



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
NÚCLEO DE DESENVOLVIMENTO AMAZÔNICO EM ENGENHARIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE BARRAGEM E  
GESTÃO AMBIENTAL

LEONARDO MOREIRA SANTANA

**MAPAS DE INUNDAÇÃO EM ÁREA URBANA NA CIDADE DE ARAGUAÍNA/TO:  
ESTUDO DE CASO DA INTERFERÊNCIA DA CGH CORUJÃO.**

Tucuruí/PA

2022

LEONARDO MOREIRA SANTANA

**MAPAS DE INUNDAÇÃO EM ÁREA URBANA NA CIDADE DE ARAGUAÍNA/TO:  
ESTUDO DE CASO DA INTERFERÊNCIA DA CGH CORUJÃO.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Barragem e Gestão Ambiental do Núcleo de Desenvolvimento Amazônico em Engenharia, da Universidade Federal do Pará, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Barragem e Gestão Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Adriano Frutuoso da Silva.

Tucuruí/PA

2022

### Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

---

Santana, Leonardo Moreira

Mapas de inundação em área urbana na cidade de Araguaína/TO: estudo de caso da interferência da CGH Corujão./ Leonardo Moreira Santana; Orientador Dr. Adriano Frutuoso da Silva.— 2022.

138 f.il.:

Dissertação (Engenharia de Barragem e Gestão Ambiental) - Universidade Federal do Pará, Núcleo de Desenvolvimento Amazônico em Engenharia, Belém, 2022.

1. Inundações. 2. CGH Corujão. 3. HEC-RAS. I. Silva, Adriano Frutuoso *orient.* II. Título.

CDD 23. ed.: 306.089

---

LEONARDO MOREIRA SANTANA

**MAPAS DE INUNDAÇÃO EM ÁREA URBANA NA CIDADE DE ARAGUAÍNA/TO:  
ESTUDO DE CASO DA INTERFERÊNCIA DA CGH CORUJÃO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Barragem e Gestão Ambiental do Núcleo de Desenvolvimento Amazônico em Engenharia, da Universidade Federal do Pará, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Barragens e Gestão Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Adriano Frutuoso da Silva.

Aprovada em 25 de fevereiro de 2022.

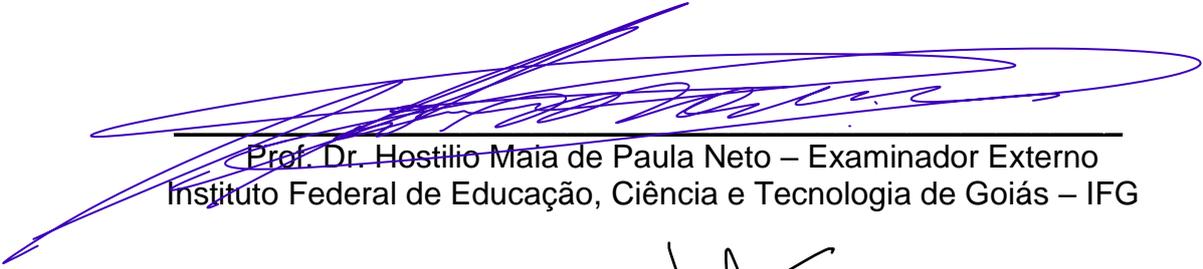
**BANCA EXAMINADORA:**



Documento assinado digitalmente  
ADRIANO FRUTUOSO DA SILVA  
Data: 02/06/2022 17:31:53-0300  
Verifique em <https://verificador.iti.br>

---

Prof. Dr. Adriano Frutuoso da Silva – Orientador  
Universidade Federal de Roraima - UFRR  
Universidade Federal do Pará – UFPAN/DAE/PEBGA



---

Prof. Dr. Hostilio Maia de Paula Neto – Examinador Externo  
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás – IFG



---

Prof. Dr. Aarão Ferreira Lima Neto – Examinador Interno  
Universidade Federal do Pará – UFPAN/DAE/PEBGA

## AGRADECIMENTOS

À Deus pelas conquistas.

A minha querida e amada mãe Raimunda Pires que sempre dedicou sua vida a nos dar amor, carinho, conselhos e a quem amo e devo minha existência, e esteve incansavelmente ao meu lado me apoiando e incentivando aos estudos.

A minha irmã Railanes meu cunhado Joseval e as minhas sobrinhas Rayssa e Rebeca com quem tenho compartilhado todos os momentos especiais de minha vida.

Ao meu querido pai Francisco Moreira, *In Memoriam*, que nos ensinamentos da vida me incentivou a nunca parar de estudar e a persistir pelos meus ideais.

Aos meus amigos que compartilho a vida, em especial Renan Modesto e Fernanda Fonseca pelas longas noites de estudos, as minhas amigas que sempre esteve do meu lado, Pricila Camila, Paula Taques, Jorge Carmo, Paula Suziane, Jéssika Oliveira. Ao Roges Alves pela ajuda e suporte na reta final e conclusão da dissertação

A todo apoio e suporte do Alexandre, Dione, Ocione, Dona Mocinha, Edson e todos da Vila Califórnia que me receberam com todo amor e cuidado.

A todos os meus alunos da Faculdade Guaraí, as professoras Carla Guimarães, Rosângela Oliveira, Simone Oelker, Marcela Bertamoni, Glória Barros, Camila Chaves, Giulia Couto e as meninas da secretaria.

Aos meus queridos parceiros de mestrado, Andreia Arruda, Adriana Higinio, Regiana, Evandro, Eudes, Renata, Rafaela Barros, Larissa, Bruno, Rambo, pela amizade, apoio e incentivo em toda a jornada período do mestrado.

Em especial ao meu Orientador Professor Dr. Adriano Frutuoso pela paciência e orientação tão necessárias para o desenvolvimento e conclusão desta dissertação. E o professor Dr. Hostilio Maia pela ajuda e suporte em todo o processo na geração dos resultados. À UFPA por propiciar a existência do Mestrado Profissional em Engenharia de Barragem e Gestão Ambiental, tão importante no cenário atual para formação de profissionais especializados na área de Engenharia de Barragem e na área de Gestão Ambiental.

Enfim, a todos e todas que direta ou indiretamente contribuíram para a conclusão de mais esta etapa na minha vida. Gratidão!

## RESUMO

A ocupação habitacional na área de influência da CGH (Central Geradora Hidrelétrica) - Corujão é bastante significativa, porém, há um iminente risco de inundações na área, fator que motivou o desenvolvimento do estudo, compreender quais os riscos reais incidentes sobre a área. Diante disso, este trabalho teve como objetivo analisar os impactos do reservatório da barragem CGH Corujão na área urbana da cidade de Araguaína/TO. Procedeu-se de um levantamento de dados e caracterização do córrego Neblina, que deságua no reservatório da CGH, para compreender de que forma a ocorrência de níveis elevados de chuva faz com que o córrego transborde e eleve os riscos de inundação em área urbana, sendo calculada a vazão máxima de chuva. Com esses dados foi realizada uma simulação por meio do programa HEC-RAS que levou à geração de mapas de inundação. Em relação aos impactos do reservatório da barragem na área urbana da cidade, foi possível observar que ele tem pouca influência nas áreas de inundações, de acordo com os mapas obtidos a partir do uso do aplicativo HEC-RAS. A partir dos resultados foi possível verificar que a maioria dos mapas apresentou riscos à vida humana e danos estruturais. Esses dados evidenciam que se trata de uma área de vulnerabilidade para inundações e, por consequência, para a vida, saúde, infraestrutura, economia e desenvolvimento socioeconômico. As contribuições estimadas do estudo envolvem população e o poder público. A identificação de áreas de maior vulnerabilidade quanto a falhas e colapsos de estruturas de alvenaria, informações essenciais para o desenvolvimento de um plano diretor no qual essas áreas de maior risco são excluídas de utilização para habitação, comércio, serviços e outras atividades. Com o acesso ao mapa de riscos na íntegra, a prefeitura tem a possibilidade de desenvolver programas habitacionais futuros para que as estruturas ali existentes sejam desativadas e empresas, residências, serviços e outros sejam direcionados para outras áreas, com segurança e garantia de direitos. O planejamento urbano, em atividades como estudos de drenagem, necessita dessas informações para que possam ser desenvolvidos de forma assertiva e efetiva, beneficiando a administração pública, por evitar danos que precisem ser corrigidos e exigem recursos, além de melhorar a infraestrutura de serviços e tornar o cotidiano dos cidadãos mais seguro. A defesa civil, de posse dos dados obtidos, pode desenvolver programas de apoio aos moradores da região, emitir alertas de risco de forma mais ampla diante de previsão de chuvas intensas e inundações, permitindo que os indivíduos que se encontram nessas áreas possam buscar alternativas mais seguras para esses momentos de risco. Com este estudo, é possível definir abordagens de redução de riscos que garantem mais saúde para a população, redução da demanda por recursos para atendimentos em saúde após as cheias, bem como redução da ocupação de leitos para doentes e feridos em função das inundações. Diante do exposto, verifica-se que os benefícios são inúmeros, tanto para a população quanto para a administração pública, com redução de gastos e custos aos cofres públicos, além de maior garantia de preservação da vida e do patrimônio dos indivíduos que, no presente, residem em áreas de elevada vulnerabilidade.

**Palavras-chave:** Inundações. CGH Corujão. Impactos. Riscos. HEC-RAS.

## ABSTRACT

The habitation occupation in the area of influence of CGH (hydroelectric power station) - Corujão is quite significant, however, there is an imminent risk of flooding in the area, a factor that motivated the development of the study, to understand the real risks incident on the area. Therefore, this work aimed to analyse the impacts of the CGH Corujão dam reservoir in the urban area of the city of Araguaína/TO. A data collection and characterization of the Neblina stream, which flows into the CGH reservoir, were carried out to understand how the occurrence of high levels of rain causes the stream to overflow and increase the risks of flooding in an urban area, being calculated the maximum rainfall. With these data, a simulation was performed using the HEC-RAS program, which led to the generation of flood maps. Regarding the impacts of the dam reservoir in the urban area of the city, it was possible to observe that it has little influence in the flood areas, according to the maps obtained from the aplicativo HEC-RAS. From the results it was possible to verify that most of the maps presented risks to human life and structural damage. These data show that it is an area of vulnerability to floods and, consequently, to life, health, infrastructure, economy and socioeconomic development. The estimated contributions of the study involve the population and the government. The identification of areas of greater vulnerability in terms of failures and collapses of masonry structures, essential information for the development of a master plan in which these areas of greater risk are excluded from use for housing, commerce, services and other activities. With access to the full risk map, the city has the possibility to develop future housing programs so that the existing structures are deactivated and companies, residences, services and others are directed to other areas, with safety and guarantee of rights. Urban planning, in activities such as drainage studies, needs this information so that they can be developed in an assertive and effective way, benefiting the public administration, by avoiding damages that need to be corrected and require resources, in addition to improving the infrastructure of services and making the daily life of citizens safer. The civil defence, in possession of the data obtained, can develop support programs for the residents of the region, issue risk alerts more broadly in the face of the forecast of intense rains and floods, allowing individuals who are in these areas to seek more safe for these moments of risk. With this study, it is possible to define risk reduction approaches that guarantee more health for the population, reduce the demand for resources for health care after the floods, as well as reduce the occupancy of beds for the sick and injured due to the floods. In view of the above, it appears that the benefits are numerous, both for the population and for the public administration, with a reduction in expenses and costs to the public coffers, in addition to a greater guarantee of preservation of the life and patrimony of individuals who, in the present, live in areas of high vulnerability.

**Keywords:** Floods. CGH Corujão. Impacts. Risks. HEC-RAS.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> - Impacto de inundação na área de influência do reservatório vias público	17
<b>Figura 2</b> - Impactos de inundação na área de influência do reservatório em vias públicas.....	18
<b>Figura 3</b> - Impactos de inundação na área de influência do reservatório riscos à população.....	18
<b>Figura 4</b> - Impactos de inundação na área de influência do reservatório danos materiais.....	19
<b>Figura 5</b> - Conceitos de vulnerabilidade. ....	20
<b>Figura 6</b> - Danos por m <sup>2</sup> causados pelas inundações ao comércio de acordo com a profundidade. ....	30
<b>Figura 7</b> - Danos causados pelas inundações na área de serviços de acordo com a profundidade de submersão.....	31
<b>Figura 8</b> - Profundidades de inundação simuladas pelo programa HEC-RAS – modelo para 100 anos no Rio Neka.....	45
<b>Figura 9</b> - Vetores de profundidade e velocidade - rio Toyohira calculados por Nays2DH.....	46
<b>Figura 10</b> - Diferentes tipos de mapas.....	48
<b>Figura 11</b> - Modelo de mancha de inundação .....	51
<b>Figura 13</b> - Bacia do Rio Araguaia.....	58
<b>Figura 13</b> - Hidrografia da bacia do Rio Araguaia.....	58
<b>Figura 14</b> - Hidrografia da bacia do Rio Araguaia.....	56
<b>Figura 15</b> – Localização da bacia do rio Lontra. ....	60
<b>Figura 16</b> - CGH Corujão.....	60
<b>Figura 17</b> - Corte transversal da barragem da CGH Corujão.....	61
<b>Figura 18</b> - Arranjo da geral de implantação CGH corujão.....	62
<b>Figura 19</b> - Fluxograma da metodologia de pesquisa.....	66
<b>Figura 20</b> - Relação AD x QMLT.....	67
<b>Figura 21</b> - Área de vulnerabilidade.....	71
<b>Figura 22</b> - Mapa de localização das micro bacias do Neblina.....	71
<b>Figura 23</b> - Mapa de localização dos córregos e nascentes do Neblina.....	72
<b>Figura 24</b> - Área de contribuição da Bacia do Neblina.....	72

<b>Figura 25</b> - Mapa de uso e ocupação do solo da Bacia Rio Lontra a montante da CGH.....	73
<b>Figura 26</b> - Mapa de uso e ocupação do solo da Bacia do Neblina.....	74
<b>Figura 27</b> - Mapa de Zoneamento do perímetro urbano da cidade de Araguaína....	75
<b>Figura 28</b> – Parâmetros de entrada de vazão no HEC RAS .....	79
<b>Figura 29</b> - Registro da altura da lâmina d’água de acordo com os moradores locais. .....	80
<b>Figura 30</b> - Layer properties.....	78
<b>Figura 31</b> - Mancha de inundação no canal do Córrego Neblina – Geral.....	79
<b>Figura 32</b> - Mancha de inundação no canal do Córrego Neblina – Articulação 01...80	
<b>Figura 33</b> - Mancha de inundação no canal do Córrego Neblina – Articulação 02...81	
<b>Figura 34</b> - Mancha de inundação no canal do Córrego Neblina – Articulação 03...81	
<b>Figura 35</b> - Mancha de inundação no canal do Córrego Neblina – Articulação 04...84	
<b>Figura 36</b> - Mancha de inundação no canal do Córrego Neblina – Articulação 05...85	
<b>Figura 37</b> - Mancha de inundação no canal do Córrego Neblina – Articulação 06...86	
<b>Figura 39</b> - Mancha de inundação no canal do Córrego Neblina – Articulação 08...88	
<b>Figura 40</b> - Mancha de inundação no canal do Córrego Neblina – Articulação 09...86	
<b>Figura 41</b> - Mancha de inundação no canal do Córrego Neblina – Articulação 10...87	
<b>Figura 42</b> - Mancha de inundação no canal do Córrego Neblina – Articulação 11...88	
<b>Figura 43</b> - Gráfico de Velocidade .....	92
<b>Figura 44</b> - Risco hidrodinâmico do lado direito do canal simulado.....	92
<b>Figura 45</b> - Risco hidrodinâmico do lado esquerdo do canal simulado.....	93
<b>Figura 46</b> - Risco hidrodinâmico no centro do canal simulado .....	94
<b>Figura 47</b> - Risco hidrodinâmico em todo o canal simulado.....	94

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> – Divisão da bacia do Rio Lontra em sub-bacias .....	60
<b>Tabela 2</b> – Picos das cheias instantâneas.....	63
<b>Tabela 3</b> – Vazões médias mensais de 1976 a 2006. ....	65
<b>Tabela 4</b> - Dados cadastrais das estações fluviométricas selecionadas .....	68
<b>Tabela 5</b> - Características hidrológicas das estações.....	68
<b>Tabela 6</b> - Áreas de influência – Micro Bacias.....	72
<b>Tabela 7</b> - Comprimento de córregos e nascentes. ....	72
<b>Tabela 8</b> - Uso e ocupação do solo na Bacia do Rio Lontra. ....	75
<b>Tabela 9</b> - Uso e ocupação do solo do Córrego Neblina. ....	76
<b>Tabela 10</b> - Estimativa de vazão pelo método I PAI WU. ....	78
<b>Tabela 11</b> - Quantitativo de impactos .....	98

## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 1</b> - Risco dinâmico e suas consequências.....	32
<b>Quadro 2</b> - Graduação de perigo para pessoas e edificações .....	33
<b>Quadro 3</b> - Nível de risco hidrodinâmico para edificações e pessoas .....	33
<b>Quadro 4</b> - Métodos e especificidades .....	47
<b>Quadro 5</b> - Medidas estruturais extensivas .....	53
<b>Quadro 6</b> - Medidas estruturais intensivas .....	53
<b>Quadro 7</b> - Pontos característicos .....	61
<b>Quadro 8</b> - Coeficientes de Manning .....	67
<b>Quadro 9</b> - Possibilidade de falha estrutural em edificações de alvenaria .....	92

## **LISTA DE SIGLAS**

**ANA** - Agência Nacional de Águas

**APA** – Área de Proteção Ambiental

**CEPAL** - Comisión Económica para América Latina y el Caribe

**CGH** – Central Geradora Hidrelétrica

**CUB** - Custo Unitário Básico da Construção Civil

**DALA** - Damage and Loss Assessment

**HEC-RAS** - Hydrologic Engineering Center – River Analysis System

**IBGE** - Instituto Brasileiro de Pesquisa e Estatística

**NBR** – Norma Brasileira Regulamentadora

**PD** – Perigosidade Dinâmica

**RH** - Risco Hidrodinâmico

**UNDRO** - United Nations Disaster Relief Organization

**USBR** – United States Bureau of Reclamation

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO</b> .....	16
1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	16
1.2 OBJETIVOS.....	23
<b>1.2.1 Objetivo Geral</b> .....	23
<b>1.2.2 Objetivos Específicos</b> .....	23
1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	23
<b>CAPÍTULO 2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	25
2.1 INUNDAÇÕES: CAUSAS E IMPACTOS.....	25
<b>2.1.1 Causas</b> .....	25
<b>2.1.2 Impactos</b> .....	28
2.2 CÁLCULOS DOS PREJUÍZOS DECORRENTES DE INUNDAÇÕES URBANAS.....	34
<b>2.2.1 Impactos sobre a infraestrutura pública</b> .....	37
2.3 MODELAGEM DE INUNDAÇÕES URBANAS.....	39
<b>2.3.2 Mapa de inundação</b> .....	44
2.4 MANCHAS DE INUNDAÇÃO.....	49
2.5 MODELOS HIDROLÓGICOS.....	51
2.6 PREVENÇÃO: FOCO NAS CONSEQUÊNCIAS.....	52
<b>CAPÍTULO 3 – METODOLOGIA</b> .....	55
3.1 DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	55
<b>3.1.1 Cidade de Araguaína</b> .....	55
<b>3.1.2 Clima</b> .....	56
<b>3.1.3 Geologia</b> .....	56
<b>3.1.4 Solos</b> .....	57
<b>3.1.5 Vegetação</b> .....	57
<b>3.1.6 Recursos Hídricos</b> .....	57
<b>3.1.8 Geomorfologia</b> .....	59
<b>3.1.9 Caracterização da bacia do rio Iontra</b> .....	59
<b>3.1.10 A CGH Corujão</b> .....	61
3.4 DESCRIÇÃO DA METODOLOGIA UTILIZADA.....	65
<b>CAPÍTULO 4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	72
4.1 ANÁLISE DE DADOS.....	72

4.2 ESTIMATIVAS DE VAZÃO.....	78
<b>CAPÍTULO 5 – CONCLUSÕES.....</b>	<b>103</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>106</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>117</b>
<b>ANEXO A- MAPA DE LOCALIZAÇÃO DAS MICRO BACIAS DO NEBLINA.....</b>	<b>118</b>
<b>ANEXO B- MAPA DE LOCALIZAÇÃO DE CÓRREGOS E NASCENTES DA BACIA DO NEBLINA.....</b>	<b>119</b>
<b>ANEXO C - MAPA DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO DA BACIA DO RIO LONTRA A MONTANTE DA BARRAGEM. ....</b>	<b>120</b>
<b>ANEXO D - MAPA DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO DA BACIA DO NEBLINA.....</b>	<b>121</b>
<b>ANEXO E - MAPA DE ZONEAMENTO DO PERÍMETRO URBANO DA CIDADE DE ARAGUAÍNA .....</b>	<b>122</b>
<b>ANEXO F - MANCHA DE INUNDAÇÃO NO CANAL DO CÓRREGO NEBLINA – GERAL.....</b>	<b>123</b>
<b>ANEXO G - MANCHA DE INUNDAÇÃO NO CANAL DO CÓRREGO NEBLINA – ARTICULAÇÃO 01.....</b>	<b>124</b>
<b>ANEXO H - MANCHA DE INUNDAÇÃO NO CANAL DO CÓRREGO NEBLINA – ARTICULAÇÃO 02.....</b>	<b>125</b>
<b>ANEXO I - MANCHA DE INUNDAÇÃO NO CANAL DO CÓRREGO NEBLINA – ARTICULAÇÃO 03.....</b>	<b>126</b>
<b>ANEXO J - MANCHA DE INUNDAÇÃO NO CANAL DO CÓRREGO NEBLINA – ARTICULAÇÃO 04.....</b>	<b>127</b>
<b>ANEXO L - MANCHA DE INUNDAÇÃO NO CANAL DO CÓRREGO NEBLINA – ARTICULAÇÃO 05.....</b>	<b>128</b>
<b>ANEXO K - MANCHA DE INUNDAÇÃO NO CANAL DO CÓRREGO NEBLINA – ARTICULAÇÃO 06.....</b>	<b>129</b>
<b>ANEXO L - MANCHA DE INUNDAÇÃO NO CANAL DO CÓRREGO NEBLINA – ARTICULAÇÃO 07.....</b>	<b>130</b>
<b>ANEXO M - MANCHA DE INUNDAÇÃO NO CANAL DO CÓRREGO NEBLINA – ARTICULAÇÃO 08.....</b>	<b>131</b>
<b>ANEXO N - MANCHA DE INUNDAÇÃO NO CANAL DO CÓRREGO NEBLINA – ARTICULAÇÃO 09.....</b>	<b>132</b>
<b>ANEXO O - MANCHA DE INUNDAÇÃO NO CANAL DO CÓRREGO NEBLINA –</b>	

<b>ARTICULAÇÃO 10</b> .....	133
<b>ANEXO P - MANCHA DE INUNDAÇÃO NO CANAL DO CÓRREGO NEBLINA – ARTICULAÇÃO 11</b> .....	134
<b>ANEXO Q – GRÁFICO DO RISCO HIDRODINÂMICO DO LADO DIREITO DO CANAL SIMULADO</b> .....	135
<b>ANEXO R - GRÁFICO DO RISCO HIDRODINÂMICO DO LADO ESQUERDO DO CANAL SIMULADO</b> .....	136
<b>ANEXO S - GRÁFICO DO RISCO HIDRODINÂMICO NO CANAL SIMULADO</b> ...	137
<b>ANEXO T - GRÁFICO DO RISCO HIDRODINÂMICO GERAL DO CANAL SIMULADO</b> .....	138

## CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

### 1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Inundações são ocorrências relativamente comuns em todo o mundo, porém, em proporções variadas e períodos diversos, de acordo com as especificidades de cada região (nível de precipitações, períodos de chuva, características da bacia hidrográfica, capacidade de infiltração do solo, etc.) (REIS, 2015). Estão atreladas a inúmeros fatores, porém, deve-se ressaltar que a ação do homem sobre as características locais altera as especificidades das regiões e causa impactos sobre fatores meteorológicos. A urbanização é um fenômeno crescente, fazendo com que cada vez mais as áreas sejam construídas para atender às demandas populacionais, o que elimina espaços livres do solo para a infiltração de águas, tornando-se um fato contribuinte para a ocorrência de inundações (TENG *et al.*, 2017).

Compreende-se que enquanto as cidades estão crescendo para permitir que sua população seja acomodada, elas estão causando impactos ambientais consideráveis, muitos deles retornando como prejuízos para a população, como no caso das inundações. Ressalta-se que as inundações causam impactos sociais, econômicos, ambientais e estruturais, sendo que a proporção desses impactos tem relação direta com os riscos e a vulnerabilidade de cada local. Quantificar os prejuízos decorrentes das inundações não é uma tarefa simples, pois há o envolvimento de vidas perdidas, dias de afastamento do trabalho, necessidade de atendimento médico, perda de recursos materiais, etc. (NAGEN, 2008).

Nas regiões ribeirinhas o risco de enchentes e alagamentos são maiores, especialmente diante de precipitações excessivas em curtos períodos de tempo, causando uma sobrecarga sobre a bacia e, assim, comprometendo a capacidade de escoamento. Conhecer as áreas urbanas e compreender de que forma as inundações podem atingir diferentes locais é uma medida essencial para que sejam desenvolvidas ações preventivas ou corretivas e, assim, os impactos econômicos, humanos e ambientais possam ser minimizados (FELIZARDO, 2016).

Nesse contexto encontra-se o município de Araguaína/TO, onde a ocorrência de inundações é relativamente frequente, com impactos diversos sobre os sistemas de infraestrutura. Quando as chuvas ocorrem de forma acentuada, os córregos que cortam a área urbana transbordam e os moradores, comércio e indústria sofrem com

o tempo comprometido durante a inundação, bem como a necessidade de recuperação desses danos (FELIZARDO, 2016).

Outro fator que contribui com essa questão é a existência do CGH Corujão, na área urbana, impedindo o escoamento rápido das águas de inundação e, assim, aumentando ainda mais os riscos relacionados à gravidade dessas ocorrências. Nesse sentido, o intuito desse trabalho é estimar as manchas de inundação na área urbana, a montante do barramento, visando quantificar os impactos na infraestrutura urbana, indicando não apenas a vulnerabilidade, como também as consequências relacionadas. As Figuras 1 a 4 ilustram os impactos do córrego Neblina e da CGH Corujão na área urbana da cidade de Araguaína.

**Figura 1** - Impacto de inundação na área de influência do reservatório vias público



Fonte: G1, 2020. [\[Link\]'](#)

**Figura 2** - Impactos de inundação na área de influência do reservatório em vias públicas



Fonte: G1, 2021. [\[Link\]²](#)

**Figura 3** - Impactos de inundação na área de influência do reservatório riscos à população.



Fonte: G1, 2021. [\[Link\]³](#)

**Figura 4** - Impactos de inundação na área de influência do reservatório danos materiais.



Fonte: G1, 2021 [\[Link\]](#)

Na área de influência da CGH Corujão, no município de Araguaína, percebe-se que existem riscos materiais, envolvendo comércios diversos, residências e veículos que transitam na região, riscos à saúde e à vida da população, bem como riscos ao patrimônio público, pelos elevados impactos sobre estruturas como ruas, calçadas, sinalização, etc. Os eventos de risco envolvem as precipitações pluviométricas, dessa forma, para cada nível de precipitação surgem os riscos na área de estudos.

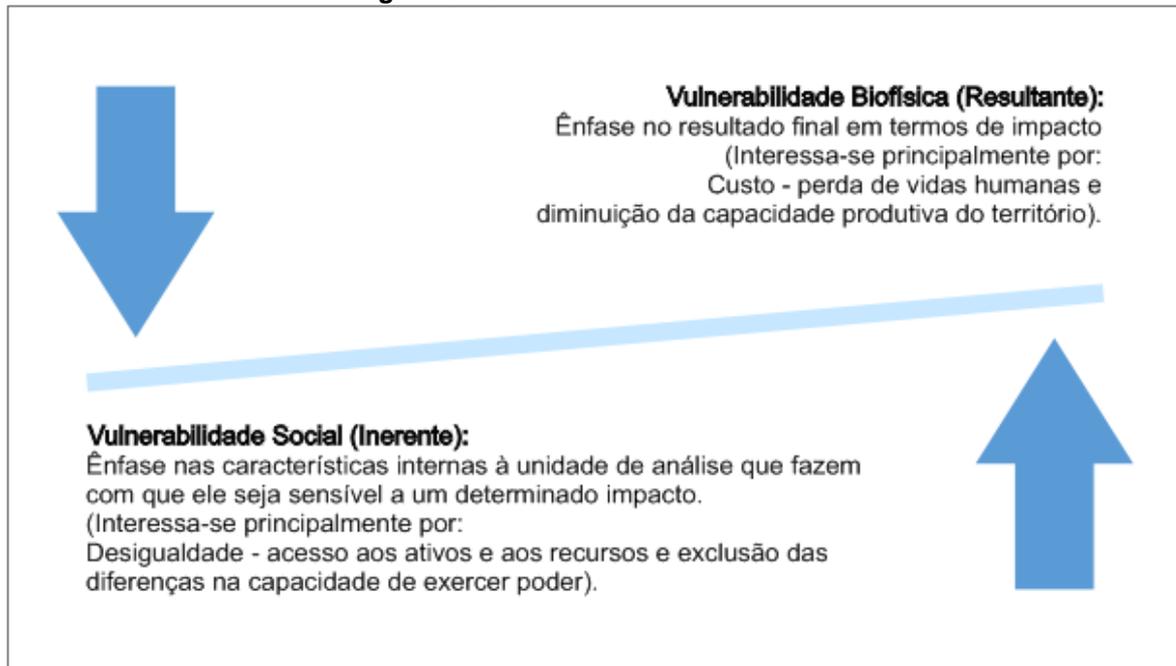
As vulnerabilidades da área envolvem a construção de residências, prédios de serviços diversos, comércio e indústria em áreas com risco potencial de alagamento, de modo que cada vez que isso ocorre, é preciso encontrar formas de corrigir os impactos para a retomada da vida cotidiana normal.

Sobre a vulnerabilidade, diferentes conceitos podem ser adotados, nesse sentido, são destacados dois conceitos relevantes associados à área da engenharia civil e de riscos:

- Em uma delas, a vulnerabilidade é definida como a quantidade (ou potencial) de dano a um sistema para uma determinada ameaça climática.
- Na outra, a vulnerabilidade é entendida como um processo relacionado às condições internas ou ao estado de um sistema antes de enfrentar um evento relacionado a uma determinada ameaça (CANIL; LAMPIS; SANTOS, 2020, p. 401).

Assim, compreende-se que a vulnerabilidade é a probabilidade de ocorrência de consequências de determinados eventos, com potencial de atingimento de fatores biofísicos e sociais (Figura 5).

**Figura 5** - Conceitos de vulnerabilidade.



Fonte: Adaptado pelo autor de Canil, Lampis e Santos (2020, p. 402).

O risco é a probabilidade de evento que pode acontecer, trata-se de uma ameaça que, se concretizada, atingirá as áreas de maior vulnerabilidade causando impactos importantes. O risco material é uma ameaça física de exposição e proximidade com determinado evento danoso, esses dados são necessários para avaliar a probabilidade de risco e a quantificação dos impactos que serão gerados (CANIL; LAMPIS; SANTOS, 2020).

Salienta-se que a diferenciação entre os termos “risco” e “perigo” é importante para o desenvolvimento da presente temática, haja vista, que o “Perigo” relaciona-se para aquelas características voltadas ao problema, como, por exemplo, na existência de uma inundação, está relacionada na probabilidade na ocorrência de uma mancha de inundação; enquanto o “Risco” está relacionado à sensibilidade de um fator de perigo, conforme (FLOODSITE, 2009; DE MOEL, VAN ALPHEN; AERTS, 2009).

Os mapas de riscos são definidos pela EXCIMAP (2007) pela intersecção das características da inundação com a população afetada ou custos. Enquanto nas

diretivas do FLOODsite (2009) recomendam realizar uma maior intersecção entre os dois fatores (KLIJN *et al.*, 2015).

Desse modo, ao conhecer os aspectos referentes sobre risco e vulnerabilidade, os mapas de inundação são divididos em grupos: o primeiro para aqueles que fornecem informações sobre as características da inundação é chamado de “mapas de risco” e o segundo que reúne dados de inundação juntamente com determinadas características de uma cidade, como, quantidade de casas afetadas (EXCIMAP, 2007; KLIJN *et al.*, 2015).

De acordo com Silva (2016) explica que no Brasil os mapas de extensão de inundação ainda são bastante utilizados, no qual também são denominados por Manchas de Inundação ou mapas de risco de inundação. São classificadas geralmente o grau de um determinado trecho ao risco de inundação. Inclusive tais mapas são de suma importância em aspectos envolvendo orientações sobre áreas de risco e alocação de investimentos prioritários

No ano de 2013, a Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Desenvolvimento de Minas Gerais, realizou uma classificação de risco e vulnerabilidade às inundações, no qual foi possível obter informações prévias da Defesa Civil do Estado, tal documento foi atualizado em 2014 (SILVA, 2016).

Em contrapartida, ANA (Agência Nacional de Águas), por meio do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos, disponibiliza mapa de vulnerabilidade do território brasileiro (ANA, 2015), por meio de informações (como a vulnerabilidade de baixa a alta) obtidas pelos estados da federação.

No que se refere ao aumento da população na área urbana versus a falta de planejamento urbano das cidades ao permitirem populações que ocupem áreas de inundações naturais dos rios, vale frisar antes de tudo, muitos rios formam “planícies de inundação”, ou seja, existe uma área nos limites de suas margens para as quais extravasam a sua vazão durante alguns períodos de fortes chuvas ao longo do ano (BEZERRA, 2015).

Um dos grandes problemas relacionado a essas planícies está no fato que em virtude da expansão urbana acelerada, muitas dessas áreas de inundação passaram a ser ocupadas de forma inadequada, o que gera como consequências inundações que podem chegar a deixar bairros alagados (LIMA, 2018).

Diante dessa problemática, ao analisar a questão das enchentes e inundações nos centros urbanos é um típico caso de uma manifestação natural, no

qual a ausência de políticas públicas oriundas município e/ou Estado que é intensificada o processo de uso e ocupação do espaço geográfico, ou seja, o uso irregular do espaço das cidades, principalmente em margens dos cursos d'água, tem relação direta com as administrações municipais e com a inexistência e/ou aplicabilidade de um Plano Diretor a essas questões (BEZERRA, 2015).

Nessa conjuntura, entende-se que uma das medidas a serem tomadas pelo poder público seria a remoção das famílias dessa zona de risco e o direcionamento de suas moradias para outras localidades consideradas seguras, já que habilitação é considerada como um direito que todo cidadão possui conforme a Constituição Federal de 1988 (ANDRADE, 2013).

Vale ressaltar que, além das causas naturais, a elevação do volume do leito dos rios pode ser acentuada também em virtude da impermeabilização do solo. Assim logo após as precipitações, as águas podem seguir três direções principais: para cima; para baixo e horizontalmente, e em situações de chuvas intensas e por meio da impermeabilização dos solos, geralmente as enxurradas aumentam o que intensifica o alcance das enchentes (LIMA, 2018).

Diante disso, a falta de planejamento urbano das cidades ao permitirem populações que ocupem áreas de inundações naturais dos rios é um problema recorrente em diversas cidades brasileiras, e por isso, precisa ser combatido antes mesmo do período de chuvas, com incentivos públicos que visem à promoção de sistemas eficientes de drenagem, no qual seja feita uma adequada avaliação das zonas de risco nas proximidades de rios, bem como a ampliação de programas de conscientização pública, a fim de conseguir diminuir problemas relacionadas como esses (ANDRADE, 2013).

Como consequência, elevam-se os riscos de adoecimento da população, existem perdas financeiras que podem se tornar irreparáveis, outras elevadas que acabam por se tornar um impacto sobre as finanças públicas, além da interrupção das atividades normais, impedindo que o desenvolvimento na área seja maior. Entender os riscos existentes em uma área é essencial para desenvolver ações de prevenção às catástrofes (CARMO, 2013).

As inundações decorrem da capacidade de vertente limitada do Corujão quando os níveis de chuva são excessivos, o escoamento torna-se lento pela urbanização da área e os impactos são percebidos de forma acentuada.

Nesse sentido, destaca-se a falta de planejamento adequado do desenvolvimento urbano quando as cidades não conseguem evitar que populações ocupem o leito dos rios, que são áreas vulneráveis a inundações.

Contudo, esse estudo justifica-se pelo fato de que a ocupação habitacional na área de influência da CGH Corujão é bastante significativa, e o risco de inundações é bastante iminente, assim, é essencial verificar qual a mancha de inundação em cenários específicos de precipitações e dentro de determinados períodos de tempo, como forma de elevar a segurança da população e reduzir impactos ambientais, econômicos, materiais e que envolvam riscos à vida desses moradores.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo Geral

Analisar os impactos do reservatório da barragem CGH Corujão na área urbana da cidade de Araguaína/TO.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar hidrologicamente a bacia do Rio Lontra (características diversas que influenciam nos padrões de cheia e inundações);
- Mapear as áreas de inundações (de acordo com os dados obtidos a partir do aplicativo HEC-RAS);
- Identificar os riscos associados às inundações (em diferentes áreas, como materiais, humanos, ambientais etc.);
- Quantificar os impactos nos sistemas de infraestrutura urbana (ruas, calçadas, prédios públicos, entre outros).

## 1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

Buscando construir um trabalho que atenda aos objetivos da pesquisa, mas que também pudesse vir a ser usado como base de consultas para outras finalidades (estudos, projetos ambientais, avaliações de risco, gestão urbana, etc.), este estudo foi construído a partir de capítulos como forma de manter a organização e clareza dos dados apresentados:

O primeiro capítulo apresenta uma breve introdução ao tema de estudo, os objetivos definidos para seu desenvolvimento e estrutura do trabalho.

O segundo capítulo consiste no embasamento teórico, abordando os seguintes temas: inundações, suas causas e impactos, as planícies de inundação e características relacionadas a elas, as taxas de infiltração e seus impactos sobre o risco de inundações, modelagem de inundações em áreas urbanas, balanço hídrico e ciclo hidrológico, as manchas de inundação, a vazão das bacias hidrográficas, regime de escoamento e controle de inundações e os modelos hidrológicos.

No terceiro capítulo é apresentada uma descrição da área de estudo e a metodologia da pesquisa.

O quarto capítulo consiste dos resultados e discussão dos mesmos de acordo com a literatura.

O quinto capítulo engloba as conclusões obtidas a partir do desenvolvimento deste estudo.

Por fim, são apresentadas as referências consultadas para que o estudo fosse viabilizado.

## CAPÍTULO 2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 INUNDAÇÕES: CAUSAS E IMPACTOS

#### 2.1.1 Causas

Uma avaliação histórica do desenvolvimento das sociedades do mundo aponta que, muito comumente, os grupos sociais se estabeleceram e desenvolveram nas proximidades e mesmos às margens de rios. Quando as pessoas passam a habitar essas áreas e alterar suas características para a construção de estruturas necessárias para seu uso cotidiano, os impactos passaram a se configurar de forma mais intensa e comum, a ocorrência de enchentes e inundações relacionadas ao espaço (região ribeirinha) e os uso (alteração das características naturais do local) (REIS, 2015).

Quando as moradias se tornam mais comuns, também se estabelecem empresas diversas com o intuito de atender as demandas desse público e alcançarem lucros.

O ideal seria que todos os municípios contassem com planos diretores e legislações específicas a respeito das áreas inundáveis e possíveis ocupações desses locais, enfim, dispositivos pensados para a população e os riscos aos quais está sujeita, estabelecendo:

[...] regulamentação da ocupação da área sujeita a inundação, regulamentação de subdivisão e código de construção, aquisição de áreas de inundação pelo poder público, seguro contra inundação, implementação de serviços de previsão e alerta de enchentes com plano de evacuação, incentivos fiscais para uso prudente dessas áreas; implementação de sistemas de alerta e adoção de políticas de desenvolvimento. Podendo tais medidas ser agrupadas em: regulamentação do uso da terra, construções à prova de enchentes, seguro de enchente, previsão e alerta de inundação (SOARES, 2016, p. 297).

As inundações enquadram-se como fenômenos que ocorrem em todo o mundo, com vítimas e impactos materiais em todos os continentes, ainda que em proporções diferentes. Dentre os inúmeros desastres naturais que podem atingir as sociedades, as inundações estão entre os mais devastadores, comuns e que se repetem com frequência (TENG *et al.*, 2017).

No Brasil, os estudos em geral são regionalizados, dados apontam que em Blumenau, 7% do valor das propriedades é o custo médio das inundações, os custos das inundações são de 22 milhões de dólares para o Vale do Itajaí e no período de 50

anos foi de 250 milhões de dólares (TUCCI, 2017). Entre 1960 e 2008 foram registrados 94 desastres por inundações e enchentes, ocorreram 5.720 mortes e 15 milhões de pessoas foram afetadas no país (SOUSA; GONÇALVES, 2018).

Somente em 2014, de 23 a 30 de junho, os prejuízos econômicos das inundações e desastres naturais foram de R\$ 6 milhões, enquanto os danos econômicos privados foram de R\$ 114 milhões (LEDRA, 2014).

Como causas das inundações ressalta-se a atividade normal dos leitos d'água mediante montantes elevados de precipitações pluviais, associada à urbanização e impactos sobre a capacidade dos solos de escoar o excesso de águas. A ocupação acentuada das áreas urbanas causou alterações na capacidade de escoamento das águas pluviais e, assim, as enchentes podem ser relacionadas com a ação do homem e a alteração do perfil populacional, pela redução do número de habitantes nas áreas rurais e aumento nas áreas urbanas. A necessidade de gerar espaços para uso dos cidadãos e a falta de disponibilidade dos mesmos em locais seguros elevou a urbanização em áreas de risco para inundações e enchentes, como as proximidades dos rios (SOUSA; GONÇALVES, 2018).

Dados do Instituto Brasileiro de Pesquisa e Estatística (IBGE, 2020) indicam que 2.274 municípios brasileiros foram atingidos por alagamentos no período de cinco anos anteriores. São números elevados, que demonstram a necessidade premente de compreender quais são os impactos das enchentes para, assim, desenvolver estratégias visando controlá-los, reduzi-los ou eliminá-los, quando possível.

As inundações em áreas urbanas sempre ocorreram quando as precipitações pluviométricas ultrapassaram a capacidade de drenagem do solo, porém, nos últimos anos vêm se apresentando de forma mais comum. Em grandes centros, esses fatos tornam-se extremamente graves, atingem inúmeros cidadãos e causam prejuízos estruturais, ou seja, atingem ruas, calçadas, edifícios públicos, entre outras estruturas, bem como prejuízos pessoais já que prejudicam casas, móveis, veículos, etc. O problema é antigo e aumenta a cada ano e quanto mais as áreas urbanas crescem, mais construções são desenvolvidas, pois a permeabilidade do solo vai sendo perdida, causando incontáveis impactos negativos (MARTINS, 2012).

Apesar de haver um histórico de crescimento de enchentes, inundações e alagamentos no país, o que se percebe é que os municípios brasileiros não estão preparados para lidar com essas ocorrências de forma a reduzir seus impactos.

De acordo com Wattanabe e Silva (2013) os processos de urbanização ocorreram de forma muito rápida no mundo e seguem acontecendo atualmente, o que também se percebe em uma análise do perfil demográfico brasileiro. Cada vez mais as cidades recebem moradores, são desenvolvidas estruturas para habitação, lazer, comércio, indústria, serviços de saúde, entre tantas outras. No entanto, essa urbanização, de forma geral, ocorreu e ocorre sem que planos efetivos e bem desenvolvidos tenham sido conduzidos e, assim, os impactos são consideráveis no que tange a organização e a capacidade de lidar com essa nova realidade.

Silva (2016) ressalta que a urbanização é um processo inevitável, que vem se tornando mais comum a cada ano e em todo o mundo, a rapidez com que isso ocorre impede que haja um planejamento criterioso dessa ocupação. No Brasil, por exemplo, 85% da população vive em áreas urbanas e até 2025 estima-se que esse percentual chegará a 91%. Em um contexto global, esse número gira em torno de 85% e deve manter-se estável. A falta de leis específicas e aprofundadas sobre o uso do solo e sua ocupação reflete nos impactos dessas situações no cotidiano da população, especialmente em áreas de risco e vulnerabilidade para inundações. Além disso, contribuem para essas ocorrências a ocupação e urbanização de áreas inundáveis, que deveriam ser evitadas, além da redução da capacidade de infiltração nas áreas urbanas por conta do excesso de construções que tornam o solo impermeável.

É preciso destacar, neste ponto, o aumento da população em áreas urbanas, associado à falta de planejamento urbano das cidades. Ocorre que mediante a falta de planejamento há uma permissão para que populações ocupem áreas de inundações naturais dos rios, locais que deveriam ser proibidos para moradia pela administração pública para evitar os riscos gerados e a vulnerabilidade que se instala entre as pessoas nesses locais.

Assim como a população aumenta, as cidades crescem para alocar essas pessoas e, não raramente, isso gera problemas importantes de gestão. Há maior necessidade de moradias, saneamento, oferta de serviços públicos e privados, todos ocorrendo dentro de estruturas construídas. Por falta de espaço, essas pessoas são alocadas próximas a margens de rios e outros locais que deveriam ser mantidos livres, há uma demanda maior do que a capacidade e, com isso, os impactos são inegáveis (LIMA; LOPES; FAÇANHA, 2020).

Reis e Schmidt (2017, p. 16) esclarecem que:

As ocupações e o desenvolvimento da maioria das cidades brasileiras ao longo de rios e corpos hídricos ocasionaram diversos problemas que atingem diretamente a sociedade, dentre eles as enchentes e inundações urbanas. Uma das razões é a expansão dos centros urbanos que nem sempre é acompanhada do desenvolvimento de infraestrutura adequada e que pode prejudicar os sistemas de drenagem locais. Esta situação é agravada pela não observância das características naturais dos ambientes ocupados e pela antropização de áreas sem a devida racionalização do espaço. Isto impossibilita que as áreas próximas aos rios e córregos efetivem o seu papel de zonas de amortecimento e absorção das inundações.

A ocupação dos solos a beira dos rios faz com que haja menor capacidade de escoamento, além de colocar em risco essas pessoas diante de períodos chuvosos. De fato, o uso dessas áreas deveria ser proibido pela gestão pública, com cuidados de fiscalização para que a ocupação clandestina também fosse evitada e desastres pudessem ser evitados, como perdas materiais e mortes quando das cheias dos rios, além de reduzir os impactos dessas cheias sobre as cidades próximas (CHRISTOFIDIS; ASSUMPÇÃO; KLIGERMAN, 2019).

### **2.1.2 Impactos**

Os grandes prejuízos das inundações são percebidos quando ocorrem em áreas urbanas, pois não têm a vantagem de molhar o solo para cultivos agrícolas ou outras finalidades e, sim, exigem que as pessoas deixem suas casas, destroem bens, colocam vidas em risco e, muitas vezes, depois do recuo das águas, doenças tornam-se mais comuns entre os grupos que vivem na região inundada. Nos últimos 30 anos, os registros de enchente em diversos locais do mundo tornaram-se mais acentuados do que os parâmetros de mais de três décadas (TENG *et al.*, 2017).

Os impactos das inundações devem ser avaliados a partir não apenas dos prejuízos financeiros identificados em cada evento, mas considerando as vidas perdidas e os impactos mais amplos dessa situação. Na Europa, entre 1992 e 1998, foram relatadas 35 inundações de proporções significativas, com custos individuais de 800 bilhões de dólares e 300 mortes relacionadas. Boa parte desses eventos se deu em áreas que possuíam infraestrutura adequada para a drenagem, o que demonstra que, muitas vezes, apenas medidas estruturais não são suficientes, pois é difícil prever com exatidão quando ocorrerão precipitações tão intensas que possam causar inundações (TRAVASSOS, 2012).

No Brasil, um exemplo importante é do Rio Itajaí, onde em 1983 ocorreu uma inundação de grandes proporções, a quinta maior em uma análise retroativa de 150

anos, causando prejuízos a todo o vale do Itajaí de aproximadamente 8% do PIB de Santa Catarina (TUCCI; BERTONI, 2003).

