



Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Centro de Tecnologia e Ciências

Faculdade de Geologia

Carolina Bastos Marques Lopes

**Mapeamento do perigo de inundações na porção urbana da bacia do Rio
Botas em Nova Iguaçu, RJ, por meio de modelagem matemática**

Rio de Janeiro

2020

Carolina Bastos Marques Lopes

Mapeamento do perigo de inundações na porção urbana da bacia do Rio Botas em Nova Iguaçu, RJ, por meio de modelagem matemática

Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Geociências, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: análise de bacias.

Orientador: Prof. Dr. Francisco de Assis Dourado da Silva

Coorientador: Prof. Lucio Silva Souza

Rio de Janeiro

2020

CATALOGAÇÃO NA FONTE
UERJ / REDE SIRIUS / BIBLIOTECA CTC/C

L864 Lopes, Carolina Bastos Marques.
Mapeamento do perigo de inundações na porção urbana da bacia do Rio Botas em Nova Iguaçu, RJ, por meio de modelagem matemática / Carolina Bastos Marques Lopes. – 2020.
112 f.: il.

Orientador: Francisco de Assis Dourado da Silva.
Coorientador: Lucio Silva Souza
Dissertação (Mestrado) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de Geologia.

1. Inundações – Botas, Rio, Bacia (Nova Iguaçu, RJ) – Teses. 2. Controle de inundações – Modelos matemáticos – Botas, Rio, Bacia (Nova Iguaçu, RJ) – Teses. 3. Avaliação de riscos ambientais – Nova Iguaçu (RJ) – Teses. 4. Hidrologia urbana – Nova Iguaçu (RJ) – Teses. I. Dourado, Francisco. II. Souza, Lucio Silva. III. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Faculdade de Geologia. IV. Título.

CDU 556.166(815.3)

Bibliotecária responsável: Taciane Ferreira da Silva / CRB-7: 6337

Autorizo, apenas para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial desta dissertação, desde que citada a fonte.

Assinatura

Data

Carolina Bastos Marques Lopes

Mapeamento do perigo de inundações na porção urbana da bacia do Rio Botas em Nova Iguaçu, RJ, por meio de modelagem matemática

Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Geociências, na Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Análise de bacias.

Aprovada em 12 de setembro de 2020.

Orientador: Prof. Dr. Francisco de Assis da Silva Dourado

Faculdade de Geologia – UERJ

Coorientador: Prof. Lucio Silva Souza

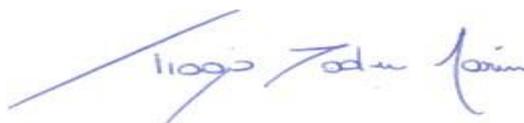
Faculdade de Oceanografia – UERJ

Banca Examinadora:



Prof. Dr. Antônio Soares da Silva

Faculdade de Geografia – UERJ



Prof. Dr. Tiago Brade Marino

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

Rio de Janeiro

2020

AGRADECIMENTOS

Agraço a todos que me auxiliaram nesta jornada.

RESUMO

LOPES, Carolina Bastos Marques. **Mapeamento do perigo de inundações na porção urbana da bacia do Rio Botas em Nova Iguaçu, RJ, por meio de modelagem matemática.** 2020. 112 f. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Faculdade de Geologia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2020.

O processo de urbanização no Brasil ocorre de forma desorganizada com a impermeabilização do solo, desmatamento da mata ciliar e manejo dos rios sem estudo prévio. As áreas urbanas brasileiras apresentam altos valores de densidade populacional onde uma das consequências é a ocupação desenfreada de regiões inapropriadas como as margens dos rios e a planície de inundação, assim inundações em áreas urbanas causam grandes perdas materiais e humanas (TUCCI, 1995). O município de Nova Iguaçu, RJ apresenta inundações recorrentes e segundo dados da Defesa Civil a inundação do rio Botas acarreta grandes perdas já que intercepta bairros densamente povoados. Assim um estudo de suas inundações se torna essencial como apoio às medidas da Defesa Civil e como base para o planejamento municipal. Dessa forma, as modelagens hidrológicas e hidrodinâmicas são ferramentas úteis para criação de cenários e simulação de eventos hidrometeorológicos. Nesse contexto o presente trabalho tem como objetivo analisar por meio de simulações hidrológica e hidráulica as inundações do rio Botas em função de cinco cenários de chuva, sendo três provenientes do protocolo utilizado pela Defesa Civil de Nova Iguaçu e dois provenientes do estudo realizado, nesta dissertação, nos registros de chuva da estação meteorológica Ecologia Agrícola localizada em Seropédica. Para isto, com o auxílio do programa ArcGIS 10,5 foi confeccionado um modelo digital de elevação com resolução espacial de 1m, um mapa de uso e cobertura do solo além da delimitação da bacia do rio Botas. Por meio da utilização dos programas HEC-HMS e HEC-RAS foram realizadas as modelagens hidrológica e hidráulica, porém antes foram confeccionados testes com diferentes distribuições da chuva além de diferentes valores de Manning para o canal e para a planície de inundação. Com os resultados obtidos (hidrogramas de cheia e manchas de inundação referentes a cada cenário) observou-se que todos os bairros ao longo do rio Botas são inundados com diferentes extensões e profundidades de lâmina d'água. Após a análise dos cenários foram formulados quatro graus de perigo em função das perdas materiais e dos transtornos causados aos moradores. Todos esses critérios foram selecionados de um modo que auxilie as ações da Defesa Civil. Também foram identificados os elementos expostos às inundações como residências, os moradores e prédios públicos, como escolas e hospitais. Os resultados comprovam que o protocolo utilizado pela Defesa Civil, em relação as inundações, é eficiente, pois é compatível com os valores extremos de chuva para o verão encontrados neste trabalho.

Palavras-chave: Modelagem de inundação. Inundação em área urbana. Modelo HEC-RAS.

ABSTRACT

LOPES, Carolina Bastos Marques. **Flood hazard mapping in the urban portion of the Botas River basin in Nova Iguaçu, RJ, through modeling.** 2020. 112 f. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Faculdade de Geologia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2020.

The urbanization process in Brazil occurs in a disorganized way with the waterproofing of the soil, deforestation of the riparian forest and management of rivers without previous study. Brazilian urban areas have high values of population density where one of the consequences is the unrestrained occupation of inappropriate regions such as the banks of rivers and the floodplain, thus flooding in urban areas causes great material and human losses (TUCCI, 1995). The municipality of Nova Iguaçu, RJ has recurrent floods and according to Civil Defense data, the flooding of the Botas River causes great losses since it intercepts densely populated neighborhoods, so a study of its floods becomes essential as a support for Civil Defense measures and as basis for municipal planning. In this way, hydrological and hydrodynamic modeling are useful tools for creating scenarios and simulating hydrometeorological events. In this context, the present work aims to analyze, through hydrological and hydraulic simulations, the floods of the Botas River in function of five rain scenarios, three from the protocol used by the Civil Defense of Nova Iguaçu and two from the study carried out in this dissertation, in the rain records of the Ecology Agricultural meteorological station located in Seropédica. For this, with the aid of the ArcGIS 10,5 program, a digital elevation model with a resolution of 1m was created, a map of land use and cover, in addition to the delimitation of the Botas river basin. Through the use of the HEC- HMS and HEC-RAS programs, hydrological and hydraulic modeling were carried out, but before that, tests were made with different rain distributions in addition to different Manning values for the channel and for the floodplain. With the results obtained (flood hydrographs and flood spots referring to each scenario), it was observed that all the neighborhoods along the Botas River are flooded with different extensions and depths of water depth. After analyzing the scenarios, four degrees of danger were formulated due to material losses and inconvenience caused to residents. All of these criteria were selected in a way that supports the actions of the Civil Defense. Elements exposed to floods were also identified, such as homes, residents and public buildings, such as schools and hospitals. The results prove that the protocol used by the Civil Defense, in relation to floods, is efficient, as it is compatible with the extreme values of rain for the summer found in this work.

Keywords: Flood modeling. Flood in urban area. Model HEC-RAS.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –	Ilustração das definições de enchente e inundação.....	17
Figura 2 –	Localização da área de estudo.....	32
Figura 3 –	Rio Botas e seus afluentes principais.....	33
Figura 4 –	Delimitação das áreas com diferentes escalas dos dados físicos.....	35
Figura 5 –	Mapa de Uso do Solo da Bacia do Rio Botas.....	37
Figura 6 –	Mapa Pedológico Da Bacia Do Rio Botas.....	38
Figura 7 –	Sub-bacias do rio Botas e os pontos de cálculos de vazão	39
Figura 8 –	Estação fluviométrica GBM e sua relação com as sub-bacias do rio Botas.....	44
Figura 9 –	Relação de influência dos pluviômetros nas sub-bacias.....	45
Figura 10 –	Áreas de influência das estações pluviométricas Palhada e Nova Aurora.	46
Figura 11 –	Hidrogramas medidos e calculados para o primeiro evento de validação..	49
Figura 12 –	Hidrogramas medidos e calculados para o segundo evento de validação..	50
Figura 13 –	Hidrogramas medidos e calculados para o terceiro evento de validação...	52
Figura 14 –	Hidrogramas medidos e calculados para o quarto evento de validação.....	53
Figura 15 –	Foto de uma seção do rio Botas sem limpeza da sua calha.....	56
Figura 16 –	Foto de uma seção do rio Botas com limpeza recente da calha e das margens.....	56
Figura 17 –	Inundação com Manning de 0,04 para o canal.....	58
Figura 18 –	Inundação com Manning de 0,01 para o canal.....	59
Figura 19 –	Inundação com Manning de 0,08 para a planície de inundação.....	60
Figura 20 –	Inundação com Manning de 0,032 para a planície de inundação.....	61
Figura 21 –	Mapa com os diferentes trechos de inundação.....	68
Figura 22 –	Mapa de inundação do cenário 1.....	70
Figura 23 –	Mapa de inundação do cenário 2.....	72
Figura 24 –	Mapa de inundação do cenário 3.....	74
Figura 25 –	Extensão da inundação do cenário 4.....	76
Figura 26 –	Mapa de inundação do cenário 5.....	78
Figura 27 –	Mapa de perigo para o cenário 1.....	83
Figura 28 –	Mapa de perigo para o cenário 2.....	88

