomerado urbano crajobar utilizando inteligência geográfica. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 13, n. 1, 2020.

TRIBUNA DO CEARÁ. **Forte chuva no Cariri gera alagamentos e crateras nas vias de Juazeiro do Norte**. Disponível em: <http://tribunadoceara.uol.com.br/noticias/ceara/forte-chuva-no-cariri-deixa-juazeiro-do-norte-com-alagamentos-e-crateras/>. Acesso em: 10 jun. 2018.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. 1 ed. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS: ABRH, 1993.

TUCCI, C. E. M.; GENZ, F. **Controle do Impacto da Urbanização**. 1. ed, v. 5. Porto Alegre: UFRGS/ABRH. 1995. 277 p.

TUCCI, C.E.M. (2008). **Águas urbanas**. Estudos Avançados, v. 22, n. 63, p. 97-112.

TUCCI, C.E.M. Gerenciamento integrado das inundações no Brasil. Rega. Santiago: GWP/South América, v.1, n.1, jan/jun. 2004.

VEIGA, J. E. **Cidades Imaginárias: o Brasil é menos urbano do que se calcula**. Campinas: Editora da Unicamp, 2005.

VOJTEK, M.; VOJTEKOVÁ, J. Flood Susceptibility Mapping on a National Scale in Slovakia Using the Analytical Hierarchy Process. **Water**, v. 11, 2019.

## **APÊNDICES**

APÊNDICE A - INSTRUMENTO DE VALIDAÇÃO I.

APÊNDICE B - INSTRUMENTO DE VALIDAÇÃO II.

APÊNDICE A - INSTRUMENTO DE VALIDAÇÃO I

BAIRRO: \_\_\_\_\_

1. Endereço:  
Obs: Especificar o bairro onde reside
2. Sexo:  
 Masculino  
 Feminino  
 Outros
3. Estado civil:  
 Solteiro/a  
 Casado/a  
 União Estável  
 Divorciado/a  
 Viúvo/a  
 Outros
4. Data de nascimento:
5. Escolaridade:  
 Analfabeto  
 Ensino Fundamental Incompleto  
 Ensino Fundamental  
 Ensino Médio Incompleto  
 Ensino Médio  
 Ensino Técnico Incompleto  
 Ensino Técnico  
 Ensino Superior Incompleto  
 Ensino Superior  
 Pós-graduação Incompleto  
 Pós-graduação  
 Outros
6. Quantas pessoas residem na sua casa? \_\_\_\_
7. Qual a renda familiar mensal aproximada? (Salário mínimo atual: R\$ 954,00)  
 Sem renda  
 Até 1  
 Entre 1 e 3  
 Entre 3 e 5  
 Entre 5 e 10  
 Acima de 10

8. Há quanto tempo reside no bairro?  
Obs: Especifique a unidade de tempo.

9. Você já teve problemas com alagamento?  
( ) Sim ( ) Não

9.1 Quanto tempo costuma durar o alagamento?  
Obs: Especifique a unidade de tempo.

9.2 Quantas vezes você vivenciou eventos de alagamento no seu bairro?  
( ) Toda vez que chove ( ) Apenas em chuvas intensas

9.3 Você considera a exposição às águas de alagamento como algo negativo?  
( ) Sim ( ) Não

9.3.1. Qual (is) prejuízo (s) o alagamento já lhe acarretou?  
( ) Mobilidade Urbana  
( ) Degradação da estrutura física da casa/comércio  
( ) Saúde  
( ) Econômico  
( ) Todas as opções

9.4 O que você acha que ocasiona o problema de alagamento no seu bairro?

---

9.5 Você acha que o problema de alagamento no seu bairro tem solução?  
( ) Sim ( ) Não ( ) Sem resposta

9.6 Como é possível solucionar o problema de alagamento no seu bairro?

---

10. Existem ações de prevenção de alagamento no seu bairro?  
( ) Sim ( ) Não ( ) Sem resposta

10.1 Quais ações de prevenções são adotadas no seu bairro?

---

10.2 Como você avalia as ações de prevenção de alagamentos no (a) bairro/rua/avenida?  
( ) Péssimas  
( ) Ruins  
( ) Boas  
( ) Ótimas

11. Para onde vão as águas cinza de sua casa?

Rede Coletora de Esgoto

Galeria Pluvial

Outros

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO - TCLE  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO REGIONAL  
SUSTENTÁVEL  
PROJETO DE MESTRADO – ORJANA DIAS PALÁCIO  
ANÁLISE DE SUSCEPTIBILIDADE A ALAGAMENTO NO MUNICÍPIO DE JUAZEIRO  
DO NORTE-CE