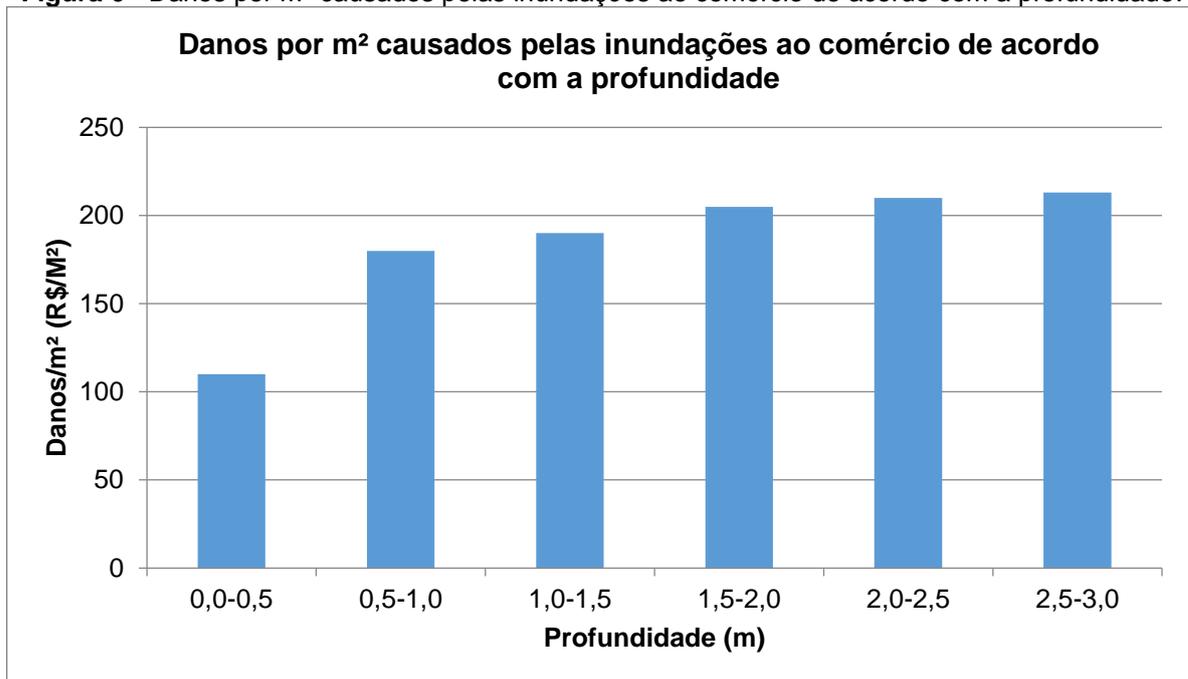
Neal (2014) afirma que as perdas podem ser diretas ou indiretas. As perdas diretas estão associadas ao resultado imediato de uma inundação, relacionam-se principalmente aos danos físicos que ocorrem durante e após um evento, bem como a perda do valor do ativo. São perdas diretas primárias aquelas decorrentes da destruição imediata de edifícios, sistemas de serviços diversos e infraestrutura causada por um evento, enquanto perdas diretas secundárias referem-se aos impactos adicionais resultantes da destruição física subsequente, como danos causados pela água às estruturas decorrentes de uma inundação. As perdas diretas de mercado são aquelas associadas a danos a produtos manufaturados cujos valores podem ser facilmente determinados. Talvez a perda direta mais importante em inundações seja a perda de vidas, não se pode atribuir valor à vida humana e, assim, essas perdas, assim como os problemas de saúde e mentais que surgem dessas ocorrências, são perdas diretas que sequer se pode quantificar.

As perdas indiretas englobam os efeitos residuais de uma inundação, como declínio nas vendas de algumas áreas, atrasos nos salários e redução nos lucros das empresas, interrupção de redes de transporte e perda de receita tributária nos locais afetados. A interrupção dos negócios é comum e muito impactante, quedas na possibilidade de comunicação e comprometimento das redes de transporte são prejuízos a serem reparados, as empresas na área fecham, são diversos impactos, muitos deles não podem ser quantificados pela dificuldade de medir quantos negócios serão realmente perdidos (NEAL, 2014).

Silva et al (2011) realizaram um levantamento sobre os impactos econômicos das inundações em áreas urbanas. As Figuras 6 e 7 apresentam os resultados obtidos quanto aos danos por metro quadrado ao comércio e serviço, respectivamente.

Inicia-se destacando danos ao comércio (Figura 6).

**Figura 6** - Danos por m<sup>2</sup> causados pelas inundações ao comércio de acordo com a profundidade.



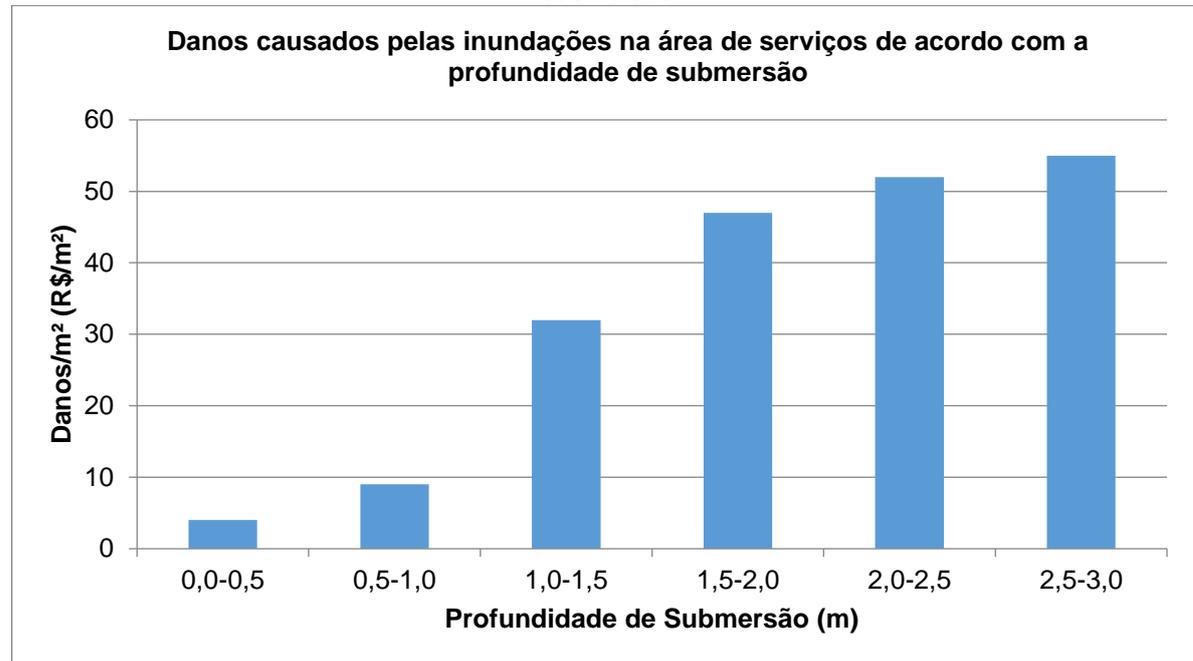
Fonte: Adaptado pelo autor de acordo com Silva *et al.* (2011, p. 10).

Alves e Andrade (2019) ressaltam que os impactos têm relação direta com a ocupação na área, quanto maior o número de estruturas, como comércio, indústria ou outras, maiores serão os impactos materiais observados quando de uma inundação na região.

Compreende-se, assim, que em áreas não habitadas, por exemplo, os impactos são ambientais, enquanto em áreas habitadas eles se ampliam, atingem moradias, locais que atuam para o desenvolvimento econômico, como hospitais, praças, gerando impactos humanos, econômicos, financeiros, sociais, enfim, causam comprometimento e prejuízos a todas as áreas, além de colocar em risco a saúde e a vida das pessoas no entorno.

A seguir são relatados danos para a área de serviços (Figura 7).

**Figura 7** - Danos causados pelas inundações na área de serviços de acordo com a profundidade de submersão



Fonte: Adaptado pelo autor de acordo com Silva *et al.* (2011, p. 11).

Nkwunonwo, Whitworth e Baily (2020) ressaltam que os países de baixa e média renda sofrem os impactos desse fenômeno de forma mais acentuada, considerando-se que a situação econômica já é menos favorecida e que as enchentes causam impactos que demoram longos períodos para que sejam recuperados. Em áreas urbanas as inundações alteram a dinâmica de vida, pela necessidade de realocar as pessoas e reconstruir as estruturas atingidas e, assim, os habitantes dessas regiões vivem com receio e políticas públicas precisam ser desenvolvidas visando seu atendimento diante desses eventos.

De forma direta, os impactos das inundações urbanas envolvem perdas materiais, possíveis óbitos e impactos ambientais. Ressalta-se que óbitos não podem ser quantificados, somente perdas materiais e financeiras e, assim, pode-se dizer que o problema mais grave reside, justamente, nos riscos à vida. As inundações urbanas podem, ainda, fomentar a disseminação de epidemias de doenças (LIMA JÚNIOR, 2016).

Sobre o Fator hidrodinâmico, segundo Viseu (2006), explica que existem muitos estudos técnicos-científicos que recomendam a utilizar a variável baseada pelo produto da altura da água ( $h$ ) pela velocidade de escoamento ( $V$ ) com finalidade de representar o grau de perigo, ou perigosidade, associado a uma cheia.

Diante disso, pode-se dizer que a ameaça provocada pelo produto desses fatores corresponde ao Risco Hidrodinâmico (RH) ou Perigosidade Dinâmica (PD), dado em  $m^2/s$ , conforme a Equação (1) abaixo:

$$(Equação 1) \quad RH = h \times V$$

Onde:

RH – Risco Hidrodinâmico ( $m^2/s$ );

h – Altura da lâmina de água (m);

V – Velocidade de escoamento (m/s).

(HENRIQUE, 2020).

Em estudo desenvolvido pelo *Bureau of Reclamation* (USBR) foi constatado que para uma pessoa com peso de 41 kg o valor da Perigosidade Dinâmica que separa o perigo e não perigo corresponde a  $0,7 m^2/s$ . Enquanto para pessoas com peso de 91 kg esse valor sobe para  $2 m^2/s$ .

Ainda sobre o assunto, Clausen e Clarck (1990) apud Henrique (2020) através da análise de informações históricas a seguintes correlações para a perigosidade dinâmica, no qual:

- $PD=3m^2/s$ : Limite para estragos de submersão e destruição parcial;
- $PD=7m^2/s$ : Limite entre destruição parcial e total.

De acordo com Henrique (2020) os resultados das simulações realizadas com pessoas e modelos físicos de edificações, demonstraram o risco hidrodinâmico, suas consequências e/ou perigosidade dinâmica, de uma inundação, conforme ilustrado no Quadro 1 abaixo.

**Quadro 1** - Risco dinâmico e suas consequências

Perigosidade Dinâmica ( $m^2/s$ )	Consequências
<0,5	Crianças e portadores de necessidades especiais (PNE) são arrastados
0,5 a 1	Adultos são arrastados
1 a 3	Danos de submersão em edifícios e estruturais em casas
3 a 7	Danos estruturais em edifícios e possível colapso
>7	Colapso em alguns edifícios

Fonte: Adaptado pelo autor de acordo com Synaven *et al.*, (2000) Apud Henrique (2020).

Segundo dados obtidos pelo projeto RESCDAM (2000), o grau de perigo para pessoas e edificações, com informações relativas a pequenos danos, danos parciais e danos totais, pode ser definido conforme Quadro 2.

**Quadro 2 - Graduação de perigo para pessoas e edificações**

<b>Perigosidade Dinâmica (m<sup>2</sup>/s)</b>			
Classe de Danos	Pequenos	Parciais	Totais
Risco de Vida	Reduzido	Médio	Importante
Crianças	<0,1	0,1 a 0,24	<0,25
Adultos	<0,3	0,3 a 0,7	>0,7
Automóveis	<0,9	0,9 a 1,5	>1,5
Casas frágeis	<1,3	1,3 a 2,5	>2,5
Casas bem construídas	<2	2 a 5	>5
Casas de tijolos	<3	3 a 7	>7

Fonte: Adaptado pelo autor de acordo com RESCDAM, 1999.

Para Viseu (2006) existem critérios também sobre a graduação de risco para pessoas e edificações, em função da perigosidade dinâmica, conforme descrito no Quadro 3.

**Quadro 3 - Nível de risco hidrodinâmico para edificações e pessoas**

Nível	Classe	Inundação dinâmica para edifícios (hxV)	Inundação dinâmica para pessoas (hxV)
Reduzido	Verde	$hxV > 3 \text{ m}^2/\text{s}$	$hxV > 0,5 \text{ m}^2/\text{s}$
Médio	Amarela	$3 < hxV < 5 \text{ m}^2/\text{s}$	$0,5 < hxV < 0,75 \text{ m}^2/\text{s}$
Importante	Laranja	$5 < hxV < 7 \text{ m}^2/\text{s}$	$0,75 < hxV < 1 \text{ m}^2/\text{s}$
Muito importante	Vermelha	$hxV > 7 \text{ m}^2/\text{s}$	$hxV > 1 \text{ m}^2/\text{s}$

Fonte: Adaptado pelo autor de acordo com Viseu, 2006.

Vale frisar que tal classificação é realizada em quatro níveis de classes (verde, amarela, laranja e vermelha), sendo bastante comparada por suas semelhanças ao que foi proposto por Synalven *et. al* (2000). É preciso esclarecer o fator hidrodinâmico, a energia da inundação, e com indicador de energia temos a velocidade da água x altura da lâmina de água.

Modelos hidrodinâmicos permitem a determinação dos padrões de correntes em corpos de água, em locais de superfície livre (rios, baías, lagoas, etc.). Esses modelos costumam ser aplicados para simular “[...] a variação do campo de velocidade em função do espaço e do tempo”. A partir desses modelos outros podem ser alimentados. A hidrodinâmica em corpos d’água envolve princípios básicos das leis de conservação, com base em três grandezas fundamentais da mecânica de fluidos: energia, massa e quantidade de movimento (HOLANDA, 2010, p. 32).

A modelagem hidrodinâmica pode apresentar instabilidades em decorrência da influência de fatores como “[...] simulações em períodos secos com vazões baixas, trechos com grande declividade, espaçamento entre seções transversais insuficientes, valores do coeficiente de Manning, entre outros” (FERRAZ, 2019, p. 87).

“Um dos mais importantes indicadores do comportamento hidrodinâmico de sistemas lacustres é o tempo de residência da água ( $\tau$ ), também denominado tempo de retenção ou tempo de detenção hidráulica” (SOARES, 2019, p. 7).

A seguir aborda-se a questão dos cálculos de prejuízos decorrentes de inundações urbanas.

## 2.2 CÁLCULOS DOS PREJUÍZOS DECORRENTES DE INUNDAÇÕES URBANAS

Para que se possa calcular quais são os impactos de uma inundação, o primeiro passo é compreender quais são as áreas mais comumente atingidas por esse evento para, assim, avaliar cada extensão de danos possível e os resultados em diferentes cenários de precipitação. Quanto mais famílias, empresas e estruturas ocupam áreas sujeitas a inundações, maiores serão os impactos quando esta vier a ocorrer (PESSINO, 2014).

Nagem (2008) esclarece que é preciso considerar que as enchentes causam problemas e custos à saúde pública, pois elevam o risco de contágio por leptospirose, hepatite A, hepatite B, doenças diarreicas, febre tifoide, cólera, entre outras. São impactos importante sobre a vida dos indivíduos contaminados, sua capacidade laboral, além de gerar custos para o atendimento público dessas pessoas. Apesar da gravidade desse fato, porém, pode ser extremamente difícil conseguir quantificar quais foram os prejuízos causados nessas situações.

Jonov, Nascimento e Silva (2013) corroboram esclarecendo que inundações trazem danos tangíveis e intangíveis, ou seja, aqueles que podem ser facilmente vistos e avaliados, bem como alguns que são difíceis de perceber e cuja avaliação pode ser de extrema dificuldade. Os danos tangíveis podem ser diretos ou indiretos. São tangíveis diretos os danos aos domicílios, construções, bens móveis existentes nesses locais, estoques, mercadorias e mobiliários da indústria e comércio, equipamentos e plantas atingidos e danificados, além da infraestrutura (redes de esgoto, calçadas, ruas, etc.) São tangíveis indiretos danos como a necessidade de limpeza dos locais, alojamento de desabrigados, oferta de medicamentos, lucros

perdidos pelas pessoas e empresas atingidas, perda de informações pelo comprometimento de equipamentos, paralisações, congestionamentos, falta de transporte público.

São danos intangíveis diretos os ferimentos ou as vidas perdidas, doenças decorrentes das inundações, perda dos objetos de valor sentimental, perda do patrimônio histórico e cultural da área atingida, morte ou adoecimento de animais de estimação. Os danos intangíveis indiretos envolvem danos psicológicos, estresse, ansiedade, danos à saúde que se manifestem posteriormente, mas estão ligados à inundação e seus efeitos sobre os indivíduos, falta de motivação para o trabalho e a perturbação do cotidiano, muitas vezes por longos períodos ou repetida de tempos em tempos. Atualmente existem técnicas que fornecem uma quantificação aproximada desses danos, desenvolvidas como forma de dar maior compreensão quanto aos impactos dessas ocorrências (JONOV; NASCIMENTO; SILVA, 2013).

No cenário internacional, a estimativa de danos é uma medida relativamente comum, porém, no Brasil ainda é atividade considerada difícil e não amplamente aplicada. Existem métodos que permitem verificar valores relacionados às inundações, considerando diferentes impactos que podem ser verificados, como moradias, estruturas comerciais e industriais, infraestrutura e serviços públicos, meio ambiente, etc. O método DaLa (*Damage and Loss Assessment*) pode ser uma ferramenta para essa finalidade, foi desenvolvido em 2003 pela a Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), como forma de avaliar os danos e perdas decorrentes de diferentes eventos naturais, seguindo os conceitos da UNDRO (*United Nations Disaster Relief Organization*). Essa metodologia aponta quais foram os danos em diferentes setores, bem como os valores a serem investidos para a recuperação dos mesmos e desenvolvimento de medidas para evitar a repetição dessa situação no futuro (SOUSA; GOERL, 2018).

Duas abordagens de estimativa de danos de inundação bastante comuns são os modelos de perda de unidade e aplicativos de modelagem. A abordagem por perda de unidade envolve uma avaliação de cada uma das propriedades da inundação, enquanto os aplicativos de modelagem estimam os efeitos e as relações intersetoriais sobre a economia. A estimativa de danos é aplicável ao cenário urbano. A definição de um modelo de estimativa de danos preciso pode ser difícil, pois a natureza dos danos causados pode ser variada (sociais, econômicos, pessoais, de saúde, etc.). É preciso obter dados detalhados, como a velocidade de fluxo, profundidade e duração

da inundação (atualmente equacionado como fator hidrodinâmico admissível para cada componente), estabelecer uma classificação adequada de categorias de danos e de relações entre parâmetros de inundação e danos para diferentes categorias. A relação entre os parâmetros de inundação e os danos ocorridos pode ser representada pela função de dano por estágio, que é desenvolvida com base em informações históricas de danos de inundação, pesquisa de questionário, experiências de laboratório, etc. (ROMALI *et al.*, 2015).

A simulação de diferentes cenários de inundação pode ser obtida a partir da alimentação de programas específicos para tal finalidade com dados como topografia, bacia hidrográfica, tendências de precipitações em diferentes períodos, etc. Quando esses dados são coletados com o máximo de precisão e inseridos ao programa, torna-se possível alcançar diferentes previsões e, assim, calcular, em cada situação, quais são os prejuízos decorrentes (PESSINO, 2014).

O Brasil ainda não conta com uma metodologia padronizada para que seja possível avaliar quais foram os danos relacionados à uma inundação em determinado município. Existe uma instrução normativa, GM/MI nº1 de 2012 que define quais são os critérios a serem avaliados para que um município, estado ou Distrito Federal possa decretar situação de emergência ou calamidade pública (SOUSA; GOERL, 2018).

Os critérios para a decretação de situação de emergência ou estado de calamidade pública constam da seguinte forma:

Art. 1º Para os efeitos desta Instrução Normativa entende-se como:

I – desastre: resultado de eventos adversos, naturais ou provocados pelo homem sobre um cenário vulnerável, causando grave perturbação ao funcionamento de uma comunidade ou sociedade envolvendo extensivas perdas e danos humanos, materiais, econômicos ou ambientais, que excede a sua capacidade de lidar com o problema usando meios próprios;

II – situação de emergência: situação de alteração intensa e grave das condições de normalidade em um determinado município, estado ou região, decretada em razão de desastre, comprometendo parcialmente sua capacidade de resposta;

III – estado de calamidade pública: situação de alteração intensa e grave das condições de normalidade em um determinado município, estado ou região, decretada em razão de desastre, comprometendo substancialmente sua capacidade de resposta;

IV – Dano: Resultado das perdas humanas, materiais ou ambientais infligidas às pessoas, comunidades, instituições, instalações e aos ecossistemas, como consequência de um desastre;

V – Prejuízo: Medida de perda relacionada com o valor econômico, social e patrimonial, de um determinado bem, em circunstâncias de desastre.

VI – Recursos: Conjunto de bens materiais, humanos, institucionais e financeiros utilizáveis em caso de desastre e necessários para o restabelecimento da normalidade (BRASIL, Instrução Normativa 01, 2012).

No entanto, a referida diretriz não dá informações a respeito de cálculos para a verificação dos danos causados por uma inundação.

### **2.2.1 Impactos sobre a infraestrutura pública**

Quando ocorre uma inundação, os impactos atingem as mais diversas áreas da sociedade em função dos danos à propriedade privada, risco de doenças, riscos à vida, falta de transportes, fechamento de empresas para a limpeza e recuperação, etc. No entanto, há uma área que precisa receber atenção para que se compreenda a extensão dos impactos e sejam desenvolvidas medidas preventivas ou corretivas, a área de infraestrutura pública, considerando-se que os danos nessa esfera atingem todos os cidadãos (como o corte de luz, a impossibilidade de usar vias públicas por conta de buracos ou outras situações) e são os recursos públicos que são usados para corrigir esses danos (ENOMOTO, 2004; GONÇALVES, 2015).

Nagen (2008) ressalta que as inundações podem comprometer uma série de serviços ligados à infraestrutura pública, como abastecimento de luz, água, transportes, saúde, entre outros e, assim, além de haver custos que podem ser quantificados pela avaliação dos valores a serem gastos com os consertos, existem aqueles que não podem ser quantificados, como os impactos sobre a saúde física e mental da parada desses serviços, a necessidade de cidadãos e empresas de buscarem formas de manter suas atividades nesse período, etc.

Machado *et al.* (2005) afirmam que é mais fácil avaliar os danos materiais, enquanto danos que envolvem a interrupção de serviços, por exemplo, são difíceis de serem quantificados e, assim, trata-se de um amplo esforço coletar dados para avaliar os impactos da uma inundação. Quando o abastecimento de energia elétrica ou água é cortado, por exemplo, existem os custos para a religação das redes que podem ser avaliados, mas é mais difícil compreender quanto as empresas deixaram de produzir ou vender por não ter abastecimento, quanto as pessoas foram impactadas por essa situação e, assim, quando se fala em impactos sobre estruturas públicas, em geral alcança-se uma visão dos danos materiais, mas deve-se considerar que existem muitos outros envolvidos.

Os custos podem ser calculados por uma abordagem sintética ou histórica. Na abordagem sintética realiza-se uma avaliação dos danos em potencial em caso de inundação, enquanto a perspectiva histórica leva em consideração uma situação

específica e os custos que ela gerou. A abordagem sintética pode ser aplicada de forma geral a diferentes ocorrências, enquanto a histórica traz dados bem realistas, mas apenas de um evento. Ambas são importantes e devem ser aplicadas de acordo com a finalidade do levantamento de custos (NAGEN, 2008).

Tachini *et al.* (2009) afirmam que uma forma de avaliar os danos decorrentes de uma inundação envolve entrevistas com a população, empresários e gestores públicos sobre as áreas atingidas, como forma de coletar dados diretamente com os envolvidos e impactados em cada evento. O ideal é que isso não ocorra logo após a inundação, quando há fatores emocionais envolvidos, nem muito tempo depois, quando as pessoas já não têm grandes recordações dos eventos.

A infraestrutura pública que está sujeita a danos em função de inundações envolve hospitais, clínicas, postos de saúde, asilos, escolas, creches, colégios, faculdades, universidades, estádios, ginásios, piscinas; Lazer: praças, parques, jardins públicos, teatros, cinemas, salas de concerto, museus, centros culturais, redes viárias; elétricas, gás, água, esgoto, telefones, equipamentos (estações de tratamento de águas de abastecimento, estações de tratamento de esgotos, subestações de energia elétrica etc.), além de correios, prefeitura, tribunais, etc. Percebe-se, assim, que há uma variedade de possíveis impactos, todos a serem corrigidos com verbas públicas que deixam de ser destinadas para outras finalidades (MACHADO *et al.*, 2005).

Ribeiro Neto *et al.* (2016) ressaltam que para prever os danos que possam ser causados por uma inundação, os mapas de inundação podem ser uma ferramenta de grande valia, pois permitem avaliar diferentes cenários de precipitações e, assim, pode-se projetar que áreas serão atingidas em caso de enchente, quantas residências, indústrias, comércios e prestadoras de serviços há na área, quais os impactos sobre estruturas do poder público, etc. Trata-se de uma previsão relevante para o desenvolvimento de medidas preventivas ou de redução de impactos diante de cenários negativos em períodos nos quais as enchentes ocorrem com mais frequência.

Atualmente existem diferentes programas computadorizados que permitem o fornecimento de dados sobre uma região específica e podem levar à uma análise das áreas de maior risco e vulnerabilidade e, assim, torna-se possível proceder de uma avaliação de quais serão os impactos caso uma inundação venha a se concretizar.

Esses programas geram dados sobre áreas afetadas, sua extensão e quais os resultados em diferentes profundidades de inundações (CAVALCANTI, 2014).

### 2.3 MODELAGEM DE INUNDAÇÕES URBANAS

As características espaciais e temporais das inundações em áreas urbanas são complexas em face das constantes mudanças no uso do solo, que introduz características microurbanas como edifícios, estradas e redes de drenagem. As infraestruturas urbanas específicas que afetam as inundações em caso de excesso de chuvas incluem o tipo e a geometria dos edifícios, rampas de garagem, poços de luz, pilares e pátios na superfície ou imediatamente abaixo da superfície do solo. No geral, aceita-se que um aumento nas áreas impermeáveis e nos sistemas de transporte conectados em áreas urbanas eleva as descargas e os volumes de pico (EGZIABHER; DEMISSIE, 2020).

Essas características microurbanas não podem ser ignoradas quando se deseja desenvolver um modelo efetivo de inundações urbanas, pois são características que alteram os padrões de fluxo das águas e, assim, se não forem aplicadas o resultado do modelo pode ser totalmente incorreto. As ferramentas disponíveis vêm sendo melhoradas para que dados cada vez mais precisos possam ser inseridos e, assim, os resultados também sejam considerados cada vez mais avançados e próximos da realidade (WANG *et al.*, 2018).

A modelagem de inundações é uma atividade relativamente recente, cujo intuito central é de compreender e gerir o mecanismo em funcionamento nas várzeas. No entanto, a busca pelo desenvolvimento de métodos que permitam essa percepção ocorre há pelo menos seis milênios. Com o surgimento das tecnologias de informação e comunicação, surgiu a modelagem computacional de inundações e os engenheiros passaram a ter a capacidade de compreender como ocorrem as inundações, quais os parâmetros mínimos e máximos incidentes sobre elas e, assim, podem redesenhar as estruturas projetadas com base em modelos hidráulicos de rios, o que demanda do conhecimento da dinâmica do fluxo (ULLAH *et al.*, 2016).

De acordo com Peruzzo (2017, p. 28), modelos de inundação são aplicados quanto há o intuito de avaliar os impactos de uma inundação sobre um local específico. Engloba uma técnica que leva em consideração dados conhecidos sobre uma região e, assim, possibilita a previsão da “[...] dinâmica, descarga e altura dos

picos de inundação resultantes para uma determinada precipitação, usualmente com o objetivo de avisar as populações que estão em área de risco dentro do cenário simulado”.

Assim, quando se fala em modelagem de inundações urbanas, refere-se a um sistema que permite agrupar diferentes dados que, associados, permitem identificar riscos.

Os modelos de inundação são desenvolvidos a partir de uma metodologia aplicada na disciplina de engenharia de rios, essencial para a previsão e avaliação de riscos de inundação. O correto delineamento da extensão das inundações e profundidades da água é necessário para simular o comportamento hidráulico do rio, para fins de gestão da área, avaliação de medidas corretivas ou preventivas, estudos para estratégias amplamente aplicáveis, planejamento urbano e outras práticas em terrenos e propriedades potencialmente afetados por inundações (GHANBARPOUR *et al.*, 2011).

Apesar da ampla percepção dos benefícios de uma ferramenta de modelagem de inundações e sua aplicação para áreas urbanas, obter esses modelos não é uma atividade fácil, pois a alimentação de dados exige informações variadas, amplas e confiáveis. Inúmeros modelos hidrodinâmicos vêm sendo construídos e testados para que a coleta e alimentação de dados se torne mais precisa. Deve-se ressaltar que os tipos e níveis de informações dependem da finalidade de uso da ferramenta, ou seja, planejamento urbano, questões comerciais, etc. (BULTI; ABEBE, 2020).

A maioria dos modelos existentes atualmente é comercial e de difícil acesso a muitos usuários, são complexos, exigem diversos conjuntos de dados e recursos computacionais, o que os torna ineficazes para a maioria das aplicações. Assim, técnicas simplificadas de modelagem de inundações vêm sendo aplicadas visando determinar a extensão espacial desses eventos em áreas urbanas. Esses modelos necessitam somente de um mapa digital de elevação e uma representação matemática da propagação da água de inundação em uma determinada área. Todavia, os modelos simplificados muitas vezes não simulam a bacia hidrográfica e o sistema de drenagem, de modo que modelos hidrológicos de acoplamento, modelos hidrodinâmicos unidimensionais e modelos simplificados de inundação vêm sendo avaliados e testados como abordagem alternativa para simular inundações em áreas urbanas (EGZIABHER; DEMISSIE, 2020).

Quanto mais aprofundadas as informações disponíveis a respeito dos riscos, impactos e extensão das inundações, melhores serão os esforços para gestão e desenvolvimento de políticas públicas voltadas à população potencialmente atingida (SILVA, 2016).

Para isso, foram criados aplicativos HEC-RAS sofisticados que auxiliam na obtenção de uma ideia da extensão de uma inundação diante de condições específicas e períodos definidos. A compreensão dos efeitos de inundações determinados por modelos computadorizados demanda de um modelo hidrológico, que define o escoamento da chuva projetada ou evento histórico de chuvas, um modelo hidráulico, que direciona o escoamento através de canais de córregos para determinar o perfil da superfície da água em locais específicos ao longo da rede de córregos, uma ferramenta de mapeamento e visualização de várzea e a extração de dados geoespaciais para uso em modelos (ULLAH *et al.*, 2016).

Os mapas de inundação são representações gráficas capazes de demonstrar o comportamento de inundações em determinados espaços e, assim, gerando maior compreensão sobre manchas de inundação e sua extensão, profundidade e velocidade com que ocorrem. O mapa final pode apresentar as especificidades do evento como foco de seu desenvolvimento ou, ainda, ser associado a outras informações a respeito do local de ocorrência, parcela da população atingida, os custos relacionados ao evento, etc. (SILVA, 2016).

### **2.3.1 Aplicativo Hec-Ras**

O HEC-RAS é uma ferramenta que permite uma modelagem 1D “[...] que resolve as equações de Saint-Venant completas, por aplicação do método de diferenças finitas [...]”, com isso, é possível simular o escoamento que ocorre em uma superfície livre seja em regime permanente ou em regime variável (REIS; SCHMIDT, 2017, p. 117).

O *Hydrologic Engineering Center – River Analysis System* - HEC-RAS pode gerar diversos modelos de previsão de áreas inundáveis e seu uso é amplo no Brasil e no mundo, auxiliando na compreensão de possíveis problemas e na formulação de soluções para os mesmos (MENDES *et al.*, 2022).

Com base no MDTHC, dados geométricos de entrada do HEC-RAS podem ser gerados, como linhas de centro, fluxo, canal, seção transversal, uso do solo, dique, áreas ineficazes e áreas de armazenamento. Na implementação

utilizada no Arcgis, as camadas de informações criadas manualmente no programa são editadas e os limites definidos pelo usuário de cada item de análise, sendo úteis ao mapeamento de várzea, aos cálculos dos danos e delimitações de inundações, restauração do ecossistema e alerta de cheias (HEC, 2014). O mapeamento das áreas inundáveis se dá a partir dos resultados obtidos pelas simulações hidráulicas no HEC-RAS e o traçado da área de inundação é realizado utilizando-se das alturas d'água, como resultados das análises hidráulicas, nas seções transversais (REIS; SCHMIDT, 2017, p. 117).

As áreas inundáveis podem ser mapeadas de acordo com os resultados gerados nas simulações hidráulicas do HEC-RAS. O traçado da uma área de inundação é formulada a partir da altura d'água, com base em dados de análises hidráulicas, nas seções transversais. O programa HC-RAS define informações sobre condições de contorno e fluxos (REIS; SCHMIDT, 2017).

Assim, em cada situação deve-se alimentar o programa com dados específicos sobre declividade, escoamento, profundidade e vazão. Os fluxos costumam ser estabelecidos no local mais a montante do rio ou afluente em análise, bem como nas junções, “[...] sendo cada fluxo um perfil diferente dentro do programa. A análise permanente onde se tem o regime subcrítico definido deve ser selecionado pelo usuário de acordo com os critérios hidráulicos” (REIS; SCHMIDT, 2017, p. 117).

Ainda sobre a temática, Fernandez *et al.* (2013) explica que no contexto do HEC-RAS, a lei de resistência aplicada é a Equação de Manning-Strickler e a seção transversal de escoamento considera uma seção composta, logo, o canal é escolhido através da obtenção dos topográficos interpolados, através do desenvolvimento de um modelo digital de terreno, e delimitado pelas alturas calculadas no presente sistema.

Com base no modelo digital de terreno hidrológicamente consistente (MDTHC), os dados geométricos de entrada do HEC-RAS podem ser gerados, por meio de linhas de centro, fluxo, canal, seção transversal, uso do solo, dique, áreas ineficazes e áreas de armazenamento.

Dessa forma, para que seja feita a implementação no programa, as camadas de informações criadas manualmente no programa podem ser editadas, além disso, os limites conseguem ser estabelecidos pelos usuários de cada item de análise, sendo úteis ao mapeamento de várzea, aos cálculos dos danos e delimitações de inundações, restauração do ecossistema, bem como a emissão de alerta sobre as cheias (HEC, 2014).

O mapeamento das áreas inundáveis ocorre por meio da obtenção dos resultados obtidos pelas simulações hidráulicas no HEC-RAS, cujo traçado da área de inundação é desenvolvido por meio das alturas d'água, como resultados das análises hidráulicas, nas seções transversais. Assim as informações relacionadas as condições de contorno e fluxos são oriundas do programa HEC-RAS, no qual os parâmetros de declividade, escoamento, profundidade e vazão de projeto devem estar presente de acordo com cada situação (MEDEIROS; ZANELLA, 2019).

Os fluxos descritos nos resultados, geralmente podem ser definidos no local mais a montante de cada rio ou afluente, e em junções, sendo cada fluxo referente a um determinado perfil diferente dentro do programa. Em virtude disso, a alerta permanente no qual decorre o regime subcrítico definido é recomendando que seja selecionado pelo usuário conforme os critérios hidráulicos a serem estudados (CALÇADA *et al.*, 2004; NANIA; MOLERO, 2007; MERWADE, 2012).

Acerca da temática, observa-se que existem pesquisas relacionadas a utilização do modelo HEC-RAS para a previsão de áreas inundáveis urbanas e rurais em diversos países, sendo que a geometria da rede de drenagem dos canais é georreferenciada em ambiente SIG e integrada ao banco de dados do MDT para extração do modelo do terreno, no qual encontra-se diferente somente no que se refere às resoluções dos MDTs utilizados (CALÇADA *et al.*, 2004; YANG, 2004; KNEBL *et al.*, 2005; YANG *et al.*, 2006; SANTOS, 2009; CUNHA *et al.*, 2012).

Em pesquisa desenvolvida por Merwade *et al.* (2008) e Podhorányi *et al.* (2013) o HEC-RAS foi utilizado juntamente com SIG, cruzando dados LiDAR para geração de canal 3D. Enquanto no desenvolvimento do estudo de Ghimire (2013) foram usados informações LiDAR com modelo hidrodinâmico 2D TUFLOW para cenário de chuva intensa em áreas rurais da Escócia, no qual acabou sendo inserida vários eventos de diferentes probabilidades de ocorrência.

Nos resultados identificados por Abushandi e Merkel (2013) inseriram imagens do satélite e MDTs no modelo hidrológico *Hydrologic Modeling System* (HEC-HMS) e no modelo hidrodinâmico *Identification of unit Hydrographs and Component flows from Rainfall, Evaporation and Streamflow data* (IHACRES) em uma dada região árida da Jordânia. Os autores da pesquisa ressaltaram que os dados de alta resolução foram considerados como imprescindíveis para os resultados, o que evidenciou o sucesso obtido em identificar diversos tipos de solos encontrados.

Ainda de acordo com os autores acima, foi possível evidenciar que a utilização desse equipamento, pode-se extrair informações como a geometria de uma determinada área do estudo, por meio da extensão HEC-GeoRAS, versão 10.2 do software HEC-RAS, e da integração com o software ArcGis, versão 10.3 (ABUSHANDI; MERKEL, 2013).

Diante disso, para que ocorra a modelação dos dados de geometria do canal no HEC-RAS é recomendando a criação de um modelo do tipo TIN (*Triangular Irregular Network*) através do MDT (USACE, 2002), fazendo uso do método de triangulação de Delauney (ABUSHANDI; MERKEL, 2013).

Portanto, nota-se que o uso da modelagem hidrodinâmica no HEC-RAS, no processo de verificação e análise dos potenciais locais e áreas de inundações urbanas próximas de canais naturais e artificiais, é visto como essencial e eficiente já que pode possibilitar a identificação dos principais trechos inundáveis para diferentes cenários de precipitação.

### **2.3.2 Mapa de inundação**

Mapas de inundação são representações gráficas que permitem compreender especificidades de uma ou mais inundações, constando neles a extensão da mancha, profundidade da inundação e/ou velocidade da inundação. No mapa final pode-se obter dados das especificidades de um evento ou uma combinação com dados da área, tais como população atingida, custos materiais, custos públicos, etc. Em regiões nas quais esses eventos são frequentes, os mapas de inundação são essenciais para o desenvolvimento de políticas públicas de mitigação dos impactos. Programas computadorizados permitem obter uma simulação dos eventos com base em dados pluviométricos, vazões, entre outros, como o HEC-RAS. Deve-se recordar, porém, que cada modelo existente fornece dados específicos e, assim, a escolha do modelo é muito importante para que o resultado esperado seja alcançado (SILVA, 2016).

O HEC-RAS (*Hydrologic Engineering Center – River Analysis System*) é um aplicativo que tem sido bastante utilizado para modelagem numérica no domínio da Engenharia Hidráulica e Fluvial, com grande aceitação devida sua programação pertencente a “*US Army corps of Engineers*”.

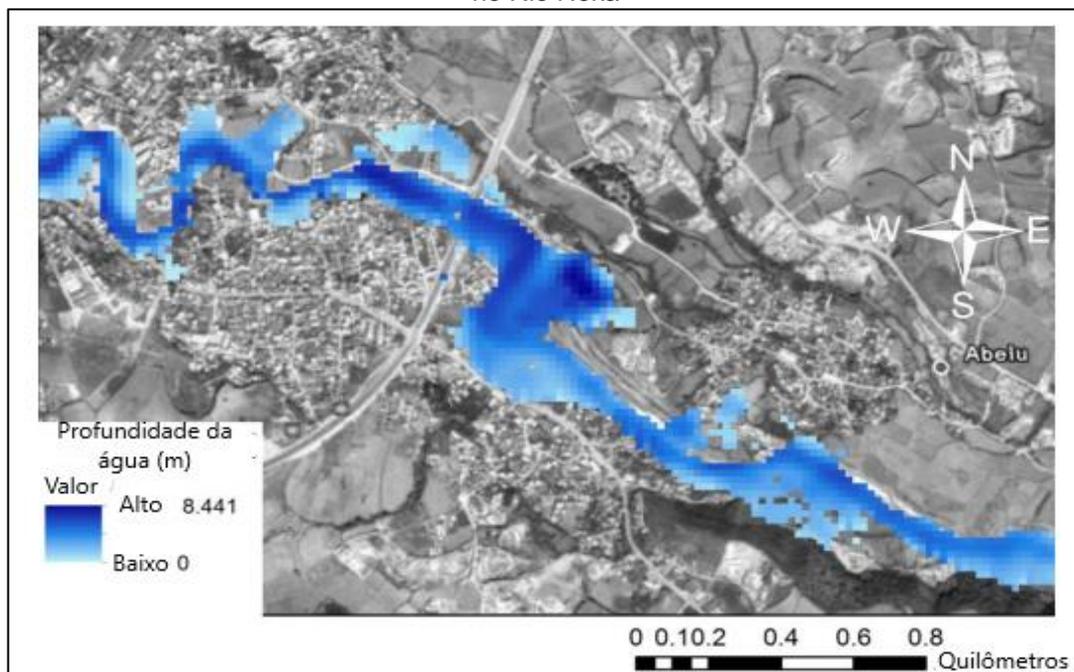
Alves e Andrade (2019, p. 10) afirma que a função central desse aplicativo HEC-RAS é simular “[...] escoamentos unidimensionais, em regimes permanentes ou

transitórios, ademais da modelagem de transportes de sedimentos e análise de formas de fundo e, também, modelagem de temperatura de água”. Os dados a serem inseridos no programa envolvem as informações da geometria das seções transversais do canal em análise, tanto os naturais quanto os artificiais, as rotinas de cálculos geométricos e dados referentes à vazão e contorno da área, permitindo os cálculos hidráulicos adequados.

Na concepção de Wu *et al.* (2018), compreender a dinâmica de inundações urbanas é uma atividade relativamente difícil, em função da existência de inúmeras estruturas que alteram essa dinâmica, além de condições subjacentes envolvidas com superfícies e drenagem, que atuam diretamente sobre a propagação da inundação. Estudos de séries históricas de inundações urbanas vêm sendo realizados como forma de compreender alguns parâmetros, associando-se esses dados com indicadores e modelos numéricos. Importantes progressos foram alcançados no que tange o desenvolvimento e aplicação de modelos hidrológicos para a simulação de inundações urbanas, porém, muito ainda há a ser feito.

Na Figura 8 apresenta-se um mapa de inundação obtido através HEC-RAS, desenvolvido com base em dados de 100 anos para demonstrar os impactos em um século.

**Figura 8** - Profundidades de inundação simuladas pelo programa HEC-RAS – modelo para 100 anos no Rio Neka



Fonte: Ghanbarpour *et al.* (2011).

O programa de modelagem NAYS2D de inundação é um programa que leva em consideração coordenadas ajustadas aos limites ou um sistema retangular de coordenadas para gerar um sistema de resultados curvilíneo (SHOKORY *et al.*, 2016). A Figura 9 apresenta um exemplo de funcionamento desse modelo de programa.

**Figura 9** - Vetores de profundidade e velocidade - rio Toyohira calculados por Nays2DH



**Fonte:** Nelson *et al.* (2016, p. 11).

Sobre os diferentes programas disponíveis, apresenta-se o Quadro 4, que segue, com dados relevantes sobre suas características e diferenças entre eles.

**Quadro 4 - Métodos e especificidades**

<b>Método</b>	<b>Especificidades</b>	<b>Aplicação</b>	<b>Tempo médio para processamento</b>	<b>Resultados</b>	<b>Exemplos</b>
1D	Solução da equação unidimensional de St-Venant	Modelagem de 10s a 100s de km, conforme o tamanho da área	Poucos minutos	Profundidade da água, velocidade média e descarga (seções transversais diferentes).	Mike-11; HEC-RAS; ISIS; InfoWorksRS
				Extensão da inundação (planícies de inundação parte do modelo 1D) ou projeção horizontal do nível da água.	
1D+	Possível abordagem celular para simulação de armazenamento do fluxo	Modelagem de 10s até 100s de km, conforme a área, porém podem aumentar a escala quando do uso de seções transversais esparsas	Minutos	Igual ao modelo 1D, além de níveis de água e extensão de inundação em células de armazenamento	Mike-11; HEC-RAS; ISIS; InfoWorksRS
2D-	2D menos a lei de conservação do momento para o fluxo	Grande escala de modelagem e aplicação nos locais em que efeitos da inércia não são relevantes	Horas	Extensão da inundação, profundida da água	LISFLOOD-FP, JFLOW
2D	Solução da equação bidimensional para águas rasas	Modelagem de 10s de km. Pode ser usado em modelagem de larga escala no uso de grids grosseiros,	Horas ou dias	Extensão da inundação, profundida da água, velocidade média com relação à profundidade	TUFLOW, Mike 21, TELEMAC SOBEK, InfoWorks 2D
2D+	2D mais solução vertical para velocidades com uso de continuidades	Mais comum na modelagem em ambientes costeiros, onde há necessidade de perfis de velocidade 3D	Dias	Extensão da inundação, profundida da água e velocidade 3D	TELEMAC 3D

Método	Especificidades	Aplicação	Tempo médio para processamento	Resultados	Exemplos
3D	Solução da equação tridimensional de Navier Stokes	Previsão local de velocidades tridimensionais em canais e planícies de inundação	Dias	Extensão da inundação, profundidade da água e velocidade 3D	CFX

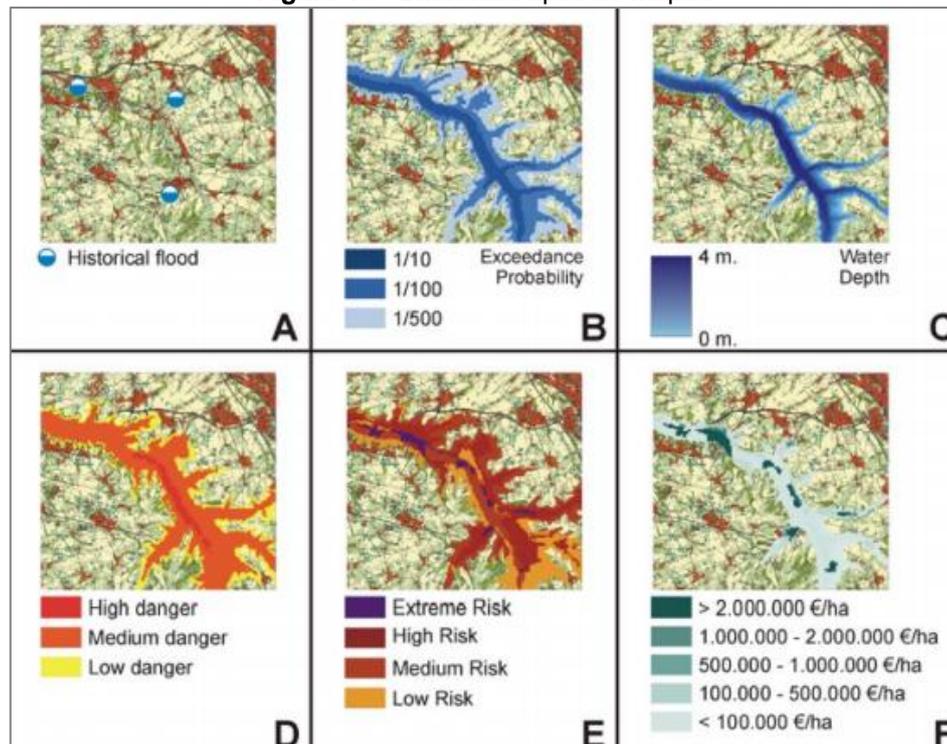
Fonte: Adaptado pelo autor de Peruzzo (2017).

Percebe-se, assim, que existem diferentes métodos, a seleção deve ocorrer de acordo com os objetivos a serem alcançados e os resultados esperados, além de levar em consideração a área, suas especificidades e o tempo disponível.

Os mapas de inundação, de acordo com as informações aplicadas e os resultados alcançados, podem ser caracterizados como mapas de risco ou mapas de vulnerabilidade. Os mapas deixam evidentes as características da inundação, enquanto os mapas de vulnerabilidade apresentam os pontos sensíveis quando uma inundação ocorre (SILVA, 2016).

Os diferentes tipos de mapas que podem ser obtidos são apresentados na Figura 10.

**Figura 10** - Diferentes tipos de mapas



Fonte: Silva (2016, p. 13).