Figura 29 – Mapa de perigo para o cenário 3.....	93
Figura 30 – Mapa de perigo para o cenário 4.....	97
Figura 31 – Mapa de perigo para o cenário 5.....	101

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 –	Distribuição da chuva entre as 22 – 04h para o 2º evento de validação...	51
Gráfico 2 –	Distribuição da chuva entre às 17 h e 22h para o quarto evento de validação.....	53
Gráfico 3 –	Primeiro cenário teste para a distribuição temporal do pico de chuva.....	63
Gráfico 4 –	Segundo cenário teste para a distribuição temporal do pico de chuva.....	63
Gráfico 5 –	Terceiro cenário teste para a distribuição temporal do pico de chuva.....	63
Gráfico 6 –	Histograma dos acumulados de chuva medida por evento no verão.....	66
Gráfico 7 –	Histograma da duração de chuva por evento para o verão.....	66
Gráfico 8 –	Histograma com os máximos de chuva medida por evento no verão.....	67

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Relação entre o uso do solo da bacia do rio Botas com a cobertura do solo do modelo SCS.....	41
Tabela 2 –	Valores de urbanização inicial e calibrado e as suas diferenças percentuais.....	47
Tabela 3 –	Valores iniciais e finais de CN, suas diferenças percentuais e o grau de impermeabilização.....	47
Tabela 4 –	Relação entre as taxas de urbanização e o fator de pico.....	48
Tabela 5 –	Valores dos tempos de concentração e dos lag times iniciais e calibrados	48
Tabela 6 –	Valores de Manning com os respectivos autores e uso do solo.....	54
Tabela 7 –	Protocolo de Alerta da Defesa Civil de Nova Iguaçu.....	62
Tabela 8 –	Distribuição dos valores de vazão em função do pico de chuva, junções e dos municípios.....	64
Tabela 9 –	Dados de chuva medidos para o verão.....	65
Tabela 10 –	Extensão da inundação por bairro afetado.....	71
Tabela 11 –	Relação entre áreas inundadas e porcentagem de inundação para cada bairro.....	73
Tabela 12 –	Relação entre áreas inundadas e porcentagem de inundação para cada bairro.....	75
Tabela 13 –	Extensão da inundação por bairro afetado.....	77
Tabela 14 –	Extensão da inundação por bairro afetado.....	79
Tabela 15 –	Perdas e transtornos em função da altura da lâmina d'água.....	80
Tabela 16 –	Valores dos elementos expostos a inundação do cenário 1 (continua).....	84
Tabela 17 –	Valores dos elementos expostos a inundação do cenário 2 (continua).....	89
Tabela 18 –	Valores dos elementos expostos a inundação do cenário 3 (continua).....	94
Tabela 19 –	Valores dos elementos expostos a inundação do cenário 4 (continua).....	98
Tabela 20 –	Valores dos elementos expostos a inundação do cenário 5 (continua).....	102
Tabela 21 –	Áreas inundadas e os elementos expostos aos cinco cenários de inundação.....	104

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA	Agência nacional das Águas
APA	Área de Proteção Ambiental
CEMADEN	Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais
CN	Curve Number
CRED	<i>Centre for Research on the Epidemiology of Disasters</i>
Embrapa	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EM-DAT	<i>The International Disasters Database</i>
GEOINFO	Infraestrutura de Dados Espaciais da Embrapa
Hab	Habitantes
HEC-HMS	<i>Hydrological Modeling System</i>
HEC-RAS	<i>River Analysis System</i>
HMS	Sistema de Modelagem Hidrológica
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INEA	Instituto Estadual do Ambiente
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
IWR	<i>Institute for Water Resources</i>
LiDAR	<i>Light Detecting And Ranging</i>
MDE	Modelo Digital de Elevação
MDT	Modelo Digital de Terreno
OFDA	<i>Office of U.S. Foreign Disaster Assistance</i>
SCS	<i>Soil Conservation Service</i>
SHE	<i>Système Hydrologique Européen</i>
SWMM	<i>Système Hydrologique Européen</i>
TC	Tempo de Concentração
TR	Tempo de Retorno
2D	Duas dimensões

LISTA DE SÍMBOLOS

km kilómetro

m metro

mm milímetro

h hora

min minuto

SUMÁRIO

	INTRODUÇÃO	14
1	REPRESENTAÇÃO BIBLIOGRÁFICA	16
1.1	Mapeamento de inundação	17
1.2	Modelagem	18
1.2.1	<u>Tipos de Modelos</u>	19
1.2.1.1	Modelo Conceitual:.....	19
1.2.1.2	Modelo de base física:.....	20
1.2.1.3	Modelo Matemático:.....	20
1.2.2	<u>Modelagem Hidrológica</u>	21
1.2.2.1	HEC-HMS.....	23
1.2.2.1.1	Modelo do Hidrograma Unitário do SCS.....	24
1.2.2.1.2	Modelo CN-SCS.....	27
1.2.3	<u>Modelagem hidrodinâmica</u>	28
1.2.3.1	HEC-RAS.....	30
2	MATERIAL E MÉTODOS	32
2.1	Área de Estudo	32
2.2	Material	34
2.3	Metodologia	36
2.3.1	<u>Modelagem Hidrológica</u>	38
2.3.2	<u>Modelagem hidrodinâmica</u>	42
3	RESULTADOS E DISCUSSÕES	43
3.1	Modelagem Hidrológica	43
3.1.1	<u>Calibração</u>	44
3.1.2	<u>Validação</u>	49
3.2	Modelagem Hidrodinâmica	54
3.2.1	<u>Calibração</u>	55
3.2.2	<u>Validação</u>	57
3.3	Cenários de inundações	62
3.3.1	<u>Precipitação</u>	62
3.3.2	<u>Cenários</u>	68

3.3.3	<u>Cenário 1</u>	69
3.3.4	<u>Cenário 2</u>	72
3.3.5	<u>Cenário 3</u>	73
3.3.6	<u>Cenário 4</u>	75
3.3.7	<u>Cenário 5</u>	78
3.3.8	<u>Comparação entre os cenários</u>	79
3.4	Mapeamento de Perigo	80
3.4.1	<u>Mapeamento de perigo do cenário 1</u>	81
3.4.2	<u>Mapeamento de perigo do cenário 2</u>	87
3.4.3	<u>Mapeamento de perigo do cenário 3</u>	92
3.4.4	<u>Mapeamento de perigo do cenário 4</u>	96
3.4.5	<u>Mapeamento de perigo do cenário 5</u>	100
	CONCLUSÕES	106
	REFERÊNCIAS	109

INTRODUÇÃO

As inundações são fenômenos físicos naturais que ocorrem rotineiramente nas margens dos rios durante a estação chuvosa. Assim em regiões tropicais, nas margens dos rios, normalmente, são formados solos onde se desenvolvem espécies de plantas que se beneficiam deste extravasamento, mas ao mesmo tempo diminuem sua intensidade pelo fato de formarem uma barreira física ao escoamento (TUCCI, 1995).

Com a expansão das cidades e da população que nelas vivem, mudanças abruptas no ambiente são cada vez mais comuns, rios retinizados, superfícies impermeabilizadas e vegetação suprimida, são alterações comumente empregadas em áreas urbanas (JOSÉ; OLIVEIRA, 2013; TUCCI, 2000; TUCCI; BERTONI, 2003)

Com a expansão não planejada das cidades e de sua população, locais inapropriados foram ocupados sem estudo prévio e assim foram construídos condomínios residenciais, prédios comerciais e zonas industriais em áreas com propensão natural a inundações. Essa expansão desinformada de áreas inapropriadas faz com que o prejuízo material e humano referente às inundações seja cada vez maior (TUCCI; BERTONI, 2003).

O relatório da UNISDR; CRED (2015) coloca o Brasil entre os dez países do mundo com maior número de vítimas relacionadas a desastres naturais entre 1995-2015. Entre 1990 - 2012 de todos os desastres naturais registrados no Brasil 12% são referentes a inundações e destes 34% se concentraram na região Sudeste, deste modo o número de pessoas afetadas ultrapassou os 6 milhões (CEPED UFSC, 2013).

Devido a esta conjuntura urbana e social o mapeamento de áreas susceptíveis a inundação tem se tornado imprescindível para uma gestão urbana eficiente. Deste modo, a proposta deste trabalho é mapear o perigo referente às inundações do rio Botas, Nova Iguaçu, por meio de modelagem matemática. Devido a limitação na disponibilidade dos dados pluviométricos, o estudo do perigo, visando a análise da susceptibilidade e dos elementos expostos, é a análise mais detalhada que pode ser implementada, para o estudo de inundação.

OBJETIVO

A proposta deste trabalho é mapear o perigo em relação às inundações da bacia do Rio Botas, Nova Iguaçu, Rio de Janeiro. Para tal, será necessário realizar estudos hidrológico e hidrodinâmico para toda a bacia hidrográfica analisada.