Estou sendo convidado a participar de um estudo denominado ANÁLISE DE SUSCEPTIBILIDADE A ALAGAMENTO NO MUNICÍPIO DE JUAZEIRO DO NORTE-CE, *cujos objetivos são: em analisar a susceptibilidade de alagamento como instrumento de gestão de drenagem urbana no município de Juazeiro do Norte-CE, por meio da utilização de parâmetros morfométricos, uso e ocupação de solo e classes de solo.*

Estou ciente de que minha privacidade será respeitada, ou seja, meu nome ou qualquer outro dado ou elemento que possa, de qualquer forma, me identificar, será mantido em sigilo. Fui informado de que posso me recusar a participar do estudo, ou retirar meu consentimento a qualquer momento, sem precisar justificar, e de, por desejar sair da pesquisa, não sofrerei qualquer prejuízo à assistência que venho recebendo.

É assegurada a assistência durante toda pesquisa, bem como me é garantido o livre acesso a todas as informações e esclarecimentos adicionais sobre o estudo, enfim, tudo o que eu queira saber antes, durante e depois da minha participação. Tendo sido orientado quanto ao teor de todo o aqui mencionado e compreendido a natureza e o objetivo do já referido estudo, manifesto meu livre consentimento em participar, estando totalmente ciente de que não há nenhum valor econômico, a receber ou a pagar, por minha participação.

---

Assinatura do participante

Nome: \_\_\_\_\_

APÊNDICE B - INSTRUMENTO DE VALIDAÇÃO II

| ID | COORDENADAS UTM<br>(DATUM WGS 84) |                | LOCALIZAÇÃO                              | BAIRRO     | INTEGRIDADE | OBSTRUÇÃO | LIGAÇÃO CLADESTINA<br>DE ESGOTO |
|----|-----------------------------------|----------------|--|------------|-------------|-----------|---------------------------------|
|    | LATITUDE                          | LONGITUDE      |  |            |             |           |                                 |
| 1  | 467226.00 m E                     | 9200262.00 m S | Rua Roque Antônio dos Santos             | Tiradentes | Normal      | Sim       | Sim                             |
| 2  | 467234.00 m E                     | 9200264.00 m S | Rua Roque Antônio dos Santos             | Tiradentes | Normal      | Sim       | Sim                             |
| 3  | 467243.00 m E                     | 9200257.00 m S | Rua Roque Antônio dos Santos             | Tiradentes | Normal      | Sim       | Sim                             |
| 4  | 467243.00 m E                     | 9200260.00 m S | Rua Odilon Gomes                         | Tiradentes | Danificada  | Sim       | Sim                             |
| 5  | 467250.00 m E                     | 9200243.00 m S | Rua Odilon Gomes                         | Tiradentes | Normal      | Sim       | Sim                             |
| 6  | 467251.00 m E                     | 9200231.00 m S | Rua Odilon Gomes                         | Tiradentes | Normal      | Sim       | Sim                             |
| 7  | 466961.00 m E                     | 9200080.00 m S | Rua Professora Ivany Feitosa de Oliveira | Tiradentes | Danificada  | Sim       | Sim                             |
| 8  | 467307.50 m E                     | 9199836.10 m S | Rua Professora Ivany Feitosa de Oliveira | Tiradentes | Normal      | Sim       | Sim                             |
| 9  | 467234.30 m E                     | 9199825.50 m S | Rua Radialista Coelho Alves              | Tiradentes | Danificada  | Não       | Sim                             |
| 10 | 467331.60 m E                     | 9199706.80 m S | Rua Radialista Coelho Alves              | Tiradentes | Danificada  | Não       | Sim                             |
| 11 | 467336.70 m E                     | 9199689.40 m S | Rua Radialista Coelho Alves              | Tiradentes | Danificada  | Não       | Sim                             |
| 12 | 467110.50 m E                     | 9199648.70 m S | Rua Radialista Coelho Alves              | Tiradentes | Danificada  | Sim       | Sim                             |
| 13 | 467115.70 m E                     | 9199650.90 m S | Rua Sebastião Mariano da Silva           | Tiradentes | Normal      | Sim       | Sim                             |
| 14 | 467115.60 m E                     | 9199650.90 m S | Rua Sebastião Mariano da Silva           | Tiradentes | Danificada  | Sim       | Sim                             |
| 15 | 467018.00 m E                     | 9199640.10 m S | Rua Sebastião Mariano da Silva           | Tiradentes | Danificada  | Sim       | Sim                             |
| 16 | 466960.00 m E                     | 9199950.60 m S | Rua Sebastião Mariano da Silva           | Tiradentes | Normal      | Sim       | Sim                             |