Legenda: (A) mapa histórico de inundação; (B) Mancha de inundação; (C) Profundidade de inundação; (D) Mapa de perigo; (E) Mapa de perigo quantitativo; (F) Mapa de perdas econômicas.

## 2.4 MANCHAS DE INUNDAÇÃO

Inundações ocorrem quando as águas de um rio, de córregos ou de túneis de águas pluviais saem de seu leito normal, em função da incapacidade desses sistemas de lidar com seu montante e, assim, invade espaços urbanos nos quais as pessoas vivem, transitam, trabalham, etc. Quando ocorrem chuvas intensas e o solo não permite a infiltração dessas águas, elas tendem a escoar para os sistemas de drenagem, que muitas vezes também não consegue realizar a descarga em tempo adequado. O excesso escoar para as chamadas planícies de inundação, em geral aquelas que estão próximas de rios. Não existe um padrão para a ocorrência desses eventos, processos climáticos locais e regionais atuam sobre sua ocorrência, intensidade e períodos (TUCCI, 2007).

Compreende-se, assim, que uma inundação tende a ocorrer por uma associação de condições meteorológicas e hidrológicas. Ao longo do tempo, muitos estudos foram conduzidos visando compreender os padrões climáticos em longo prazo, porém, o que se sabe ainda é muito limitado, justamente em função do fato de que esses parâmetros podem se alterar frequentemente, em função de fenômenos meteorológicos e da interdependência dos processos físicos que influenciam a atmosfera terrestre. Deve-se compreender que as condições hidrológicas que elevam os riscos de inundações podem ser naturais ou artificiais, sendo que os naturais decorrem da bacia hidrográfica em seu estado natural, com incidência do relevo, tipo de precipitação, cobertura vegetal e capacidade de drenagem (TUCCI, 2007).

De forma geral, os rios normalmente são capazes de drenar suas cabeceiras, áreas nas quais há declividade que permite o escoamento de alta velocidade. Durante uma enchente, o nível das águas pode variar de forma considerável e em pouco tempo. Quando o relevo é acidentado, é comum que a ocupação se dê em áreas mais planas e mais baixas, que são as que sofrem os maiores riscos de inundação. “A várzea de inundação de um rio cresce significativamente nos seus cursos médio e baixo, onde a declividade se reduz e aumenta a incidência de áreas planas” (SILVA, 2006, p. 5).

As manchas de inundação envolvem áreas com maior possibilidade de inundação, indicando qual é o tamanho estimado do alcance desses fenômenos diante de diferentes montantes de precipitações e dentro de períodos de tempo definidos. Para que um mapa de inundação seja definido, é preciso ter dados como

padrões de precipitação, períodos de maior ou menor ocorrência, capacidade de vazão de uma bacia hidrográfica, todos associados em aplicativo HEC-RASs que indicarão, diante de cada cenário (determinada precipitação em um período específico), qual será a proporção da mancha de inundação (SHENG; WILSON, 2009).

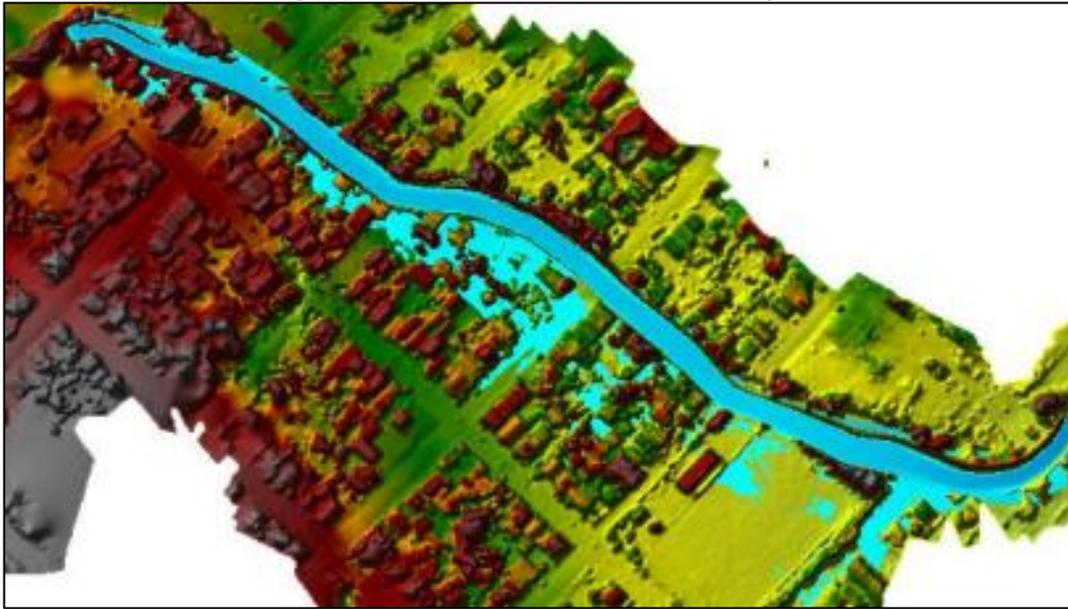
Pode-se aplicar as manchas de inundação como ferramentas na elaboração de planos específicos para as áreas urbanas. São desenvolvidos mapas que demonstram áreas afetadas em inundações. Devem ser construídas manchas de inundação, “[...] utilizando as técnicas de geoprocessamento, aliados a modelos hidráulicos e hidrodinâmicos. Assim, existem no mercado vários programas que são capazes de elaborar as manchas” (SILVA, 2006, p. 23).

Djordjevic *et al.* (2014) enfatizam que, recentemente, elevou-se a disponibilidade de dados extremamente detalhados sobre terrenos e seu uso e, assim, as modelagens para o desenvolvimento de manchas de inundação tornaram-se mais precisas. Os aplicativos HEC-RASs existentes, desde que alimentados adequadamente com os dados necessários, podem oferecer previsões precisas e clara e, assim, auxiliam no desenvolvimento de ferramentas e políticas públicas visando mitigar os impactos danosos dessas ocorrências.

Outro ponto é que os radares meteorológicos se tornaram mais comuns e mais precisos e, assim, dados sobre as precipitações podem ser obtidos continuamente e são relativamente confiáveis. A integração entre todas essas informações é, sem dúvidas, uma evolução importante quando se busca entender períodos e proporções de inundações em áreas urbanas, apenas é preciso que haja conhecimento suficiente para seu uso correto e aplicação dos resultados no cenário real das sociedades, especialmente aquelas que sofrem maiores impactos das inundações por terem rendas mais baixas e elevados números de pessoas vivendo em áreas de vulnerabilidade e riscos (DJORDJEVIC *et al.*, 2014).

As manchas de inundação referem-se a gráficos e modelos que indicam o possível alcance territorial de uma inundação que venha a ocorrer (Figura 11). Conhecê-las é entender de que forma as inundações podem atingir diversas áreas em variados cenários de precipitações e, assim, é possível buscar formas de reduzir os riscos existentes.

**Figura 11 - Modelo de mancha de inundação**



Fonte: Sartori (2018, p. 100).

Os modelos hidrológicos ou hidráulicos são ferramentas importantes na gestão de bacias hidrográficas, auxiliando no desenvolvimento de estratégias de prevenção e mitigação dos impactos das inundações (TAVARES, 2017).

## 2.5 MODELOS HIDROLÓGICOS

O método I-Pai-Wu é considerado como um aperfeiçoamento do Método Racional que leva em consideração fatores que exercem influência sobre a bacia hidrográfica, como sua forma, a distribuição da chuva e a capacidade de armazenamento. Esse método tem aplicação mais precisa, por levar em conta variáveis diretamente sobre a ocorrência de uma cheia e recomenda-se para áreas com até 30 km<sup>2</sup> (SCHLICKMANN; BACK, 2021). A vazão máxima é estimada de acordo com a Equação 2 a seguir.

$$Q = 0,278 \cdot C \cdot I \cdot A \cdot 0,9K \quad (\text{Equação 1})$$

Q = vazão (m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>);

C = coeficiente de escoamento;

I = intensidade de precipitação (mm h<sup>-1</sup>);

A = área da bacia (km<sup>2</sup>);

K = coeficiente de distribuição espacial da chuva.

Tomaz (2010) afirma que no caso de bacias alongadas, o tempo de concentração é maior que o tempo de pico, já que a chuva que cai no ponto mais distante da bacia, chegando tarde o suficiente para não contribuir para a vazão máxima.

Ainda sobre o método I-Pai-Wu, existem alguns fatores que podem influenciar no cálculo da vazão de pico da bacia, como, por exemplo: (SCHLICKMANN; BACK, 2016).

- Forma, área e declividade da bacia;
- Intensidade e distribuição da chuva crítica;
- Características da superfície da bacia
- Tempo de escoamento superficial;
- Tempo de concentração e
- Tempo de pico.

O Método Racional está voltado na admissão do tempo de duração igual ao tempo de concentração em uma chuva crítica:

O método racional é um método indireto e foi apresentado pela primeira vez em 1851 por Mulvaney e usado nos Estados Unidos por Emil Kuichling em 1889 e estabelece uma relação entre a chuva e o escoamento superficial (deflúvio). O nome método Racional é para contrapor os métodos antigos que eram empíricos e não eram racionais. É usado para calcular a vazão de pico de uma determinada bacia, considerando uma seção de estudo (TOMAZ, 2012, p. 3).

O I-Pai-Wu enfatiza que as bacias de forma alongada conseguem apresentar tempo de concentração maior que o tempo de pico, por isso que deve ser levado em consideração o efeito da forma da bacia (PORTO *et al.*, 2015).

## 2.6 PREVENÇÃO: FOCO NAS CONSEQUÊNCIAS

As inundações poderiam ser prevenidas se a urbanização ocorresse de forma organizada, com base em um planejamento rigoroso e preciso, apoiado em dados específicos sobre a região, riscos e vulnerabilidade. No entanto, como isso não é possível nas áreas em que já ocorreu a urbanização, é preciso conhecer os riscos e impactos possíveis para adotar as medidas adequadas. A gestão de riscos de inundações no Brasil ainda está aquém da necessidade de diversas regiões do país (SILVA, 2016).

Tavares (2017) ressalta que existem importantes medidas que podem ser adotadas com resultados efetivos, chamadas de técnicas compensatórias, visando alcançar um equilíbrio entre os pontos que não podem ser mudados e aqueles que podem passar por adaptação para gerar melhores indicadores e maior proteção ambiental, material e da população.

As medidas estruturais podem ser intensivas ou extensivas. No Quadro 5 constam as medidas extensivas e no Quadro 6 as medidas intensivas.

**Quadro 5 - Medidas estruturais extensivas**

<b>Medidas estruturais extensivas</b>	<b>Caraterísticas</b>	<b>Principal vantagem</b>	<b>Principal desvantagem</b>	<b>Aplicação</b>
Controle de cobertura vegetal (reflorestamento)	Interfere no processo precipitação vazão, reduz as vazões máximas, controla a erosão que aumenta o nível dos rios e agrava as inundações.	Redução do pico de cheia	Não se aplica a grandes áreas (custos altos)	Pequenas bacias

Fonte: Adaptado pelo autor de Tavares (2017).

**Quadro 6 - Medidas estruturais intensivas**

<b>Medidas estruturais intensivas</b>	<b>Caraterísticas</b>	<b>Principal vantagem</b>	<b>Principal desvantagem</b>	<b>Aplicação</b>
Diques ou polders	Muros de terra ou concreto laterais, retos ou com inclinação, a alguma distância da margem, visando proteger as áreas ribeirinhas contra extravasamento	Alto grau de proteção	Danos consideráveis em caso de falhas	Grandes rios
Modificações do rio	Aumento da seção transversal ou da velocidade do rio. Incluem dragagem, aumento da declividade, corte de meandros e aprofundamento do rio	Aumento da vazão, ampliação da área protegida	Efeito localizado. Negativo para rio com fundo aluvionar	Pequenos rios, área de inundação estreita
Túneis e cavernas subterrâneas para desviar ou armazenar a vazão				
Reservatórios	Retenção de parte do volume da enchente, controlando a vazão natural. O volume retido é escoado após redução da vazão natural	Controle a jusante	Localização difícil, altos custos (construção e desapropriação)	Bacia intermediárias

Fonte: Adaptado pelo autor de Tavares (2017).

Alves e Andrade (2019) afirmam que é muito difícil conseguir evitar uma inundação, especialmente quando a disponibilidade de recursos para essa finalidade é limitada, porém, é possível adaptar a região, as empresas e os moradores para que saibam como atuar quando as inundações começam a se formar e, assim, pode-se alcançar uma redução dos impactos e dos riscos para a vida, ainda que isso não signifique que essas medidas serão aplicadas com máximo sucesso, pois dependem não apenas das autoridades locais, dos governos e do desenvolvimento de estratégias, mas do comprometimento e da participação da população que vive, trabalha ou faz uso dos serviços ofertados nessas regiões.

## CAPÍTULO 3 – METODOLOGIA

Esse capítulo apresenta a metodologia que foi utilizada para o desenvolvimento deste trabalho. Inicialmente serão apresentadas a descrição da área de estudo, fluxograma do processo da pesquisa e estudo, e em seguida para concepção do estudo.

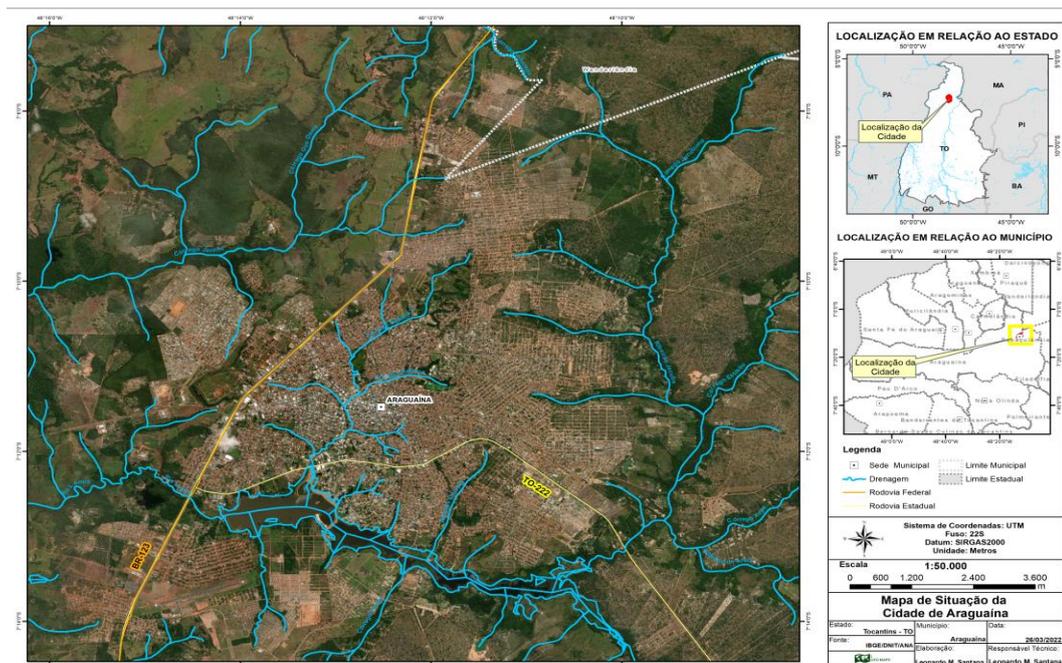
### 3.1 DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área do estudo foi selecionada em função a importância econômica da cidade de Araguaína, considerada a capital econômica do Tocantins. Nesse sentido, a ocorrência de inundações pode trazer impactos consideráveis em diversas áreas, especialmente para a economia, o que justifica a necessidade de compreender melhor quais são os riscos diante de diferentes parâmetros (tempo, velocidade, precipitações pluviométricas, entre outros).

#### 3.1.1 Cidade de Araguaína

A cidade de Araguaína – TO se encontra na área entre os rios Lontra e Andorinhas e, inicialmente, teve seu território ocupado por tribos Carajás (Figura 12).

**Figura 12** - Estado do Tocantins e localização de Araguaína



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Em 1876 chegaram os primeiros migrantes, que cultivavam cereais essenciais para sua subsistência. Posteriormente o café passou a ser cultivado como forma de obtenção de lucros e desenvolvimento econômico, porém, as dificuldades de acesso e de escoamento da produção fizeram com que as lavouras fossem abandonadas. Em 1960 foi construída a rodovia Belém-Bahia, o que fez com que o desenvolvimento fosse considerável, especialmente entre 1960 e 1975 (PREFEITURA MUNICIPAL DE ARAGUAÍNA, 2020).

### **3.1.2 Clima**

O clima na região é úmido, com moderada deficiência hídrica no inverno. A evapotranspiração média varia, anualmente, de 1.400 a 1.700 mm, sendo aproximadamente 390 a 480 mm nos três meses de verão. As condições meteorológicas são tipicamente continentais equatoriais no período chuvoso, enquanto no período de estiagem configura-se como continentais tropicais. A estação meteorológica da Universidade Federal do Tocantins destaca que a região tem uma média pluviométrica de 1.804,9 mm ao ano, temperatura média de 24,9° e umidade relativa do ar média de 79,9% (ENEL, 2018).

O regime de chuvas na região é influenciado, quase que exclusivamente, pelos sistemas regionais de circulação atmosférica. O relevo regional tem uma influência quase nula sobre o regime e distribuição espacial das precipitações. O regime sazonal é tipicamente tropical. Mais de 70% das chuvas ocorrem de novembro a abril (janeiro, fevereiro e março como o trimestre mais chuvoso. No inverno, é comum que a região fique no mínimo 30 dias sem precipitações, em algumas partes a chuva não ultrapassa 20 mm em todo o inverno (ENEL, 2018).

### **3.1.3 Geologia**

A unidade Sambaíba (Bacia do Parnaíba) é integrante principal da formação geológica da sede municipal, trata-se de uma unidade do Triássico Médio a Superior, com arenitos de granulação fina a média, bimodais, cor marrom e tons amarelo e vermelho. A estratificação é cruzada de grande porte e existem arranjos estruturais em linhas e línguas granocrescentes de grãos. Continental desértico é o ambiente de formação da unidade geológica, com a ampla presença de campos de dunas. O município é caracterizado, ainda, por Depósitos Aluvionares Holocênicos (Qha),

relacionados com as margens do Rio Araguaia, formação Couto Magalhães (Grupo Tocantins), formação Pequizeiro (grupo Estrondo), coberturas terciário-quadernárias arenosas e Detrito Laterícias (margem do rio Muricizal), formação Motuca (margem do rio Muricizal), formação Xambioá (grupo Estrondo) e formações Pimenteiras, Cabeças, Longá, Piauí, Poti, Pedra de Fogo, Motuca e Mosquito (bacia do Parnaíba) (ENEL, 2018).

#### **3.1.4 Solos**

Os solos presentes na área urbana de Araguaína são Latossolos vermelho-Amarelos e Neossolos Quartzarênicos, chamados de Areias Quartzosas. Latossolos são compostos de material mineral, em avançado estágio de intemperização, virtualmente destituídos de minerais primários ou secundários. A drenagem desse tipo de solo varia de fortemente a bem drenados, ainda que em alguns pontos a cor do solo seja mais pálida e a drenagem é moderada ou imperfeita (ENEL, 2018).

#### **3.1.5 Vegetação**

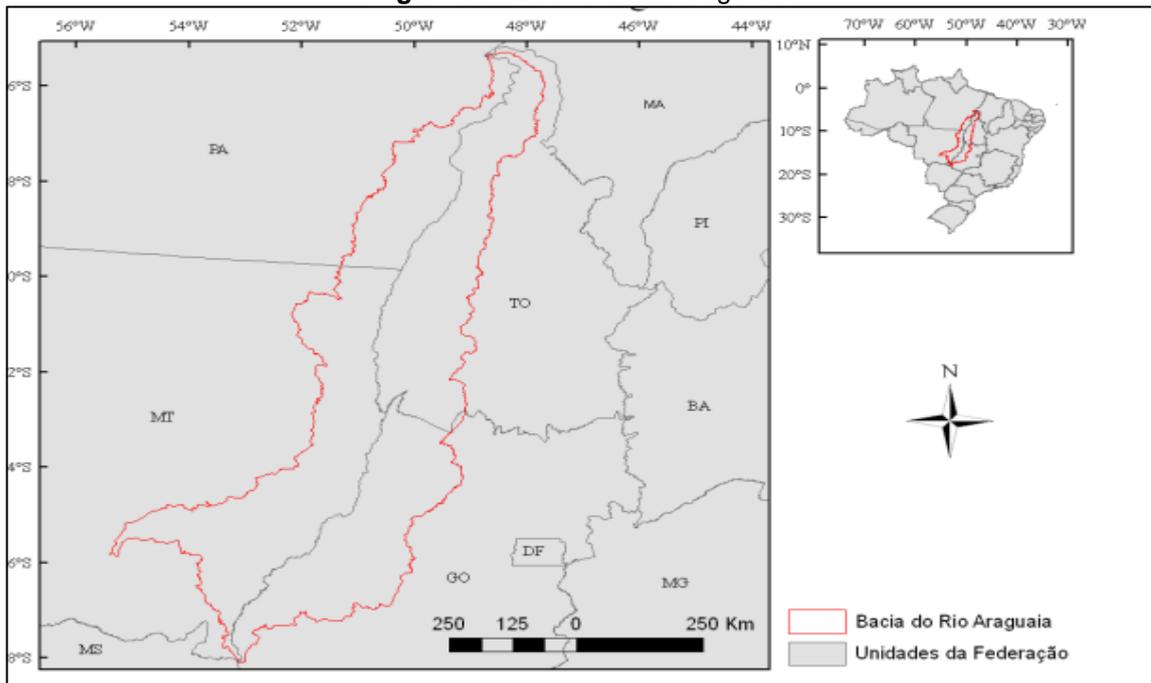
O bioma local é o cerrado, o segundo maior do país. O Cerrado típico é a fitofisionomia prevalente no estado do Tocantins, porém, nas últimas décadas vem sendo substituído paulatinamente por pastagens e lavouras (ENEL, 2018).

A vegetação é mista, com características de cerrado, matas ciliares e matas tropicais, presença de grandes arbustos e árvores esparsas, com galhos retorcidos e raízes muito profundas (PREFEITURA MUNICIPAL DE ARAGUAÍNA, 2020).

#### **3.1.6 Recursos Hídricos**

A cidade localiza-se às margens do Rio Lontra, além de ter em seu território vários córregos, sendo o Neblina o mais relevante, por drenar a região de maior ocupação da cidade, com ocorrência de poços profundos e grandes vazões (Figura 13).

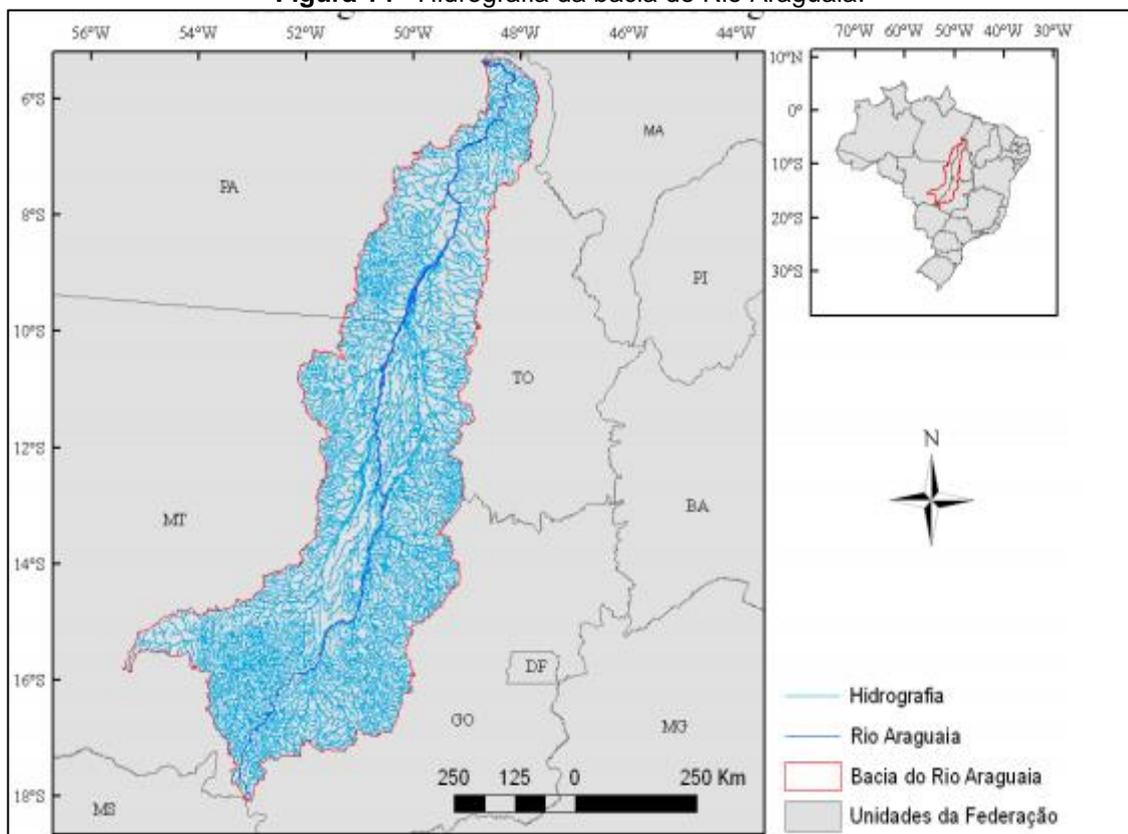
**Figura 13 - Bacia do Rio Araguaia.**



Fonte: Cardoso e Marcuzzo (2011).

A hidrografia compreende a Bacia Hidrográfica do Rio Araguaia e seus afluentes (Figura 14).

**Figura 14 - Hidrografia da bacia do Rio Araguaia.**



Fonte: Cardoso e Marcuzzo (2011).

Os principais córregos que cortam a cidade (Figura 15) são o Lavapés, Prata, Neblina, Raizal, ribeirão de Areia, Xixebal, Cará, Jacubinha, Tiúba e o Jacuba. Os limites territoriais são: ao norte – Santa Fé do Araguaia, Muricilândia, Carmolândia e Aragominas. Ao Sul – Pau D’arco, Arapoema e Nova Olinda; Leste – Wanderlândia e Babaçulândia. Ao Oeste – Estado do Pará. Distâncias Rodoviárias: Palmas – 393 km, Goiânia – 1165 km, Brasília – 1067 km, Imperatriz (MA) – 257 km, Marabá (PA) – 312 km (PREFEITURA MUNICIPAL DE ARAGUAÍNA, 2020).

### **3.1.7 Áreas de proteção**

Em Araguaína, a ocupação por APA – Área de Proteção Ambiental refere-se à APA das Nascentes de Araguaína, com extensão aproximada de 16 mil hectares, localizada ao nordeste da cidade. Sua criação se deu para a proteção de nascentes, cursos d’água, flora e recursos com potencial turístico, para que fossem utilizados de forma equilibrada, sem levarem à destruição ambiental. Ocupa uma área de floresta Amazônica (1,53%), o cerrado é mais denso, comum na região de transição (98,47%) (ENEL, 2018).

### **3.1.8 Geomorfologia**

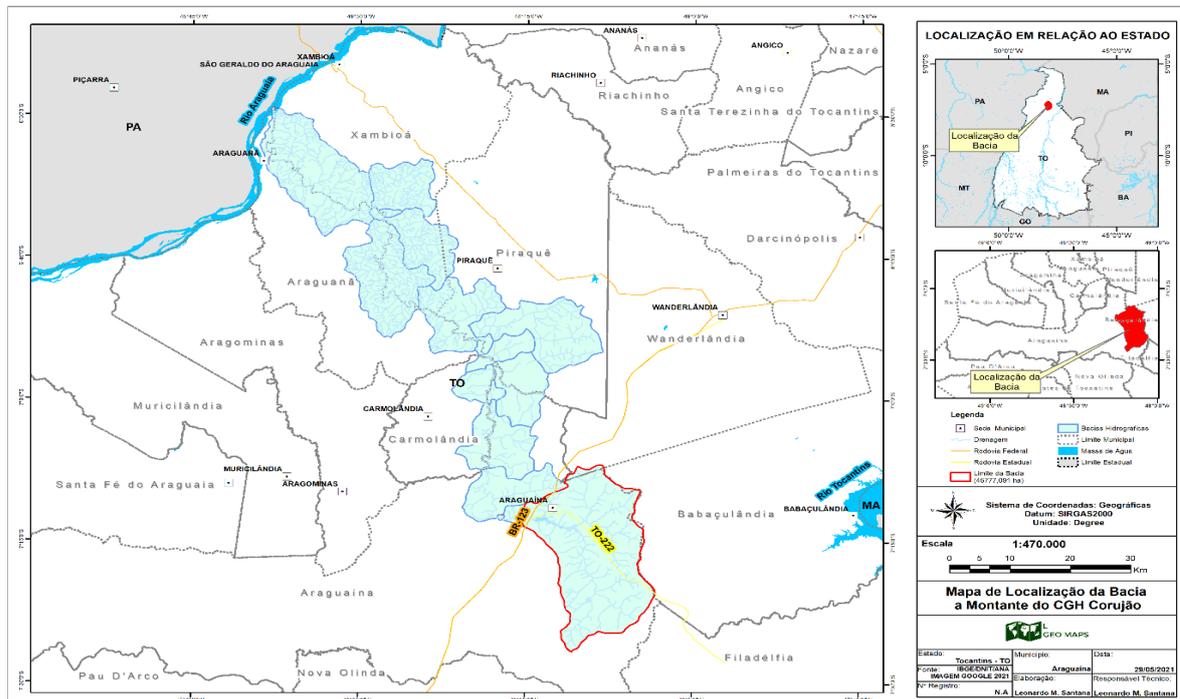
Domínio de aplanamento de Pediplano Degradado Desnudado com Formas Estruturais, relevo de topografia condicionada pela estrutura, presença de processos morfodinâmicos levando a relevo de acordo com a estrutura geológica, sobressalto de camadas mais resistentes (ENEL, 2018).

### **3.1.9 Caracterização da bacia do rio Lontra**

A bacia do rio Lontra integra o sistema hidrográfico do rio Araguaia, na Região Norte do Estado do Tocantins, com as seguintes coordenadas geográficas: 06°18’00” e 07°31’12” de latitude sul; e 47°49’12” e 48°38’24” de longitude oeste. O Rio Lontra, após drenar a área de 3.870 km<sup>2</sup> encontra-se na margem direita do rio Araguaia, já no seu curso inferior, na Região Norte do estado. As bacias hidrográficas vizinhas são a do rio Piranhas, ao norte, a bacia do rio Muricizal, a oeste, e a bacia do rio Tocantins, ao sul e a leste (GOVERNO DO ESTADO DO TOCANTINS, 2002).

A bacia do Rio Lontra fica caracterizada na Figura 15, abaixo.

**Figura 15 – Localização da bacia do rio Lontra.**



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Suas nascentes encontram-se a oeste da serra dos Cavalos e ao norte da serra do Estrondo, em áreas do município de Araguaína, desenvolvendo-se no sentido geral Sudeste-Noroeste para contribuir, depois de percorrer cerca de 200 km, à margem direita do rio Araguaia, entre Araguana e Xambioá. Na margem direita, os principais afluentes são o córrego Cuia, o ribeirão Jacuba, o ribeirão Brejão, o córrego Curiti, o córrego Ouro Fino e o córrego Gameleira, enquanto na margem esquerda os principais afluentes são o rio Pontes, o ribeirão Gurguéia, o ribeirão João Aires e o ribeirão Boa Sorte (GOVERNO DO ESTADO DO TOCANTINS, 2002).

A divisão em sub-bacias consta da **Tabela 1**, na sequência.

**Tabela 1 – Divisão da bacia do Rio Lontra em sub-bacias**

Sub-bacia	Descrição	Área (km <sup>2</sup> )
1	Rio Lontra – Trecho entre as nascentes e a CGH Corujão	437,41
2	Rio Pontes	414,84
3	Rio Lontra – Trecho entre a represa Corujão e a foz do ribeirão Brejão	978,9
4	Ribeirão Brejão	605,22
5	Ribeirão Boa Vista	402,07
6	Rio Lontra – Trecho entre a foz do ribeirão Brejão e a estação fluviométrica Piraquê	652,15
7	Rio Lontra – Trecho entre a estação fluviométrica Piraquê e a foz	379,78
8	Ribeirão Lajes – Trecho entre as nascentes e a UHE Lajes	699,63

9	Rio Lajes – Trecho entre a UHE Lajes e a foz	200,56
10	Rio Corda – Trecho entre as nascentes e a foz do ribeirão Lajes	495,48
11	Rio Corda – Trecho entre a foz do ribeirão Lajes e a foz do ribeirão dos Porcos	735,37
12	Ribeirão Lago Grande	705,94
13	Rio Corda – Trecho entre a foz do ribeirão dos Porcos e a foz	647,43
<b>Total</b>		<b>3870,38</b>

Fonte: Governo do Estado do Tocantins (2002, p. 23).

Os pontos característicos estão elencados no Quadro 7, que segue.

**Quadro 7 - Pontos característicos**

Pontos característicos		Descrição
Lontra	1	CGH Corujão - Rio Lontra
	2	Foz do Rio Pontes
	3	Foz do Ribeirão Brejão
	4	Foz do Ribeirão Boa Vista
	5	Estação Fluviométrica Piraquê - Rio Lontra
	6	Foz do Rio Lontra

Fonte: Adaptado pelo autor de acordo com o Governo do Estado do Tocantins (2002, p. 23).

### 3.1.10 A CGH Corujão

A central geradora hidrelétrica Corujão caracterizadas como estruturas com potência instalada menor ou igual a 1 MW, situa-se no perímetro urbano da cidade de Araguaína, norte do Tocantins, nas coordenadas 48°14'15" W e 7°12'35" S, com aproveitamento no rio Lontra (sub-bacia 28), integrante da bacia do Araguaia (ENEL, 2018).

A bacia de drenagem da usina tem uma área aproximada de 449 km<sup>2</sup>, o reservatório é de 2,57 km<sup>2</sup> em NA normal. A usina opera a fio de água, com barragem de terra, vertedor em concreto (comportas agulhas), casa de máquinas e sistema de adução em concreto (ENEL, 2018). A Figura 16 apresenta uma vista do reservatório da CGH Corujão.

**Figura 16 - CGH Corujão.**

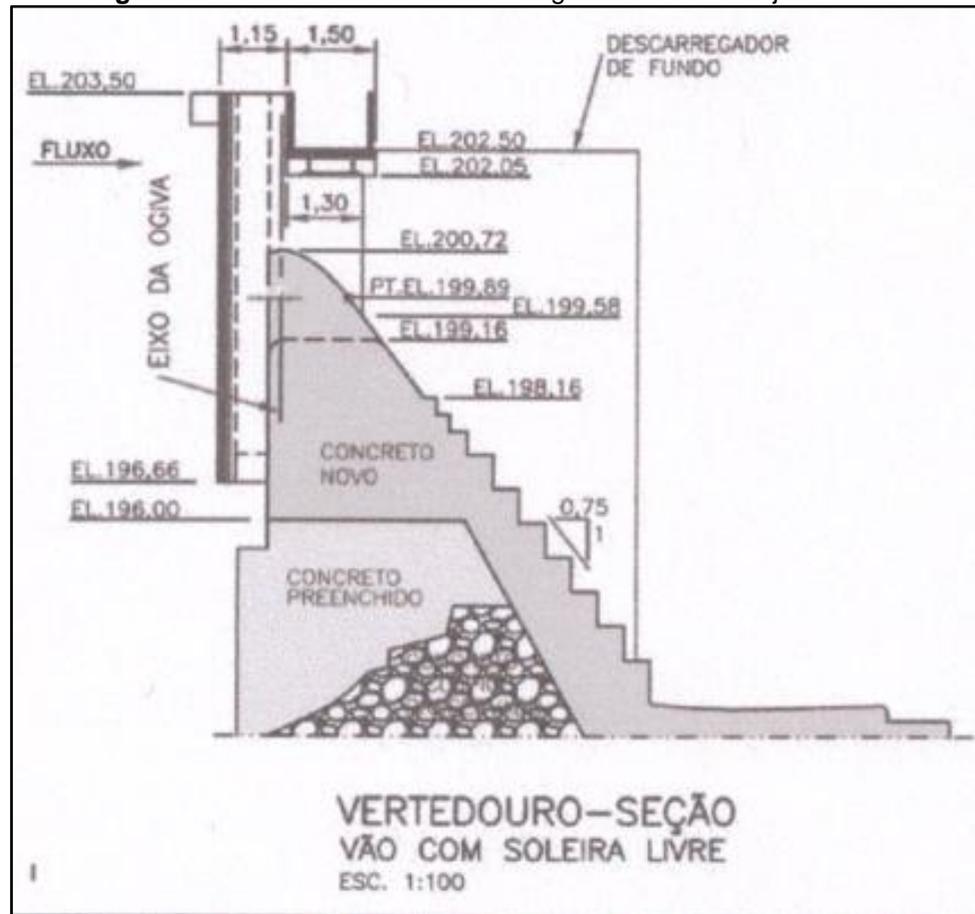


Fonte: Prefeitura Municipal de Araguaína (2020).

O comprimento total da barragem é de 815,50 metros e altura máxima de 11,25 m. A crista da barragem está na cota 202,50 m. O vertedouro tem a sua soleira na cota 200,72 m. O perfil do paramento de jusante é do tipo Creager e degraus, o escoamento do vertedouro descarrega no canal de restituição e o da casa de força aflui nesse canal logo a jusante. A vazão máxima é de 157 m<sup>3</sup>/s, a vazão mínima de 9,3 m<sup>3</sup>/s e a média de 32,1 m<sup>3</sup>/s (ENEL, 2018).

Na Figura 17 ilustra o corte transversal da barragem da CGH Corujão e suas principais elevações.

**Figura 17 – Corte transversal da barragem da CGH Corujão**



Fonte: ENEL, (2018)

### 3.2 DADOS HIDROLÓGICOS

Os picos das cheias instantâneas do projeto estimados para a CGH Corujão constam da Tabela 2, na sequência.

**Tabela 2 – Picos das cheias instantâneas.**

TR (anos)	Vazão (m <sup>3</sup> /s)
2	76,3
10	98,1
100	132,3
500	156,1
1.000	166,4
10.000	200,6

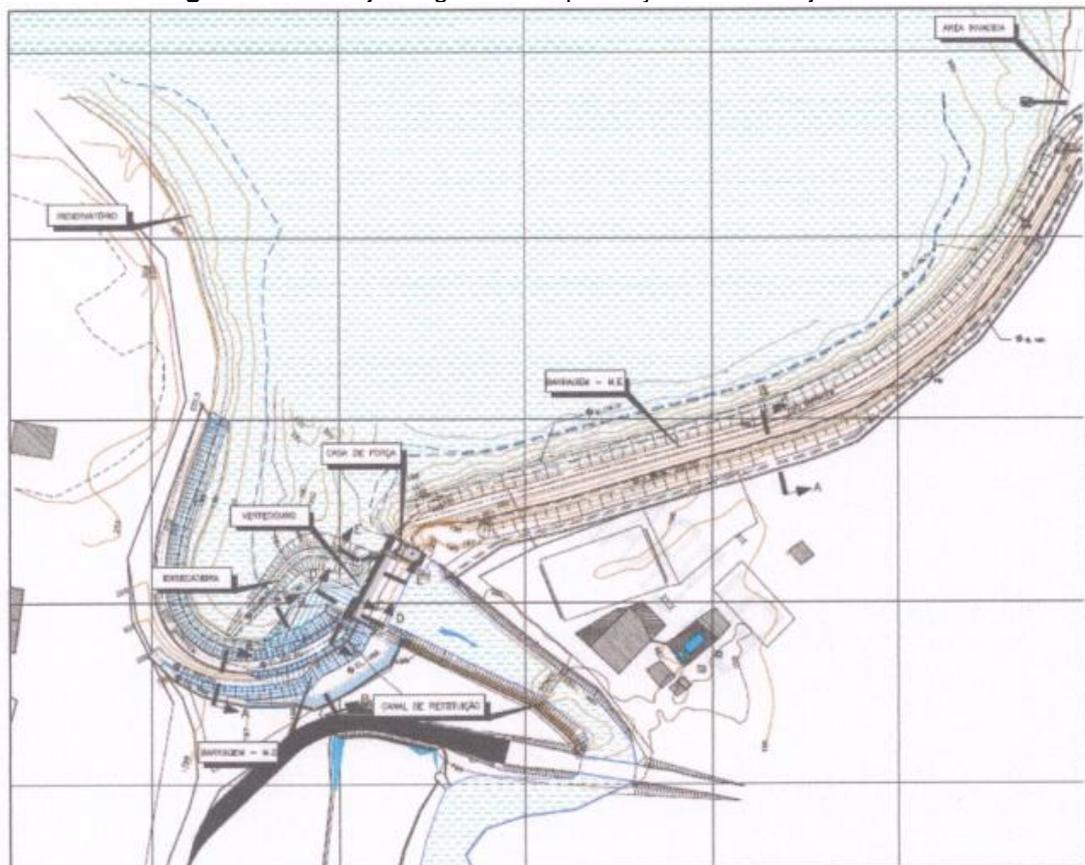
Fonte: ENEL (2011).

### 3.3 COTA DO NÍVEL DE ÁGUA

O propósito de normalizar o fluxo de água por meio da construção de barragens (formação de reservatórios) é garantir a geração de energia hidrelétrica e outros objetivos inerentes, onde controle da seca e a recreação são bons exemplos. O que é preciso ressaltar é que, para as empresas que atuam na produção de energia, os reservatórios possuem especificações importantes, também chamadas de cotas de nível característico, como o nível d'água Maximorum.

O NA Máximo Maximorum corresponde a sobrelevação máxima do nível d'água, medida a partir do máximo operacional, disponível para a passagem de cheiras. Esta sobrelevação consiste em uma borda livre definida entre o nível da crista do vertedor e da crista do barramento que garante que as ondas formadas pela ação dos ventos não passem sobre o barramento, fato que este poderia ser danoso à estrutura. Na CGH Corujão, essa sobrelevação tem o valor igual a cota 201,31 m e altura da soleira do vertedouro na cota 200,72 m.

**Figura 18** –Arranjo da geral de implantação CGH corujão



Fonte: ENEL, (2018)

As vazões médias mensais para a CGH Corujão de 1976 a 2006 são demonstradas na Tabela 3.

**Tabela 3 – Vazões médias mensais de 1976 a 2006.**

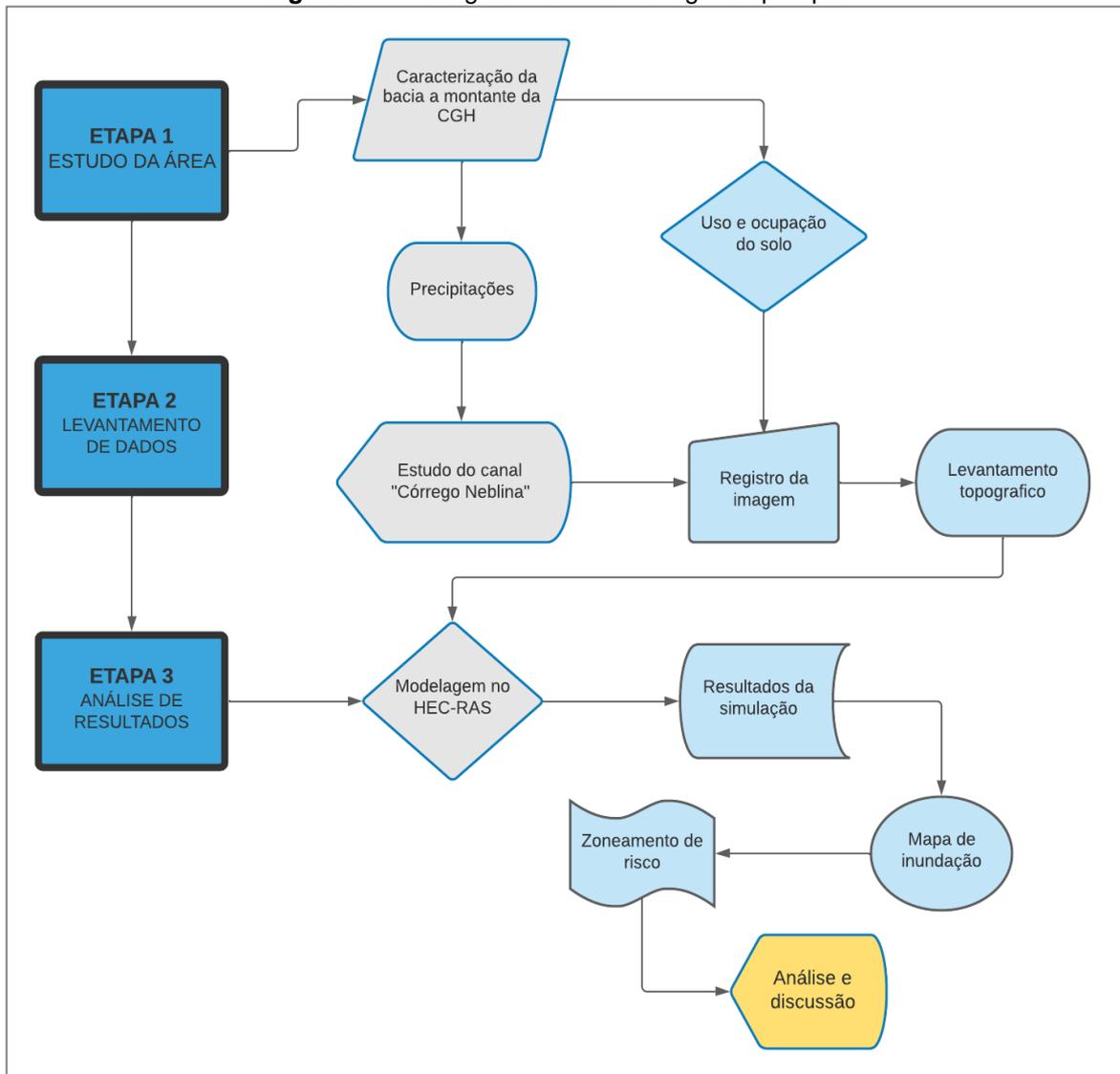
<b>Vazões Médias Mensais (1976-2006)</b>													
<b>Ano/mês</b>	<b>Jan</b>	<b>Fev</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>Mai</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Set</b>	<b>Out</b>	<b>Nov</b>	<b>Dez</b>	<b>Média</b>
<b>1976</b>	10,8	21,8	13,5	13,4	8,3	5,1	3,6	2,8	2,9	8,8	11,1	9,3	<b>9,3</b>
<b>1977</b>	16,4	18,6	20,2	17,1	9,4	6,3	4,1	2,7	2,8	6,3	6,4	9,7	<b>10</b>
<b>1978</b>	12,1	13,6	14,7	9,9	9,3	4,6	3,9	2,9	2,7	3,9	5,2	5	<b>7,3</b>
<b>1979</b>	22,5	31,9	22,5	16,8	8,6	5,4	4,1	3,6	4,1	5,4	7,1	6,3	<b>11,5</b>
<b>1980</b>	11,7	18,6	20,2	12,2	6,5	4,7	3,8	3,1	4	3,5	8,7	17,3	<b>9,5</b>
<b>1981</b>	16,4	18,6	20,2	17,1	6,2	5,2	3,8	3,2	2,6	4,1	12,7	9,7	<b>10</b>
<b>1982</b>	35,3	25,6	34,8	26,3	8,3	5,4	4,2	3,5	3,6	4,7	5,9	8,8	<b>13,9</b>
<b>1983</b>	12,9	15,2	15,4	8,9	4,6	3,5	2,9	2,4	2,5	4,2	5,4	9,2	<b>7,3</b>
<b>1984</b>	7,9	10,2	16,3	24,4	12,7	2,5	1,1	0,7	0,8	1,2	1,3	1,3	<b>6,7</b>
<b>1985</b>	18	26,1	22,3	27,8	18,3	4,3	2	1,1	1,2	4,3	5,2	25,8	<b>13,6</b>
<b>1986</b>	26,3	21,5	28,1	16,7	10	2,8	1,5	1	0,8	4,7	6	7,2	<b>10,6</b>
<b>1987</b>	8,2	6,8	27,8	15,1	8,1	2,4	1,1	0,8	0,9	1,2	3,8	6,8	<b>6,9</b>
<b>1988</b>	11,4	16,4	21,3	15,1	6	2,1	1	0,7	0,7	2,1	3,6	9,3	<b>7,5</b>
<b>1989</b>	12,3	8,8	21,8	27,8	14,2	3,9	1,9	1,1	1	2,8	13,2	26,9	<b>11,3</b>
<b>1990</b>	25,9	11,6	18,4	12,1	4,3	1,8	1,3	0,8	1,1	4,2	4,1	5,2	<b>7,6</b>
<b>1991</b>	20,8	32	17,8	19,8	15,4	5,1	2,5	1,7	2,3	1,8	4,3	5	<b>10,6</b>
<b>1992</b>	14,3	19,9	7	14,9	4,6	1,6	0,9	0,9	1	1,3	4,1	5,4	<b>6,3</b>
<b>1993</b>	6,7	25,7	13	9,6	5,3	1,7	0,9	0,7	0,8	1	5	45,6	<b>7,2</b>
<b>1994</b>	24,1	23,3	29,7	15,9	5,9	3,6	1,3	0,8	0,7	0,9	2	10,7	<b>9,9</b>
<b>1995</b>	13,8	17,7	12	18,3	10,2	3,3	1,2	0,7	0,6	0,9	2,1	5,7	<b>7,2</b>
<b>1996</b>	14,3	10,3	16,4	22,1	12,6	2,7	1,2	0,7	0,5	1,1	3,2	2,6	<b>7,3</b>
<b>1997</b>	16,6	17,4	32	23,7	9,6	2,8	1,3	0,9	1	1,4	1,2	5,8	<b>9,5</b>
<b>1998</b>	13,9	14,7	16,7	7	4,1	1,2	0,7	0,5	0,4	0,6	5,1	7,1	<b>6</b>
<b>1999</b>	18,5	15,2	22,5	14,3	13,4	4,8	2,4	1,2	1,7	2,1	11,2	16,3	<b>10,3</b>
<b>2000</b>	24,2	21,2	26,7	17	10,7	3,9	2,3	1,4	2,9	3,5	5,5	18,1	<b>11,5</b>
<b>2001</b>	10,1	10,6	14,7	19,5	8,2	5	2,8	1,9	2	3,3	4,8	11	<b>7,8</b>
<b>2002</b>	25,6	21,4	14,7	14,5	9	4,6	3	2,3	1,7	2,6	3,4	7,1	<b>9,2</b>
<b>2003</b>	10,8	12,4	19,1	11,5	6,9	3,7	2,3	1,8	1,3	1,9	5,3	7,8	<b>7,1</b>
<b>2004</b>	17,4	27,7	15,1	10,3	7,2	3,1	2,3	1,9	1,7	3,1	5,1	8	<b>8,6</b>
<b>2005</b>	10,4	22,2	36,1	18,7	11,6	4,2	2,2	1,7	1,8	2	3,1	9,9	<b>10,3</b>
<b>2006</b>	17,2	19,4	16	33,7	22,8	6	3,1	2,3	2,3	3,2	4,3	5,5	<b>11,3</b>
<b>Mínima</b>	6,7	6,8	7	7	4,1	1,2	0,7	0,5	0,4	0,6	1,2	1,3	<b>6</b>
<b>Média</b>	16,4	18,6	20,2	17,1	9,4	3,8	2,3	1,7	1,8	3	5,5	9,7	<b>9,1</b>
<b>Máxima</b>	35,3	32	36,1	33,7	22,8	9,3	4,2	3,6	4,1	8,8	13,2	26,9	<b>13,9</b>

Fonte: ENEL (2011).