A modelagem hidrológica fornecerá os dados de vazão em função da precipitação. Estes dados serão utilizados na modelagem hidrodinâmica para a espacialização da inundação e identificação de características como a altura da lâmina de água.

Com os resultados dos estudos hidrológico e hidrodinâmico, juntamente com os dados estruturais e sociais obtidos a partir do levantamento censitário do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) serão elaborados os mapas de risco que podem auxiliar os tomadores de decisões na gestão territorial do município. Os dados gerados neste trabalho também podem subsidiar as ações da Defesa Civil em relação as inundações do rio Botas.

1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A seguir será apresentada a definição de inundação utilizada no trabalho e alguns outros termos comumente utilizados para definir desastres naturais de origem hidrometeorológica. As definições utilizadas neste trabalho são as mesmas utilizadas pelo Cemaden (Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres naturais) definidas em Secretaria Nacional de Defesa Civil (2013).

Inundação: “submersão de áreas fora dos limites normais de um curso de água em zonas que normalmente não se encontram submersas. O transbordamento ocorre de modo gradual, geralmente ocasionado por chuvas prolongadas na bacia hidrográfica”.

Enxurrada: “escoamento superficial concentrado e com alta energia de transporte, que pode estar ou não associado ao domínio fluvial (do rio). Provocado por chuvas intensas e concentradas, normalmente em pequenas bacias de relevo acidentado. Apresenta grande potencial destrutivo”.

Alagamento: “extrapolação da capacidade de escoamento de sistemas de drenagem urbana e conseqüente acúmulo de água em áreas rebaixadas atingindo ruas, calçadas ou outras infraestruturas urbanas, em decorrência de precipitações intensas”.

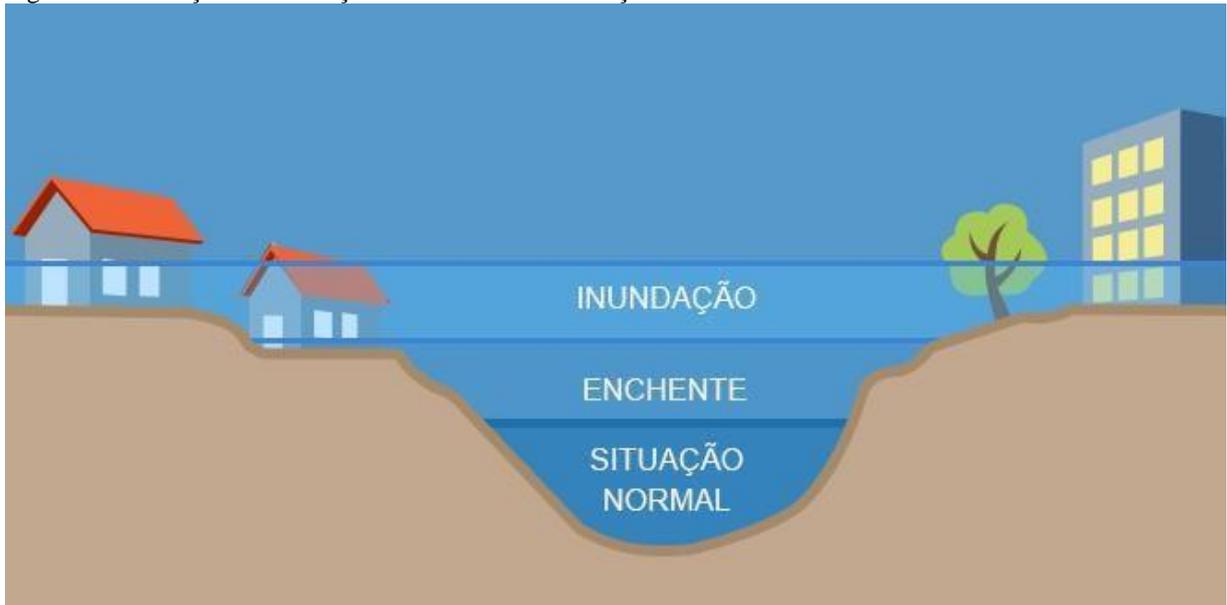
Não há definição de enchente no documento da Secretaria Nacional de Defesa Civil (2013) então será utilizada a definição do Ministério da Integração Nacional (2003).

Enchente: “elevação de forma paulatina e previsível; mantêm-se em situação de cheia durante algum tempo e, a seguir, escoam-se gradualmente. Normalmente, as inundações graduais são cíclicas e nitidamente sazonais”. As enchentes podem ser classificadas como inundações graduais.

As enchentes elevam o nível da água no rio até o leito maior, geralmente, em períodos específicos, como os períodos de chuva. As inundações são mais imprevisíveis e ocorrem quando a água escapa do leito maior do rio. Em áreas urbanas é comum a modificação e ocupação do leito maior do rio.

Como o objetivo deste trabalho é a estimativa das perdas e prejuízos causados pela elevação das águas do rio Botas os termos enchente e inundação serão aglutinados e chamados somente de inundação. A figura 1, retirada do site do Cemaden apresenta as diferentes definições supracitadas.

Figura 1 – Ilustração das definições de enchente e inundação.



Fonte: Cemaden, 2020.

1.1 Mapeamento de inundação

Bücheler *et al.* (2006) citam que as inundações nas áreas urbanas estão cada vez mais frequentes e severas. Este fato é relacionado ao crescimento populacional e urbano nas últimas décadas. Muitas planícies de inundação foram ocupadas por parques industriais e áreas residências sem controle do sistema de drenagem da região.

Além da ocupação das planícies de inundação pelas cidades, o solo é impermeabilizado e muitos cursos de água são assoreados e modificados o que aumenta o volume do escoamento superficial e acarreta maiores picos de vazão durante o período de chuva (VENDRAME; LOPES, 2005).

Com o avanço tecnológico, diferentes métodos para analisar terrenos sujeitos a inundações foram formulados. Cavalcanti *et al.* (2013) e Fernandez, (2015) utilizaram dados LiDAR (*Ligh Detection and Ranging*) na confecção do MDT (modelo digital de terreno) com alta resolução para um maior refinamento na espacialização das cotas de inundação.

Uma maneira de relacionar as características físicas da bacia a seus diferentes regimes de inundações é por meio dos índices morfométricos que analisam: área e forma da bacia, densidade hidrográfica, ordem e comprimento dos rios, dentre outros parâmetros. Em bacias urbanas, modificações antrópicas também são consideradas, como: dados de uso do solo e

áreas impermeabilizadas. Por este método foi analisada a bacia de Luís Alves, sub-bacia dorio Itajaí em Santa Catarina (BARROS *et al.*, 2016).

Outro método para estudar as inundações é por meio de modelagens que com o aumento do conhecimento científico, do poder computacional e das novas metodologias para a obtenção de dados se diversificaram e atualmente abrangem diferentes sistemas hídricos com suas características particulares. Assim, é possível analisar bacias hidrográficas urbanas e rurais de diferentes dimensões e formatos (WHEATER, 2002).

1.2 Modelagem

A modelagem é uma representação simplificada da realidade, onde correlaciona dados de entrada e de saída por meio dos modelos. Segundo Bézivin e Gerbé (2001): “Um modelo é uma simplificação de um sistema criado com um objetivo pretendido. O modelo deve ser capaz de responder a perguntas no lugar do sistema real”.

Há pelo menos duas razões para o desenvolvimento de um modelo: o primeiro é auxiliar no entendimento dos sistemas físicos, fornecendo uma estrutura na qual os dados são analisados. O segundo é fornecer uma ferramenta preditiva.

Um modelo que satisfaça o primeiro objetivo pode ser desde um relacionamento empírico ajustado aos dados para fins de interpolação até um modelo complexo que considera mudanças no tempo e no espaço. O segundo objetivo requer um modelo que passou por extensos testes e é conhecido por produzir com precisão uma saída específica para determinadas condições (GRAYSON; MOORE; MCMAHON, 1992).

A modelagem é utilizada em diversos ramos do conhecimento e a partir da década de 1960 ganha cada vez mais notoriedade nas ciências ambientais (BECK, 1991). Um dos ramos da modelagem ambiental é a modelagem hidrológica que é utilizada para representar como um todo ou partes do ciclo hidrológico.

Segundo Liu *et al.* (2017), o ciclo hidrológico representa a circulação contínua da água entre a terra, o mar e a atmosfera, por meio de diversos processos como: evaporação, condensação, precipitação, deposição, escoamento, infiltração, transpiração, fluxo de águas subterrâneas entre outros. Diferentes modelos hidrológicos foram desenvolvidos devido a

limitação na base de dados, ao conhecimento de cada processo hidrológico e ao objetivo pretendido (JAJARMIZAD; HARUN; SALARPOUR, 2012).

Atualmente na literatura há uma gama de trabalhos que analisam a evolução da modelagem hidrológica, os tipos de modelo e suas aplicações adequadas (BECK, 1991; KOKKONEN; JAKEMAN, 2001; LIU *et al.*, 2017; WHEATER, 2002). Na hidrologia a distinção entre os modelos não é clara devido à variedade de modelos e as suas sobreposições (JAJARMIZAD; HARUN; SALARPOUR, 2012). De maneira ampla os modelos podem ser divididos em métrico, conceitual, de base física e matemático.