### 3.4 DESCRIÇÃO DA METODOLOGIA UTILIZADA

A Figura 19 apresenta um fluxograma esquematizando as etapas metodológicas a serem seguidas para o desenvolvimento dos estudos.

**Figura 19 - Fluxograma da metodologia de pesquisa**



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Na primeira etapa, procedeu-se de um estudo da área, com o intuito de caracterizar detalhadamente a bacia a montante da CGH, os índices de chuva comumente verificados, bem como os impactos na ocorrência dos níveis mínimos e máximos. Foi necessário descrever o modo de uso e ocupação do solo, em função da incidência do espaço ocupado e da interferência urbana no sistema de escoamento da bacia por haver relação direta com as inundações sobre a área de contribuição.

Procedeu-se de um levantamento de dados e caracterização do córrego Neblina, que deságua no reservatório da CGH, para compreender de que forma a ocorrência de níveis elevados de chuva faz com que o córrego transborde e eleve os riscos de inundação em área urbana. As especificidades da área foram registradas

fotograficamente para oferecer uma compreensão mais específica da realidade encontrada. A configuração da geometria do canal será devidamente verificada e apresentada.

Para encontrar os coeficientes de Manning (n) adotados no projeto, utilizou-se a tabela dada por Tucci (2012), a qual está adaptada na Tabela 8.

**Quadro 8 - Coeficientes de Manning**

<b>Cobertura da Bacia</b>	<b>Coeficiente de Manning (n)</b>
Asfalto suave	0,012
Asfalto ou concreto	0,014
Argila compactada	0,03
Pouca vegetação	0,02
Vegetação densa	0,35
Vegetação densa e floresta	0,4

Fonte: Adaptado pelo autor de Tucci (2012).

Adotou-se os seguintes coeficientes de rugosidade: ponderou-se 0,025 para o leito do rio, pois o local encontra-se com vegetação rasteira e possuindo o solo argiloso; e 0,014 para as demais áreas, já que este estudo foca em região altamente urbanizada com asfalto e áreas impermeabilizadas por concreto.

Para a determinação das seções transversais do canal de escoamento superficial do córrego Neblina foi obtido *in loco* pontos para obtenção das seções, as quais são dados de entrada no modelo computacional. Entre as pontes existentes na área de estudo, mediu-se, além do comprimento, largura e altura do tabuleiro, a seção imediatamente a jusante ou a montante da ponte para facilitar o acesso e as consequentes medidas.

Foram coletadas as séries históricas de vazões de três estações fluviométrica situadas na bacia do rio Lontra e entorno da CGH Corujão, disponíveis no acervo da ANA ([www.snirh.gov.br/hidroweb](http://www.snirh.gov.br/hidroweb)). Nas tabelas abaixo são indicadas as principais informações cadastrais dessas estações e os períodos de abrangência das respectivas séries coletadas. Os dados cadastrais das estações fluviométricas selecionadas estão dispostos na Tabela 4, a seguir.

**Tabela 4 -** Dados cadastrais das estações fluviométricas selecionadas

Código ANA	Nome da Estação	Curso da Água	Município	Responsável	Latitude	Longitude	Área de Drenagem (km <sup>2</sup> )
28180000	PCH Lajeado Ribeirão Lontra	Ribeirão Lontra	Araguaína/TO	Alvorada	-7,2517	-48,1603	216
28190080	PCH Lajes Corujão Jusante	Ribeirão Lontra	Araguaína/TO	Alvorada	-7,2133	-48,2364	440
28200000	Ponte Rio Lontra	Ribeirão Lontra	Araguaína/TO	ANA	-7,2075	-48,2958	1330

Fonte: Elaborado pelo autor de ANA (2020).

Devido a heterogeneidade das escalas da base cartográfica considera na presenta verificação, os valores das áreas de drenagem das estações fluviométricas foram mantidos. As características hidrológicas das estações estão elencadas na Tabela 5, na sequência.

**Tabela 5 -** Características hidrológicas das estações

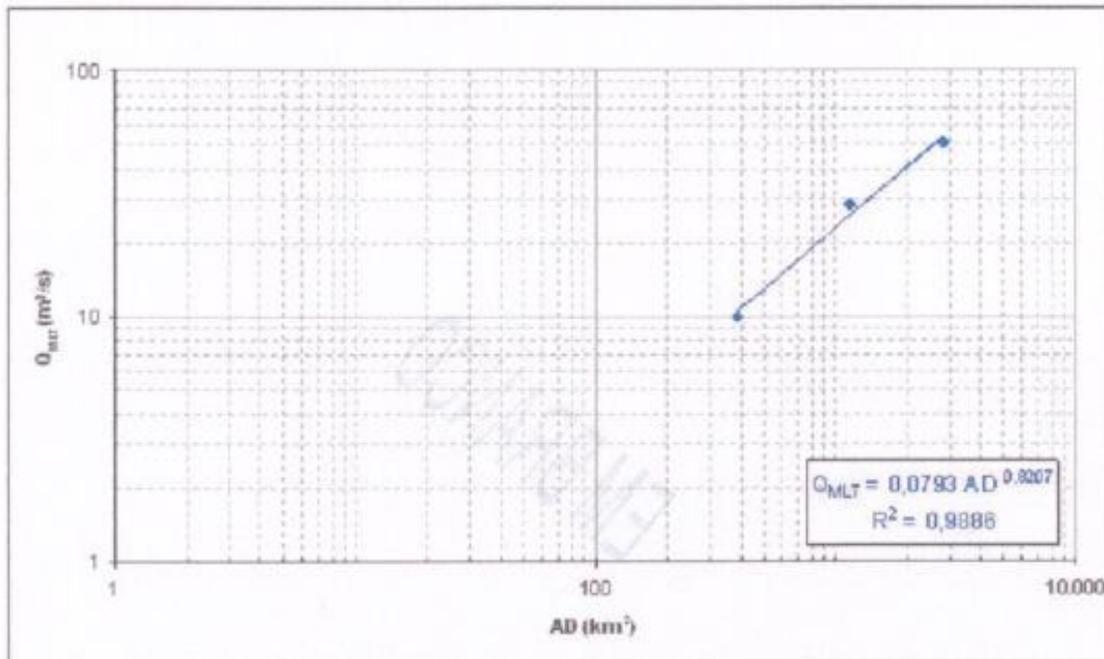
Estação	AD (KM <sup>2</sup> )	Média de Longo Termo		Máxima		Mínima	
		Q(m <sup>3</sup> /s)	Q(l/s.km)	Q(m <sup>3</sup> /s)	Q(l/s.km)	Q(m <sup>3</sup> /s)	Q(l/s.km)
PCH Lajeado Ribeirão Lontra	216	10,06	26,06	36,7	95	0,48	1,23
PCH Lajes Corujão Jusante	440	7,4	17,1	13	30,2	5,3	12,3
Ponte Rio Lontra	1330	28,52	24,8	111	97	2,38	2,07

Fonte: Elaborado com dados do autor (2020).

A escolha dos postos mais representativos fundamentou-se na qualidade dos dados, períodos disponíveis e localização geográfica, tendo em vista o desenvolvimento e validação de estudos regionais. Uma série de análises e testes foram elaborados tendo em vista obter-se dados razoáveis e que possibilitassem a obtenção de parâmetros estatísticos representativos para o estudo de vazões extremas.

As análises e consistência dos dados basearam-se na: relação AD x Q<sub>MLT</sub> (Figura 20), regionalização da contribuição específica, curvas de permanência de vazões, plotagem de hidrogramas simultâneos e correlações de vazões.

**Figura 20-** Relação AD x  $Q_{MLT}$



Fonte: ENEL (2018).

O mapeamento planialtimétrico da área requerida foi disponibilizada por meio da Secretaria Municipal de Planejamento e Habitação. O arquivo no formato dxf, contendo toda a hidrografia e as curvas de nível para a gleba o córrego Neblina.

O aplicativo HEC-RAS utilizado está disponível para download no site do Corpo de Engenheiros dos Estados Unidos, de onde foi baixado gratuitamente para a aplicação posterior.

A simulação que se deseja alcançar a partir do presente estudo demanda, inicialmente, da preparação dos dados usados para alimentar o programa HEC-RAS. A preparação e alimentação de dados pode ocorrer diariamente, de acordo com as necessidades do estudo e a disponibilidade de acesso a ele por parte do pesquisador.

O intuito é obter uma modelagem no programa HEC-RAS, levando a uma simulação que identifique as manchas de inundação diante de diferentes cenários de precipitação pluviométrica, gerando um mapa de inundação importante para o possível desenvolvimento de medidas preventivas de impactos. O zoneamento de risco dependerá das informações obtidas a partir desses esforços, demonstrando de que forma esses riscos se configuram em diferentes cenários e de que forma podem ser reduzidos.

A partir de tal mapa, será possível realizar um levantamento da quantidade das estruturas urbanas atingidas diante de uma inundação de acordo com suas

proporções, quantificando o número de residências, indústrias, comércios, escolas, hospitais, ruas, avenidas e demais locais atingidos. Essa quantificação não se refere a valores necessários para a recuperação dos espaços afetados, mas trata-se de verificar a extensão da inundação e os danos acarretados por ela sobre as estruturas nessa área.

Nesse sentido, trata-se de uma quantificação quanto à proporção de estruturas atingidas, além da caracterização dessas estruturas: quantas são públicas, quantas são privadas, quantas são utilizadas para a geração de renda, quantas atuam como espaço habitacional, e que proporção das estruturas de uso coletivo serão atingidas (hospitais, postos de saúde, escolas públicas, calçadas, parques, praças, ruas, placas, etc.).

Depois da obtenção do mapa com as exatas proporções de inundações diante de precipitações específicas, será possível quantificar qual a área atingida e que estruturas são encontradas nesses locais.

O aplicativo HEC-RAS selecionado para aplicação no presente estudo utiliza um modelo numérico do terreno, quanto mais específicos os dados levantados e inseridos no aplicativo HEC-RAS, melhores serão os resultados alcançados.

No aplicativo HEC RAS deve-se criar o projeto que permitirá completar a simulação, importar os dados do HEC RAS, proceder da edição quando necessário. Os coeficientes de Manning podem ser obtidos automaticamente pelo HEC RAS ou adicionados de forma manual em cada seção, no momento da edição da geometria do HEC RAS.

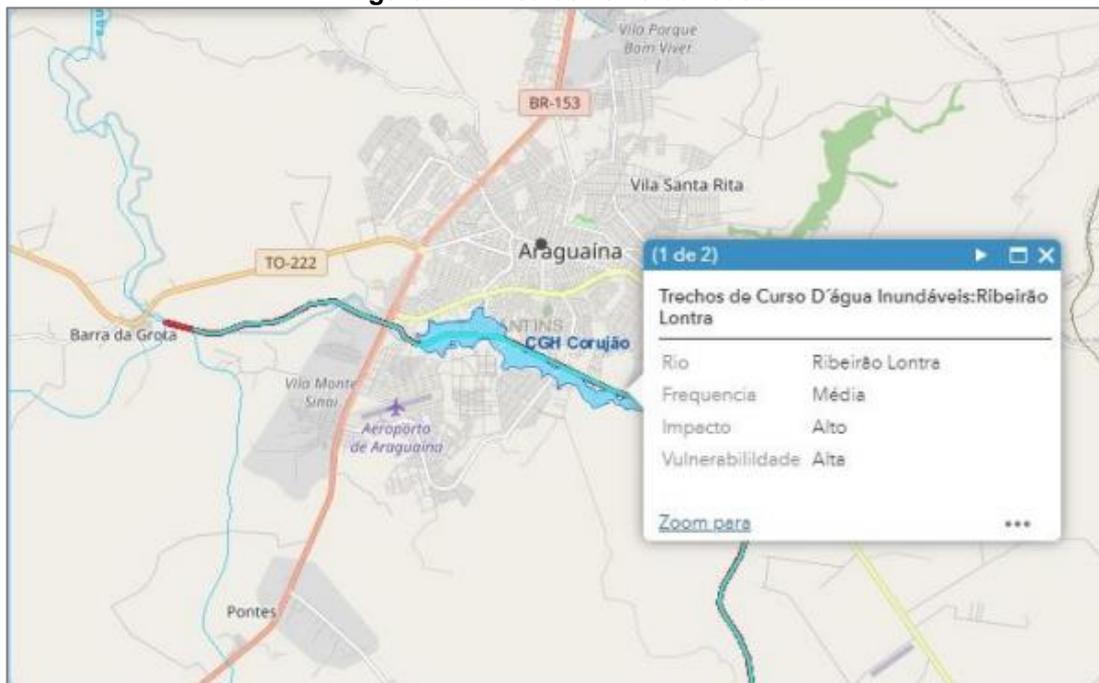
O Atlas de Vulnerabilidade a Inundações da ANA é uma ferramenta que identifica a ocorrência e os impactos das inundações graduais nos principais rios das 59 bacias hidrográficas brasileiras e podem servir de guia para a implementação de políticas públicas de prevenção e de mitigação de impactos de eventos hidrológicos críticos, por meio da adoção de medidas estruturais e não estruturais, contribuindo para a utilização racional de recursos públicos.

O atlas de vulnerabilidade a inundações - ANA é responsável por caracterizar os trechos com alta, média e baixa vulnerabilidade a inundações, baseado em dados decorrentes do cruzamento das informações de impacto e frequência dos eventos de inundação. Essa ferramenta define que a alta vulnerabilidade é maior em uma área com alto impacto diante de qualquer frequência de inundações, em áreas de médio impacto isso ocorre diante de alta frequência de inundações em proporções similares.

Enquanto a vulnerabilidade média de determinadas áreas possui médio impacto diante de uma frequência elevada de inundações, as áreas de baixa vulnerabilidade são inundações que se caracterizam por apresentarem baixo impacto e frequências média ou baixa de inundações (COSTA, 2018).

A ANA define a região do rio Lontra, sazonais, como uma área de vulnerabilidade consta da Figura 21, na sequência.

**Figura 21 - Área de vulnerabilidade**



Fonte: ANA (2020).

Após completas todas as modificações, o arquivo será salvo em formato compatível com o projeto, permitindo que depois disso sejam adicionados dados sobre a vazão. A declividade média do rio será solicitada em qualquer forma de simulação. Em seguida a apresentação de todos os dados definidos para o estudo, proceder-se-á de uma análise e discussão dos dados com base na literatura disponível, visando compreender de que forma podem ser adotadas medidas preventivas e outras para reduzir os danos quando as precipitações pluviométricas ultrapassam os níveis nos quais se mantém a capacidade de escoamento do córrego Neblina.

## CAPÍTULO 4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 ANÁLISE DE DADOS

Na sequência são apresentados os resultados quanto as áreas de influência no local de estudos, demonstrando as microbacias, córregos e nascentes que geram escoamento para o leito principal do rio.

Na Tabela 6 encontra-se a descrição e na figura 22 ilustra as áreas de influência das microbacias do córrego Neblina que serão utilizadas para o conhecimento das regiões de contribuições de escoamento e enquanto a Tabela 7 traz o comprimento e a Figura 23 ilustra a localização dos córregos e nascentes das microbacias do córrego Neblina.

**Tabela 6 - Áreas de influência – Micro Bacias**

<b>Micro Bacias</b>	
<b>Nome</b>	<b>Área (ha)</b>
Nascente do Neblina	298
Canindé	357
Biquinhas Bandeiras	151
Tanque	187
Nascente 10 Neblina	82
Nascente Urbanístico	159
São Miguel - APAE	114
Foz do Neblina	80
Ademar Vicente Ferreira	35
Santa Helena	84
<b>Total</b>	<b>1547</b>

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

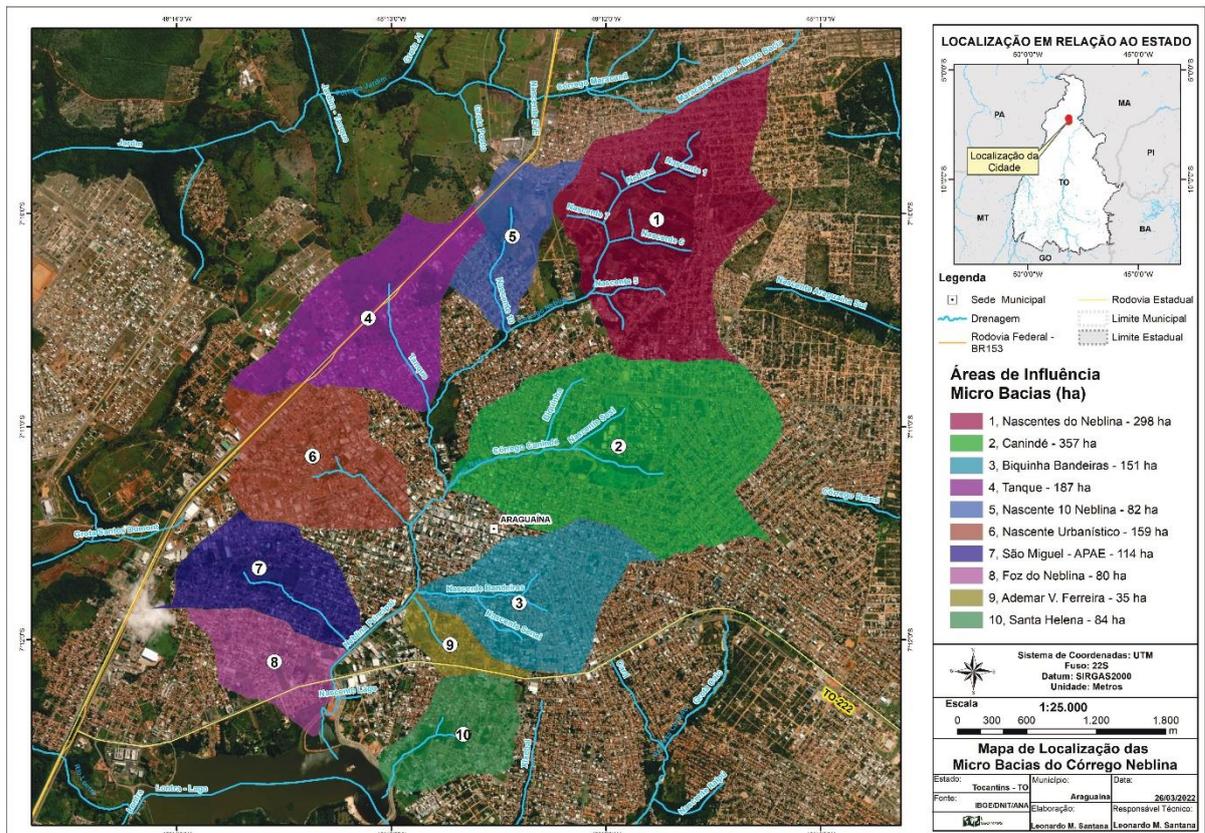
**Tabela 7 - Comprimento de córregos e nascentes.**

<b>Córregos e Nascentes</b>	
<b>Nome</b>	<b>Comprimento (m)</b>
Nascente 1	268
Nascente 2	268
Neblina - Parte Superior	2.038
Nascente 3	223
Nascente 4A	149
Nascente 4	271
Nascente 5	613
Nascente 6	749
Nascente 6A	242
Nascente 7	324

Córregos e Nascentes	
Nome	Comprimento (m)
Nascent 7A	419
Neblina Principal	5.049
Nascente 10	1.161
Tanque	1.198
Córrego Canindé	2.026
Nascente Sesi	579
Biquinha	732
Grota do Entrocamento - Água Feia	1.002
Nascente Urbanístico 2	263
Nascente Senador	306
Nascente Senai	591
Nascente Bandeiras	1.190
Nascente Pecuária	495
Nascente São Miguel - Apae	1.224
Nascente Lago	413
<b>Total</b>	<b>21.793</b>

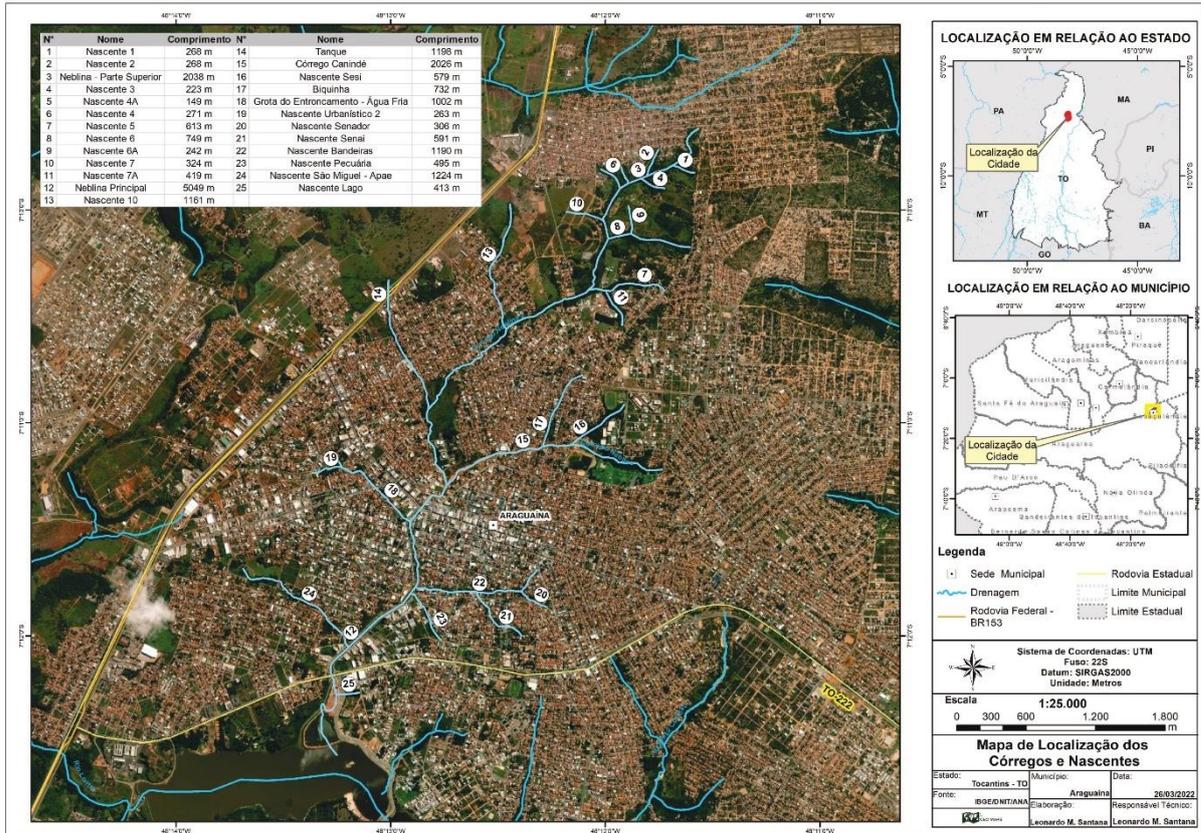
Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Figura 22 - Mapa de localização das micro bacias do Neblina



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

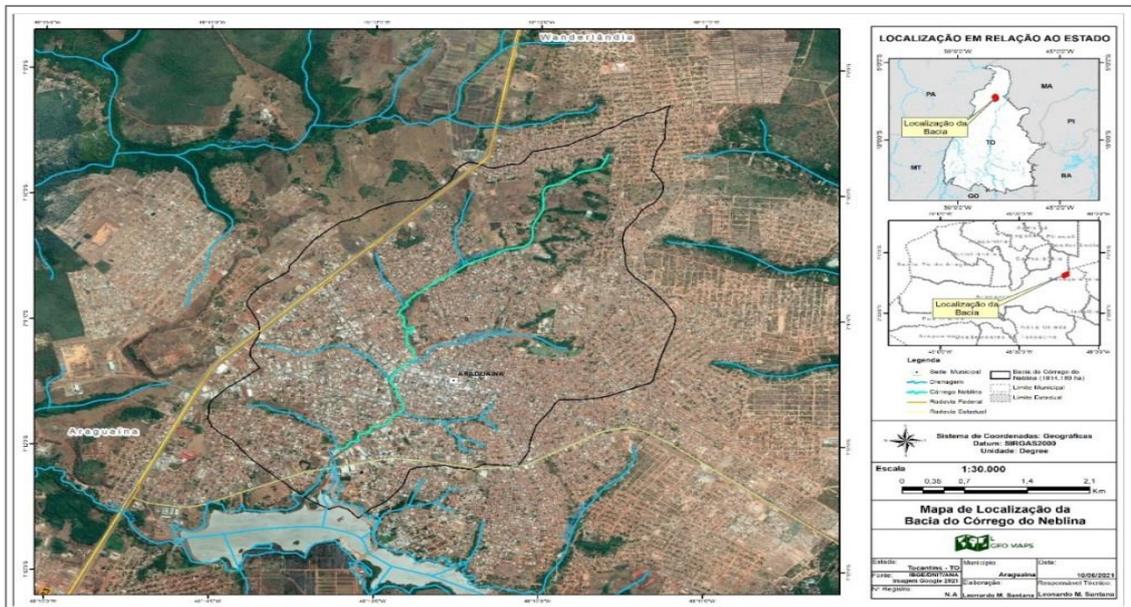
Figura 23- Mapa de localização dos córregos e nascentes do Neblina



Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

A Figura 24 evidencia a área de contribuição do córrego Neblina na área urbana de Araguaína, totalizando uma área total de 18,14 Km<sup>2</sup>, essa situada integralmente no perímetro urbano. Essa é a área de contribuição utilizada para determinação da vazão máxima da chuva.

Figura 24- Área de contribuição da Bacia do Neblina.



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

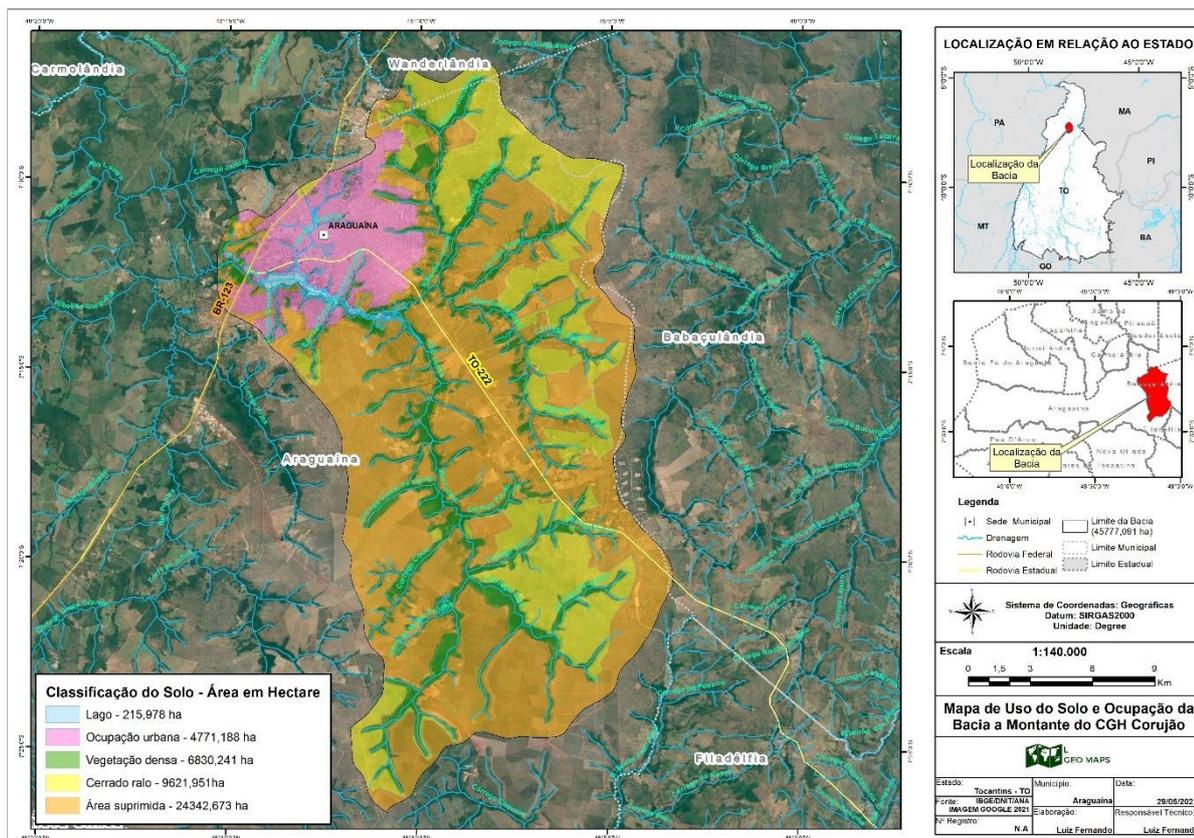
O uso e ocupação do solo da área de contribuição da Bacia do Rio Lontra à montante da CGH Corujão conta com área drenante total de 45.777,091 ha, essa área contribui para o escoamento que está diretamente relacionado a capacidade máxima do reservatório e sua cota maximorum. Na Tabela 8 descreve a área e o uso e ocupação do solo a montante da barragem.

**Tabela 8 - Uso e ocupação do solo na Bacia do Rio Lontra.**

Ocupação	Área (ha)
Lago	215.978
Ocupação Urbana	477.188
Vegetação densa	6.830.241
Cerrado Ralo	9.621.951
Área suprimida	24.342.673

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

**Figura 25 - Mapa de uso e ocupação do solo da Bacia Rio Lontra a montante da CGH**



Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Na Tabela 9 verifica-se o detalhamento do uso e ocupação do solo na área da bacia do córrego Neblina, com área urbanizada de 1.532,307 ha e área total de contribuição de escoamento 1814.189 ha.

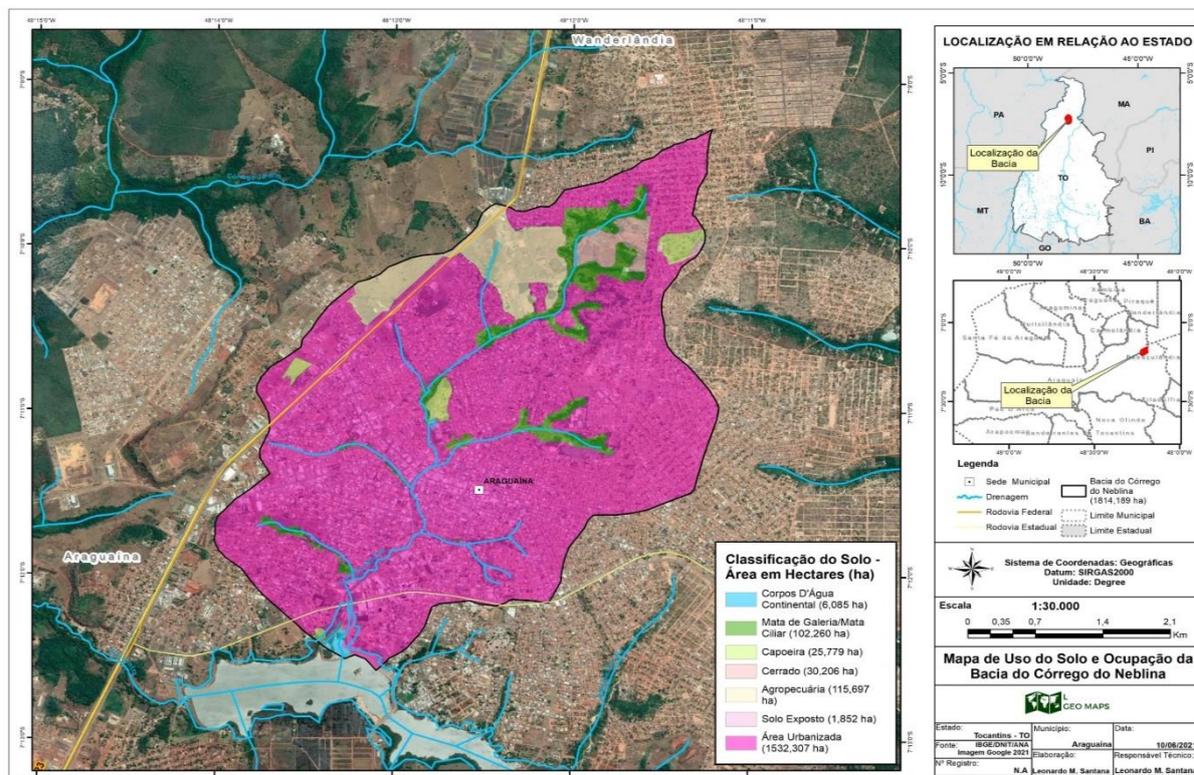
**Tabela 9** - Uso e ocupação do solo do Córrego Neblina.

Ocupação	Área (ha)
Corpos D'água Continental	6.085
Mata de Galeria/Mata Ciliar	102.26
Capoeira	25.779
Cerrado	30.206
Agropecuária	115.697
Solo Exposto	1.852
Área Urbanizada	1.532,31

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Na Figura 26 ilustra o uso e ocupação do solo da Bacia do córrego Neblina, com finalidade de ter compreensão dos padrões de organização dos espaços, áreas, uso da terra, ocupação desordenada etc.

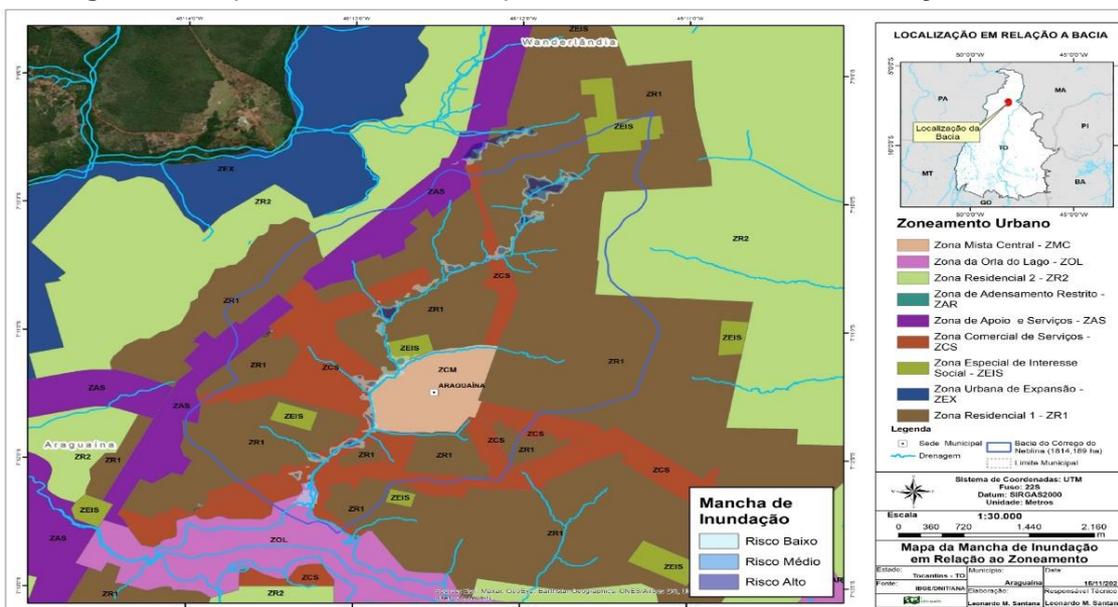
**Figura 26** - Mapa de uso e ocupação do solo da Bacia do Neblina.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

A Figura 27 apresenta o zoneamento do perímetro urbano de Araguaína de acordo com o plano diretor do município. Ressalta-se que os mapas foram elaborados seguindo e obedecendo as diretrizes municipais já estabelecidas.

**Figura 27:** Mapa de Zoneamento do perímetro urbano da cidade de Araguaína.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

No art. 35 do Plano Diretor (ARAGUAÍNA, 2017) há a descrição completa das zonas na cidade, conforme segue.

- I - Zona Mista Central - ZMC, correspondendo ao centro da cidade, com alta densidade e predominância do uso comercial e de serviços, sendo admitido uso habitacional;
- II - Zona Comercial e de Serviços - ZCS, com média densidade, basicamente no entorno da ZMC e ao longo das vias arteriais e coletoras, sendo admitido o uso habitacional;
- III - Zona Residencial 1 – ZR1, com média densidade, onde a maioria dos terrenos encontram-se ocupados, sendo o uso preferencialmente habitacional e admitidos outros usos compatíveis;
- IV - Zona Residencial 2 – ZR2, onde há maior incidência de terrenos desocupados ou a ocupação é de baixa densidade, sendo o uso preferencialmente residencial e admitidos outros usos compatíveis;
- V - Zona Especial de Interesse Social – ZEIS, áreas habitacionais de população de baixa renda, surgidas espontaneamente, existentes, consolidadas ou propostas, criadas para a promoção da regularização fundiária e edilícia de imóveis em situação ilegal ou irregular, bem como objetivando produzir habitações de interesse social, obedecido o disposto no art. 59 desta Lei Complementar;

VI - Zona de Apoio e Serviços - ZAS, localizada ao longo das rodovias, onde são admitidos usos diversificados, tais como atividades relativas a oficinas mecânicas, postos de abastecimentos de combustíveis, borracharias, estabelecimentos comerciais de grande porte, restaurantes e lanchonetes, estabelecimentos de prestação de serviços, indústrias e armazéns atacadistas e onde o uso residencial é limitado às situações excepcionais;

VII - Zona da Orla do Lago –ZOL, localizada junto à Orla do Lago Azul na sede municipal – MU1, de caráter paisagístico e ambiental, onde é desejável a instalação de equipamentos de lazer, recreação, equipamentos esportivos, parques urbanos, restaurantes e similares e permitido o uso;

VIII - Zona da Orla do Rio 1 – ZOR 1, às margens do rio Araguaia, trecho sul da MU 2 - Garimpinho, onde é desejável a permanência dos atuais habitantes, aliada ao desenvolvimento sustentável das atividades turísticas como forma de melhoria das condições sociais e econômicas da comunidade;

IX - Zona da Orla do Rio 2 – ZOR 2, às margens do rio Araguaia, trecho norte da MU 2 - Garimpinho, em área atualmente ainda não ocupada, onde é desejável o desenvolvimento sustentável das atividades turísticas como forma de melhoria das condições sociais e econômicas da população, permitindo-se o uso habitacional e outros compatíveis;

X - Zona de Adensamento Restrito – ZAR –predominância de áreas de maior fragilidade ambiental ou onde é desejável a contenção urbana, permitido o uso habitacional na forma de chácaras ou condomínios horizontais de muito baixa densidade populacional, bem como atividades específicas destinadas à cultura, ao lazer e ao turismo, sempre com o objetivo de qualificação da paisagem urbana; e

XI - Zona Urbana de Expansão – ZEX – reservada ao crescimento da cidade, onde o parcelamento do solo somente será permitido em áreas contíguas àquelas já ocupadas, com exceção de parcelamento destinado a chácaras.

O valor da vazão total precipitado, que foi considerado uma chuva de pico de 2h, o cálculo dessa precipitação foi utilizado dados da chuva dos últimos 30 anos. No dia 25/04/1997 a estação de código 82659 registrou uma chuva de 137.8mm.

#### 4.2 ESTIMATIVAS DE VAZÃO

Para a estimativa das vazões por meio do método I PAI WU, foram utilizados os parâmetros dispostos na Tabela 10.

**Tabela 10 - Estimativa de vazão pelo método I PAI WU.**

Parâmetro	Valor
Área da Bacia (Km <sup>2</sup> )	18.14
Talvegue (Km)	7.45
Cota da Crista (m)	262.75
Cota da Base (m)	202.00
Tempo de Retorno (anos)	100.00
Coeficiente de <i>Runoff</i> (C)	0.50
Tempo de Concetração (min)	119.22

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

A partir da determinação dos coeficientes na Tabela 13, foi possível obter a estimativa de vazão de cheia, que totalizou 168,36 m<sup>3</sup>/s, ponderando-se o valor de 170m<sup>3</sup>/s. O gráfico extraído do HEC RAS (Figura 28) é uma cópia dos dados de vazão, a partir do qual verificou-se que uma chuva de 2h demora 1h para atingir a vazão máxima de 170m<sup>3</sup>/s. O programa realizou automaticamente a interpolação da vazão com intervalo de 10 minutos.

**Figura 28** – Parâmetros de entrada de vazão no HEC RAS

Flow Hydrograph

River: Rio Reach: Rio RS: 7111.781

Read from DSS before simulation Select DSS file and Path

File:

Path:

Enter Table Data time interval: 10 Minute

Select/Enter the Data's Starting Time Reference

Use Simulation Time: Date: 12AUG2021 Time: 00:00

Fixed Start Time: Date: 12AUG2021 Time: 00:00

No. Ordinates

Hydrograph Data			
	Date	Simulation Time	Flow
		(hours)	(m3/s)
1	11Aug2021 2400	00:00	1
2	12Aug2021 0010	00:10	29.17
3	12Aug2021 0020	00:20	57.33
4	12Aug2021 0030	00:30	85.5
5	12Aug2021 0040	00:40	113.67
6	12Aug2021 0050	00:50	141.83
7	12Aug2021 0100	01:00	170
8	12Aug2021 0110	01:10	142
9	12Aug2021 0120	01:20	114
10	12Aug2021 0130	01:30	86
11	12Aug2021 0140	01:40	58
12	12Aug2021 0150	01:50	30
13	12Aug2021 0200	02:00	2
14	12Aug2021 0210	02:10	
15	12Aug2021 0220	02:20	

Time Step Adjustment Options ("Critical" boundary conditions)

Monitor this hydrograph for adjustments to computational time step

Max Change in Flow (without changing time step):

Min Flow:  Multiplier:

Fonte: Do autor (2022).

Oliveira (2013) esclarece que os mapas de inundação são desenvolvidos a partir de dados alimentados no sistema escolhido, bem como de cálculos baseados nessas informações para gerar uma perspectiva de determinada situação. No entanto, quando há disponibilidade de registros de moradores, além de informações prestadas pelas pessoas que vivem na área, é possível alcançar uma visão ainda mais esclarecedora a respeito dos impactos de uma inundação.

Uma medição foi realizada a partir de relatos de moradores da área que afirmam que em tempo de chuvas intensas a lâmina d'água atinge, nesse ponto, uma altura média de 1,20 cm (Figura 29).

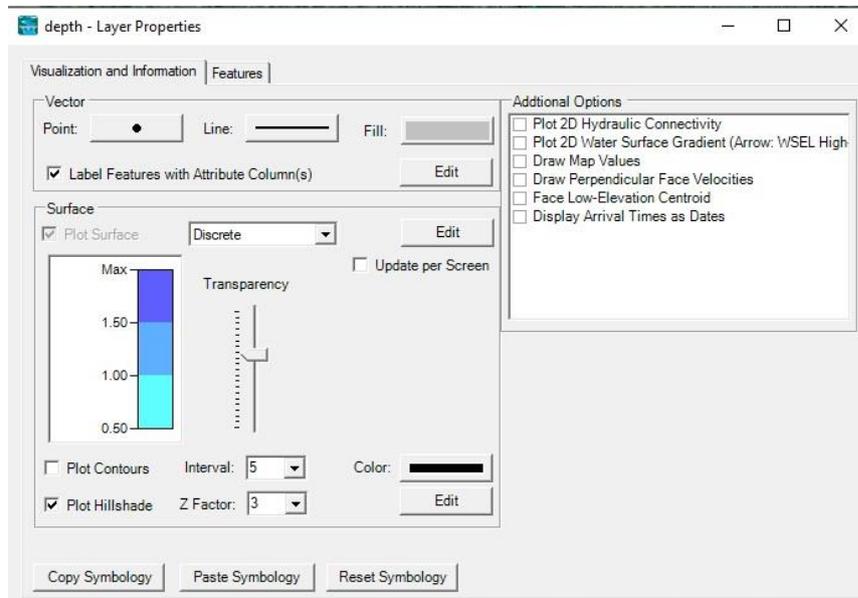
**Figura 29** - Registro da altura da lâmina d'água de acordo com os moradores locais.



**Fonte:** Acervo do autor (2021).

No HEC RAS para determinar altura da lâmina d'água foi considerado, com base na análise do fator de risco, um *layer properties* de 0 – 1,5m na geração do mapa de inundação (Figura 30).

**Figura 30-** Layer properties



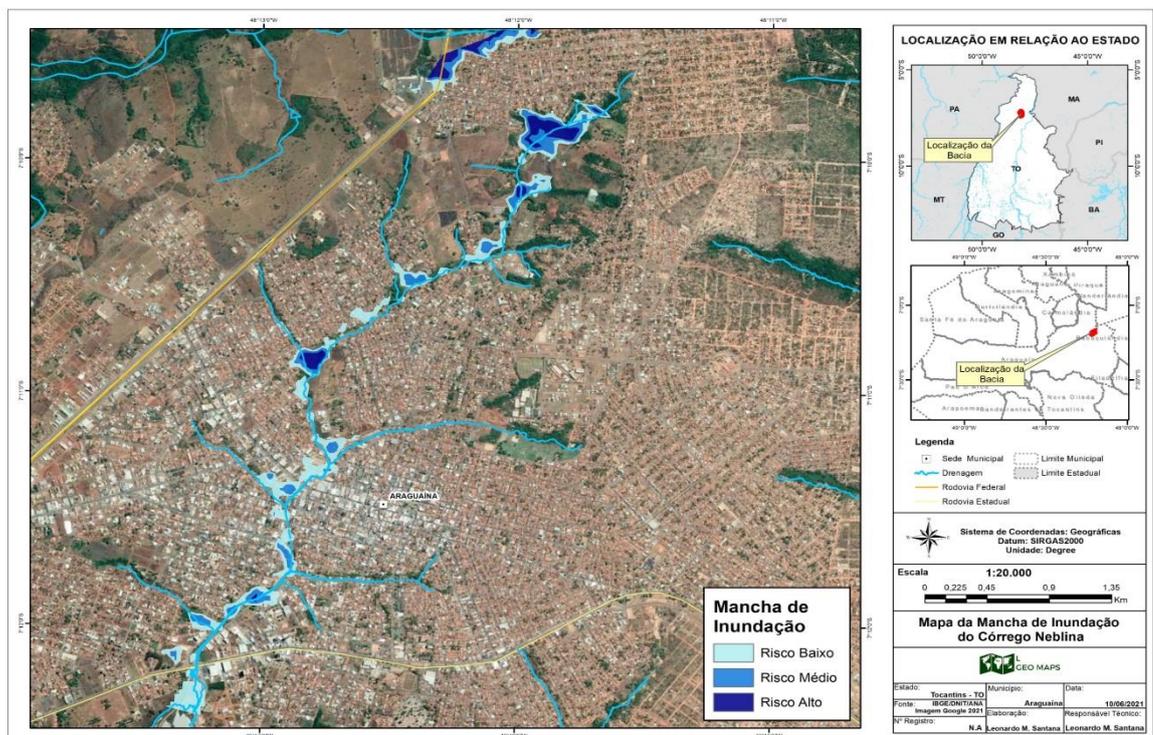
**Fonte:** Dados do Autor (2021).