1.2.1 Tipos de Modelos

1.2.1.1 Modelo Conceitual

O modelo conceitual parte da premissa de que sistemas ambientais complexos são imprecisos e se as observações desses fenômenos também forem imprecisas, equações matemáticas não são relevantes para fornecer respostas realistas (BECK, 1991).

Modelos conceituais trabalham com leis físicas, mas de maneira altamente simplificada. Um modelo conceitual é uma representação descritiva do sistema hidrológico que incorpora o entendimento do modelador das condições físicas, químicas e hidrológicas relevantes (LIU *et al.*, 2017).

Para Wheeler (1993) o modelo conceitual é baseado em dois critérios: primeiro, a sua estrutura é ajustada antes da modelagem, fornecendo ao modelador a opção por ajustes mais simples ou complexos dependendo da base de dados disponível e do objetivo da análise.

O segundo critério, nem todos os parâmetros do modelo tem uma interpretação física direta, esta afirmação concorda com Beck, (1991) e Wheeler (2002). Estes parâmetros são calculados por meio da calibração. Esta calibração é diferente do modelo físico, onde o parâmetro calibrado possui um intervalo de valores fixos que foram calculados anteriormente.

Yong (2003) cita que uma desvantagem dos modelos conceitual e físico são suas superparametrizações o que muitas vezes dificulta ou impossibilita uma avaliação estatística rigorosa dos resultados.

1.2.1.2 Modelo de base física

Os modelos físicos são caracterizados por representarem os processos hidrológicos por meio de leis físicas. Todos os dados de entrada são interpretados fisicamente para gerar os dados de saída.

Grayson *et al.* (1992) enfatizaram que um dos fundamentos da modelagem física é que a utilização de equações teoricamente corretas em uma determinada escala deve permitir uma aplicação universal; portanto, o modelo resultante é mais amplo do que os modelos que necessitam de calibração com dados observados de parâmetros empíricos.

Um dos pontos negativos da modelagem física é o fato de que as fórmulas e coeficientes físicos subjacente ao modelo que foram desenvolvidos em estudos de pequena escala não representem a heterogeneidade do ambiente quando se realizam estudos a nível de bacias hidrográficas. Essa questão é recorrentemente relacionada a variabilidade vertical e lateral do solo que tem suas características hidráulicas modificadas sem estarem representadas no modelo (GRAYSON; MOORE; MCMAHON, 1992; WHEATER, 2002).

Uma outra consequência do desenvolvimento do modelo de base física em áreas pequenas é a incorporação de muitos parâmetros ao modelo que não o influenciam significativamente quando analisadas áreas maiores (como bacias hidrográficas) além de dificultar a sua utilização (YOUNG, 2003).

1.2.1.3 Modelo Matemático

Modelos hidrológicos matemáticos são um conjunto claro de relações, etapas numéricas e lógicas que transformam entradas numéricas em saídas numéricas e podem ser derivados de métodos matemáticos com base física ou por métodos paramétricos e estocásticos (FREEZE; HARLAN, 1969).

Uma das propriedades mais importantes do modelo matemático é o grau de representação dos dados em relação ao espaço e ao tempo nos parâmetros de entrada e saída (FREEZE; HARLAN, 1969).

No estudo de Jajarmizad, Harun e Salarpour (2012) consideram-se as estruturas matemáticas, logo os modelos hidrológicos podem ser divididos amplamente em duas categorias, determinística e estocástica.

Na categoria determinística, o importante é o estabelecimento das relações dos dados analisados por meio de regras matemáticas, por exemplo, uma equação para cálculo da evaporação.

Os modelos estocásticos consideram a ocorrência de eventos no espaço e no tempo. Na hidrologia, os modelos estocásticos consideram os resultados cronológicos dos eventos hidrológicos, com o objetivo de explicar a não regularidade dos acontecimentos, um modelo estocástico considera a aleatoriedade do evento (CHOW, 1985).

Geralmente, o movimento da água em uma fase terrestre é calculado por um modelo determinístico, enquanto sua magnitude e recorrência são estocásticos (JAJARMIZAD; HARUN; SALARPOUR, 2012).

1.2.2 Modelagem Hidrológica

A modelagem hidrológica foca nos fluxos individuais dentro do sistema hidrológico. Diferentes parâmetros controlam as características do fluxo e assim calculam a proporção das taxas de entrada de água (chuva) subtraída das perdas (evapotranspiração, interceptação e infiltração). Este cálculo fornecer o volume de água restante que irá compor o escoamento superficial, portanto é uma ferramenta útil no estudo de inundações (ANEES *et al.*, 2016).

A seguir serão apresentados alguns modelados hidrológicos analisados.

O modelo HEC-HMS é um modelo fisicamente distribuído e conceitualmente semi-distribuído, projetado para simular processos de escoamento pluviométrico em uma ampla variedade de áreas geográficas, desde grandes suprimentos de água em bacias hidrográficas até pequenos escoamentos urbanos e naturais.

O Sistema de Modelagem Hidrológica (HMS) foi projetado para simular os processos hidrológicos completos de sistemas de bacias dendríticas. Inclui muitos procedimentos tradicionais de análise hidrológica, como cálculo de infiltração, hidrogramas unitários e roteamento hidrológico. Também inclui procedimentos para simulação contínua, como

contabilização de evapotranspiração, derretimento de neve e umidade do solo. A simulação de escoamento em grade também pode ser realizada.

O programa é um sistema de modelagem amplo onde pode representar bacias hidrográficas diferentes. Um modelo da bacia hidrográfica é construído separando o ciclo hidrológico em partes gerenciáveis e construindo limites ao redor da bacia hidrográfica de interesse.

Os fluxos de massa ou energia no ciclo hidrológico podem ser representados com um modelo matemático. Na maioria dos casos, várias opções de modelos estão disponíveis para representar cada fluxo. Cada modelo matemático incluído no programa é adequado para diferentes ambientes e sob diferentes condições.

Por volta de 1980, um consórcio de três organizações europeias desenvolveu e aplicou o *Système Hydrologique Européen* (SHE). O sistema de modelagem hidrológica integrado, MIKE SHE foi desenvolvido e ampliado por DHI *Water & Environment*. Atualmente, possui uma estrutura complexa, onde inclui um conjunto de ferramentas de pré e pós-processamento. O MIKE SHE foi confeccionado baseado em modelos físicos acoplados para o fluxo terrestre, fluxo insaturado, fluxo de água subterrânea e o fluxo no canal. Também é possível calcular a evapotranspiração baseada na vegetação, irrigação, degelo e qualidade da água. Cada um desses processos pode ser representado em diferentes níveis de distribuição espacial e complexidade, de acordo com os objetivos do estudo de modelagem, a disponibilidade de dados de campo MIKE (2017).

O MIKE SHE usa o MIKE *Hydro River* para simular o fluxo do canal. O MIKE Hydro inclui modelagem de redes de canais complexos, como lagos, reservatórios e estruturas fluviais, como portões, comportas e açudes. O MIKE SHE também está vinculado ao modelo de esgoto MOUSE, que pode ser usado para simular a interação entre as águas pluviais urbanas e as redes de esgoto sanitário e águas subterrâneas MIKE (2017).

O SWMM (*Storm Water Management Model*) considera distintos processos hidrológicos, que influenciam diretamente o escoamento nas áreas urbanas, tais como, precipitação, evapotranspiração, infiltração, fluxos trocados entre os aquíferos e o sistema de drenagem.

SWMM é um modelo dinâmico de simulação de chuva-vazão usado para evento único ou simulação a longo prazo (contínua) da quantidade e qualidade do escoamento superficial de áreas principalmente urbanas.

O componente de escoamento do SWMM opera em uma coleção de áreas de sub-bacia que recebem precipitação e geram cargas de escoamento e poluentes. A parte de roteamento

do SWMM transporta esse escoamento por meio de um sistema de tubos, canais, dispositivos de armazenamento / tratamento, bombas e reguladores.

O SWMM rastreia a quantidade e a qualidade do escoamento gerado em cada sub- bacia e a taxa de fluxo, profundidade do fluxo e qualidade da água em cada canal durante um período de simulação.

Para este trabalho foi escolhido o modelo matemático HEC-HMS por fazer parte do pacote HEC, ser gratuito e também por apresentar diferentes estudos com bons resultados práticos (LAOUACHERIA; MANSOURI, 2015; MONTE *et al.*, 2016; OLEYIBLO; LI,2010).

1.2.2.1 HEC-HMS

O Sistema de Modelagem Hidrológica (HEC-HMS) foi projetado para simular os processos de precipitação-escoamento de sistemas de bacias dendríticas. Analisa uma ampla variedade de problemas, como: o abastecimento de água de grandes bacias hidrográficas, inundações e pequenos escoamentos urbanos ou naturais das bacias hidrográficas (USACE, 2016a).

No HEC-HMS os dados de entrada são divididos em três partes: a representação física da bacia, a descrição meteorológica e a simulação hidrológica.

Na representação física da bacia hidrográfica elementos hidrológicos são conectados para simular processos de escoamento. Neste modulo são criadas as sub-bacias, os nós dos rios, além das demais estruturas como reservatórios. Também são selecionados os modelos para cálculos de perda, fluxo de base e fluxo de canais abertos. Após a escolha dos métodos são adicionadas todas as informações para realização dos cálculos.

No HEC-HMS o cálculo da perda representa a soma da infiltração, da evapotranspiração e a retenção da água em depressões. Diferentes métodos para simular as perdas são fornecidos, como: constante inicial, número da curva SCS, exponencial, Green Ampt e Smith Parlange (USACE, 2016a).

Sete métodos estão incluídos para transformar o excesso de precipitação em escoamento superficial. Os métodos do hidrograma unitário incluem as técnicas de Clark, Snyder e SCS. Também podem ser usados hidrogramas unitários especificados pelo usuário além do método ModClark (USACE, 2016a).

Quatro métodos estão disponíveis para representar as contribuições do fluxo de base. O método de recessão, constante mensal, reservatório linear e o método não linear de Boussinesq (USACE, 2016a).

Um total de seis métodos de roteamento hidrológico estão incluídos para simular o fluxo em canais abertos. O Muskingum, Muskingum-Cunge, Puls modificado e o método de ondas cinemáticas (USACE, 2016a).

A análise dos dados meteorológicos inclui radiação de ondas curtas, radiação de ondas longas, precipitação, evapotranspiração e derretimento da neve. Simulações simples de eventos requerem apenas precipitação, enquanto a simulação contínua exige adicionalmente evapotranspiração (USACE, 2016a).

Quatro métodos diferentes para analisar a precipitação histórica estão incluídos. O método do hietograma especificado pelo usuário é para dados de precipitação analisados fora do HEC-HMS. O método de pesos do medidor, a técnica de Thiessen e o método da distância inversa são para dados analisados dentro do HEC-HMS (USACE, 2016a).

A simulação hidrológica combina o modelo físico da bacia com o modelo meteorológico e as especificações de controle. Estas controlam o tempo da simulação que inclui uma data e hora de início e término e o seu intervalo.

Para a preparação dos dados pode-se utilizar o HEC GEO-HMS que é uma extensão vinculada ao ArcGIS para facilitar o pré-processamento dos dados.

1.2.2.1.1 Modelo do Hidrograma Unitário do SCS

Sherman (1932 *apud* RAMÍREZ, 2010) propôs o conceito do hidrograma unitário que é o escoamento direto resultante do volume unitário de chuva excedente de intensidade constante e distribuição uniforme sobre a área de estudo. A chuva excedente é a porcentagem da precipitação que resulta em escoamento direto, logo não é contabilizado o volume de chuva que se transforma em infiltração e/ou outro fator de perda.

Assim, ainda segundo o estudo de Ramírez (2010) as premissas fundamentais no modelo do hidrograma unitário são:

- a) as bacias hidrográficas respondem como sistemas lineares, logo uma proporção maior de chuva efetiva reflete proporcionalmente na vazão;

- b) a chuva é distribuída de forma homogênea por toda a bacia hidrográfica (área de estudo);

O modelo do hidrograma unitário incorpora os principais pontos do hidrograma, como: vazão de pico, tempo de concentração, tempo de atraso e o tempo de ascensão do hidrograma. Esses parâmetros são calculados por meio de fórmulas para gerar os modelos de hidrogramas unitários (TUCCI, 2003).

O hidrograma unitário do SCS (Serviço de Conservação do Solo) foi desenvolvido pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos, a princípio para bacias rurais, mas com o avanço da urbanização foram adicionadas bacias urbanas ao estudo. Os cálculos de referência do HEC-HMS foram retirados do documento TR-55 que apresenta as formulações para transformação da precipitação em vazão para pequenas bacias hidrográficas urbanas (USDA-NRCS, 1986).

Este modelo é adimensional, assim se modifica conforme as características físicas da bacia. Algumas dessas características são: tamanho, geomorfologia, geologia, declividade, forma, quantidade de armazenamento, grau de canalização da rede de córregos e grau de urbanização (USDA-NRCS, 2007)

Para a construção do modelo SCS são necessários os dados de vazão de pico e o tempo do início da ascensão do hidrograma até a vazão de pico. A vazão de pico é representada pela Equação 1.

$$q_p = 2Q / (T_p + T_r) \quad (1)$$

q_p = vazão de pico

Q = volume total

T_p = tempo desde o início do hidrograma até o seu pico

T_r = tempo total do hidrograma

Para simplificação dos cálculos, o hidrograma unitário do SCS pode ser representado por um triângulo, onde a sua base é medida em tempo e a sua altura é o tempo de concentração. Isso permite que a base do triângulo seja resolvida em relação ao tempo de pico, usando a semelhança de triângulos (USDA-NRCS, 2007).

Para melhor ajuste entre os hidrogramas calculado e os medido é possível modificar a relação entre os volumes de escoamento superficial nos seus ramos ascendente e descendente.

A concentração de volume nos diferentes ramos do hidrograma é controlado pelo fator de pico, onde por padrão, o lado ascendente concentra 37,5% do volume total. Em alguns casos onde é necessário modificar a forma do hidrograma para atender a uma área de estudo específica a mudança do volume no seu ramo ascendente é uma opção (USDA-NRCS, 2007). No HEC-HMS há 13 opções disponíveis de fatores de pico.

O documento USDA-NRCS (2007) afirma que o fator de pico é diretamente proporcional a forma da bacia. De tal modo, quanto maior for o fator de pico maior será o pico de descarga. Os seus valores variam de 100 (para terrenos mais planos) a 600 (para terrenos mais íngremes). O SCS disponibilizou diferentes materiais que explicam as teorias e cálculos envolvendo o desenvolvimento do seu diagrama unitário (USDA-NRCS, 1986, 2007,2010).

Outro fator muito utilizado nos cálculos de vazão é o tempo de concentração, é o tempo necessário para o escoamento se deslocar do ponto hidráulicamente mais distante na bacia hidrográfica até a saída (USDA-NRCS, 2010). Neste trabalho a escolha da fórmula para o cálculo do tempo de concentração foi realizada baseada nos dados disponíveis e no trabalho de SILVEIRA (2005) que analisou 23 fórmulas de tempos de concentração para bacias hidrográficas urbanas e rurais.

A fórmula de Carter (1961 *apud* SILVEIRA, 2005) foi selecionada devido aos seguintes critérios: fórmula confeccionada para bacias urbanas, com comprimento dos rios/calhas menores que 12 km, inclinação menor do que 0,5° e bacias com áreas menores do que 21 km². A fórmula (Equação 2) é apresentada a seguir.

$$T_c = 0,0977L^{0,6}S^{-0,2070} \quad (2)$$

T_c = tempo de concentração (h)

L = comprimento da drenagem (km)

S = declividade da drenagem (m/m)

1.2.2.1.2 Modelo CN-SCS

O HEC-HMS disponibiliza esse modelo como um método de perda. Este modelo é muito utilizado, pois necessita de poucos dados, como: umidade antecedente, uso e tipo do solo e os valores de precipitação.

O modelo CN-SCS baseia-se no conceito de que o escoamento superficial produzido por um evento chuvoso é consequência do total precipitado menos a abstração inicial (perdas).

Observações do SCS na relação entre precipitação e vazão em bacias hidrográficas naturais verificou que com a continuidade da chuva a vazão tende a se igualar a precipitação, assim constatou-se que a abstração inicial é igual a 20% do escoamento superficial.

A diferença entre precipitação e vazão muda em função da chuva e das características da bacia, portanto esta diferença pode ser explicada em função da capacidade de armazenamento de água (depressões, intercepções) e a intensidade de infiltração (Equação 3).

$$Pe = \frac{(P - 0,2S)^2}{P + 0,8S} \quad (3)$$

Pe = escoamento superficial

P = precipitação total

S = capacidade máxima de infiltração

Sendo assim, para um cálculo de escoamento direto que possa ser aplicado de forma simples foi elaborado o número da curva de escoamento superficial (CN), onde representa o escoamento superficial em função do tipo e uso do solo além da condição de umidade antecedente da bacia. A umidade da bacia é estimada em função das chuvas que ocorreram antes do evento que será simulado.

O cálculo do valor de CN é facilitado pelo fato de que apenas algumas variáveis precisam ser estimadas com base no grupo hidrológico do solo, no uso da terra e dados de chuva. E, apesar de sua simplicidade, produz resultados tão bons quanto os de modelos complexos (LASTRA *et al.*, 2008).

1.2.3 Modelagem hidrodinâmica

A modelagem hidrodinâmica fornece informações sobre as mudanças espaciais e temporais dos processos físicos que são observadas (HODGES, 2014), logo no estudo de inundações a utilização de um MDT detalhado é fundamental para se obter um resultado satisfatório (ARRIGHI; CAMPO, 2019; OGANIA *et al.*, 2019). Com o avanço tecnológico e computacional, atualmente, é possível modelar inundações em até três dimensões o que auxilia em delimitações e espessuras de lâmina d'água mais realistas.

A seguir serão apresentados alguns modelos hidrodinâmicos.

O Delft3D é, comumente, aplicado para estudar estuários e zonas costeiras por oferecer modelagens tridimensionais e modelos de ondas marinhas com interferência de ventos e transporte de sedimentos.

O modelo Delft3D resolve as equações de Navier Stokes para os fenômenos de transporte de sedimentos e de fluxo não estacionário gerados por forças meteorológicas e maregráficas por meio dos quais é possível calcular a direção e profundidade da lâmina de água (ASSELMAN *et al.*, 2009).

O programa delft3D é composto por diferentes módulos que retratam uma parte específica do modelo analisado. Os principais pacotes do software são: hidrodinâmico, qualidade da água, transporte de sedimentos, morfologia, monitoramento de partícula e ecologia. Além de possuir também ferramentas de pré-processamento além de ferramentas de pós-processamento (ASSELMAN *et al.*, 2009).