Os dados coletados indicam que não há um impacto considerável nas áreas de inundação decorrente do reservatório da barragem CGH Corujão na área urbana da cidade de Araguaína/TO.

Quanto ao mapeamento das áreas de inundações, após a inserção dos parâmetros no programa, foram gerados os mapas utilizados o ArcGIS, e pelo tamanho do canal inundado foram realizadas as 10 (dez) articulações em escalas menores para melhor visualização e interpretação das imagens, como é possível observar nas figuras descritas ao longo dos resultados do trabalho.

Inicia-se apresentando a mancha de inundação no canal do Córrego Neblina em uma visão geral (Figura 31).

**Figura 31-** Mancha de inundação no canal do Córrego Neblina – Geral.



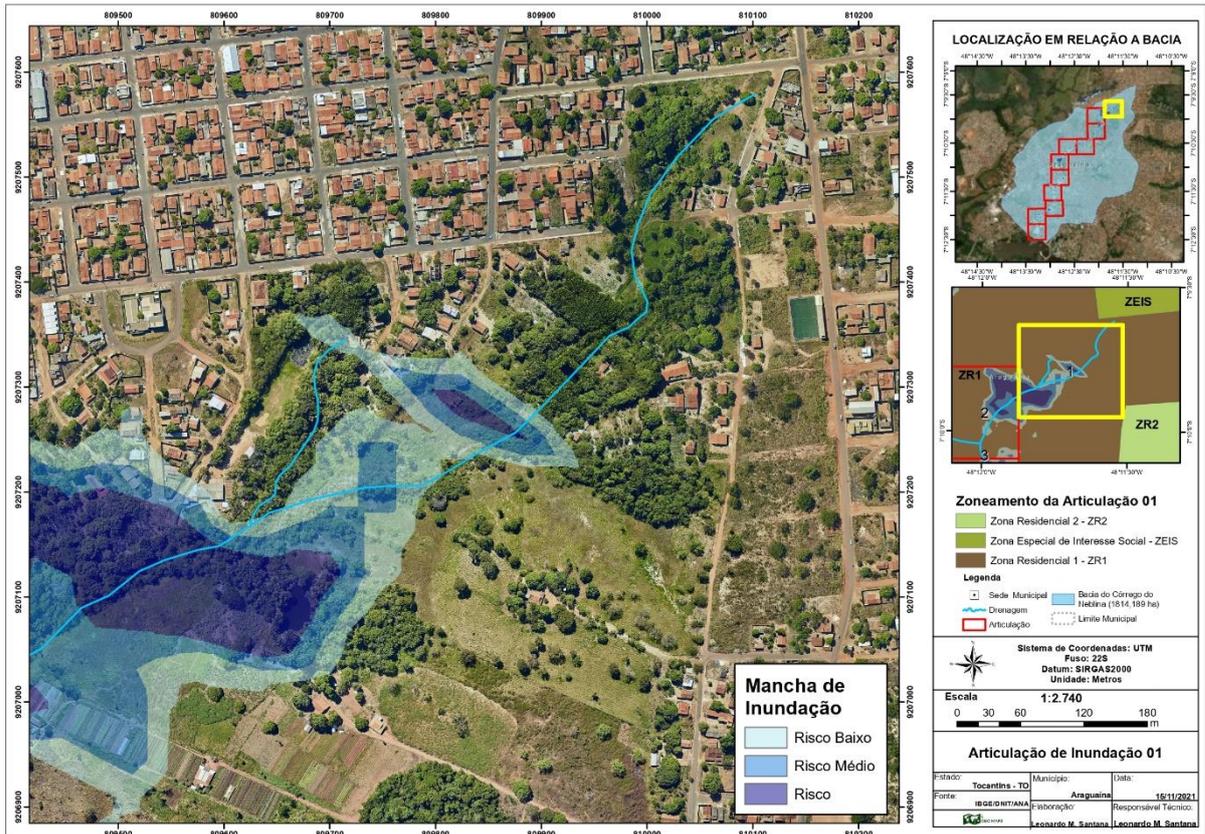
Fonte: Elaborado pelo autor com o auxílio do *aplicativo HEC-RAS* (2021).

Na análise geral, contida na Figura 31 acima, verifica-se que o risco é predominantemente baixo. Os locais em que aparece risco alto encontram-se na Zona Residencial 1, Risco médio é visto na Zona Mista Central e na Zona Residencial 1, enquanto o Risco baixo estende-se pelas demais zonas do município.

Para uma melhor visão dos possíveis impactos sobre diferentes áreas, procedeu-se de uma divisão em articulações, cada articulação apresenta o Zoneamento referente as zonas contidas na imagem. O intuito foi usar escala menores para melhor visualização das áreas de risco.

Inicia-se com a Articulação 01, integrante da Zona Residencial 01, zona residencial 02 e zona de interesse social, nessa articulação há risco baixo, médio e alto (em baixa proporção) (Figura 32).

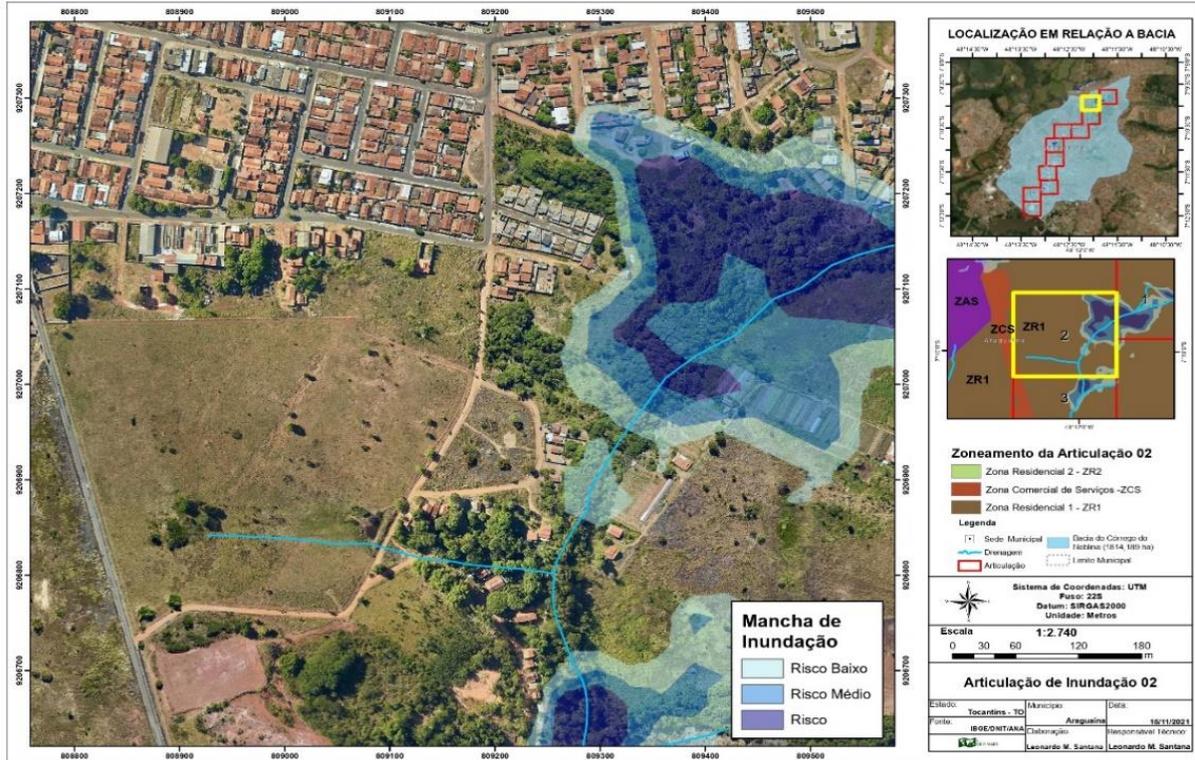
**Figura 32 - Mancha de inundação no canal do Córrego Neblina – Articulação 01.**



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

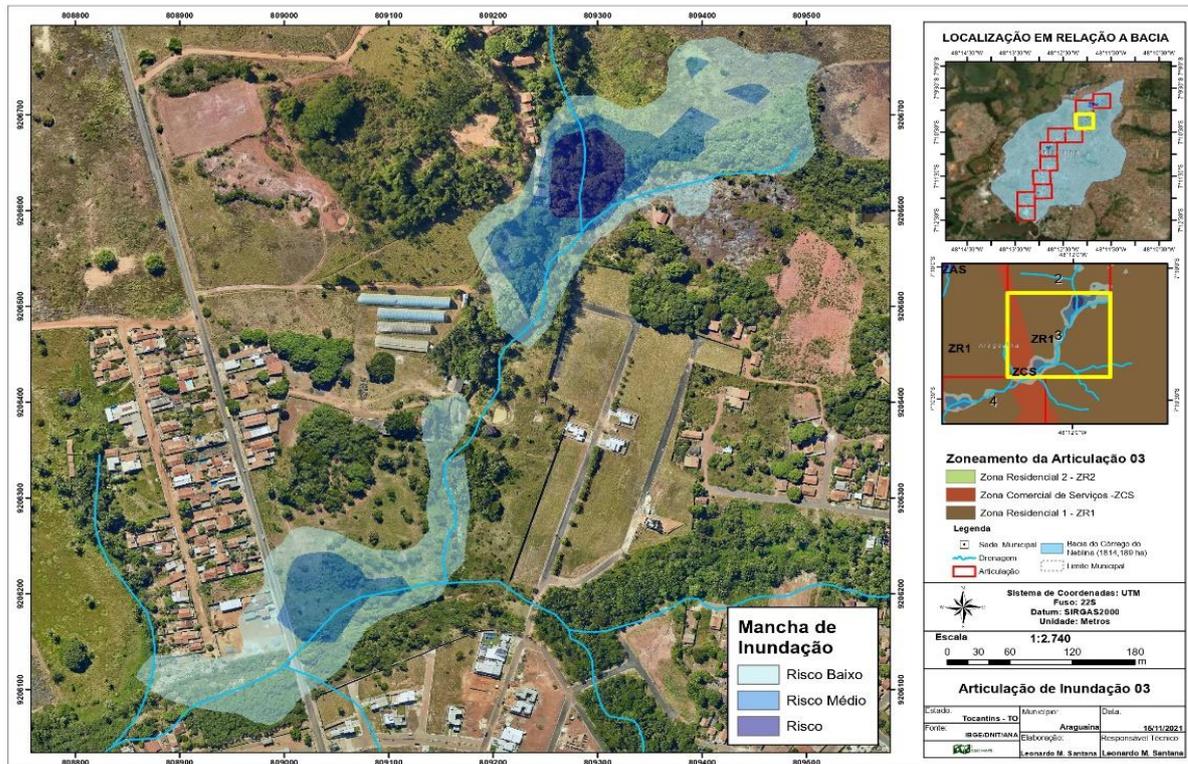
A Figura 33 engloba a articulação 02, atinge partes da zona comercial de serviços e a zona residencial 1. Nessa articulação risco médio e alto são ligeiramente maiores do que se pode identificar nas demais.

Figura 33 - Mancha de inundação no canal do Córrego Neblina – Articulação 02



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Figura 34 - Mancha de inundação no canal do Córrego Neblina – Articulação 03

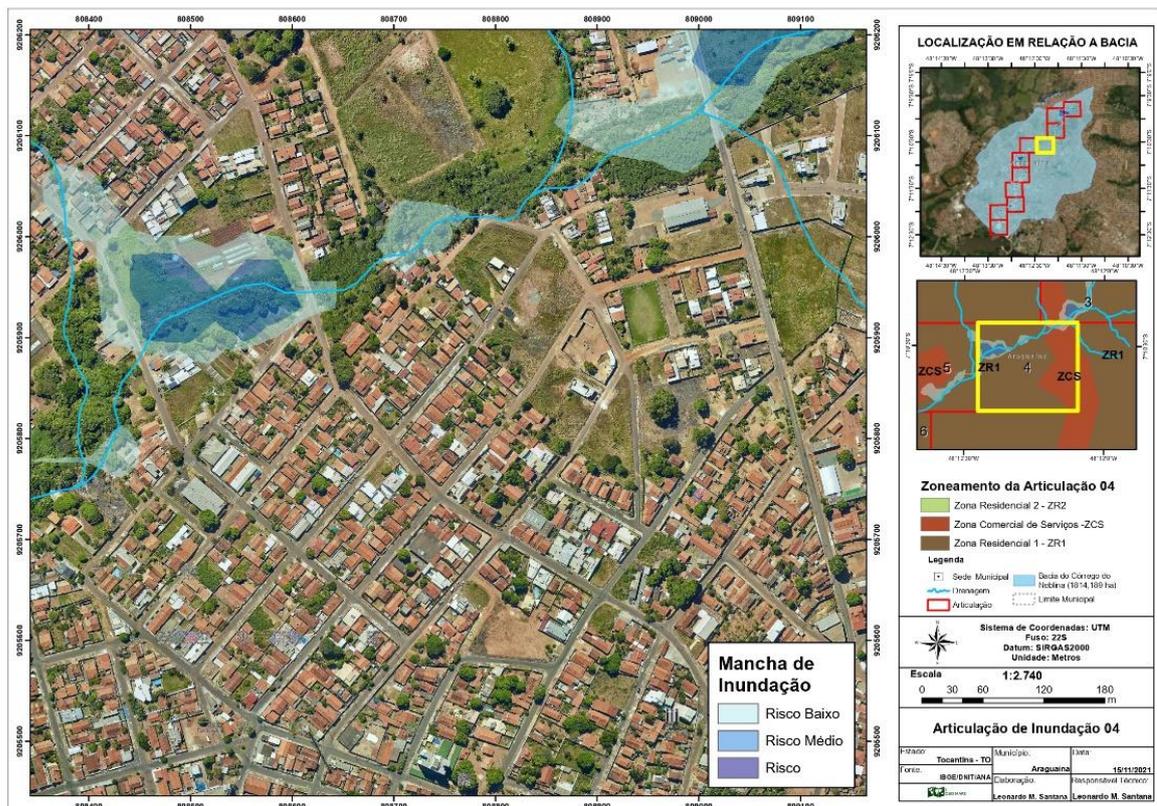


Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

A Figura 35 refere-se à articulação 03, atinge partes da zona comercial de serviços e a zona residencial 1. Nessa articulação risco médio e alto são bastante limitados, enquanto o risco baixo é quase que predominante

Na Figura 36 consta a articulação 04. A referida articulação engloba a zona comercial de serviços e a zona residencial 01. Os indicadores de risco são apenas baixo e médio.

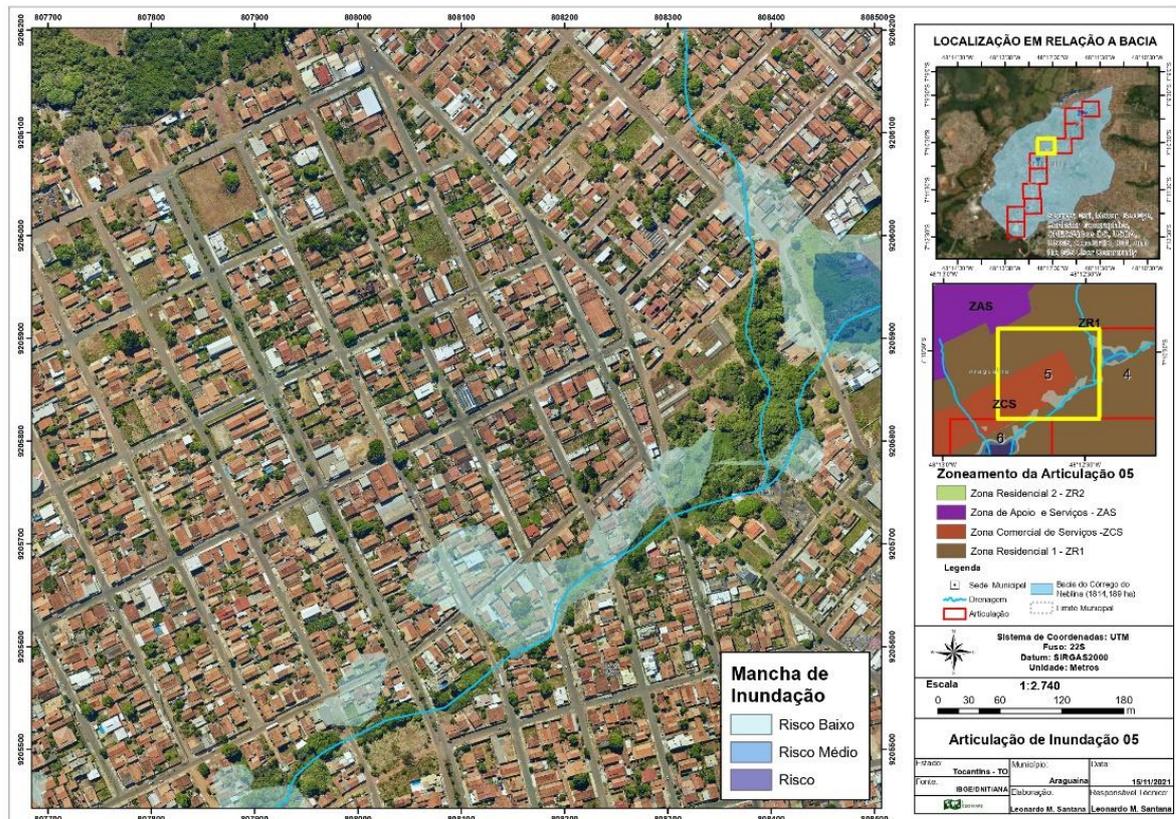
**Figura 35-** Mancha de inundação no canal do Córrego Neblina – Articulação 04



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Na articulação 05 (Figura 36) verifica-se a presença de zona de apoio e serviços, zona comercial de serviços e zona residencial 01. Há uma pequena área de risco médio, enquanto a maior proporção é risco baixo.

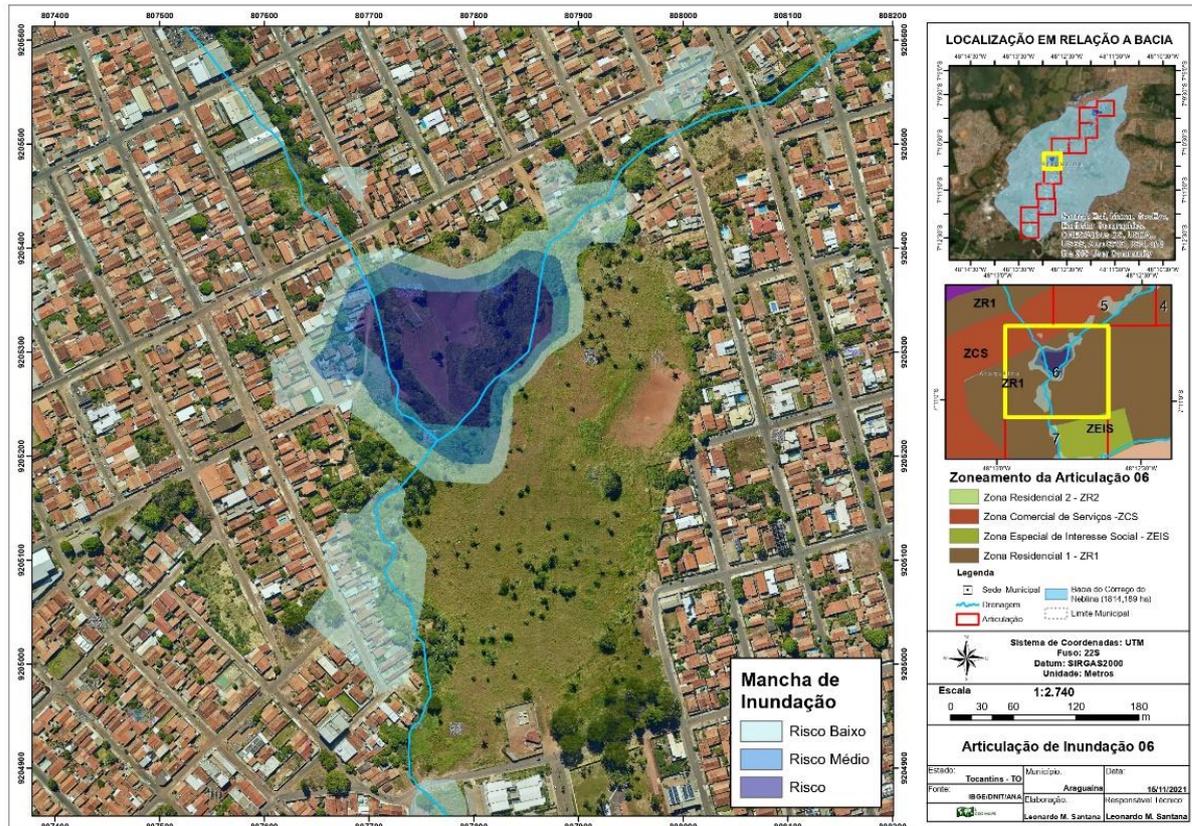
**Figura 36-** Mancha de inundação no canal do Córrego Neblina – Articulação 05.



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

A articulação 06 está demonstrada na Figura 37. Encampa partes da zona comercial de serviços, zona especial de interesse e zona residencial 01. Os três graus de risco são identificados na referida articulação.

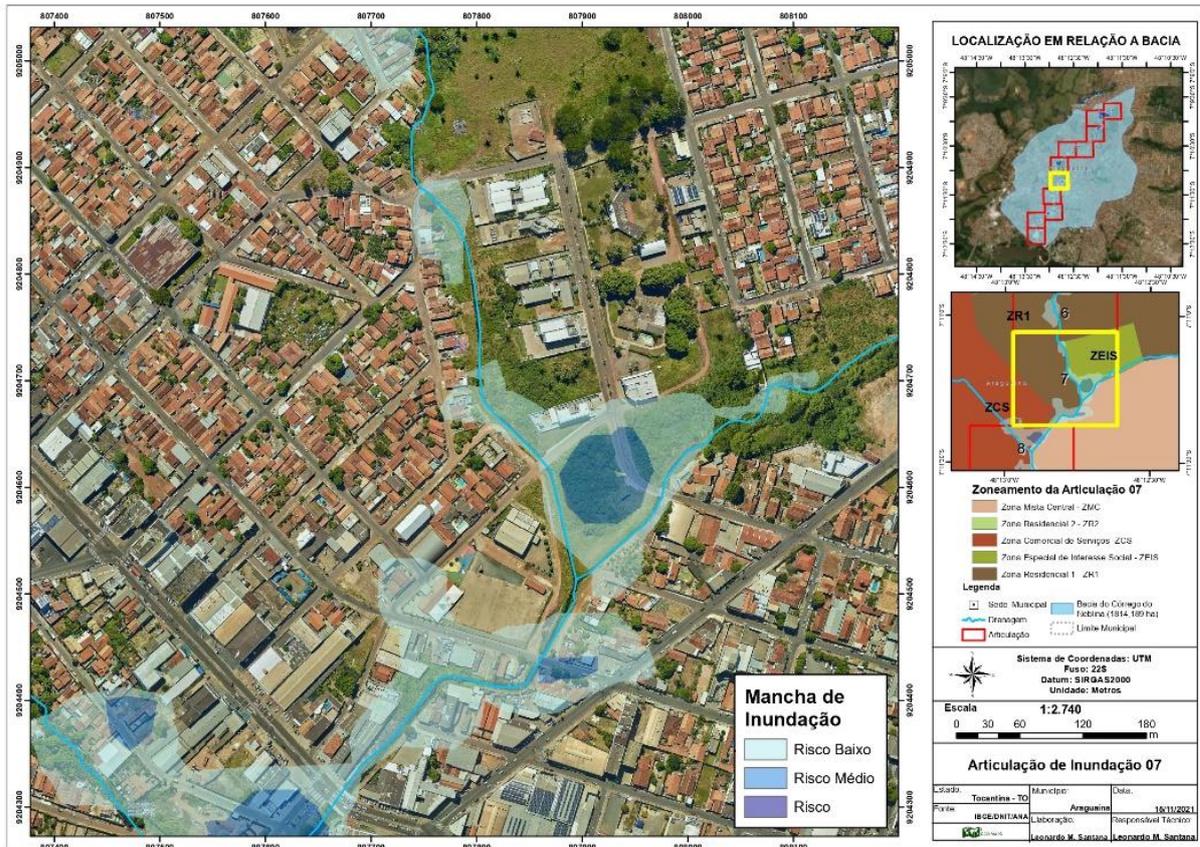
**Figura 37 - Mancha de inundação no canal do Córrego Neblina – Articulação 06**



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

A articulação 07 (Figura 38) atinge partes da zona mista central, zona residencial 02, zona comercial de serviços, zona especial de interesse social e zona residencial 01. Somente graus de risco médio e baixo são verificados no local.

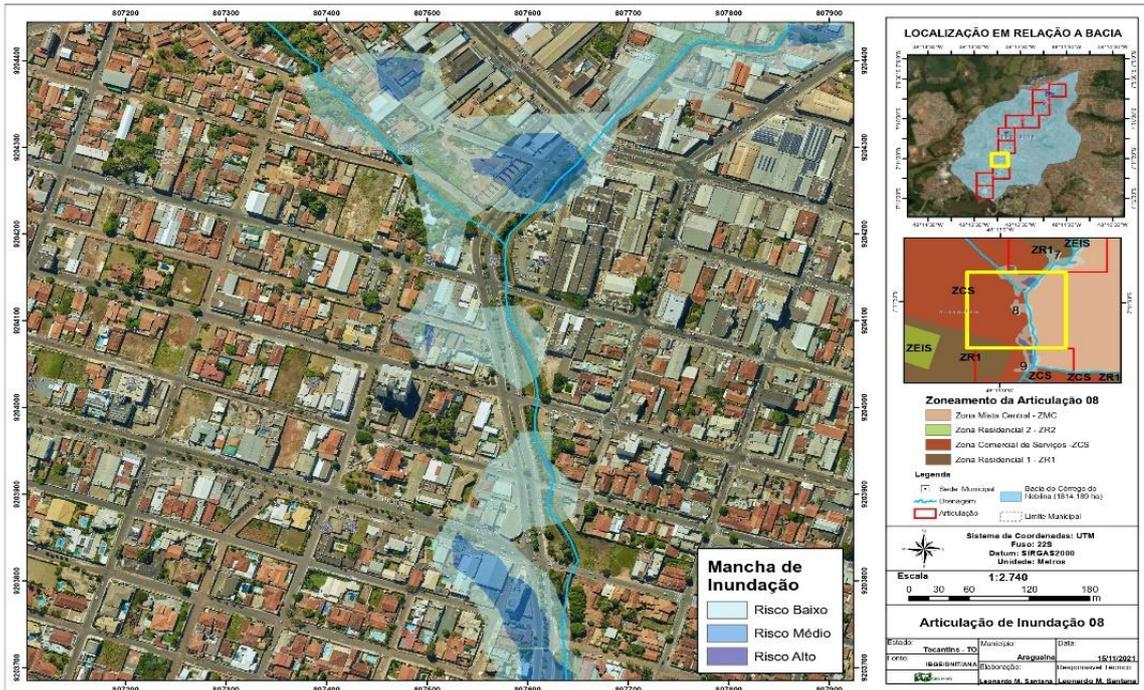
**Figura 38 - Mancha de inundação no canal do Córrego Neblina – Articulação 07**



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Na articulação 08, que também atinge partes da zona mista central, zona residencial 02, zona comercial de serviços, zona especial de interesse social e zona residencial 01. Somente risco baixo e médio são identificados no local.

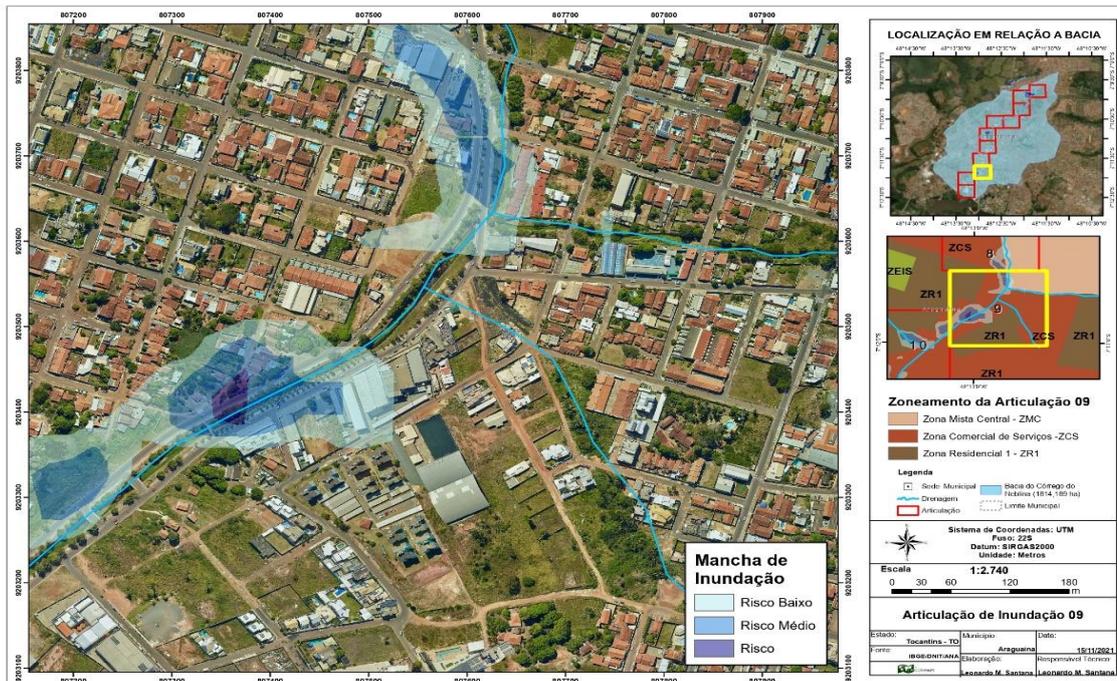
Figura 39 - Mancha de inundação no canal do Córrego Neblina – Articulação 08



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Na figura 40 verifica-se a articulação 09, com partes da zona mista central, zona comercial de serviços e zona residencial 01. Há somente uma pequena faixa de risco alta, as demais englobam risco médio e baixo.

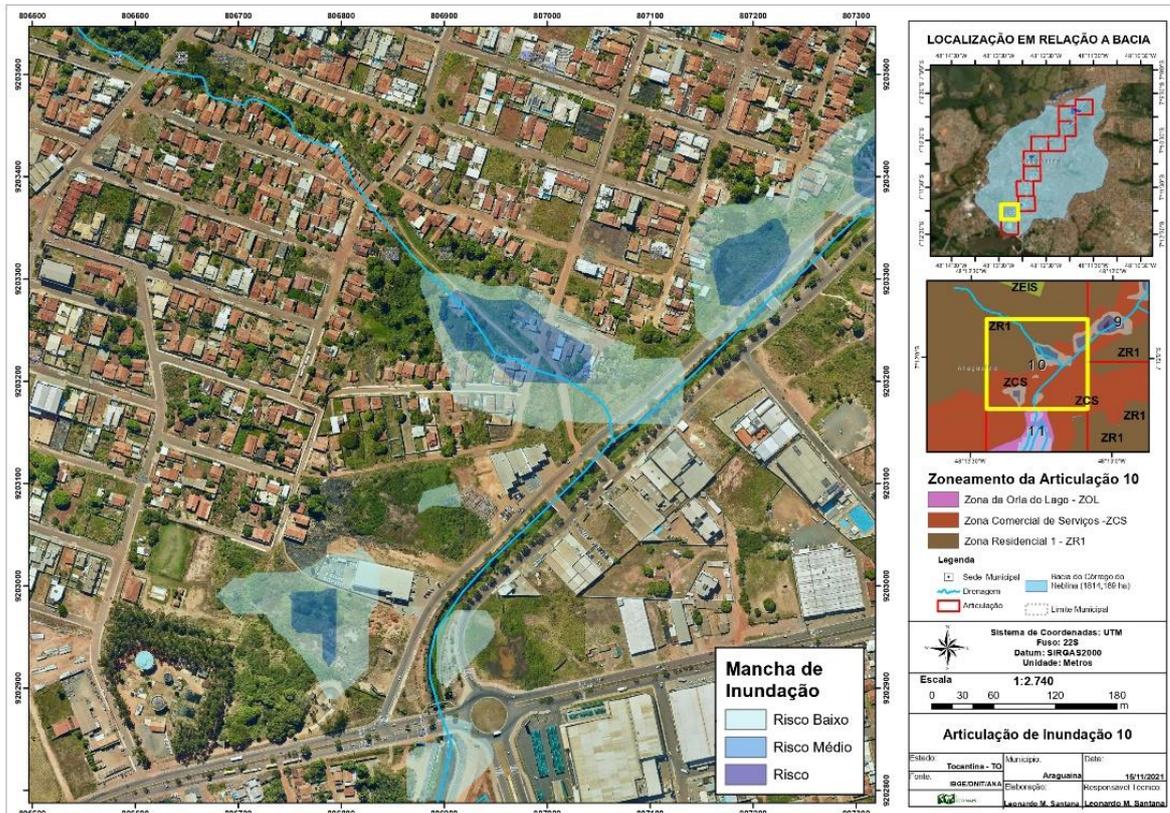
Figura 40- Mancha de inundação no canal do Córrego Neblina – Articulação 09



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Na figura 41 verifica-se a articulação 10, com partes da zona da orla do lago, zona comercial de serviços e zona residencial 01. Não há faixa de risco alta, somente risco médio e baixo.

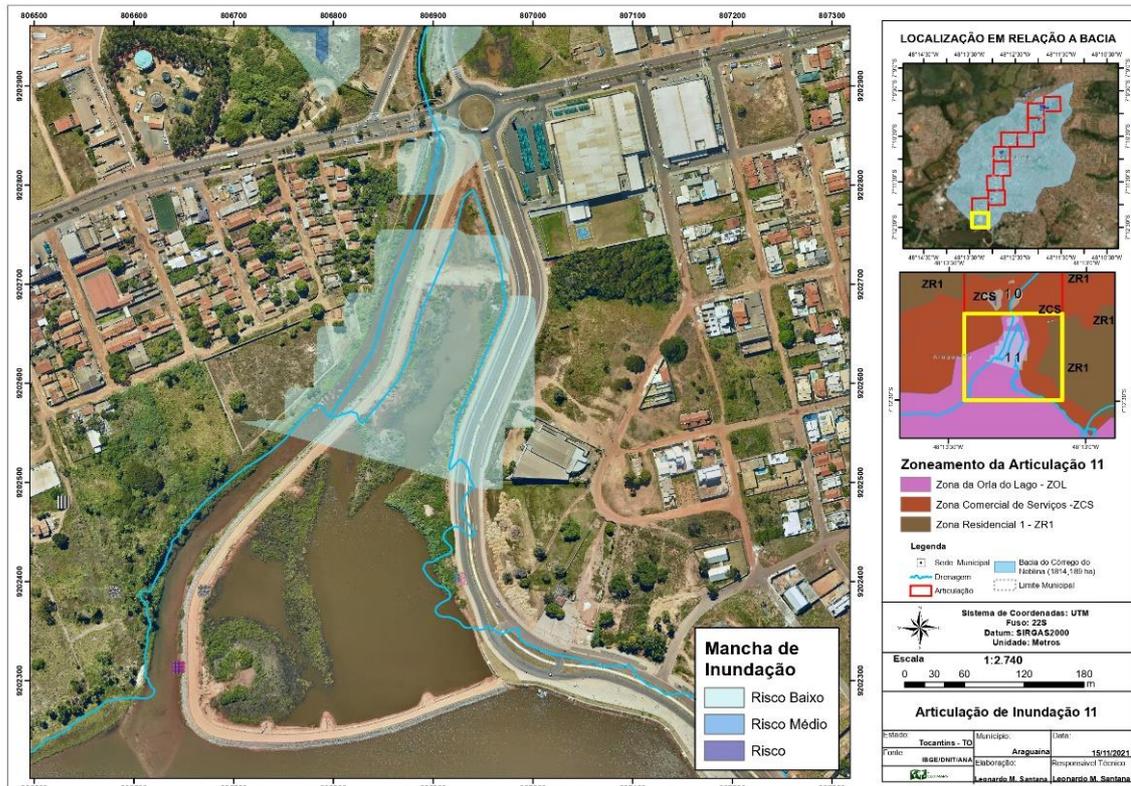
**Figura 41** - Mancha de inundação no canal do Córrego Neblina – Articulação 10



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Por fim, na figura 42 verifica-se a articulação 11, com partes da zona da orla do lago, zona comercial de serviços e zona residencial 01. Há somente uma pequena faixa de risco médio, o restante enquadra-se como risco baixo.

**Figura 42** - Mancha de inundação no canal do Córrego Neblina – Articulação 11



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Verificou-se que, de modo geral, a geração dos mapas apresentou a concentração dessas manchas em relação as ondas que deveriam ser de proteção. Nas áreas de preservação, entende-se como fato natural o rio encha, porém a vegetação e o solo permitem um melhor escoamento da água, enquanto em centros urbanos, pelo baixo índice de infiltração em função da presença de áreas de concreto (calçadas), asfalto e outras construções, o que reduz drasticamente a capacidade de permeabilidade do solo. É natural que água esco das áreas mais elevadas para as planícies, principalmente em tempos chuvosos, de modo que o ideal é que não haja ocupação nas áreas próximas aos rios.

Segundo Collishonn (2014), os moradores que residem no entorno de locais próximos a essas áreas de inundações, muitas das vezes são “surpreendidos” por esses eventos e, não raramente, o senso comum e a imprensa imputam a responsabilidade pela ocorrência desses fenômenos às mudanças climáticas globais, no entanto, sabe-se que um dos motivos para tal situação reside no processo de ocupação da área original da rede de drenagem que, na maioria das vezes, está oculta na trama urbana. Jha *et al.* (2012) afirmam que determinadas áreas urbanas possuem

elevado risco de inundação e, assim, são particularmente vulneráveis aos impactos das inundações em diferentes locais do mundo.

Em face disso, as consequências de inundações em áreas urbanas são consideradas muito mais severas, levando-se em conta que:

Os impactos das inundações urbanas também são distintos devido à tradicional alta concentração de população e ativos no meio urbano. Isto torna o dano mais intenso e mais oneroso. Assentamentos urbanos também contêm os principais atributos econômicos e sociais e bases de ativos de qualquer população nacional, de modo que a inundação urbana, causando danos e perturbação além do escopo das enchentes reais, frequentemente traz sérias consequências para as sociedades (JHA et. al., 2012, p.19).

Diante dessas informações, autores como Hoffmann *et al.* (2014) enfatizam que quando se trata de inundações urbanas, é preciso inicialmente observar alguns aspectos essenciais, tais como as características ambientais que influenciam diretamente nesse processo, os eventos pluviométricos que podem acarretar as inundações, além da vulnerabilidade física do espaço, já que a mesma pode estar associada aos fatores naturais e também aos fatores antrópicos, isto é, como o uso da terra (a forma que os indivíduos habitam determinado espaço).

Santos e Silva (2019) afirmam que todas as características da área influenciam sobre a mancha de inundação, por exemplo, topografia do solo, suas características, dados da área no entorno, entre outras tantas informações. Para os autores, quando se busca compreender quais são os riscos em uma região, é preciso conhecer suas especificidades e levá-las em consideração nos cálculos a serem realizados.

Kates (1962 *apud* COSTA, 2018) investigou quais os motivos pelos quais as pessoas habitam áreas sujeitas a inundações em face ao eminente perigo. O autor observou que o modo como as pessoas avaliam o risco é variável, o que contribui diretamente para que suas percepções sobre algum tipo de desastre sejam rapidamente enfraquecidas.

Após ocorrer o processo da inundação, Kates (1962 *apud* COSTA, 2018) descreve que, na maioria das vezes, o perigo avaliado pelas vítimas rende a ser demasiado, todavia, fazendo um paralelo com as inundações históricas, quando a evidência da sua extensão é esquecida, o perigo também desaparece da mente das pessoas em um breve período de tempo.

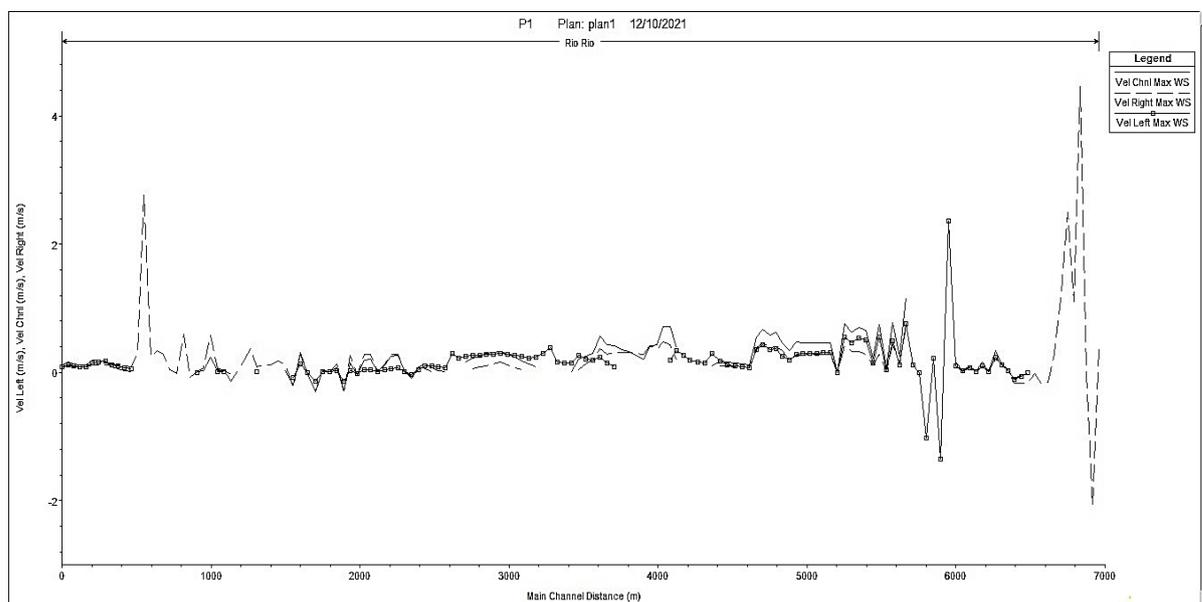
Ao longo do trabalho, procurou-se também quantificar os impactos nos sistemas de infraestrutura urbana do local de estudo, de modo que foi desenvolvido

um gráfico de velocidade cuja finalidade é quantificar os impactos associados a infraestrutura urbana.

Esse gráfico foi extraído do HEC RAS, que tem a Distância do total do Canal simulado (m) versus a Velocidade (m/s) à esquerda, direta e centro do rio, comparando-se esses dados com aqueles gráficos da literatura, como a velocidade versus a altura da lâmina d'água (Figuras 43 a 47).

Em uma primeira análise apresenta-se os dados gerados pelo programa HEC RAS a respeito da velocidade (Figura 43).

**Figura 43 - Gráfico de Velocidade**



Fonte: Dados do Autor (2021).

De acordo com Cançado (2009), a velocidade da inundação deve ser sempre considerada como fato chave quando se busca compreender riscos e possíveis impactos. A velocidade deve ser associada à profundidade para que se obtenha uma visão mais precisa. No quadro 9 há um esclarecimento sobre a capacidade de impactos da velocidade de inundação sobre estruturas de alvenaria.

**Quadro 9 - Possibilidade de falha estrutural em edificações de alvenaria**

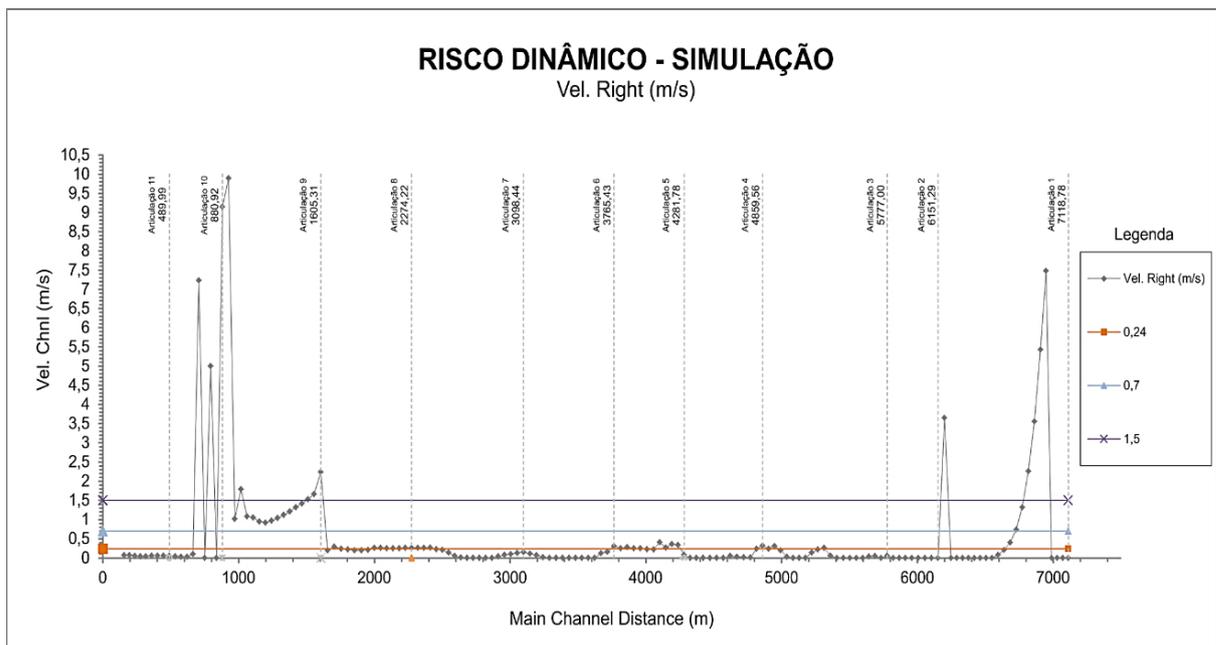
Resultado	Velocidade	Profundidade x Velocidade
Danos que não atingem a estrutura da edificação	< 2m/s	< 3m <sup>2</sup> /s
Falha parcial	> 2 m/s	> 3m <sup>2</sup> /s e < 7 m <sup>2</sup> /s
Colapso estrutural	> 2 m/s	< 7m <sup>2</sup> /s

Fonte: Adaptado pelo autor de Cançado (2009).

Compreende-se que velocidades menores de 2 m/s ou profundidade x velocidade menor que 3 m<sup>2</sup>/s causarão danos de menor monta, que não comprometem a estrutura da edificação, porém, se a velocidade estiver acima da 2 m/s e a profundidade x velocidade a 7m<sup>2</sup>/s, ocorrerá colapso estrutural dessa edificação.