O Mike Flood é um pacote de modelagem que engloba três modelos hidrodinâmicos de inundação. Com este programa é possível modelar inundações em rios e planícies de inundação sejam sistemas de drenagem rurais, urbanas ou zonas costeiras. Esse pacote inclui os seguintes modelos: MIKE 11 para rios (1D), MIKE URBAN para sistemas de coletas (drenagem urbana artificial) e MIKE 21 para escoamento superficial em 2D (DHI MIKE SHE, 2017)

O MIKE 11 é unidimensional e concentrado é aplicado ao escoamento no canal. As zonas inundáveis são modeladas como reservatórios de acumulação, sem escoamento e em equilíbrio com o leito menor (DHI MIKE SHE, 2017).

O MIKE URBAN é um modelo concentrado e conceitual onde é possível analisar a calha do rio junto com escoamento superficial, verificar os efeitos de uma inundação fluvial

na rede de drenagem e realizar estimativas de danos causados. Uma das vantagens é integrar as interações dinâmicas costeiras, urbanas, fluviais e de várzea (DHI MIKE SHE, 2017).

O SWMM é um modelo hidrodinâmico 1D que simula a quantidade e qualidade do escoamento superficial, principalmente, em áreas urbanas. Este modelo permite simular o escoamento superficial pluvial. É utilizado como ferramenta em projetos de sistemas de drenagem de águas pluviais (LEWIS A. ROSSMAN, 2015).

O modelo SWMM permite analisar um sistema de drenagem por meio de uma interação entre quatro módulos representativos do ambiente, o módulo atmosférico (modelo hidrológico), de superfície do solo (infiltração e escoamento superficial), de águas subterrâneas e de transporte (infraestrutura que compões a rede de drenagem) (LEWIS A. ROSSMAN, 2015).

HEC-RAS é um software projetado para executar cálculos hidráulicos unidimensionais, bidimensionais ou combinados para uma rede completa de canais naturais e construídos. É um programa gratuito que calcula o perfil da superfície da água sendo os fluxos constante ou instável. Também fornece cálculos de transporte de sedimentos, análise de temperatura e qualidade da água (transporte de nutrientes) e mapeamento espacial de muitos parâmetros computados (profundidade, elevação da superfície da água, velocidade dentre outros) (USACE, 2016b).

O HEC-GeoHAS é uma extensão para ser vinculada ao programa de geoprocessamento ArcGis. Essa extensão facilita o pré-processamento dos dados de entrada para o HEC-RAS além de disponibilizar ferramentas de pós-processamento para a finalização dos mapas (USACE, 2016c).

O modelo hidrodinâmico escolhido para este trabalho é o HEC-RAS, pois apresenta resultados positivos em diversos trabalhos, como em mapeamento de regiões inundações (BEN KHALFALLAH; SAIDI, 2018; SANTOS, 2015) e bacias urbanas (ALAGHMAND *et al.*, 2010; ZOPE; ELDHO; JOTHIPRAKASH, 2017). Na comparação com outros modelos hidrodinâmicos o HEC-RAS também apresentou bons resultados (ALAGHMAND *et al.*, 2012).

1.2.3.1 HEC-RAS

HEC-RAS (*River Analysis System*) é um programa projetado para executar cálculos hidráulicos unidimensionais, bidimensionais ou combinados para uma rede completa de canais naturais e construídos.

É um programa gratuito que calcula o perfil da superfície da água de fluxo constante e instável, hidrodinâmica combinada 1D e 2D, cálculos de transporte de sedimentos, análise de temperatura e qualidade da água (transporte de nutrientes) e mapeamento espacial de muitos parâmetros computados (profundidade, elevação da superfície da água, velocidade, dentre outros) (USACE, 2016).

O programa HEC-RAS foi desenvolvido em 1995 no Centro de Engenharia Hidrológica (HEC), que é uma divisão do *Institute for Water Resources* (IWR), do Corpo de Engenheiros do Exército dos EUA. Com as constantes atualizações o programa atualmente está na versão 5,0,7 (USACE, 2016).

Na simulação de fluxo instável o sistema é capaz de simular um fluxo instável uni e bidimensional ou combinados. Os efeitos de obstruções, como pontes, também podem ser contabilizados.

São disponibilizados diferentes documentos para auxiliar o usuário no desenvolvimento dos modelos. Os documentos são: manual do usuário (instrui a respeito da manipulação do programa e análise dos resultados), manual de referência hidráulica (descreve a formulação física do modelo), guia de aplicações (são diversos exemplos de aplicação do modelo) e o manual de modelagem 2D que aborda as especificações de modelagens em 2D e 1D/2D.

O HEC-GeoHAS é uma extensão para ser vinculada ao programa ArcGIS. Essa extensão facilita na formatação dos dados de entrada para o HEC-RAS além de disponibilizar ferramentas para a finalização das modelagens em forma de mapas.

Em relação as leis físicas aplicadas a hidrodinâmica dos rios, as equações mais completas são as de Navier-Stokes que descrevem o movimento do fluido em três dimensões. No contexto da modelagem de canais e inundações 2D, simplificações nas características do fluxo são necessárias, sendo assim o fluxo é considerado: incompressível, com densidade uniforme e com pressão hidrostática, essas simplificações formam a equação de águas rasas.

Os modelos físicos aplicam os princípios de conservação da massa (continuidade) e da conservação do momento. Essas leis são expressas matematicamente na forma de equações

diferenciais parciais, pois as variáveis hidrológicas normalmente variam no tempo e espaço, sendo assim o HEC-RAS é um modelo de base física e matemática.

Como supracitado a equação da continuidade (Equação 4) trata da conservação da massa em função de um elemento de controle, as equações apresentadas foram retiradas do manual de referência hidráulica do HEC-RAS.

A equação da continuidade é:

$$\frac{\partial AT}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} - q_1 = 0 \quad (4)$$

AT = área total molhada

Q= vazão

q_1 = influxo lateral. É a entrada ou saída de vazão por unidade de largura de contribuição lateral

x = variável independente relativa à direção longitudinal ao fluxo

t = variável independente relativa ao tempo

A Equação Momentum (segunda Lei de Newton) estabelece que a variação temporal de movimento de um sistema é igual a soma das forças que atuam sobre ele. Esta é uma equação vetorial aplicada na direção do fluxo. Três forças são consideradas: pressão, gravidade (no sentido do escoamento) e arrasto ou força de atrito (nas margens e fundo do canal) (Equação 5).

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial QV}{\partial x} + gA \left(\frac{\partial z}{\partial x} + S_f \right) \quad (5)$$

Q = vazão

V = velocidade do fluxo

g = aceleração da gravidade

A = área molhada

S_f = plano de inclinação da energia do fluxo

x = variável independente relativa à direção longitudinal ao fluxo

t = variável independente relativa ao tempo

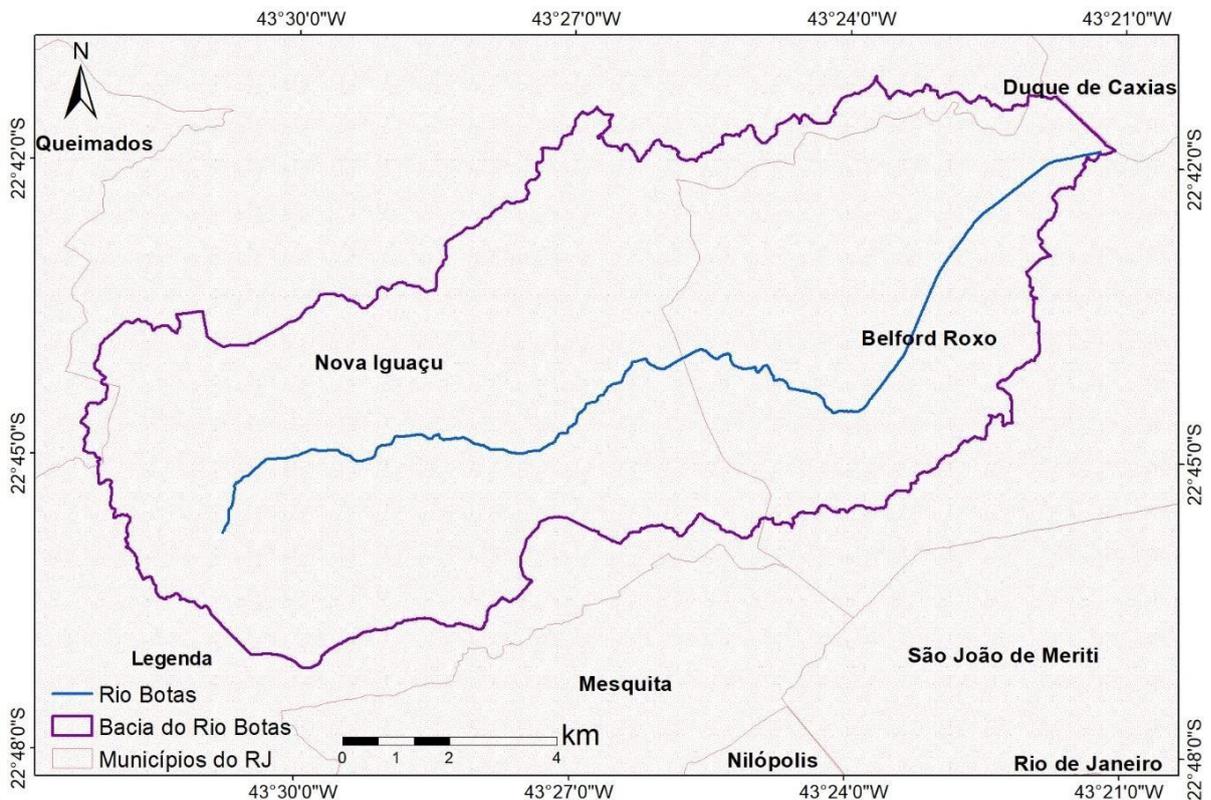
$\frac{\partial z}{\partial x}$ = inclinação da superfície da água

2 MATERIAS E MÉTODOS

2.1 Área de Estudo

A bacia do rio Botas (Figura 2) possui 117 km² e abrange parte dos municípios de Nova Iguaçu (64%), Belford Roxo (32%) e Queimados (4%), todos pertencentes a Baixada Fluminense. Em Queimados estão somente as nascentes em Nova Iguaçu o rio Botas propriamente se forma e deságua no rio Iguaçu em Belford Roxo depois de percorrer 23 km.

Figura 2 - Localização da área de estudo.



Fonte: A autora, 2020.

O rio Botas interage com o limite de diferentes bairros, assim 15 bairros são interceptados em Nova Iguaçu e 11 em Belford Roxo.

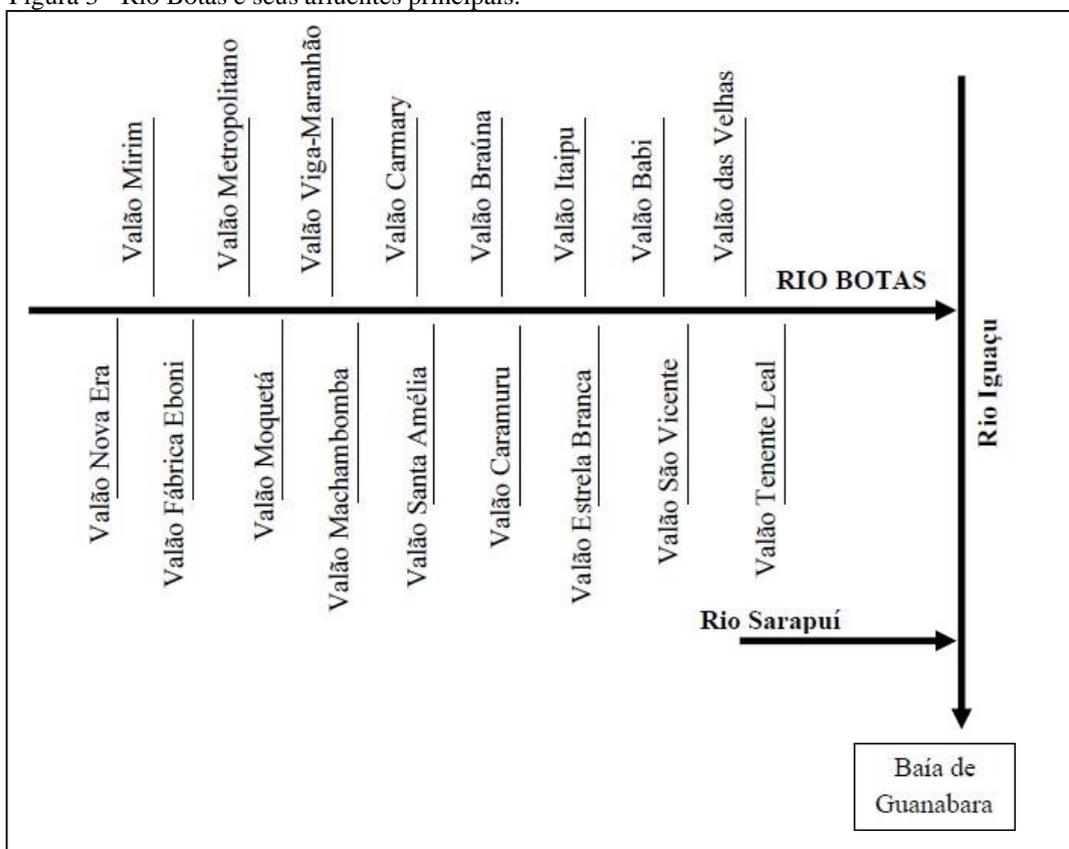
Segundo os dados do Censo (2010) a população de Nova Iguaçu tinha 796.257 habitantes, onde destes, 27% estavam nos bairros cortados pelo rio Botas. O censo também revelou que a densidade demográfica municipal era de 1.527,60 hab./km², porém para a porção da bacia do rio Botas pertencente a Nova Iguaçu era de 9.944,34 hab./km².

Em Belford Roxo a concentração da população dentro da área de estudo era ainda maior dos 469,332 habitantes, 32% moravam dentro dos limites da bacia. Já a densidade demográfica do município era de 6.031,38 hab./km² e a densidade da bacia correspondente ao município era de 3.789,2 hab./km². Esses dados do censo revelam que uma porção significativa da população desses municípios podem ser afetadas pelas inundações do rio Botas e seus afluentes.

Um dos aspectos mais relevantes da bacia para o estudo de inundações é a sua taxa de urbanização que aumentou junto com a expansão desordenada dos municípios. Em 1994, o grau de impermeabilização do solo era de 75% segundo SERLA (1996), e atualmente é de 85%, segundo a atualização realizada no mapa de CID/SECPLAN (1995). O mapa atualizado, neste trabalho, será demonstrado mais adiante.

Todos os setores censitários dentro da área analisada foram considerados urbanos. (IBGE, 2010). O rio Botas possui um total de 17 afluentes principais e todos classificados como valão devido a poluição de suas águas, algo constante nos cursos de águas urbanas do Brasil (Figura 3) (SERLA,1996).

Figura 3 - Rio Botas e seus afluentes principais.



Fonte: SERLA (1996).

A bacia do rio Botas localiza-se na Região Hidrográfica da Guanabara na bacia do rio Iguaçu que apresenta temperatura média anual de 22°C e uma precipitação média anual de 1700 mm (SERLA,1996). Geomorfologicamente, a região mais elevada é a APA (Área de Preservação Ambiental) do Gericinó-Mendanha com cota máxima de 900 m. Os demais morros possuem elevação entorno dos 55 m a 90 m, porém a maior parte da bacia é composta por áreas planas e baixas com altitude de até 22 m.

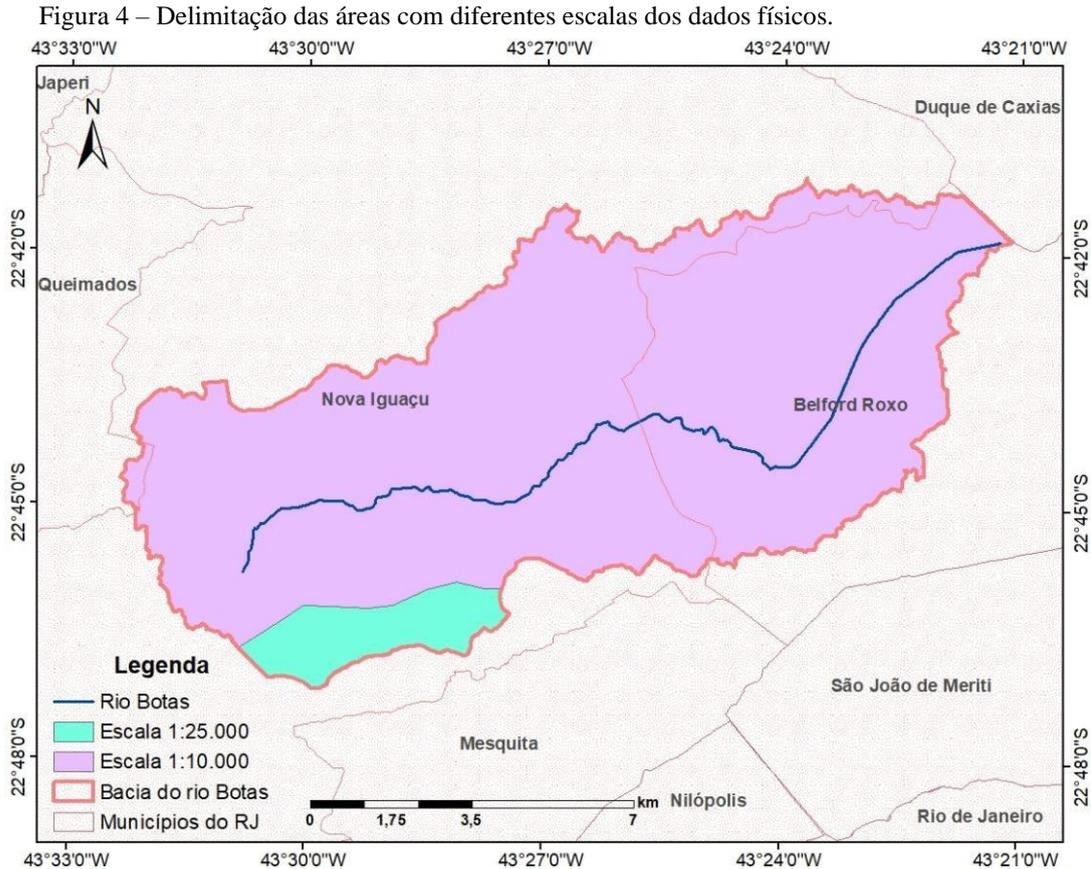
2.2 Material

Diferentes dados foram obtidos para o pré-processamento dos dados de entrada dos modelos. Para as modelagens foram levantados dados meteorológicos, hidrológicos e hidrodinâmicos do rio Botas. Todos os dados foram processados com o Datum SIRGAS 2000 UTM zona 23.

Para a confecção do MDE foram utilizados dados em duas escalas diferentes (1:10.000 e 1:25.000). Esse recurso foi utilizado para total cobertura da região analisada com o resultado mais detalhado possível.