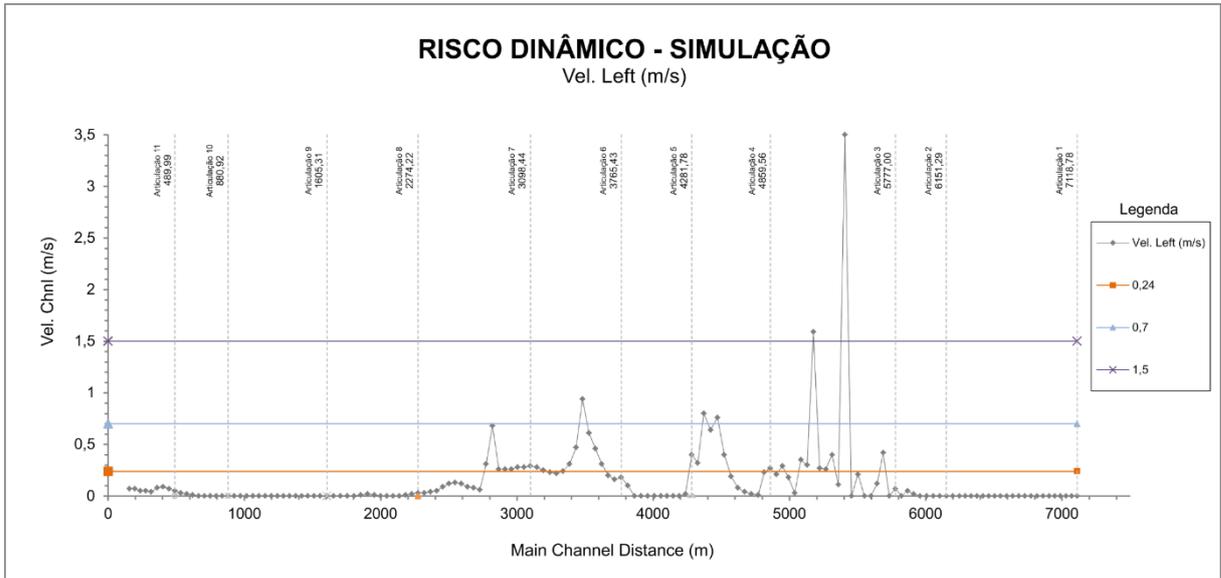
Além disso, um adulto médio começaria a perder estabilidade quando a profundidade está acima de 0,91 m e a vazão acima de 0,61 m<sup>3</sup>/s. A velocidade acima de 1,5 m/s eleva os riscos de afogamento para alta, acima de 0,5 m/s já há um risco médio (CANÇADO, 2009). Neste estudo, os riscos estruturais em caso de inundações são vistos, à direita, de forma mais incidente nas articulações 01, 02, 09 e 10. Nesses locais há cenários em que a velocidade ultrapassa 2 m/s causando danos estruturais severos. As articulações 01, 02, 09, 10 apresentam elevação do risco de afogamento, ultrapassando 1,5 m/s, de modo que esse risco pode ser considerado alto.

**Figura 44** - Risco hidrodinâmico do lado direito do canal simulado



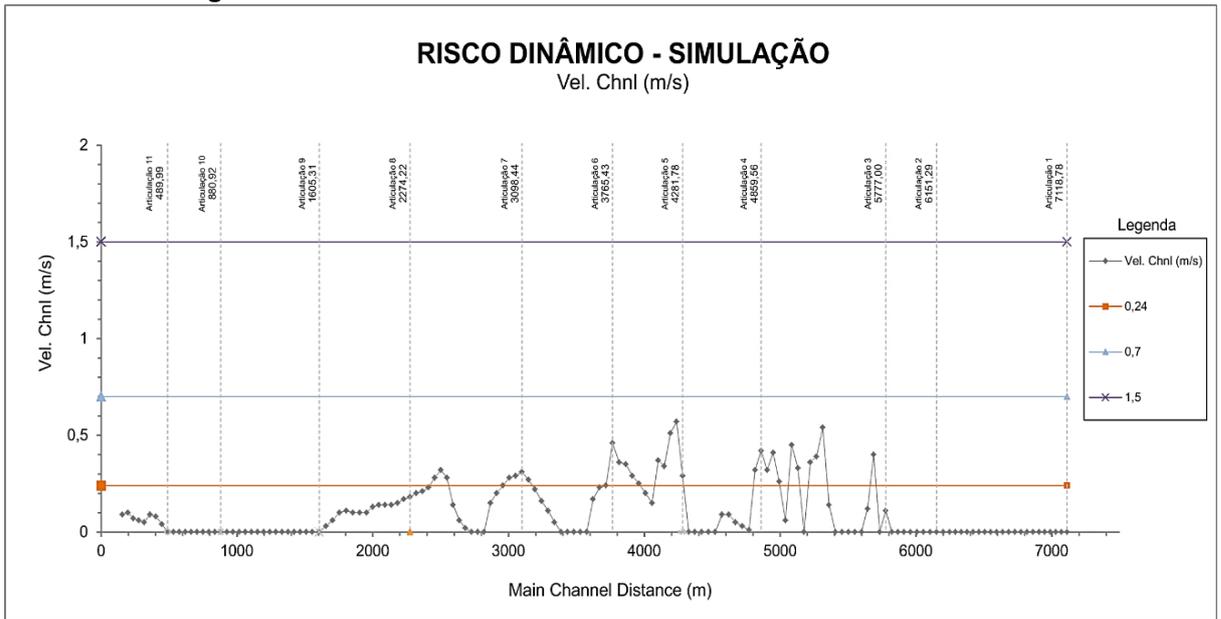
Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Figura 45 - Risco hidrodinâmico do lado esquerdo do canal simulado



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

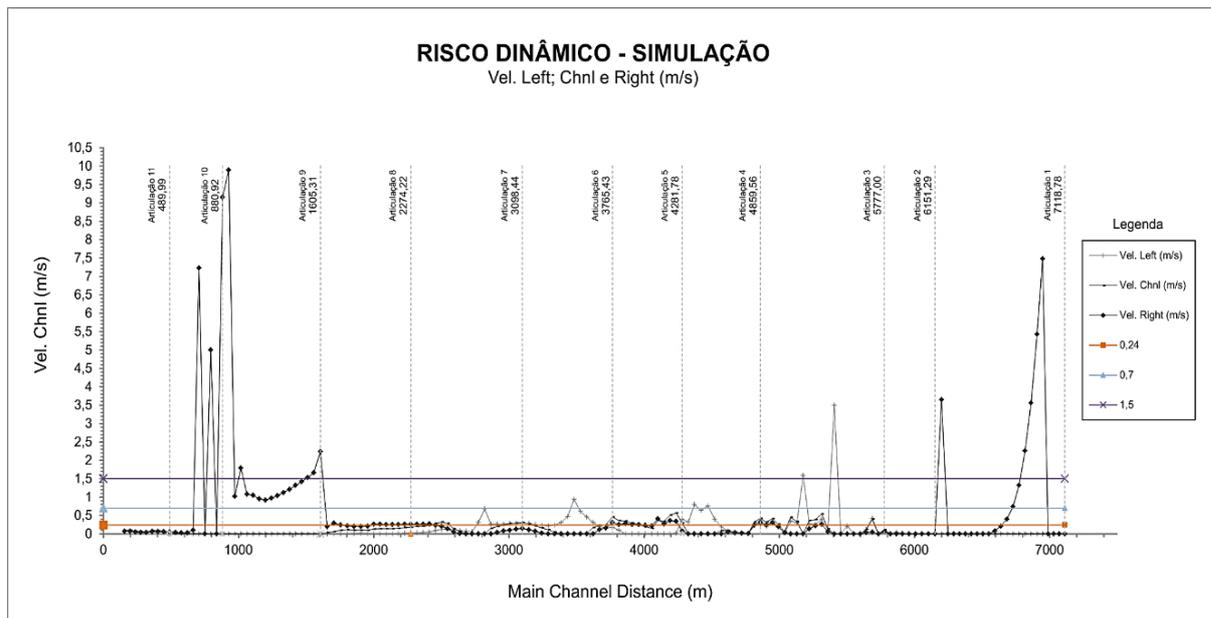
Figura 46 - Risco hidrodinâmico no centro do canal simulado



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Na Figura 46 verifica-se a simulação do risco dinâmico com base na velocidade, lado esquerdo, canal e lado direito.

**Figura 47 - Risco hidrodinâmico em todo o canal simulado**



A análise da figura 47 sobre o risco dinâmico geral do canal, riscos estruturais ocorrem nas articulações 01, 02, 03, 09 e 10. Os riscos aos indivíduos, especialmente de afogamento então presentes em todas as articulações excetuando-se a 05.

Ferreira (2017) ressalta que as intervenções diretas em leitos de rios (canalizações ou retificações), bem como as alterações promovidas no uso do solo podem ser consideradas como fundamentais para o aumento significativo nos aspectos relativos ao processo de vulnerabilidade a desastres a que estão submetidos determinados grupos sociais.

Ainda, segundo o autor, a canalização de cursos d'água pode, em determinados casos, ser caracterizada somente como a transferência do problema de um local ao outro, o que muitas vezes tem o potencial de desencadear uma "falsa" sensação de segurança que não resiste à primeira cheia. A retificação de um rio gera como consequência um aumento da velocidade das águas, sendo vista como potencial indutora de desastres (FERREIRA, 2017).

Em pesquisa desenvolvida por Sousa (2018), investigou-se a existência de inúmeros métodos de valoração de danos para se estimar as perdas econômicas em setores como moradias, educação e cultura, bem como na saúde. Na infraestrutura de serviços, encontram-se setores de transporte, comunicação, energia, água e

saneamento das áreas que sofrem inundações. Além disso, há também métodos voltados para estimar danos ao meio ambiente, os efeitos macroeconômicos.

Para Rocha (1995), cada um dos impactos desencadeados pela inundação pode estar associado a um ou mais parâmetros hidráulicos do fenômeno de inundação e/ou da submersão na área considerada, parâmetros esses que na prática se utilizam mais referente da altura da lâmina d'água, tempo de submersão e velocidade.

A maioria dos estudos científicos trata de valoração de danos decorrentes de inundações provocadas por cheia naturais, considerando preponderantemente o fator da altura da lâmina d'água, todavia, para onda de cheia provocada por rompimento de barragens, é preciso avaliar o fator periculosidade dinâmica, já que ele tem sua relevância em razão da definição das consequências da cheia induzida (SOUZA, 2018).

A respeito do assunto, Nagem (2008) elenca que a altura é vista como um dos fatores de maior relevância no âmbito da mensuração dos danos das cheias urbanas, sendo um dos parâmetros mais simples de se trabalhar, o que contribui diretamente para ser um parâmetro mais utilizado nas avaliações dos danos. Inclusive, tal fator é responsável por determinar a dimensão dos estragos, como no caso de delimitar se as inundações ficarão restritas às ruas e calçadas, ou se atingirão as edificações.

Ainda de acordo com Nagem (2008), um dos métodos recomendados para estimar os danos é por meio curva nível x prejuízo, todavia, muitas vezes a obtenção de uma curva confiável é considerada complexa, o que dificulta a realização deste trabalho.

Assim, para que se consiga atingir sua obtenção são necessários, de acordo com Vaz (2015):

- A realização de um levantamento planialtimétrico cadastral de toda área sujeita a inundação;
- Avaliação dos bens imóveis;
- Avaliação dos bens móveis e equipamentos atingidos;
- O desenvolvimento de estimativa de perdas oriundas da interrupção dos acessos e de tráfego;
- Estimativa das despesas de limpeza e desinfecção das áreas atingidas.
- Avaliação das perdas dos setores industrial e comercial submetidos a inundação.

Conforme Canholi (2005), quando não existem valores reais é recomendado fazer uso de índices estimados para a quantificação dos prejuízos, como o valor por m<sup>2</sup> das áreas residências, comerciais e/ou industriais, custos estimados para veículos particulares e comerciais, bem como o tempo perdido pelos passageiros de determinada localidade atingida.

Fadel (2015) acredita que os prejuízos às edificações podem ser identificados por meio dos custos de reforma de um imóvel de acordo com determinados padrões construtivos, dentre eles: alto, normal, baixo e popular. Além disso, para que ocorra a avaliação dos danos no setor habitacional, um dos critérios está voltado para o enquadramento em classes socioeconômicas dos atingidos, como a renda dos moradores, a qualidade da construção, a área construída, conservação, grau de estudo do chefe familiar e disponibilidade de empregada doméstica.

Ledra (2014) esclarece que os impactos das inundações são variados, envolvem economia, sociedade, infraestrutura, entre tantos outros. Os prejuízos econômicos atingem a gestão pública pela necessidade de auxiliar a população e as instituições na reconstrução dos locais atingidos. Além disso, “[...] os prejuízos sociais, também bastante significativos, afetam diretamente a vida dos habitantes, que sofrem com a perda de seus bens, com a contaminação por doenças e, em algumas situações extremas, com a perda de vidas [...]”.

Em relação aos prejuízos oriundos de inundações, Tachini (2010) considera que os mesmos são proporcionais à profundidade de submersão e características dos domicílios. Para o autor seria necessário um imóvel padrão para a análise dos danos em função variabilidade das características construtivas das edificações residenciais que ao longo dos anos só aumenta, especialmente quanto à localização, idade, área do imóvel e do estado de conservação.

Dessa forma, a fim de conseguir diminuir essas incertezas, Tachini (2010) recomenda como critério Enquadramento das Edificações proposto pela NBR 12.721/2006 “Avaliação de custos unitários de construção para incorporação imobiliária e outras disposições para condomínios de edifícios.

Portanto, ao analisar a determinação dos danos, Henrique (2020) cita que primeiramente obtém-se o prejuízo unitário, extrapolando-o para quaisquer áreas inundadas, de qualquer padrão construtivo. Tal método tem por objetivo o custo unitário de reconstrução através do Custo Unitário Básico da Construção Civil (CUB) em função da classe socioeconômica da região atingida, devendo ser extrapolado

para que, assim, seja possível identificar o custo total aplicando um fator de depreciação.

Na tentativa de quantificar os impactos sofridos pela inundação na presente pesquisa, foi elaborado um gráfico com informações relativas às manchas, articulações, áreas atingidas (Parcial ou Total), dados sobre quanto lotes foram atingidos, lotes comerciais e/ou residenciais, qual a área do alagamento, o perímetro do alagamento de vias públicas (Largura ou Comprimento), área de pavimentação (m<sup>2</sup>) e área de calçada (m<sup>2</sup>) conforme a Figura 45 abaixo.

Ressalta-se que a área total atingida pela água é de 594.058 m<sup>2</sup>, valor convertido de 0,594058 Km<sup>2</sup>.

**Tabela 11 - Quantitativo de impactos**

Manchas	Articulações	Perímetro (m)	Área (Km <sup>2</sup> )	Áreas Atingidas		Finalidade		Total Atingido	Vias Públicas		Área de Pavimentação (m <sup>2</sup> )	Área de Calçada (m <sup>2</sup> )
				Parcial	Total	Residencial	Comercial		Largura	Comprimento		
1	1	2.578,00	0,1419	1,0	19,0	17,0	2,0	19,0	-	-	-	-
2	2	252,37	0,00371	2,0	-	2,0	-	2,0	-	-	-	-
3		106,50	0,000692	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	3	1.149,00	0,04592	-	4,0	4,0	-	4,0	-	-	-	-
5		1.191,00	0,003428	2,0	2,0	4,0	-	4,0	-	-	-	-
6	4	262,71	0,003872	3,0	-	3,00	-	3,0	-	-	-	-
7		824,60	0,02754	6,0	10,0	13,0	3,0	16,0	6,00	323,0	1.938,0	646,00
8		270,79	0,001851	2,0	1,0	3,0	-	4,0	-	-	-	-
9	5	887,44	0,01898	10,0	29,0	38,0	1,0	39,0	6,50	336,0	2.184,0	1.516,9
10		241,17	0,00301	3,0	11,0	13,0	1,0	14,0	6,50	87,0	565,5	392,5
11	6	134,60	0,000818	4,0	3,0	7,0	-	7,0	6,50	36,0	234,0	142,00
12		118,00	0,0502	11,0	23,0	34,0	-	34,0	5,40	840	453,6	189,00
13		533,37	0,01456	-	19,0	19,0	-	19,0	7,00	150,0	1.050,0	464,00
14	7	279,26	0,003933	1,0	4,0	5,0	-	5,0	7,50	92,0	690,0	138,00
15		1.124,00	0,02642	6,0	4,0	8,0	2,0	10,0	6,00	320,0	2.156,4	208,00
16		188,00	0,0622	10,0	54,0	28,0	36,0	64,0	7,40	1.004,5	7.433,3	4,05
17	8	470,99	0,01072	-	10,0	7,0	3,0	10,0	7,30	253,0	1.856,5	564,00
18		1.202,00	0,03592	5,0	48,0	24,0	29,0	53,0	7,00	1,01	7,04	2,59
19		92,55	0,000388	2,0	-	1,0	1,0	2,0	-	-	-	-
20	9	1.137,00	0,0457	6,0	29,0	32,0	3,0	35,0	7,30	620,0	4.741,5	2,98
21	10	711,63	0,02491	3,0	16,0	19,0	-	19,0	7,50	172,0	1.156,0	249,00
22		126,09	0,00076	1,0	1,0	-	2,0	2,0	-	-	-	-
23		513,56	0,01224	1,0	1,0	-	2,0	4,0	-	-	-	-
24		214,03	0,00285	-	-	-	-	-	7,0	55,0	385,0	220,00
25	11	295,10	0,004616	-	-	-	-	-	10,00	26,0	260,0	118,00
26		1.024,00	0,04692	1,0	-	-	1,0	1,0	9,40	373,0	3.506,2	1.305,5
<b>Total</b>		<b>15.927,76</b>	<b>0,594058</b>	<b>80,0</b>	<b>288,0</b>	<b>281,0</b>	<b>86,0</b>	<b>370,0</b>	<b>114,3</b>	<b>3.932,51</b>	<b>28.617,4</b>	<b>6.162,5</b>

Conforme os dados da Tabela 11, percebe-se que os impactos sofridos na área residencial foram superiores à área comercial. Ao analisar as informações sobre largura x comprimento nas vias públicas, percebe-se de que forma tais impactos vêm influenciando diretamente na localidade do estudo, além de ser possível a identificação da área de pavimentação (m<sup>2</sup>) x área de calçada (m<sup>2</sup>)

Sobre o assunto, destaca-se que no trabalho de Henrique (2020), ao avaliar os impactos a jusante da barragem lombada do sabão em Porto Alegre/RS em caso de rompimento, foi feito um processo de cálculo dos prejuízos no qual identificou-se que a quantidade de casas na área inundada representa apenas 15% do total de domicílios, entretanto, o levantamento da quantidade de edifícios na área inundada por ser considerado muito complexo e não foi incluído no referido estudo.

Na identificação do prejuízo total causado nas edificações, Henrique (2020) explica a necessidade da realização de uma somatória dos prejuízos unitários de cada setor censitário, conforme o padrão construtivo das edificações em função da classe social a qual pertencem os moradores, bem como da profundidade de inundação. Com tais dados pode-se observar que das edificações urbanas atingidas, 84% representam edifícios destinados a comércio, serviços e instalações industriais e por isso os prejuízos oriundos pelo rompimento de uma barragem podem estar relacionados tanto a danos ambientais, infraestruturas como a perda de vidas humanas.

Entende-se que os prejuízos devem ser divididos em mensuráveis e imensuráveis, diretos e indiretos, já que a partir do momento que se tem tais dados é possível aplicar a tomada de decisão acerca de uma intervenção em uma estrutura deteriorada e/ou no planejamento de ações a serem tomadas.

Fadel (2015) enfatiza que a partir do processo histórico de ocupação, especialmente quando ocorre por ocupação irregular, os canais fluviais e matas ciliares sofrem os impactos, principalmente pelos sedimentos lançados do rio, bem como efluentes *in natura*, já que muitas das vezes são inexistentes ou insuficientes as redes de esgoto nessas áreas. Como as margens são habitadas, o que leva à retirada da vegetação, essas áreas são impermeabilizadas e isso contribui para a ocorrência de inundações.

Sobre o tema, Lima (2016, p. 14) ressalta que:

Grande parte das consequências negativas provenientes dos desastres naturais acontecem por haver famílias instaladas em áreas vulneráveis, nas quais há uma maior exposição aos efeitos de eventos extremos. Porém,

comumente se procuram estas áreas impróprias à ocupação por falta de conhecimento ou alternativas econômicas; e, em alguns casos, pela inexistência de um suporte adequado por parte do poder público para auxiliar a população na escolha de sua moradia, ou seja, a falta de um plano diretor municipal e de fiscalização eficiente.

Compreende-se, assim, que há uma necessidade inquestionável de organizar e aplicar políticas públicas capazes de garantir que os cidadãos não tenham que habitar áreas impróprias por não entenderem quais são os perigos envolvidos ou pela falta de suporte adequado de suas necessidades.

De acordo com Brasil (2012), é por meio da Política Nacional de Proteção e Defesa Civil, que é de competência dos municípios, a identificação e mapeamento das áreas de risco de desastres. Neste sentido, a prefeitura de Araguaína elaborou o Plano diretor através da Lei complementar nº 051, de 02 de outubro de 2017, no qual enfatiza sobre as áreas susceptíveis à inundação e dentre outros aspectos.

Pesquisas voltadas para as inundações são importantes para a finalidade de auxiliar na identificação e mapeamento de áreas de risco, por isso o plano diretor é visto como um instrumento de suma importância, juntamente com os mapas de inundação. Por meio dele é possível elaborar medidas preventivas, planificar as situações de emergência e estabelecer ações conjuntas em um trabalho de cooperação entre a comunidade e o poder público com objetivo de conseguir promover a defesa permanente contra os desastres naturais (MARCELINO, 2008).

Neste tocante no Plano diretor de Araguaína na Seção II – Da Preservação e Uso Sustentável do Meio Ambiente, em seu art. 12, aborda a questão das Áreas de Preservação Permanente do Município, definindo que cabe ao Poder Executivo, com a participação da sociedade, a adoção das seguintes ações:

§3º As Áreas de Preservação Permanente dos rios Jacuba, Lontra, Prata e Jardim inseridos dentro do perímetro urbano é definida pela largura mínima de 50 (cinquenta) metros desde a borda da calha do leito regular.

§4º A Áreas de Preservação Permanente – do Lago Azul obedece ao contido no art. 62 da Lei Federal no 12.651 de 25 de maio de 2012 que dispõe sobre a proteção da vegetação nativa, sendo considerada como a distância entre o nível máximo operativo normal e a cota máxima maximorum não inferior a 30 (trinta) metros.

III – identificação, no prazo máximo de um ano após a vigência desta Lei Complementar, das áreas de 6 vegetação constituídas por mata ciliar dos corpos d'água, excedentes às Áreas de Preservação Permanente –, que ficam consideradas prioritariamente como áreas verdes urbanas destinadas à proteção dos recursos hídricos nos termos do art. 25 da Lei Federal no 12.651, de 25 de maio de 2012, que dispõe sobre a proteção da vegetação nativa.

Diante disso, o mapa de perigo e a delimitação das áreas inundáveis encontram-se disponíveis no plano diretor do município de Araguaína, no qual é definido as Áreas de Proteção Integral a partir da legislação federal como Áreas de Preservação Permanente ou como Unidades de Proteção Integral.

Jacho (2017) ressalta que a urbanização é um processo em constante crescimento em todo o mundo, ainda que em proporções diversas. Junto com ela o que ocorre é a alteração das características do solo, sua forma de uso e ocupação dos territórios e, com isso, as respostas hidrológicas nessas áreas passam por alterações significativas a capacidade de infiltração são afetados, a água da chuva fica acumulada levando a um maior escoamento superficial e, assim, as inundações tornam-se repetitivas.

Sem um planejamento urbano adequado, em poucos anos a maioria das cidades enfrentará alguma proporção de inundações, prejudicando a população, saúde, economia, administração pública, enfim, causando prejuízos severos ao cotidiano de todos (JACHO, 2017).

Quanto mais as populações crescem, mais necessitam de espaços para fixar suas residências e suas atividades, de modo que áreas que deveriam ser preservadas e resguardadas da ação humana acabam se tornando locais altamente habitados e nos quais outras tantas atividades sociais são realizadas. Com isso, essas áreas não apenas deixam de ser aplicadas para sua finalidade adequada, mas tornam-se espaços de risco para a população (LIMA, 2016).

Sobre o tema, Ledra (2014, p. 23) destaca que:

[...] o crescimento da população em conjunto com o uso e ocupação indevido do solo (em virtude, por exemplo, da falta de fiscalização das leis municipais de ocupação de áreas inundáveis), causam um acréscimo na impermeabilização dos grandes volumes de terras por meio de terraplenagens, que acarretam em assoreamentos e diminuição da capacidade de vazão dos sistemas de drenagem urbana. A principal consequência que esse crescimento demográfico aflorou foi a construção descontrolada em áreas de risco de inundação, devido a inexistência, muitas vezes, da fiscalização do plano diretor urbano na maioria das cidades. Esse aumento de construções reflete na impermeabilização do solo, pois parte da água que infiltrava no solo, agora passa a escoar pelos condutos, aumentando o escoamento superficial e a vazão máxima, e também antecipando o pico da vazão [...]

Diante de todo o exposto é essencial ressaltar que a vulnerabilidade das populações às inundações, não raramente, deve ser destacada como resultados de uma associação de diferentes fatores, sendo que a ação do homem não pode ser excluída dessa análise.

O homem ocupa o solo pensando em suas necessidades ou como sua única opção, porém, não existe um cuidado para evitar a vulnerabilidade decorrente dessa ocupação. A vulnerabilidade tem associação direta com a falta de apoio, organização e cuidados com pessoas em situação já considerada crítica e que encontram nesses locais a única possibilidade de moradia (LEDRA, 2014).

Reis (2018) complementa ressaltando que as áreas que foram ocupadas pela vegetação passam a ser ocupadas pela população, fazendo com que as pessoas estejam em risco nos locais em que deveriam se sentir protegidas, em suas residências.

Portanto compreende-se que o risco de inundação na área urbana da cidade de Araguaína/TO é oriundo de um contexto espaço temporal, advindo de uma urbanização sem planejamento, a partir da implantação de grandes empreendimentos públicos e privados. Desta forma percebe-se que o risco de inundação na área de é resultado de um longo processo desenvolvimento heterogêneo, aliada a gerenciamento ambiental ausente, bem como o aumento da população e que muitas vezes não possui uma percepção ambiental adequada e de risco em torno da região.

## CAPÍTULO 5 – CONCLUSÕES

As cidades vêm, inquestionavelmente, crescendo de modo acentuado todos os anos. Ocorre, porém, que em muitos locais a ocupação urbana não ocorre de modo organizado, seja por falta de um projeto diretor ou pela falta de assistência e esclarecimento aos cidadãos. Populações economicamente vulneráveis procuram áreas nas quais possam se estabelecer e, não raramente, os entornos de rios e lagos são ocupados. Com isso, surge uma vulnerabilidade geográfica.

Desse modo, é de suma importância que pessoas que moram em áreas de inundações sejam auxiliadas por políticas públicas que possam aliviar todo transtorno que muitas dessas inundações causam todos os anos, além disso, torna-se interessante conhecer e avaliar os motivos pelos quais pessoas habitam áreas sujeitas a inundações, levando em consideração sua percepção de perigo.

Esses locais deveriam ser resguardados apenas para proteção ambiental, considerando-se que em períodos de chuvas acentuadas os rios e lagos podem transbordar suas margens e causar alagamentos, o que atinge pessoas, infraestrutura, economia, saúde e tudo aquilo que se encontra no entorno. O que se percebe é falta uma fiscalização criteriosa para que tais áreas não sejam ocupadas ou para que seus ocupantes sejam direcionados para outros locais como uma forma de reduzir sua vulnerabilidade.

Mesmo locais de baixo risco, mas que ainda assim possuem algum índice de risco de inundações, deveriam ser resguardados de ocupação para evitar que a população seja atendida, ainda que apenas eventualmente, em função das perdas que ocorrem quando as cheias ocorrem. Para isso, porém, é preciso que a administração pública tenha amplo conhecimento das áreas de risco de inundação e as proporções desses riscos.

Em relação aos impactos do reservatório da barragem CGH Corujão na área urbana da cidade de Araguaína/TO, foi possível observar que ele influencia pouco nas áreas de inundações. O fato é que algumas áreas podem sofrer alto grau, mas são limitadas, assim, partes da zona mista central, zona residencial 02, zona comercial de serviços, zona especial de interesse social e zona residencial 01 podem, em pequena proporção, ser consideradas como alto risco, predominantemente o risco é médio e baixo.

No estudo desenvolvido, a maioria das articulações (exceto 05) apresentam riscos de afogamento de adultos de média estatura em função da velocidade das águas. Esses riscos não foram destacados entre crianças, mas certamente são ainda maiores, o que demonstra a vulnerabilidade desses locais quando utilizados para a habitação de famílias.

O presente estudo oferece algumas contribuições para o local sobre o qual foi realizado, quais sejam:

Identificação de áreas de maior vulnerabilidade quanto a falhas e colapsos de estruturas de alvenaria, informações essenciais para o desenvolvimento de um plano diretor no qual essas áreas de maior risco são excluídas de utilização para habitação, comércio, serviços e outras atividades. Com o acesso ao mapa de riscos na íntegra, a prefeitura tem a possibilidade de desenvolver programas habitacionais futuros para que as estruturas ali existentes sejam desativadas e empresas, residências, serviços e outros sejam direcionados para outras áreas, com segurança e garantia de direitos.

O planejamento urbano, em atividades como estudos de drenagem, necessita dessas informações para que possam ser desenvolvidos de forma assertiva e efetiva, beneficiando a administração pública, por evitar danos que precisem ser corrigidos e exigem recursos, além de melhorar a infraestrutura de serviços e tornar o cotidiano dos cidadãos mais seguro.

A defesa civil, de posse dos dados obtidos, pode desenvolver programas de apoio aos moradores da região, emitir alertas de risco de forma mais ampla diante de previsão de chuvas intensas e inundações, permitindo que os indivíduos que se encontram nessas áreas possam buscar alternativas mais seguras para esses momentos de risco.

O setor de vigilância sanitária pode proceder de estudos e levantamentos a respeito dos riscos de adoecimento como resultado das cheias, já que essas elevam a possibilidade de doenças trazidas pelas águas. Com esses estudos, é possível definir abordagens de redução de riscos que garantem mais saúde para a população, menos uso de recursos para atendimentos em saúde após a cheias, bem como redução da ocupação de leitos para esses doentes.

Diante do exposto, verifica-se que os benefícios são inúmeros, tanto para a população quanto para a administração pública, com redução de gastos e custos aos cofres públicos, além de maior garantia de preservação da vida e do patrimônio dos indivíduos que, no presente, residem em áreas de elevada vulnerabilidade.

Como recomendação para trabalhos futuros fica a simulação do transporte de sedimentos do córrego neblina para o reservatório da CGH Corujão, feito com modelagem computacional utilizando o HEC RAS com intuito de avaliar e quantificar o transporte de sedimentos no trecho do córrego Neblina que se deposita no reservatório em função da geometria, granulometria, vazões líquidas e sólidas. De uma forma geral, é de se esperar, quando se implanta uma barragem em um curso d'água, que a redução de velocidades dentro do reservatório formado dê início a um processo de assoreamento, com o sedimento mais grosso se depositando logo na entrada do reservatório, enquanto as partículas mais finas se depositam ao longo dele, preferencialmente nos locais de menor velocidade ou de água estagnada.

O processo de assoreamento dos reservatórios pode trazer diversos impactos importantes, tais como: Diminuição da capacidade de armazenamento do reservatório, com reflexos na regularização de vazões e, no caso de usinas hidrelétricas, possíveis perdas na produção energética; Intensificação dos efeitos de remanso, com elevação gradual dos níveis d'água na região da entrada (montante) do reservatório.

## REFERÊNCIAS

- ABUSHANDI, E.; MERKEL, B. Modelling rainfall runoff relations using HEC-HMS and IHACRES for a single rain even in an arid region of Jordan. **Water Resources Management**, v. 27, n. 7, p. 2391-2409, 2013.
- ALMEIDA, D. M. F. **Sistema de gestão de riscos de inundações urbanas baseado em web mapping**. Universidade de São Carlos. São Paulo, 2011.
- ALVES, R. T. M.; ANDRADE, M. F. **Construção de mapa de inundação em área urbana: estudo de caso da cidade de Conselheiro Lafaiete – MG**. Universidade Federal de São João Del Rey. Graduação em Engenharia Civil. 2019.
- ALVES, P. L.; FORMIGA, K. T. M. Efeitos da arborização urbana na redução do escoamento pluvial superficial e no atraso do pico de vazão. **Ciênc. Florest.**, Santa Maria, v. 29, n. 1, p. 193-207, Mar. 2019.
- ANJINHO, P. S. et al. Espacialização do parâmetro Curve Number (CN) na bacia hidrográfica do Ribeirão do Lobo para o período de 1985 a 2017. Planejamento e Gerenciamento de Recursos Hídricos. **XVI Simpósio do Programa de Pós-Graduação em Ciências da Engenharia Ambiental**. 29 a 31 de Outubro de 2018.
- ANDRADE, F. A. V. Sustentabilidade urbana e impactos socioambientais: uma abordagem acerca da ocupação humana desordenada no espaço urbano. **Contribuciones a las Ciencias Sociales**, junho, 2013, v,3, n.1. Disponível em: [www.eumed.net/rev/cccss/24/sustentabilidade-urbana.html](http://www.eumed.net/rev/cccss/24/sustentabilidade-urbana.html). Acesso em: 20 dez. 2021.
- BEZERRA, M. C. L. A necessária articulação entre os instrumentos de gestão de APA urbanas e o plano diretor. e-metropolis: **Revista eletrônica de Estudos Urbanos e Regionais**. 2015. v. 22, p. 36.
- BARNARD, P. L. et al. Dynamic food modeling essential to assess the coastal impacts of climate change. **Scientific Reports**. 2019; 9:4309.
- BRASIL. Lei complementar no 051, de 02 de Outubro de 2017. **Dispõe sobre a revisão do plano diretor do município de Araguaína e dá outras providências**.
- BRASIL. Lei Nº 12.608, de 10 de abril de 2012. **Institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil - PNPDEC; dispõe sobre o Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil - SINPDEC e o Conselho Nacional de Proteção e Defesa Civil – CONPDEC**. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2011-2014/2012/lei/l12608.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12608.htm). Acesso em: 10 dez. 2021.
- BRASIL. Ministério da Integração Nacional. **Instrução Normativa n. 01 de 24 de agosto de 2012**. Disponível em: [https://www.cnm.org.br/cms/images/stories/Links/09062014\\_Instrucao\\_normativa\\_de\\_01\\_de\\_agosto\\_de\\_2012.pdf](https://www.cnm.org.br/cms/images/stories/Links/09062014_Instrucao_normativa_de_01_de_agosto_de_2012.pdf). Acesso em: 17 abr. 2022.
- BRUWIER, M. et al. Influence of urban pattern on inundation flow in floodplains of

lowland rivers. **Science of the Total Environment**. 2018; 622–623, 446–458.

BULTI, D. T.; ABEBE, B. G. A review of food modeling methods for urban pluvial food application. **Modeling Earth Systems and Environment**. 2020.

CALÇADA, M. C.; PORTELA, M. M., MATOS, J. Análise de cheias e delimitação de zonas inundáveis em Timor Lestes. In: CONGRESSO DA ÁGUA, 7., 2004. **Anais...** Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos, 2004.

CANÇADO, Vanessa Lucena. **Consequências econômicas das inundações e vulnerabilidade [manuscrito]**: desenvolvimento de metodologia para avaliação do impacto nos domicílios e na cidade / Vanessa Lucena Cançado. 2009. Disponível em: <https://www.smarh.eng.ufmg.br/defesas/245D.PDF>. Acesso em: 15 jan. 2022.

CANIL, Kátia; LAMPIS, Andrea; SANTOS, Kauê Lopes dos. Vulnerabilidade e a construção social do risco: uma contribuição para o planejamento na macrometrópole paulista. **Cadernos MetrÓpole**. 2020, v. 22, n. 48, p. 397-416. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/2236-9996.2020-4803>. Acesso em: 22 nov. 2021.

CARDOSO, M. R. D.; MARCUZZO, F. F. N. Estudo da morfologia areal da bacia do Rio Araguaia utilizando MDE ASTER (Morphology study of area in Araguaia River basin using DEM ASTER). **Revista Eletrônica Geoaraguaia**. Barra do Garças-MT. v1, n.2, p 69 - 76. agosto/dezembro. 2011.

CARMO, José S. Antunes do. Grandes barragens: vulnerabilidades e riscos. Universidade de Coimbra. **ResearchGate**, 2013. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/257333655\\_Grandes\\_barragens\\_vulnerabilidades\\_e\\_riscos/link/00463524eebff323ec000000/download](https://www.researchgate.net/publication/257333655_Grandes_barragens_vulnerabilidades_e_riscos/link/00463524eebff323ec000000/download). Acesso em: 15 dez. 2020.

CAVALCANTI, Rafael Costa. **Simulação e análise espacial de riscos de inundações usando Dados LIDAR**: estudo de caso da Bacia do Rio UnaPE / Rafael Costa Cavalcanti. - Recife: O Autor, 2014. 122 folhas, il. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/30341/1/DISSERTA%C3%87%C3%83O%20Rafael%20Costa%20Cavalcanti.pdf>. Acesso em: 12 out. 2020.

CLAUSEN, L.; CLARK, P.B. The development of criteria for predicting dambreak flood damages using modelling of historical dam failures. In: International Conference on River Flood Hydraulics, edited by W. R. White. 17. - 20. September, 1990. John Wiley & Sons Ltd. **Hydraulics Research Limited**, 1990. pp. 369-380.

CHRISTOFIDIS, Demetrios; ASSUMPÇÃO, Rafaela dos Santos Facchetti Vinhaes; KLIGERMAN, Débora Cynamon. A evolução histórica da drenagem urbana: da drenagem tradicional à sintonia com a natureza. **Saúde em Debate**. 2019, v. 43, n. spe3, p. 94-108. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0103-11042019S307>. Acesso em: 23 nov. 2021.

COOPER, A. M. **Estudo de viabilidade técnica da implantação de pavimentos permeáveis do tipo infiltração total para a redução do escoamento superficial, na cidade de Alegrete – RS**. Universidade Federal do Pampa, Alegrete, 2013.

CUNHA, L.; LEAL, C.; TAVARES, A.; SANTOS, P. Risco de inundação no município

de Torres Novas (Portugal). **Revista Geonorte**, v. 1, n. 4, p. 961-973, 2012

DJORDJEVIC, S. et al. Uncertainties in Flood Modelling in Urban Areas. **Applied Uncertainty Analysis for Flood Risk Management**. 2014; 297–334.

EGZIABHER, M. G.; DEMISSIE, Y. Modeling Urban Flood Inundation and Recession Impacted by Manholes. **Water**. 2020, 12, 1160.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Zoneamento Agroecológico do Estado do Tocantins**. Disponível em: <http://www.zaeto.cnpm.embrapa.br/baci.html> Acesso em: 10 ago. 2020.

ENOMOTO, C. F. **Método para a elaboração de mapas de inundação**. Estudo de caso na bacia do Rio Palmital – Paraná. Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2004.

FELIZARDO, L. M. Aplicação de Sistema de Informações Geográficas (SIG) para modelagem de eventos críticos de vazão em uma microbacia urbana. Mestrado em Engenharia Civil. Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2016.

FERNANDEZ, P., MOURATO, S. & MOREIRA, M. Comparação dos modelos hec-ras e IISFLOOD-FP na delimitação de zonas inundáveis. **Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos**, 34(1): 109-120, 2013.

FERRAZ, Gadadhara de Figueiredo. **Simulação hidrológica e hidrodinâmica do impacto de enchentes na bacia do Rio Sirinhaém e avaliação de sistema de controle proposto**. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil do Centro de Tecnologia e Geociências. Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2019.

FERREIRA, X. C. **Inundações urbanas**: propostas para uma gestão do risco com foco na prevenção de danos. Universidade do Vale do Itajaí – UNIVALI. Dissertação de Mestrado. 2017. G1 Tocantins. Chuva forte alaga ruas no centro de Araguaína. 14 abr. 2020. Disponível em: <https://g1.globo.com/to/tocantins/noticia/2020/04/14/chuva-forte-alaga-ruas-no-centro-de-araguaina.ghtml>. Acesso em: 2 jan. 2022.

G1 TOCANTINS. **Chuva forte provoca alagamento em vários pontos de Araguaína; ambulância ficou parada no meio de rua**. **Bombeiros informaram que não houve chamados. Vídeos e fotos mostram veículos tentando atravessar os pontos de alagamento**. 18 jan. 2021. Disponível em: <https://g1.globo.com/to/tocantins/noticia/2021/01/18/chuva-forte-provoca-alagamento-em-varios-pontos-de-araguaina-ambulancia-ficou-parada-no-meio-de-rua.ghtml>. Acesso em: 2 jan. 2022.

G1 TOCANTINS. **Chuva forte em Araguaína deixa diversos pontos alagados e causa transtornos; Corpo de Bombeiros disse que foi chamado para procurar uma motocicleta que foi arrastada pela enxurrada no setor rodoviário. Não há registro de feridos.** 16 dez. 2021. Disponível em: <https://g1.globo.com/to/tocantins/noticia/2021/12/16/chuva-forte-em-araguaina-deixa-diversos-pontos-alagados-e-causa-transtornos-videos.ghtml>. Acesso em: 2 jan. 2022.

G1 TOCANTINS. **Ruas do centro de Araguaína ficam alagadas após córregos transbordarem. A cidade sofre com problemas de escoamento há anos e voltou a ter problemas com as fortes chuvas.** 31 dez. 2021. Disponível em: <https://g1.globo.com/to/tocantins/noticia/2021/12/31/ruas-do-centro-de-araguaina-ficam-alagadas-apos-corregos-transbordarem.ghtml>. Acesso em: 2 jan. 2022.

GHANBARPOUR, M. R. et al. Calibration of River Hydraulic Model Combined with GIS Analysis using Ground-Based Observation Data. **Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology**. 2011; v. 3, n. 5, p. 456-463.

GONÇALVES, N. M. PCH. **Atibaia: O contexto de reativação e a ocorrência de enchentes e inundações no município de Atibaia/SP**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica. Campinas – SP, 2015.

GOVERNO DO ESTADO DO TOCANTINS. SEPLAN. Serviços de consultoria para a elaboração do Plano de Recursos Hídricos das bacias dos rios Lontra e Corda, na região do Bico do Papagaio/TO. PDRHLC. Relatório Final. 2002.

GOOGLE EARTH. **PCH Corujão**. Disponível em: [https://earth.google.com/web/search/PCH+Coruj%C3%A3o,+Aragua%C3%ADna++TO,+Brasil/@-7.21310697,-48.23539075,201.21549514a,419.96882936d,35y,0h,0t,0r/data=CigiJgokCR6\\_XJt20xzAEVBKq3hx3xzAGSTFeuynG0jAlQyyqIQ8H0jA](https://earth.google.com/web/search/PCH+Coruj%C3%A3o,+Aragua%C3%ADna++TO,+Brasil/@-7.21310697,-48.23539075,201.21549514a,419.96882936d,35y,0h,0t,0r/data=CigiJgokCR6_XJt20xzAEVBKq3hx3xzAGSTFeuynG0jAlQyyqIQ8H0jA). Acesso em: 11 ago. 2020.

GUIA GEOGRÁFICO BRASIL. **Mapa Político do Brasil**. Disponível em: <https://www.brasil-turismo.com/mapas/mapa-politico.htm>. Acesso em: 11 ago. 2020.

GUIA GEOGRÁFICO BRASIL. **Tocantins**. Disponível em: <https://www.brasil-turismo.com/mapas/tocantins.htm>. Acesso em: 11 ago. 2020.

HEC - HYDROLOGIC ENGINEERING CENTER. **US Army Corps of Engineers**. Davis, USA: Institute for Water Resources, 2014.

HOLANDA, Patrícia da Silva. **Modelagem hidrodinâmica e um estudo morfológico do lago Água Preta: um dos mananciais da grande Belém**. Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. Universidade Federal do Pará, Belém, 2010.

HENRIQUE, B.I. **Avaliação dos impactos a jusante da barragem lombada do sabão, em Porto Alegre/RS, em caso de rompimento**. Dissertação (Mestre em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul, 2020.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Desastres naturais**: 59,4% dos municípios não têm plano de gestão de riscos. 5 jul. 2018.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico**. Tabela 2245 - Número de municípios, total e os que sofreram inundações ou enchentes nos últimos cinco anos, por fatores agravantes. 2020.

JAAFAR, H. H. et al. GCN250, new global gridded curve numbers for hydrologic modeling and design. **Scientific Data**. 2019; vol. 6, n. 145, p. 1-9.

JACHO, E. R. T. **Modelagem do risco de inundação em trechos críticos de rios urbanos**: o caso do rio M'Boicy. Universidade Federal da Integração Latino-Americana Instituto de Tecnologia, Infraestrutura e Território Centro Interdisciplinar de Tecnologia e Infraestrutura. Foz do Iguaçu, 2017.

JONOV, Cristiane Machado Parisi; NASCIMENTO, Nilo de Oliveira; SILVA, Adriano de Paula e. Avaliação de danos às edificações causados por inundações e obtenção dos custos de recuperação. **Ambient. constr.**, Porto Alegre, v. 13, n. 1, p. 75-94, Mar. 2013.

KOSTER, R. D. et al. Using a Simple Water Balance Framework to Quantify the Impact of Soil Moisture Initialization on Subseasonal Evapotranspiration and Air Temperature Forecasts. **Journal of Hydrometeorology**. Aug. 2020, v. 21, p. 1705-1722.

LEDRA, L. **Estudo para a prevenção e adequação do município de Rio do Sul às enchentes e inundações**. Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC. Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Graduação em Engenharia de Infraestrutura. 2014. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/127455/TCC-Lais-FINAL.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 12 dez. 2020.

LIMA, A.C. **Ocupação urbana em áreas de fragilidade ambiental: estudo de áreas de risco socioambiental no setor sol nascente – DF**. Dissertação (Mestra em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade de Brasília, 2018.

LIMA, Gustavo Farias. Avaliação das Áreas de Risco de Inundação no Município de Pelotas, RS: Uma Proposta Metodológica. Trabalho acadêmico apresentado ao Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitarista. Pelotas, 2016. Disponível em: <https://wp.ufpel.edu.br/esa/files/2016/10/Gustavo-lima-tcc.pdf>. Acesso em: 27 jan. 2022.

LIMA, Silvia Maria Santana Andrade; LOPES, Wilza Gomes Reis; FAÇANHA, Antônio Cardoso. Desafios do planejamento urbano na expansão das cidades: entre planos e realidade. **Urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana**. 2019, v. 11, e20180037. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/2175-3369.011.e20180037>. Acesso em: 22 nov. 2021.

LIMA JÚNIOR, J. M. Relação entre aumento de áreas impermeáveis e inundações urbanas: Estudo na cidade de Teresina, Piauí. **Espacios**. Vol. 37 (Nº 08) Ano 2016.

Pág. 7.

LOPES SOBRINHO, O. P. et al. Determinação da velocidade de infiltração pelo método do infiltrômetro de anel em solo arenoso no município de Codoma. **XXV CONIRD – Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem**. 08 a 13 de novembro de 2015, UFS - São Cristóvão/SE. Disponível em: < <http://www.abid.org.br/cd-xxv-conird/PDF/248.pdf>> Acesso em: 27 set. 2019.

LUZ, L. M. R. **Modelagem de áreas suscetíveis à inundação na Bacia Hidrográfica do Rio Cubatão do Sul**. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental. Florianópolis, 2017.

MACHADO, M. L. et al. Curvas de danos de inundação versus profundidade de submersão: desenvolvimento de metodologia. **REGA** – Vol. 2, no. 1, p. 35-52, jan./jun. 2005.

MARCELINO, E. V. **Desastres Naturais e Geotecnologias: Conceitos Básicos**. 2008. Caderno Didático nº 1. INPE/CRS, Santa Maria, 2008.38p.

MASOUD, A. A. Runoff modeling of the wadi systems for estimating flash flood and groundwater recharge potential in Southern Sinai, Egypt. **Arab J Geosci**. 2011; vol. 4, p. 785–801.

MEDEIROS, M. D.; ZANELLA, M. E. Estudo das vazões e estimativas de inundações no Baixo-Açu-RN. **Geo Uerj**, n. 34, p. 40946, 2019.

MENDES, Thiago Augusto et al. Uso do modelo HEC-RAS com base em informações de LiDAR para avaliação de inundações urbanas. Engenharia Sanitaria e Ambiental [online]. 2022, v. 27, n. 1, p. 141-157. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1413-415220200276>. Acesso em: 16 abr. 2022.

MERWADE, V.; COOK, A.; COONROD, J. GIS techniques for creating river terrain models for hydrodynamic modeling and flood inundation mapping. **Environmental Modelling & Software**, v. 23, n. 10-11, p. 1300-1311, 2008.

MISHRA, S. K. et al. Estimation of design runoff curve numbers for Narmada watersheds (India). **Journal of Applied Water Engineering and Research**. 2013; vol. 1, n. 1, p. 69-79.

MONTERO, T. V.; ALVES, M. C.; LAMIN-GUEDES, V. Ciclo hidrológico em áreas urbanas. **Revista Educação Ambiental em Ação**. 2016, p. 1-9.

MORAES, M. F. **Estimativa do balanço hídrico na bacia experimental/representativa de Santa Maria/Cambiocó – Município de São José de Ubá – RJ**. Doutorado em Engenharia Civil. Rio de Janeiro, 2007.

NAGEN, F. R, M. **Avaliação econômica dos prejuízos causados pelas cheias urbanas**. [Rio de Janeiro] 2008 XI, 114 p. 29,7 cm (COPPE/UFRJ, M.Sc., Engenharia Civil, 2008) Dissertação - Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE.

NANIA, L. S.; MOLERO, E. **Manual básico de HEC-RAS 3.1.3 y HEC-GeoRAS 3.1.1.** Granada, Universidad de Granada, 2007, 59 p.

NASCIMENTO, E. A.; QUELHAS, O. L. G.; FONSECA, P. L. Qualidade do meio ambiente urbano: medidas para o controle do escoamento superficial na cidade do Rio de Janeiro – Brasil. **Ciência & Engenharia**. 2007; vol. 16, n. 1/2, p. 81-87.

NEAL, G. **The physical and economic impacts of urban flooding on critical infrastructure and surrounding communities: a decision-support framework.** A Thesis Submitted to the Faculty of the University of Tennessee at Chattanooga in Partial Fulfillment of the Requirements of the Degree of Master of Science The University of Tennessee at Chattanooga Chattanooga, Tennessee May 2014.

NELSON, J. M. et al. The international river interface cooperative: Public domain flow and morphodynamics aplicativo HEC-RAS for education and applications. **Advances in Water Resources**. 2016; 93, 62–74.

NKWUNONWO, U. C.; WHITWORTH, M.; BAILY, B. A review of the current status of flood modelling for urban flood risk management in the developing countries. **Scientific African**. 2020; e00269.

OLIVEIRA, J. T. **Geoprocessamento aplicado no estudo de identificação das zonas inundáveis no município de Belo Vale – MG.** Universidade Federal de Minas Gerais. 2013.

PATTLE, G. T. et al. Estimation of infiltration rate from soil properties using regression model for cultivated land. **Geology, Ecology and Landscapes**. 2019, vol. 3, n. 1, p. 1–13.

PAULA, R. M. de. **Projetos de infraestrutura urbana em loteamento residencial popular no município de Araquari – SC.** Joinville: UFSC, 2018.

PERUZZO, A. S. **Proposta metodológica para simulação de inundações na Bacia do Santa Bárbara.** 2017. 88f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Centro de Engenharias, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2017.

PESSINA, Gabriel de Lyra. **Análise de Risco de Inundações em Termos de Prejuízos Gerados na Presença de Eventos mais críticos que o Definido em Projeto:** Aplicação ao Rio Iguaçu - Baixada Fluminense / RJ. – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2014.

PREFEITURA MUNICIPAL DE ARAGUAÍNA. **Turismo**. 2020.

PREFEITURA MUNICIPAL DE PORTO ALEGRE. **Plano Diretor de Drenagem Urbana.** Manual de drenagem urbana. Volume VI. 2005.

PODHORÁNYI, M.; UNUCKA, J.; BOBÁL', P.; ŘÍHOVÁ, V. Effects of LIDAR DEM resolution in hydrodynamic modelling: model sensitivity for cross-sections. **International Journal of Digital Earth**, v. 6, n. 1, p. 3-27, 2013.

PORTO, R. L.L. ZAHED FILHO, K.; TUCCI, C. E. M.; BIDONE, F. Drenagem Urbana. In TUCCI, C. E. M. (Org) **Hidrologia ciência e aplicação**, Porto Alegre, ABRH, 2015. P,805- 848.

RESCDAM, EU-Project. **The use of physical models in dam-break flood analysis**. Finlândia, 2000.

RAMOS, A. C. M. **Eficiência do uso de poços de infiltração na suplementação do sistema de drenagem**: estudo de caso em Natal. UFRN, 2017.

REIS, P. A. **Identificação de áreas vulneráveis as enchentes e inundações em áreas urbanas através de modelos topográficos e hidráulicos**. Universidade Federal de Uberlândia. Dissertação de Mestrado. 2015. Disponível em: <http://clyde.dr.ufu.br/bitstream/123456789/14221/1/IdentificacaoAreasVulneraveis.pdf> f. Acesso em: 12 dez. 2021.

REIS, Patrícia Antunes; SCHMIDT, Marcio Augusto Reolon. Avaliação dos Modelos HEC-RAS e GRASS na Identificação de Áreas Vulneráveis a Inundações em Áreas Urbanas. **Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ**. Vol. 40 - 1 / 2017 p. 115-126

RIBEIRO NETO, Alfredo; BATISTA, Larissa Ferreira David Romão; COUTINHO, Roberto Quental. Metodologias para Geração de Mapa de Indicadores de Perigo e Áreas Inundáveis: Município de Ipojuca/PE. **RBRH**, Porto Allegre, v. 21, n. 2, p. 377-390, jun. 2016. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2318-03312016000200377&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2318-03312016000200377&lng=en&nrm=iso). Acesso em: 12 out. 2020.

RODRIGUES JÚNIOR, R. S. **Determinação da vazão máxima da bacia hidrográfica do rio do Campo utilizando o aplicativo HEC-RAS HEC-HMS**. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Bacharelado em Engenharia Ambiental. 2019.

ROMALI, Noor Suraya et al. Flood Damage Assessment: A Review of Flood Stage–Damage Function Curve. **Springer Science+Business Media Singapore**, 2015.

SANTOS, Caio Moreira; SILVA, Júnior Geraldo da. **Análise de mancha de inundação da barragem Sul da Mina de Brucutu, em São Gonçalo do Rio Abaixo – MG**. Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado para obtenção do grau de bacharel em Engenheiro Civil no curso de Engenharia Civil, da Faculdade Doctum de João Monlevade. João Monlevade, 2019. Disponível em: <https://dspace.doctum.edu.br/bitstream/123456789/3116/1/AN%C3%81LISE%20DA%20MANCHA%20DE%20INUNDA%C3%87%C3%83O%20DA.pdf>. Acesso em: 28 jan. 2022.

SARTORI, R. Z. **Avaliação comparativa de modelos hidrodinâmicos para previsão de inundações**: um estudo de caso do município de Getúlio Vargas – RS. Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental. Universidade Federal da Fronteira Sul, Erechim, 2018.

SHENG, J. WILSON, J. P. Watershed urbanization and changing flood behavior across the Los Angeles metropolitan region. **Nat Hazards**. 2009; vol. 48, p. 41–57.

SHOKORY, J. A. M. et al. **Flood Modeling and Simulation using iRIC: A Case Study of Kabul City**. E3S Web of Conferences e3sconf/201, 04003 (2016). FLOODrisk 2016 - 3rd European Conference on Flood Risk Management.

SCHLICKMANN, R.L.; BACK, A.J. Álvaro. **Avaliação de métodos de estimativa de vazão máxima para dimensionamento de bueiros**. Disponível em: <http://repositorio.unesc.net/bitstream/1/7533/1/RoneiDeLimaSchlickmann.pdf>. Acesso em: 20 dez. 2021.

SYNAVEN, K. **The pilot Project Kyrkojarvi dam and reservoir, Seinajoki, Finland**. In: **International seminar and workshop risk assessment, dam-break flood analysis and emergency action planning**. Seinajoki: Finnish Environment Institute, 2000.

SILVA, A. M. R. et al. **Custos das enchentes urbanas**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 2011.

SILVA, A. P. M. **Elaboração de manchas de inundação para o município de Itajubá, utilizando o SIG**. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Itajubá, 2006.

SILVA, L. P. **Modelagem e geoprocessamento na identificação de áreas com risco de inundação e erosão na bacia do Rio Cuiá**. Mestrado em Engenharia Urbana. Universidade Federal da Paraíba. 2007.

SILVA, S. S. Ocupação de áreas inundáveis e medidas adotadas para minimizar alagamentos: estudo de caso do setor Gentil Meiréles, Goiânia – GO. **XIV ENEEAmb, II Fórum Latino e I SBEA – Centro-Oeste**. 2016, p. 294-301. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/309442093\\_OCUPACAO\\_DE\\_AREAS\\_INUNDAVEIS\\_E\\_MEDIDAS\\_ADOTADAS\\_PARA\\_MINIMIZAR\\_ALAGAMENTOS\\_ESTUDO\\_DE\\_CASO\\_DO\\_SETOR\\_GENTIL\\_MEIRELES\\_GOIANIA-GO/link/5832dac708ae004f74c51c60/download](https://www.researchgate.net/publication/309442093_OCUPACAO_DE_AREAS_INUNDAVEIS_E_MEDIDAS_ADOTADAS_PARA_MINIMIZAR_ALAGAMENTOS_ESTUDO_DE_CASO_DO_SETOR_GENTIL_MEIRELES_GOIANIA-GO/link/5832dac708ae004f74c51c60/download). Acesso em: 18 dez. 2020.

SILVA, T. C. **Mapeamento das manchas de inundação para a cidade de Matias Barbosa – MG**. Universidade Federal de Juiz de Fora. Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitarista. 2016.

SILVA, V. H. **Estimativas do escoamento superficial em microbacia hidrográfica sob diferentes condições de uso da terra**. Graduação em Engenharia Florestal. Universidade Federal do Espírito Santo, 2014.

SILVA, Eliane Lima; SILVA, Mariano Andrade da. Segurança de barragens e os riscos potenciais à saúde pública. **Saúde em Debate**. 2020, v. 44, n. spe2, p. 242-261. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0103-11042020E217>. Acesso em: 20 nov. 2021.

SCHLICKMANN, Ronei de Lima; BACK, Álvaro José. **Avaliação de métodos de estimativa de vazão máxima para dimensionamento de bueiros**. Universidade do Extremo Sul Catarinense. Curso de Engenharia Civil. Disponível em: <http://repositorio.unesc.net/bitstream/1/7533/1/RoneiDeLimaSchlickmann.pdf>. Acesso em: 27 nov. 2021.

SOARES, M. R, G. J. et al. Eficiência do método curve number de retenção de águas pluviais. **Mercator**. Fortaleza, 2017; vol. 16, e16001, p. 1-16.

SOARES, Laura Melo Vieira. **Modelagem hidrodinâmica e ecológica de reservatório tropical em condição de escassez hídrica**. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2018.

SOUSA, R. E. S.; GONÇALVES, G. F. G. Um estudo sobre impactos decorrentes de inundações no município de Belo Horizonte. **R. Gest. Sust. Ambient.**, Florianópolis, 2018; v. 7, n. 3, p. 591-605.

SOUZA, Daniela Prá Silva de; GOERL, Roberto Fabris. **Proposta metodológica para estimar danos relacionados à inundação em áreas urbanas**. Anais do COBRAC 2018 - Florianópolis –SC – Brasil - UFSC – de 21 a 24 de outubro 2018

TACHINI, Mário. Avaliação de danos de inundações ocorridas em Blumenau/SC nos anos de 1983, 1984, 1992 e 2001. **XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**. 2009, p. 1-18. Disponível em: [http://www.labhidro.ufsc.br/Projetos/ARTI\\_2009/\\_Tachini.pdf](http://www.labhidro.ufsc.br/Projetos/ARTI_2009/_Tachini.pdf). Acesso em: 12 out. 2020.

TARGA, M. S. et al. Urbanização e escoamento superficial na bacia hidrográfica do Igarapé Tucunduba, Belém, PA, Brasil. **Revista Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**. 2012; vol. 7, n. 2, p. 120-142.

TAVARES, L. P. S. **Estudo de propostas de mitigação de cheias do Rio Macaé como subsídio ao plano de recursos hídricos da região hidrográfica VIII**. Programa de pós graduação em engenharia ambiental. Mestrado em engenharia ambiental. Macaé, 2017.

TENG, J. et al. Flood inundation modelling: A review of methods, recent advances and uncertainty analysis. **Environmental Modelling and Aplicativo HEC-RAS**. 2017; v. 90, p. 201-206.

TOMAZ, Plínio. Capítulo 2: Método Racional. Ago. 2012. Disponível em: [https://909d9be6-f6f1-4d9c-8ac9-115276d6aa55.filesusr.com/ugd/0573a5\\_6dfba4c4d51349aaa4913f70ab7f062c.pdf?index=true](https://909d9be6-f6f1-4d9c-8ac9-115276d6aa55.filesusr.com/ugd/0573a5_6dfba4c4d51349aaa4913f70ab7f062c.pdf?index=true). Acesso em: 18 abr. 2022.

TOMAZ, Plínio. Curso de Manejo de águas pluviais. **Capítulo 66- Método de I PAI WU**. Disponível em: <https://xdocs.com.br/doc/capitulo-66-metodo-de-ipaiwu-dokrm3k61g8y>. Acesso em: 28 nov. 2021.

TRAVASSOS, L. Inundações urbanas: uma questão socioambiental. **Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade – GeAS**. 2012; v. 1, n. 1, p. 88-105.

TUCCI, C. E. M. **Urban flood management**. COURSE ON Urban Flood Management. 2007.

TUCCI, C. E. M. **Inundações urbanas**. 2017. Disponível em: <https://semarh.se.gov.br/wp-content/uploads/2017/02/drenagem1.pdf>. Acesso em: 22 set. 2020.

TUCCI, C. E. M.; BERTONI, J. C. **Inundações Urbanas na América do Sul**. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2003.

ULLAH, S. et al. Flood modeling and simulations using hydrodynamic model and ASTER DEM—A case study of Kalpani River. **Arab J Geosci**. 2016, v. 9, p. 1-11.

UNITPAC. **UNITPAC em Araguaína**. Disponível em: <https://www.unitpac.com.br/paginas/unitpac-em-araguaina>. Acesso em: 10 ago. 2020.

VALLE JUNIOR, L. C. G.; RODRIGUES, D. B. B.; OLIVEIRA, P. T. S. Initial abstraction ratio and Curve Number estimation using rainfall and runoff data from a tropical watershed. **RBRH**, Porto Alegre, v. 24, e5, 2019.

VILLAÇA, F. **Dilemas do plano diretor**. Desenvolvimento físico-territorial. 2011.

WISEU, T. **Segurança dos vales a jusante de barragens – metodologias de apoio à gestão dos riscos**. 2006. 482f. Tese (Doutorado) – Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2006.

WANG, Y. et al. An integrated framework for high-resolution urban flood modelling considering multiple information sources and urban features. **Environmental Modelling and Aplicativo HEC-RAS**. 2018; v. 107, p. 85–95.

WATTANABE, C. B.; SILVA, C. A. da. **Plano diretor**. Curitiba: Instituto Federal do Paraná, 2013.

WINTER, H. et al. A Framework for Modeling Flood Depth Using a Hybrid of Hydraulics and Machine Learning. **Scientific Reports**. 2020; v. 10, 8222.

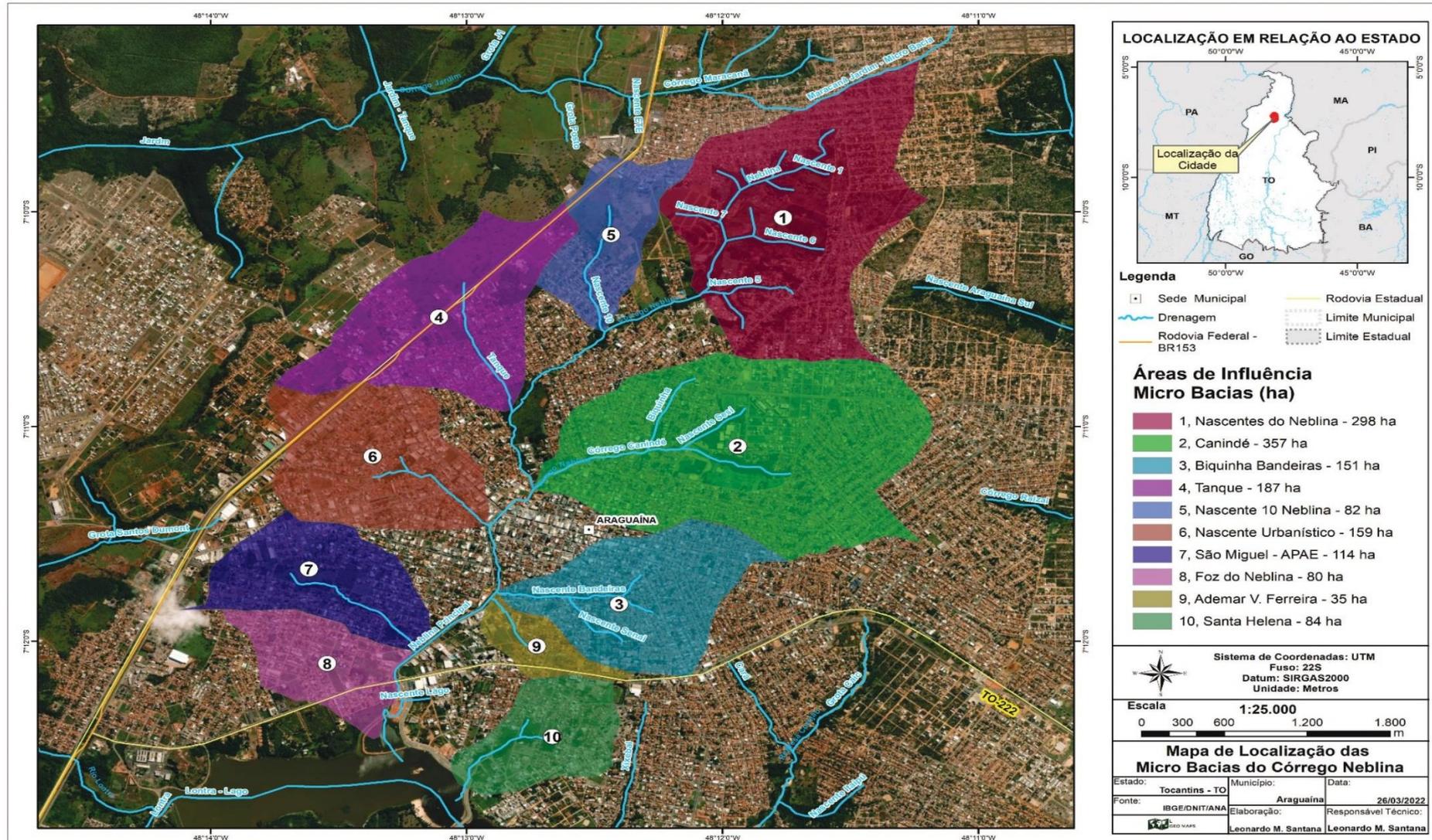
WU, X. et al. A simplified approach for flood modeling in urban environments. **Hydrology Research**. June 2018.

YANG, J.L.; ZHANG, G.L. Water infiltration in urban soils and its effects on the quantity and quality of runoff. **Journal of Soils and Sediments**. 2011; vol. 11, n. 5, p. 751–761.

YANG, L. et al. Flash flooding in small urban watersheds: Storm event hydrologic response. **Water Resour. Res.**, 2016; 52.

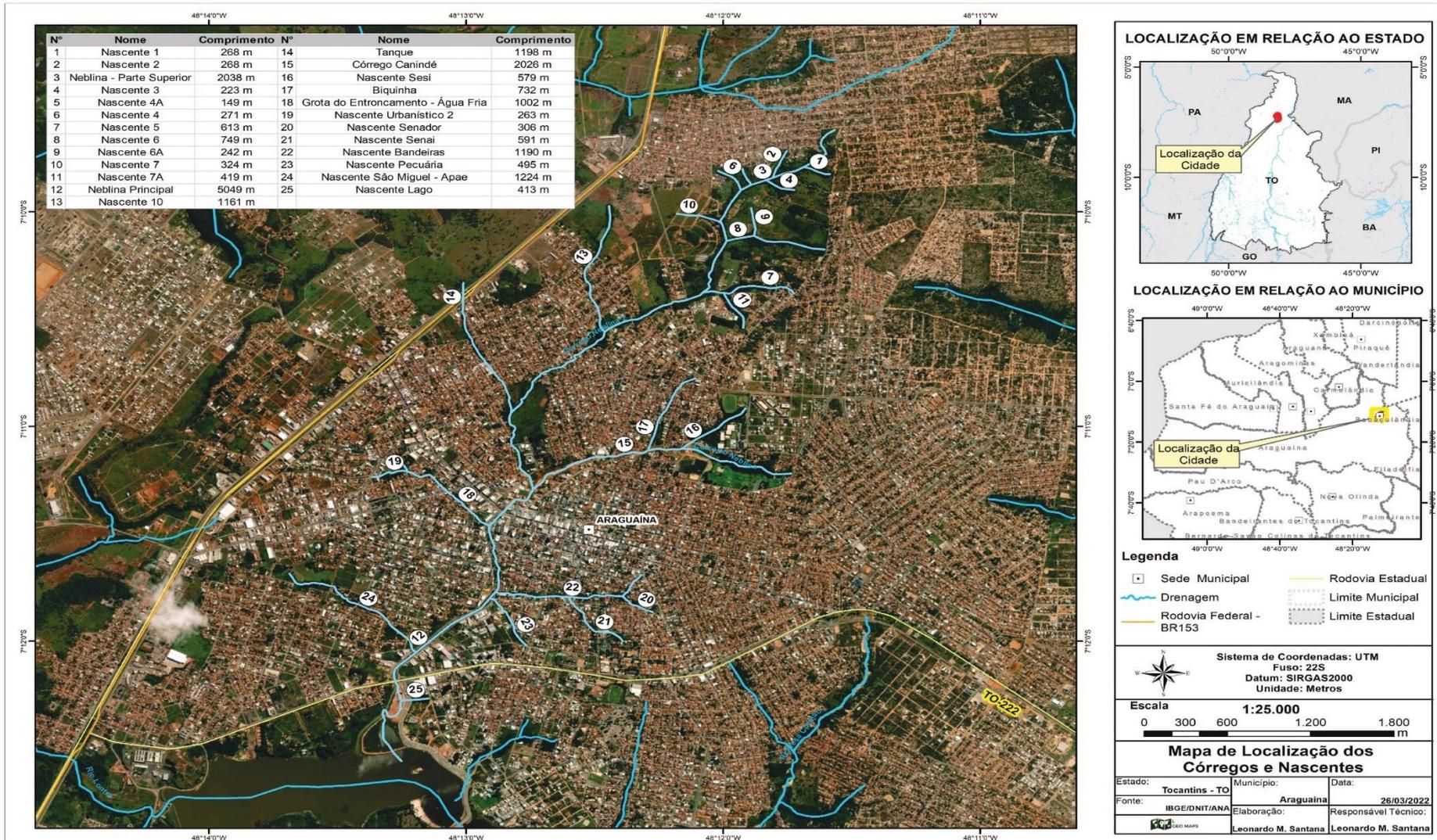
**ANEXOS**

## ANEXO A- MAPA DE LOCALIZAÇÃO DAS MICRO BACIAS DO NEBLINA



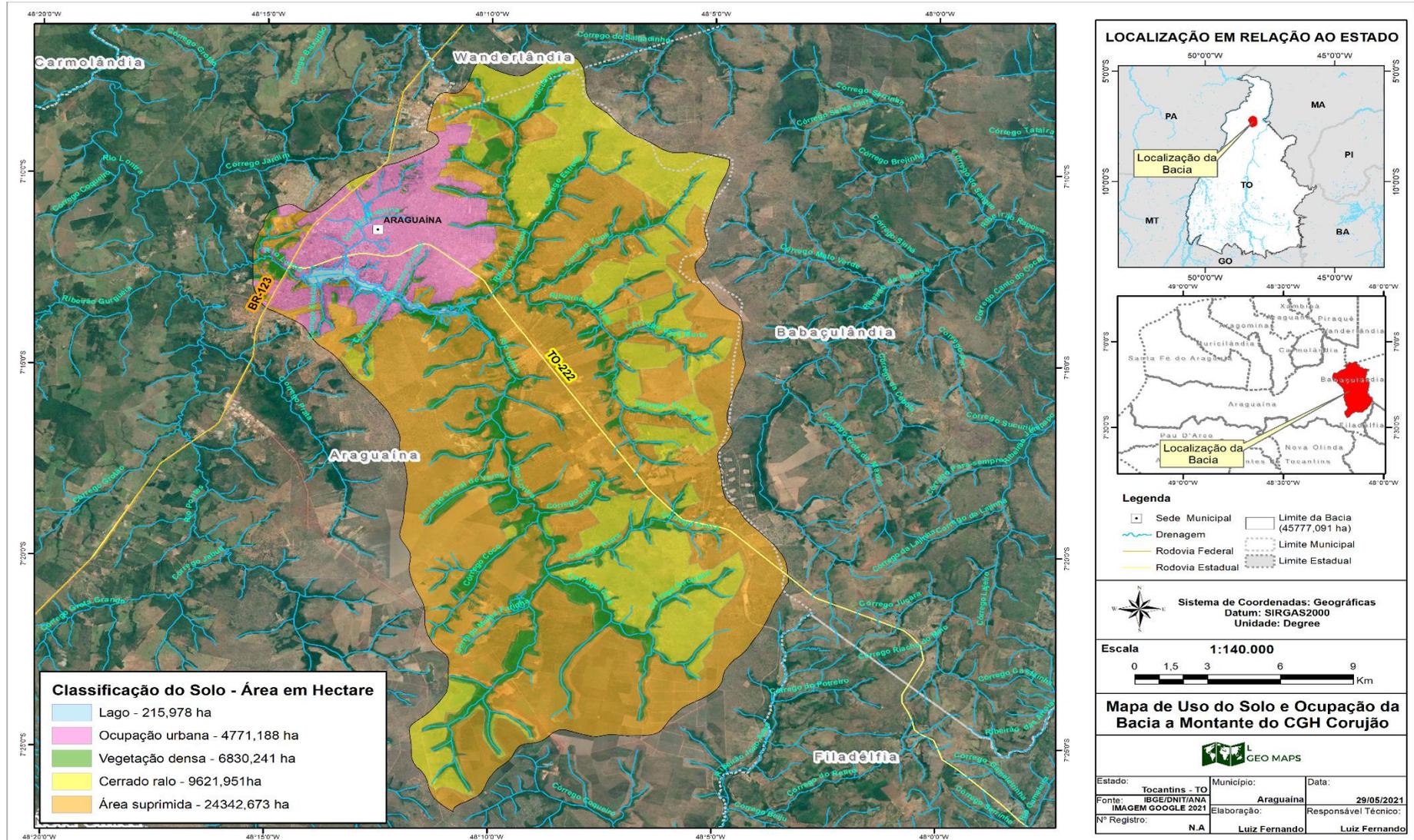
Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

## ANEXO B- MAPA DE LOCALIZAÇÃO DE CÓRREGOS E NASCENTES DA BACIA DO NEBLINA



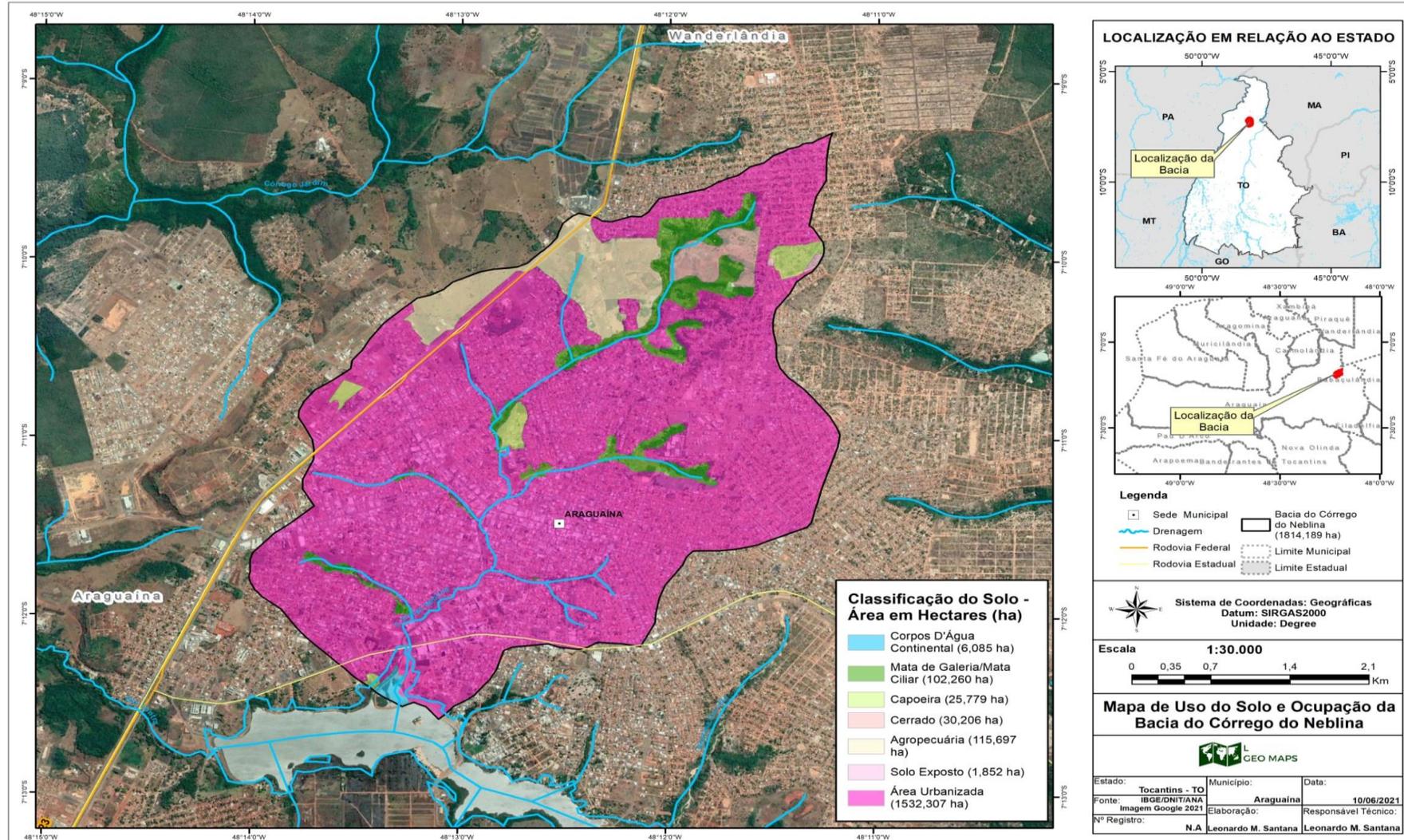
Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

### ANEXO C - MAPA DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO DA BACIA DO RIO LONTRA A MONTANTE DA BARRAGEM



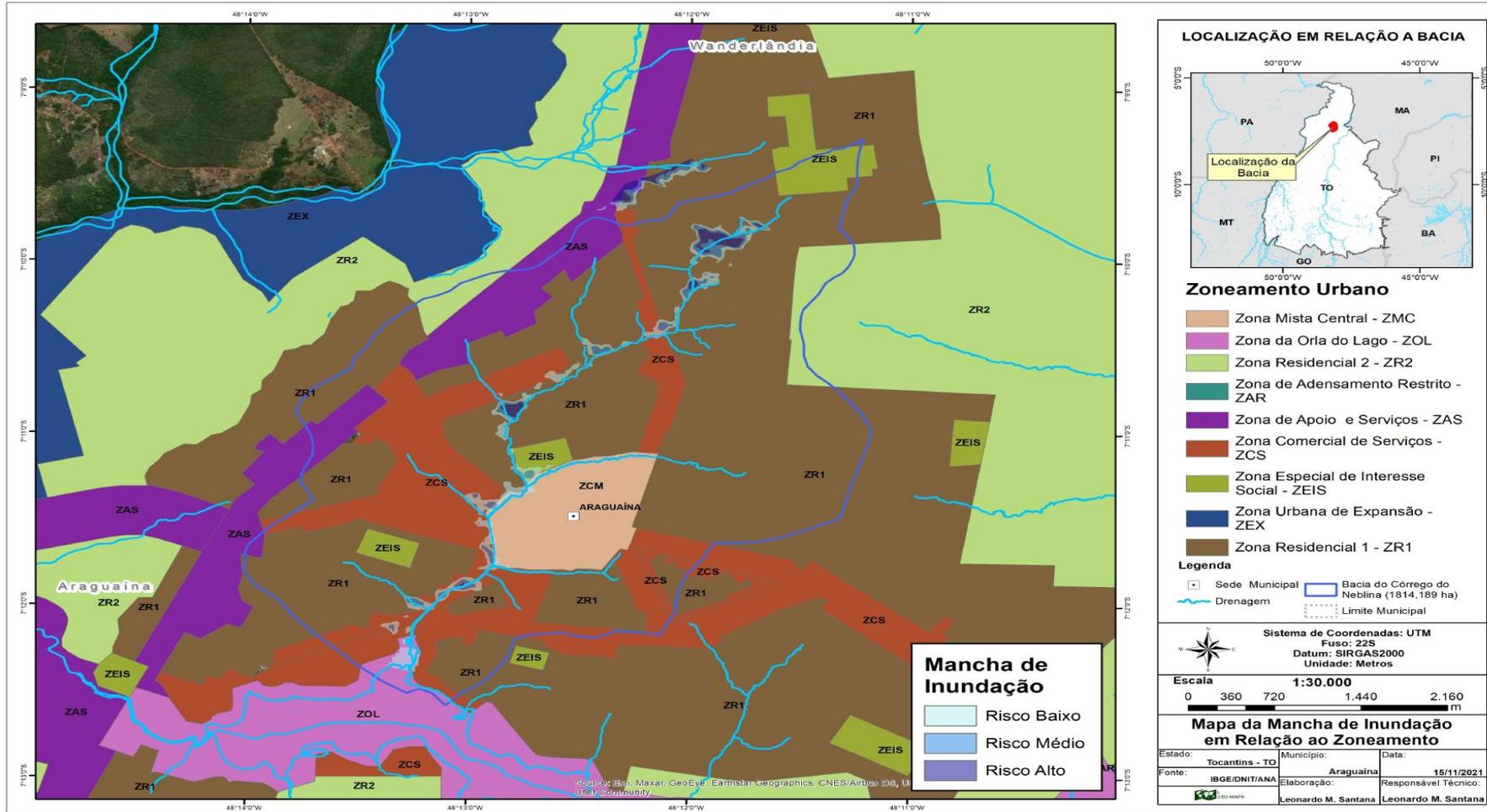
Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

## ANEXO D - MAPA DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO DA BACIA DO NEBLINA



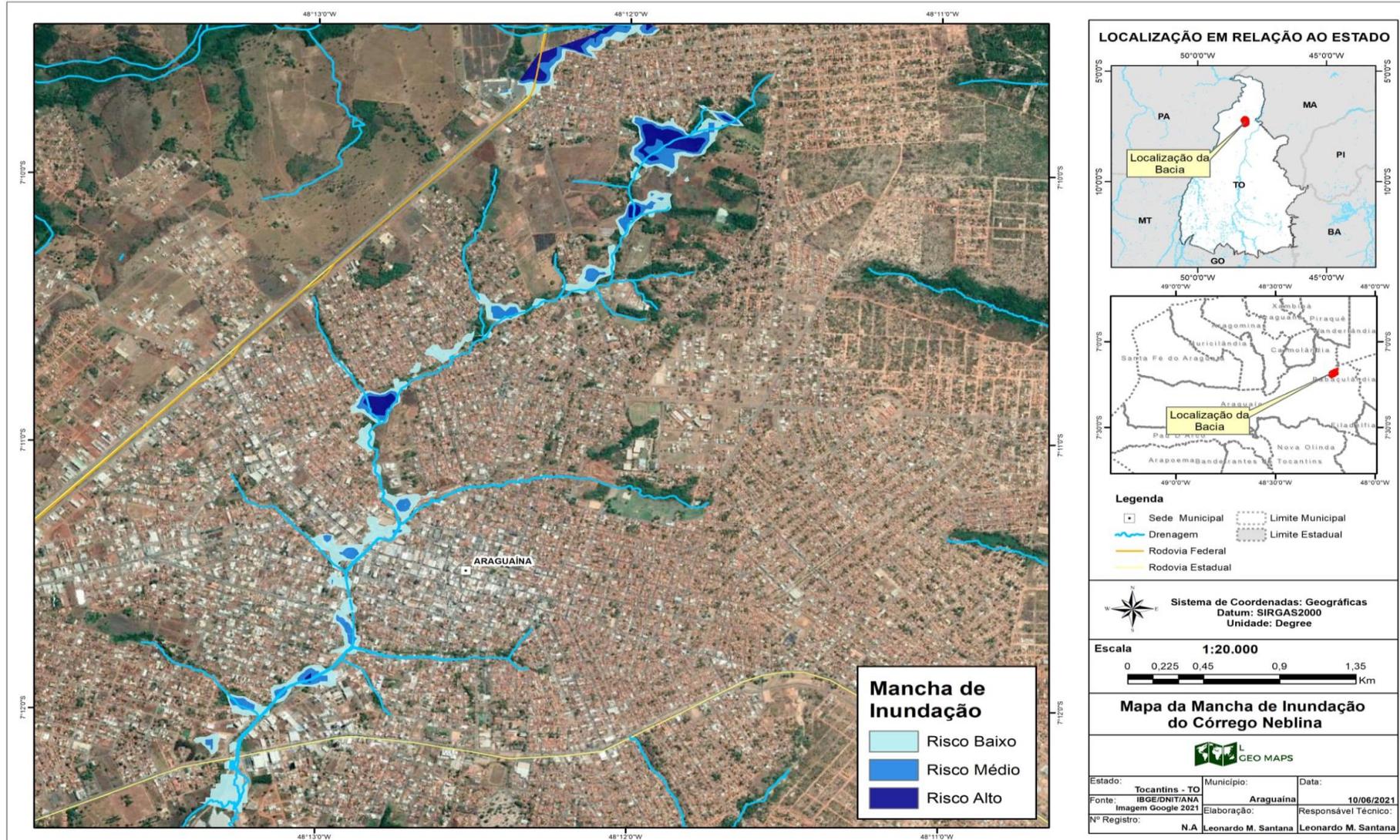
Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

## ANEXO E - MAPA DE ZONEAMENTO DO PERÍMETRO URBANO DA CIDADE DE ARAGUAÍNA



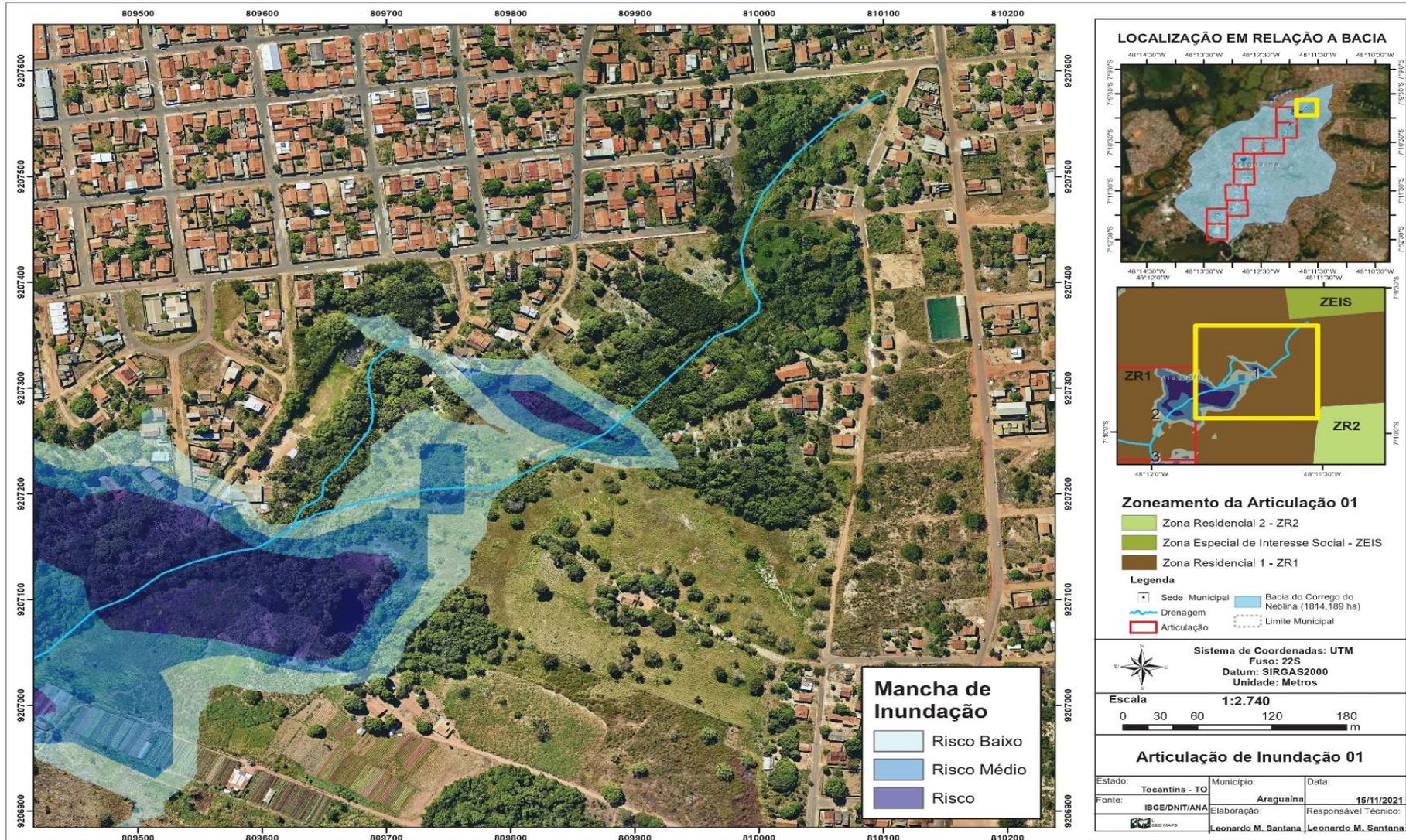
Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

## ANEXO F - MANCHA DE INUNDAÇÃO NO CANAL DO CÓRREGO NEBLINA – GERAL



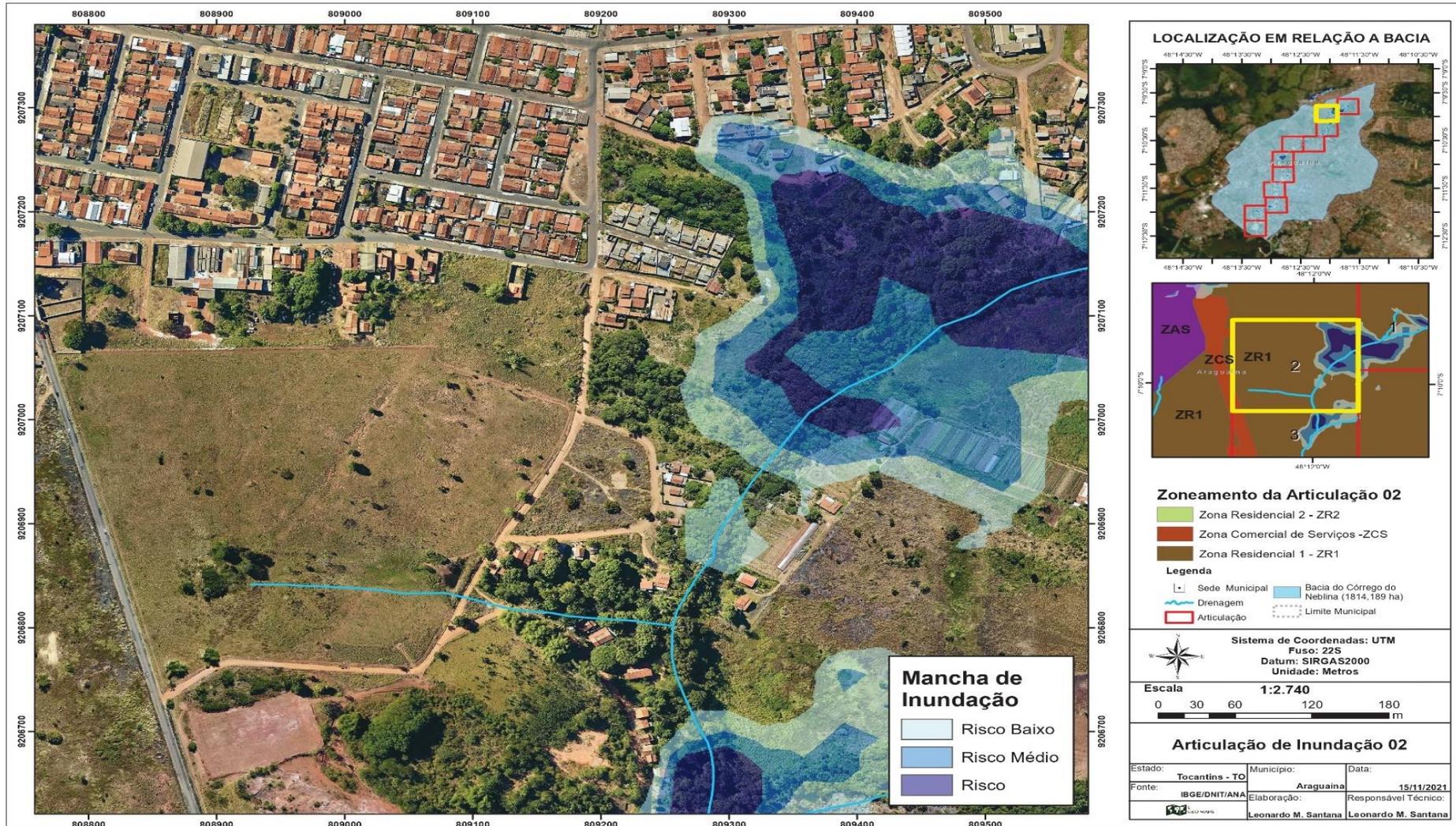
Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

## ANEXO G - MANCHA DE INUNDAÇÃO NO CANAL DO CÓRREGO NEBLINA – ARTICULAÇÃO 01



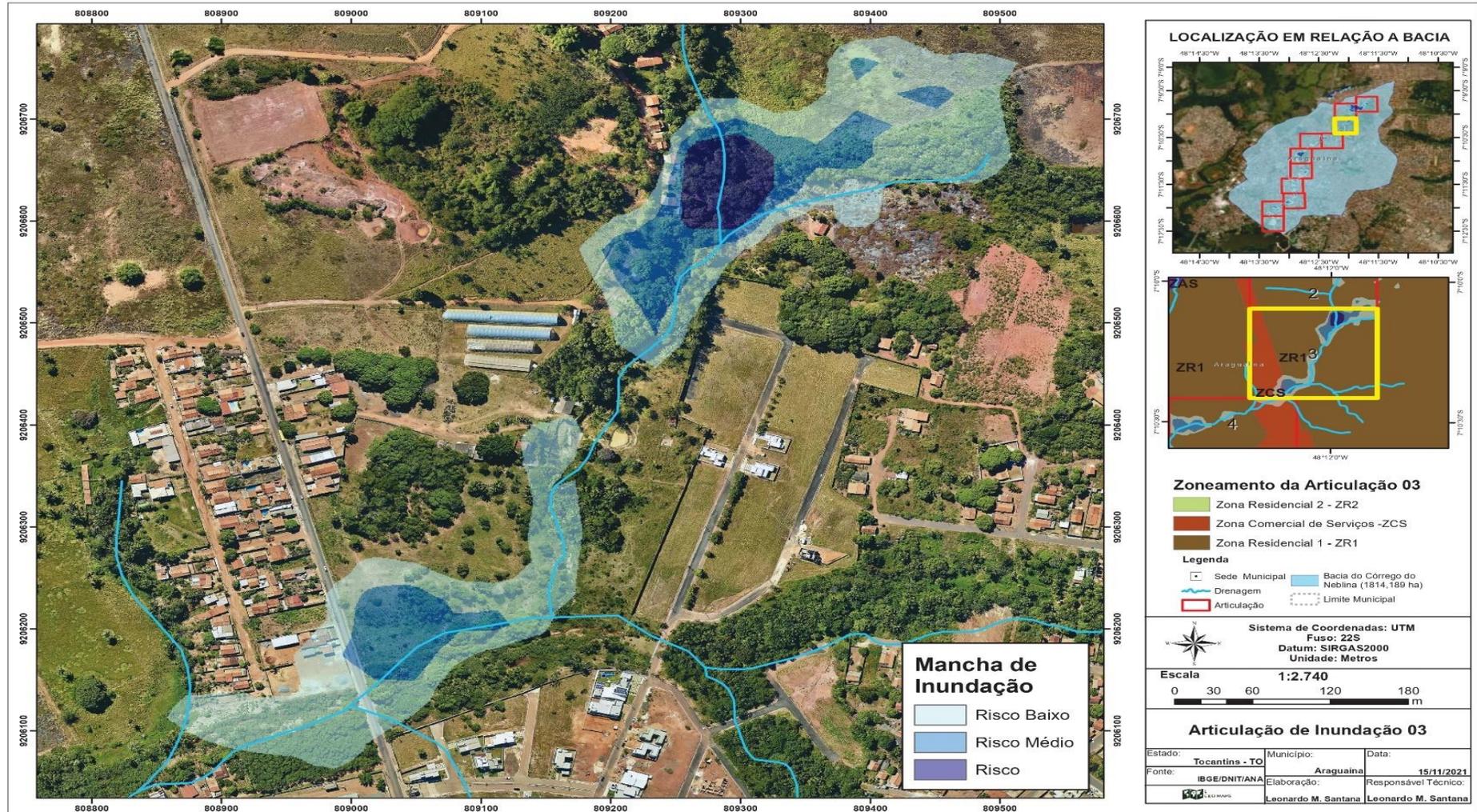
Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

## ANEXO H - MANCHA DE INUNDAÇÃO NO CANAL DO CÓRREGO NEBLINA – ARTICULAÇÃO 02



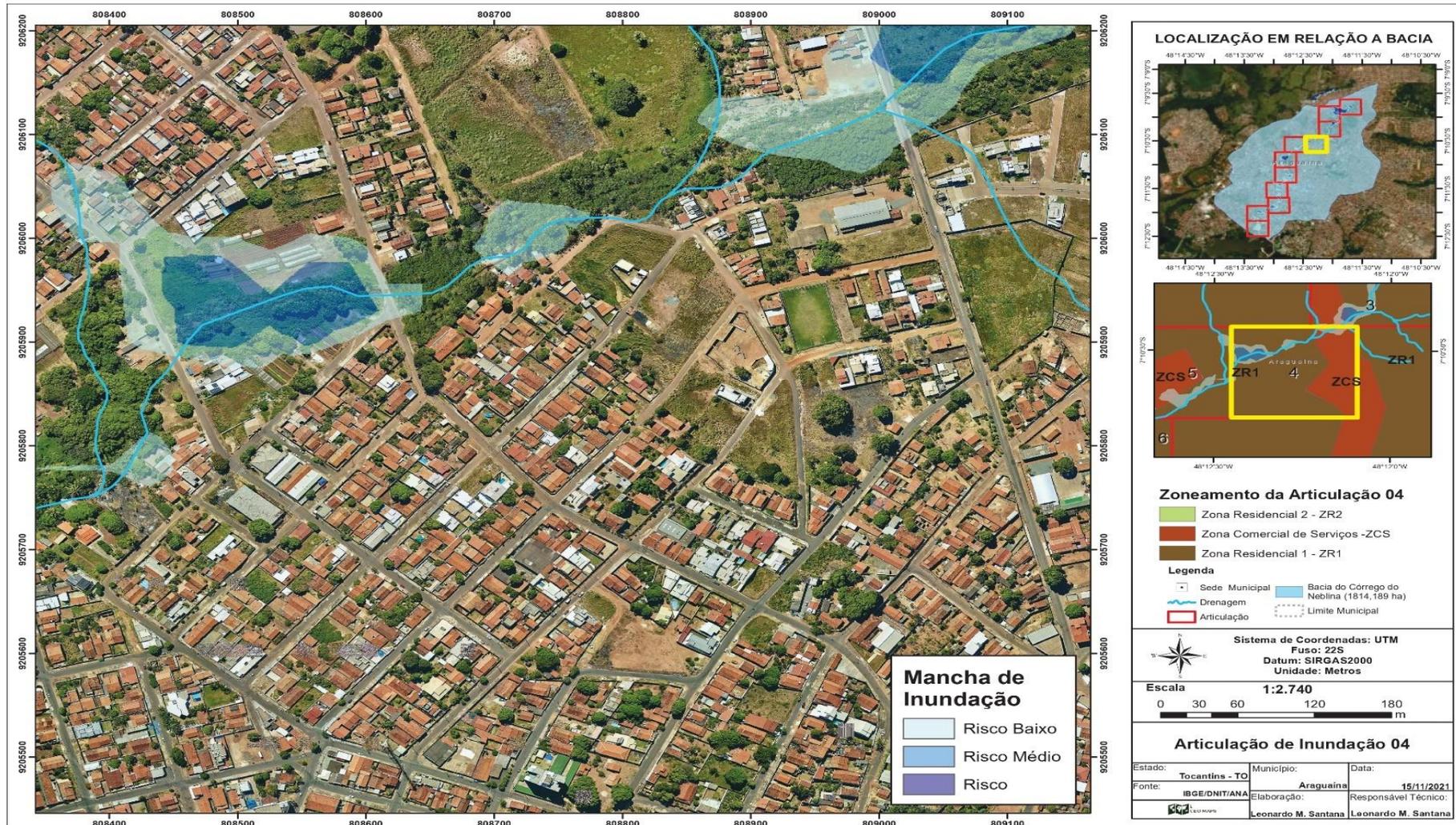
Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

# ANEXO I - MANCHA DE INUNDAÇÃO NO CANAL DO CÓRREGO NEBLINA – ARTICULAÇÃO 03



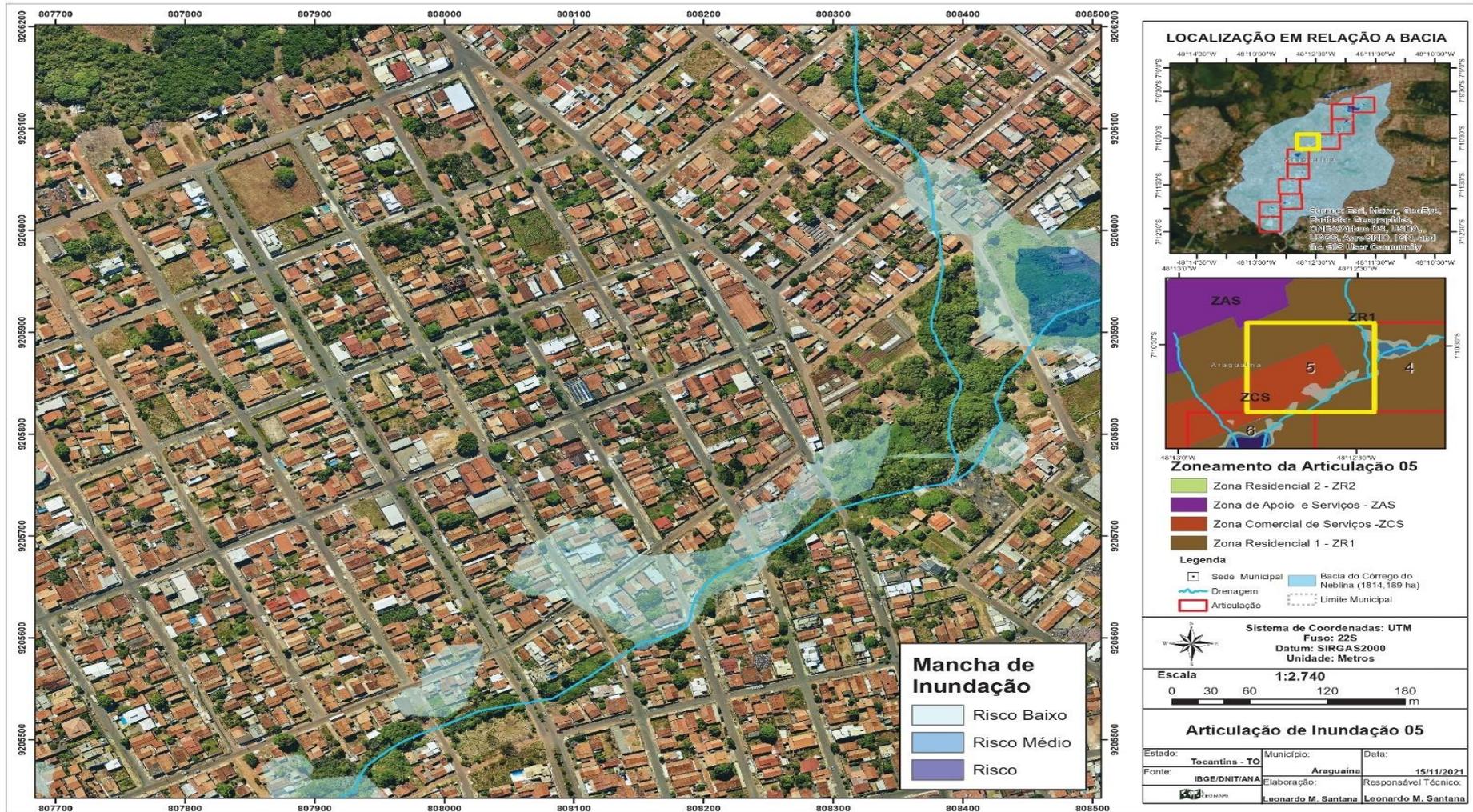
Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

## ANEXO J - MANCHA DE INUNDAÇÃO NO CANAL DO CÓRREGO NEBLINA – ARTICULAÇÃO 04



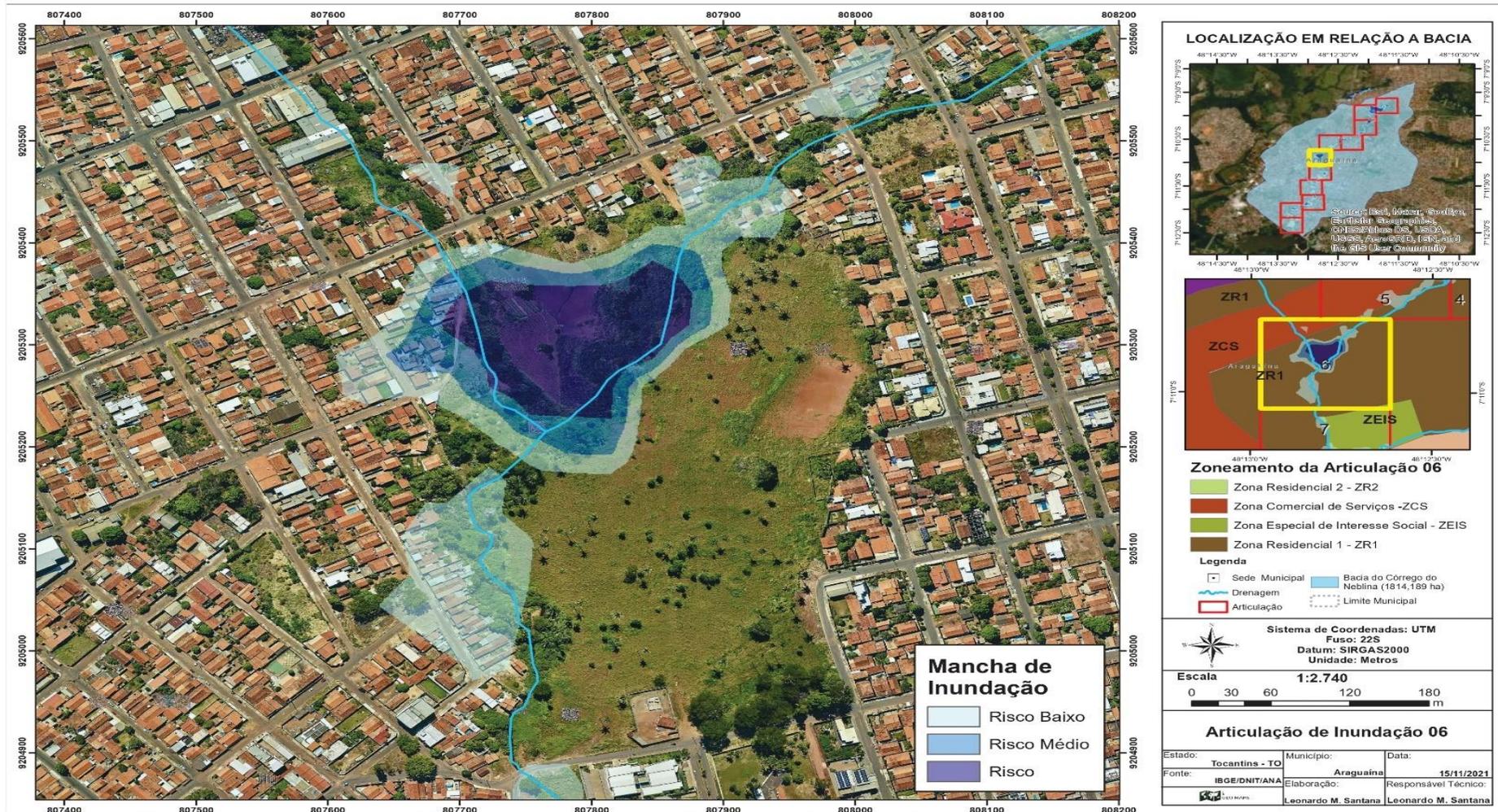
Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

## ANEXO L - MANCHA DE INUNDAÇÃO NO CANAL DO CÓRREGO NEBLINA – ARTICULAÇÃO 05



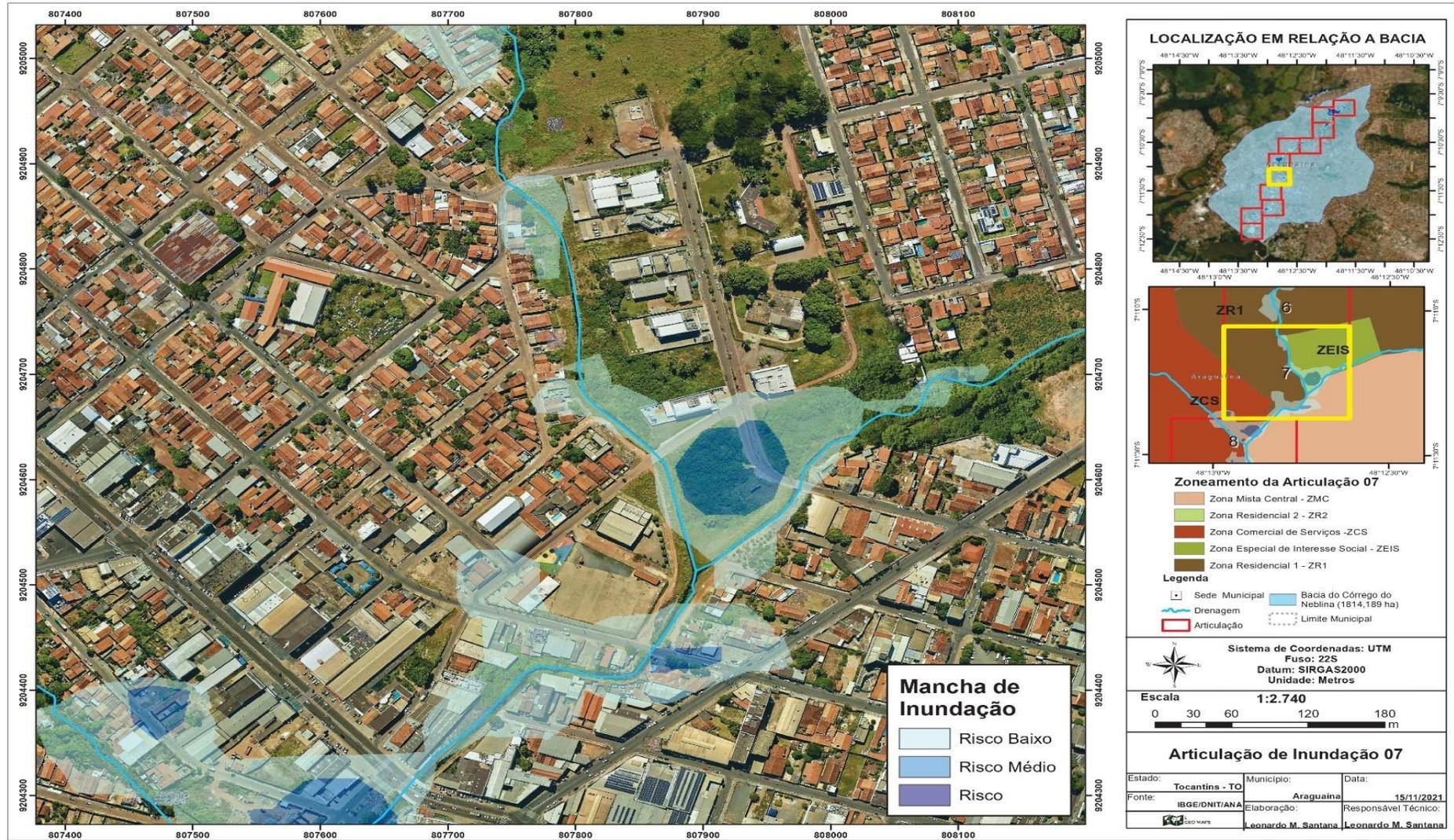
Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

## ANEXO K - MANCHA DE INUNDAÇÃO NO CANAL DO CÓRREGO NEBLINA – ARTICULAÇÃO 06



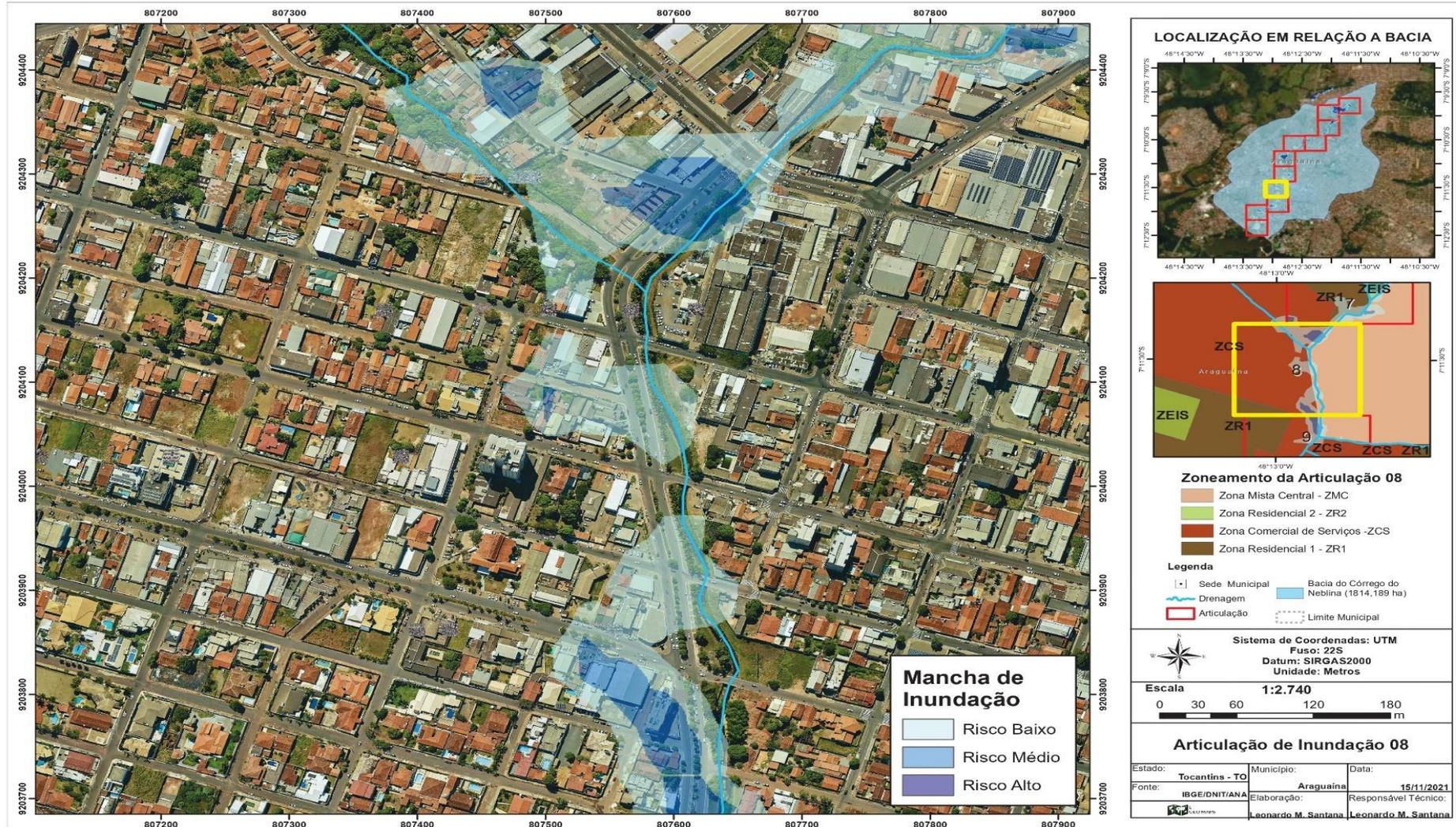
Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

## ANEXO L - MANCHA DE INUNDAÇÃO NO CANAL DO CÓRREGO NEBLINA – ARTICULAÇÃO 07



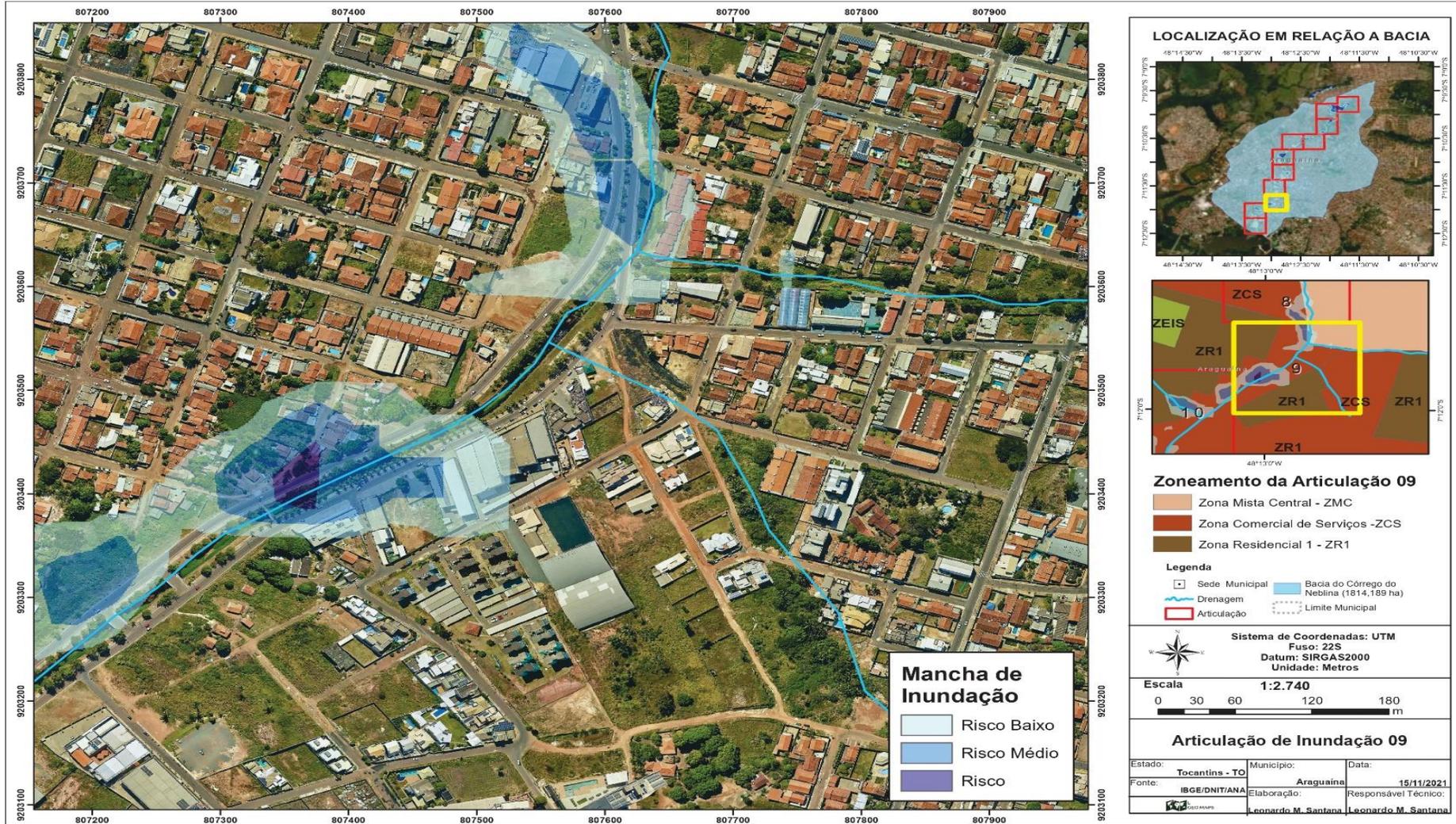
Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

## ANEXO M - MANCHA DE INUNDAÇÃO NO CANAL DO CÓRREGO NEBLINA – ARTICULAÇÃO 08

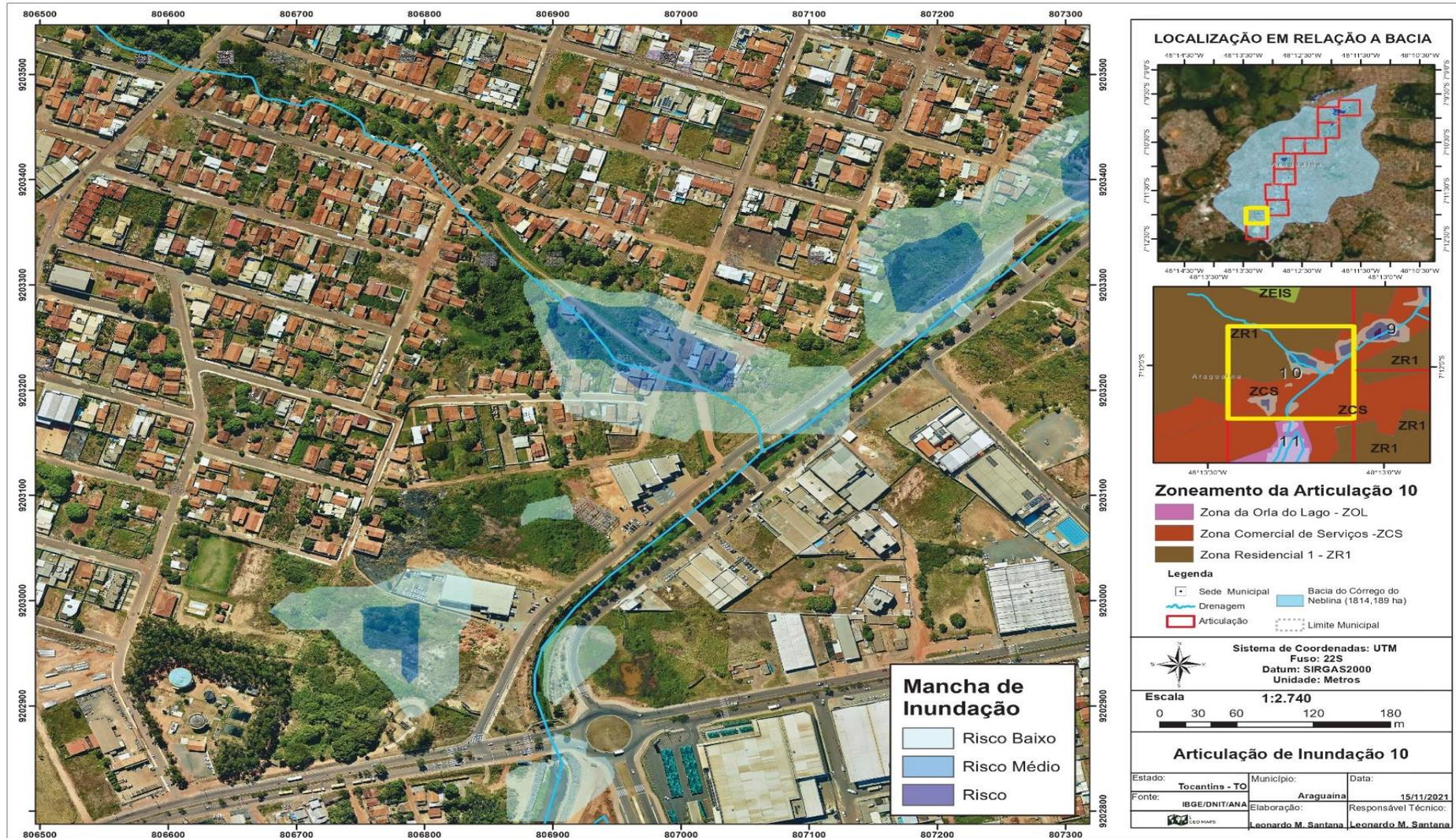


Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

# ANEXO N - MANCHA DE INUNDAÇÃO NO CANAL DO CÓRREGO NEBLINA – ARTICULAÇÃO 09

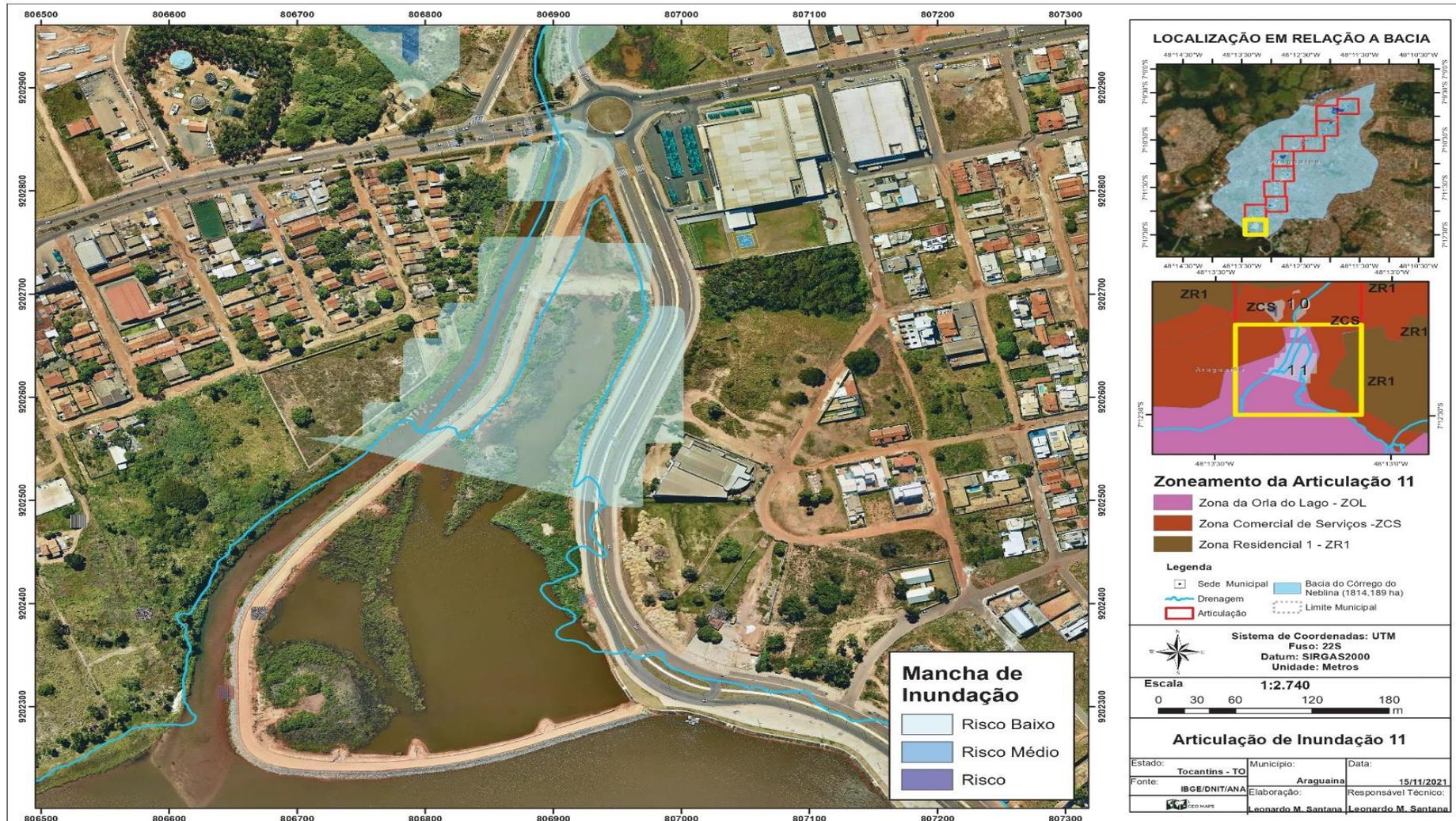


## ANEXO O - MANCHA DE INUNDAÇÃO NO CANAL DO CÓRREGO NEBLINA – ARTICULAÇÃO 10



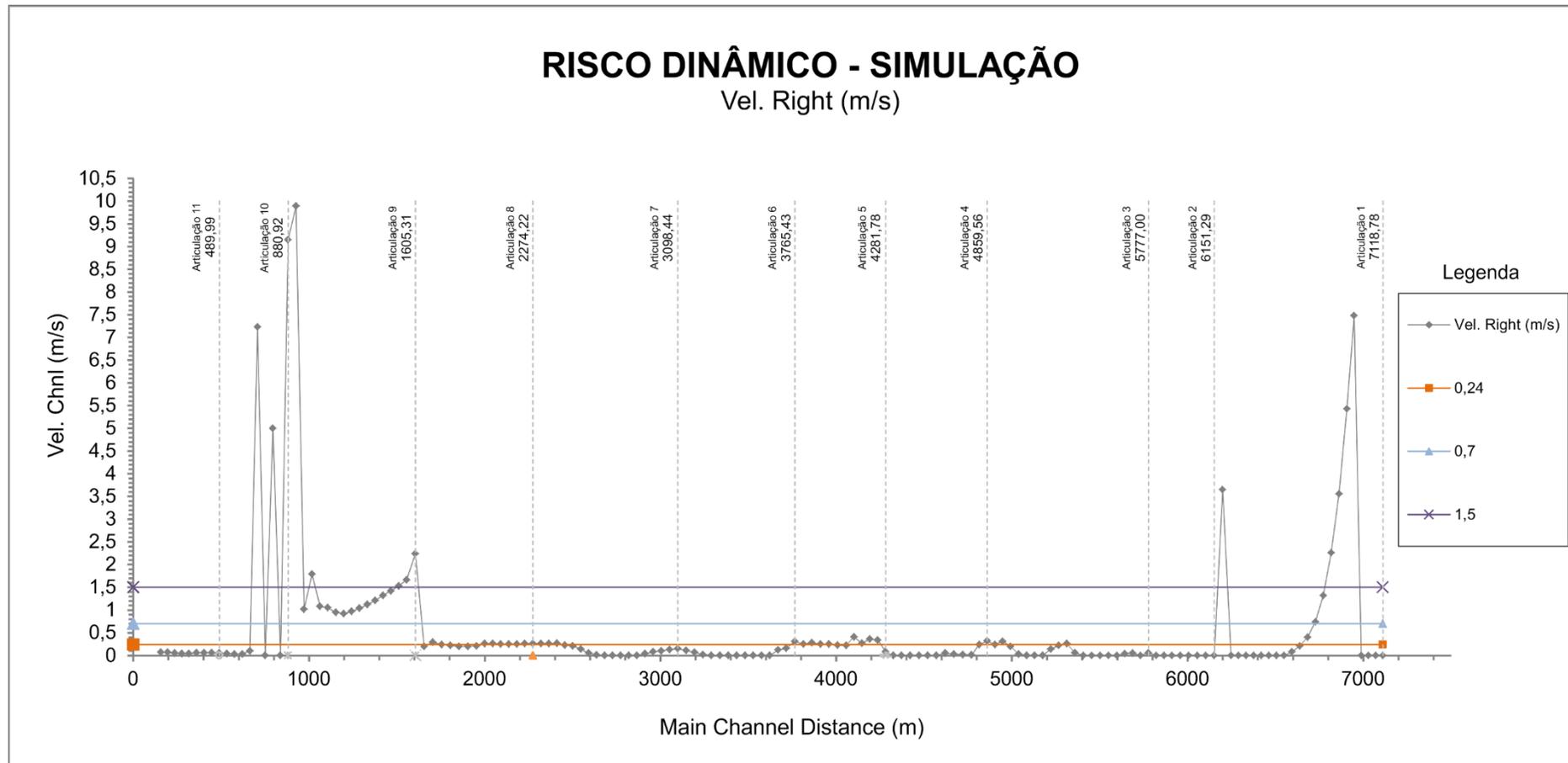
Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

# ANEXO P - MANCHA DE INUNDAÇÃO NO CANAL DO CÓRREGO NEBLINA – ARTICULAÇÃO 11



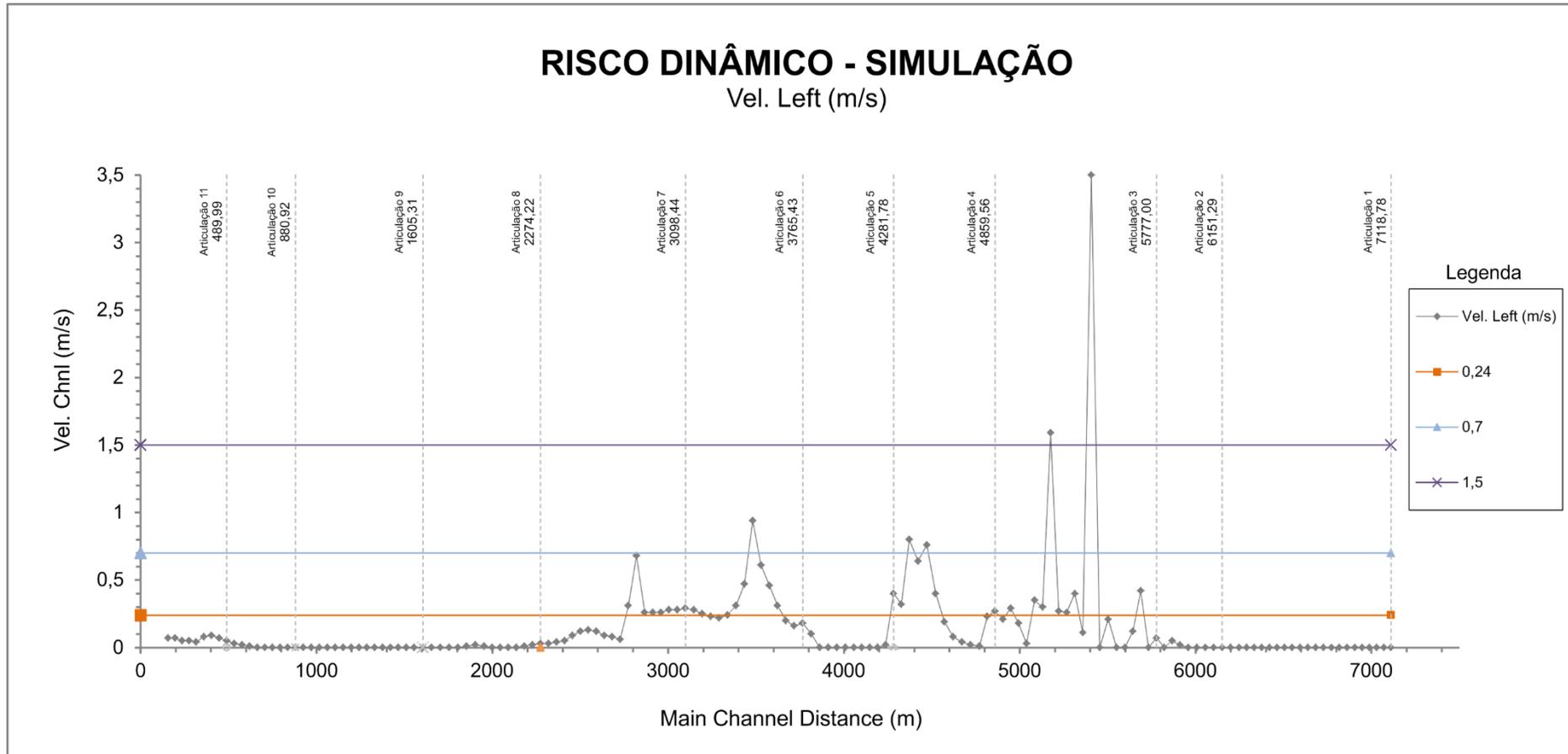
Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

## ANEXO Q – GRÁFICO DO RISCO HIDRODINÂMICO DO LADO DIREITO DO CANAL SIMULADO



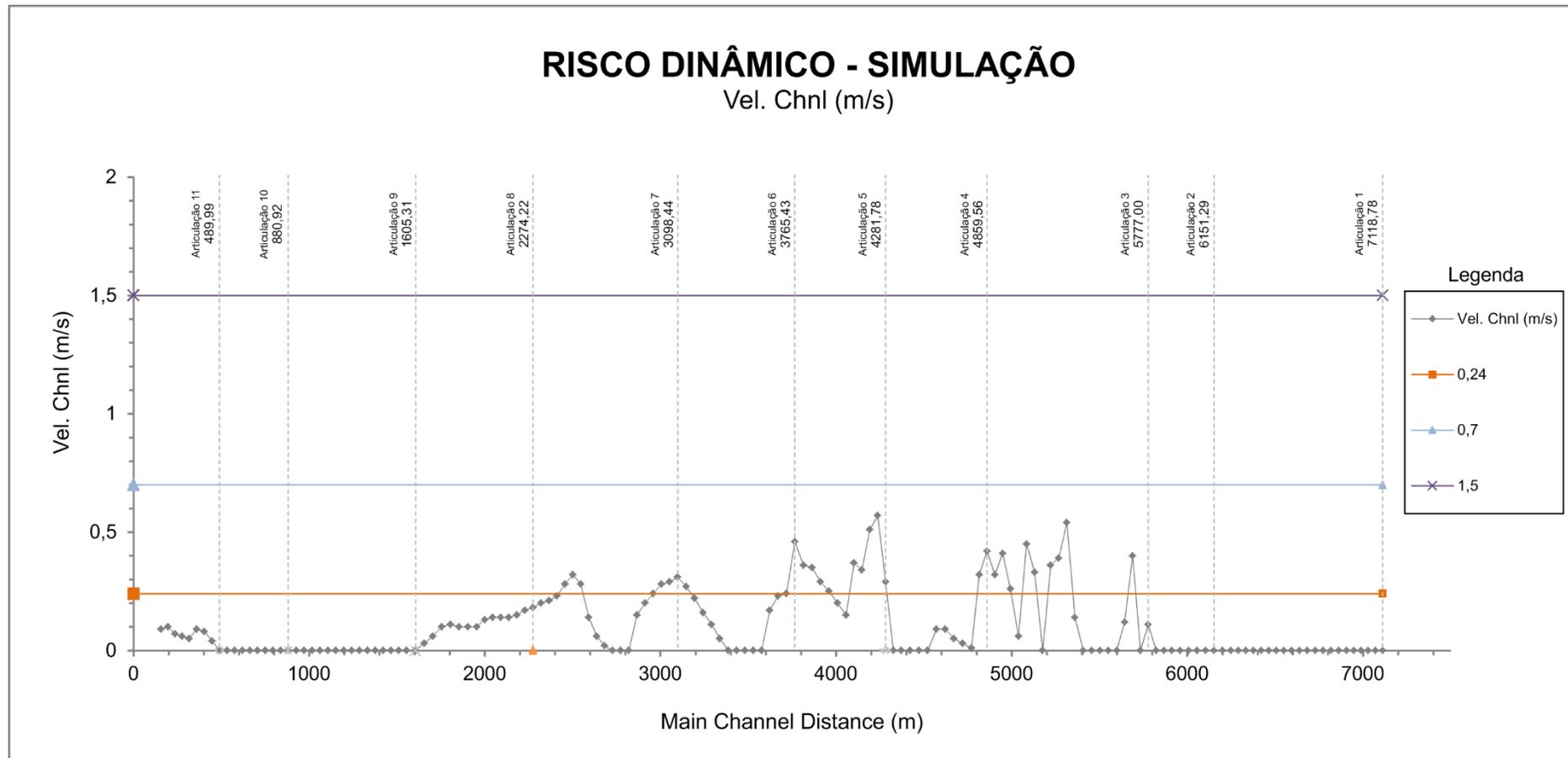
Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

**ANEXO R - GRÁFICO DO RISCO HIDRODINÂMICO DO LADO ESQUERDO DO CANAL SIMULADO**



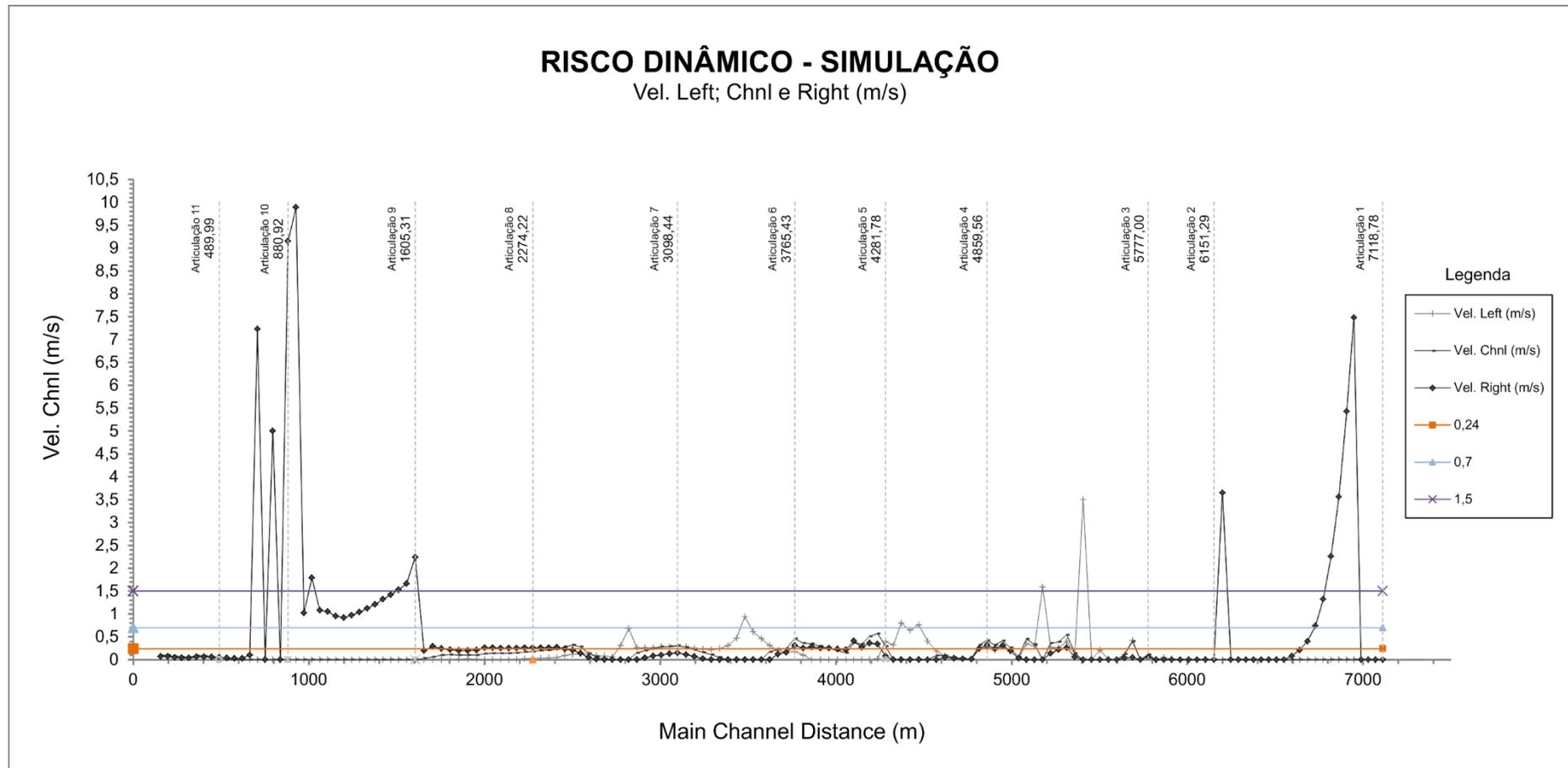
Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

## ANEXO S - GRÁFICO DO RISCO HIDRODINÂMICO NO CANAL SIMULADO



Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

## ANEXO T - GRÁFICO DO RISCO HIDRODINÂMICO GERAL DO CANAL SIMULADO



Fonte: Elaborado pelo autor (2021)