Bases cartográficas na escala de 1:10.000 foram obtidas do projeto de levantamento cartográfico devido a construção do Arco Metropolitano (SEGOV UGP/METROPOLITANA, 2015). Os dados são: hidrografia, áreas alagadas, curvas de nível com distância de 1 m além de 21.109 pontos cotados. Esses dados foram fornecidos pela Defesa Civil de Nova Iguaçu.

Os dados na escala 1:25.000 obtidos no site do IBGE foram: hidrografia e curvas de nível com espaçamento de 10 m. A figura 4 apresenta a área de cobertura das diferentes escalas.



Os dados de precipitação foram obtidos de duas fontes. Os dados de dez estações com registros de chuva de 2014 até 2017 e com resolução temporal de 10 min foram retirados da página na Internet do CEMADEN

Os dados da estação meteorológica Ecologia Agrícola, com resolução temporal horária, foram obtidos na página na Internet do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia). A estação Ecologia Agrícola se encontra no município de Seropédica, logo está fora da área da bacia do rio Botas. Porém foi selecionada para o estudo por se tratar de uma estação com 18 anos de dados (2000 – 2018) e por não haver nenhum impedimento orográfico que bloqueie as correntes de ar.

Os seguintes programas foram utilizados na elaboração da dissertação: ArcGis 10,5 para obtenção e tratamento dos dados geográficos. Os programas HEC-RAS, HEC GEO-RAS, HEC-HMS, HEC-GEOHMS para pré-processamento dos dados e realização das modelagens hidráulica e hidrológica, respectivamente. Além, dos programas Word e Excel. O Excel foi utilizado para a confecção das tabelas e o Word para confeccionar a parte escrita desta dissertação.

2.3 Metodologia

Para a obtenção e confecção dos dados necessários à modelagem o trabalho foi dividido em duas etapas, uma relacionada a confecção dos dados físicos do terreno e outra relativa as chuvas.

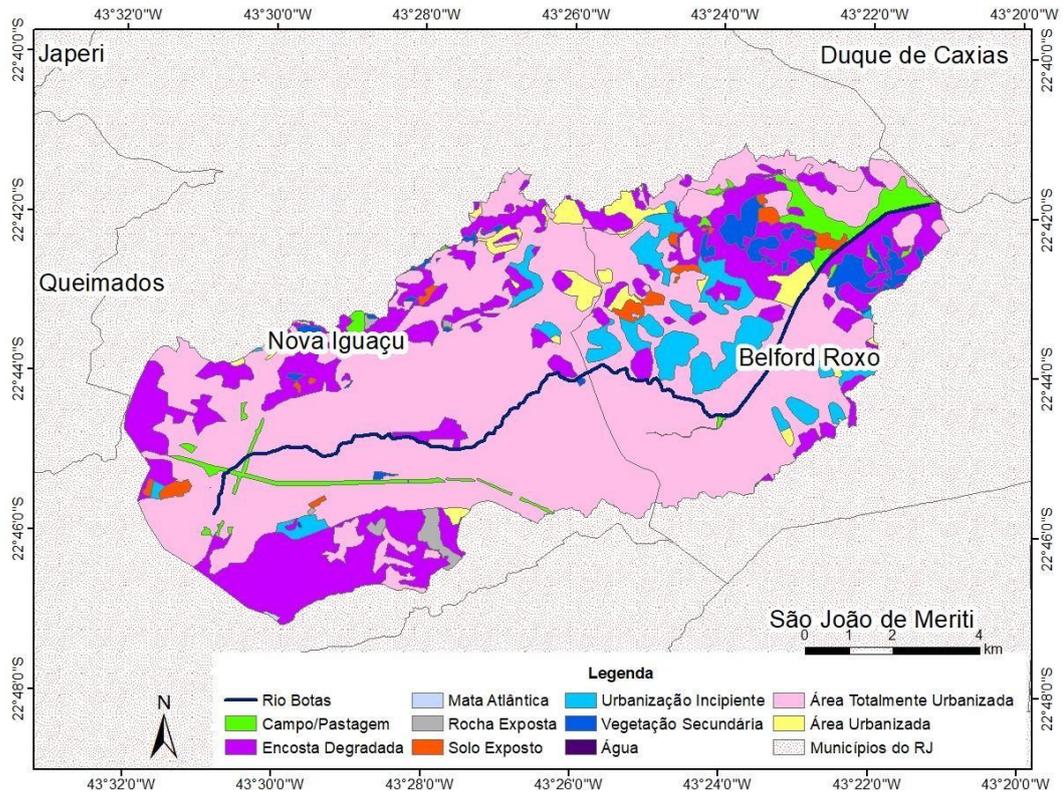
O primeiro passo em relação aos dados físicos foi a confecção do MDE, mas para isso foram realizados os seguintes processamentos nos dados:

- a) os dados de hidrografia nas escalas de 1:10.000 e 1:25.000 foram integrados de modo que a hidrografia ficasse contínua. A ferramenta “topologia” do ArcGis foi utilizada para verificar direções de fluxo inversas e drenagens descontinuadas;
- b) as curvas de nível de 1:10.000 e 1:25.000 também foram conectadas por meio da curva-mestra como referência;
- c) o arquivo de áreas alagadas na escala de 1:10.000 foi atualizado por meio de imagens de satélite disponibilizadas no próprio ArcGis.

Após estes procedimentos foram confeccionados MDEs hidrologicamente consistentes com resoluções de 1 m, 2 m e 5 m por meio do interpolador *topo to raster* e por último foi utilizado o filtro *Fill* para corrigir as imperfeições residuais no terreno. Com o MDE de 5 m foi delimitada a bacia do rio Botas.

O mapa de uso e ocupação do solo de CID/SECPLAN (1995) na escala de 1:10,000 foi atualizado por meio de imagens de satélite disponibilizadas pelo ArcGis Online. Esse mapa (Figura 5) foi utilizado tanto na modelagem hidrológica quanto na hidráulica.

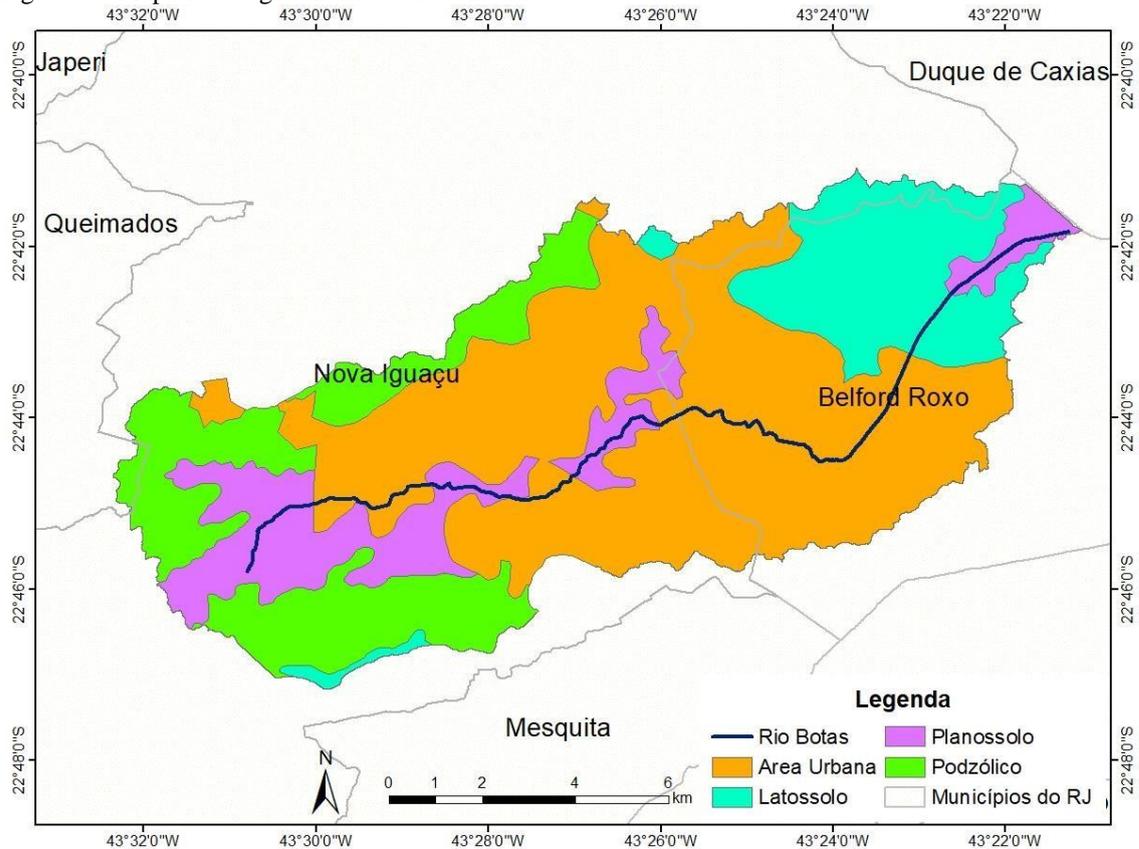
Figura 5 - Mapa de Uso do Solo da Bacia do Rio Botas



Fonte: Embrapa, 2017.

A figura 6 representa um mapa pedológico com dados da Embrapa (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária) na escala de 1:500,000, o mapa foi obtido em seu repositório - GEOINFO (Infraestrutura de Dados Espaciais da Embrapa).

Figura 6 - Mapa Pedológico Da Bacia Do Rio Botas.



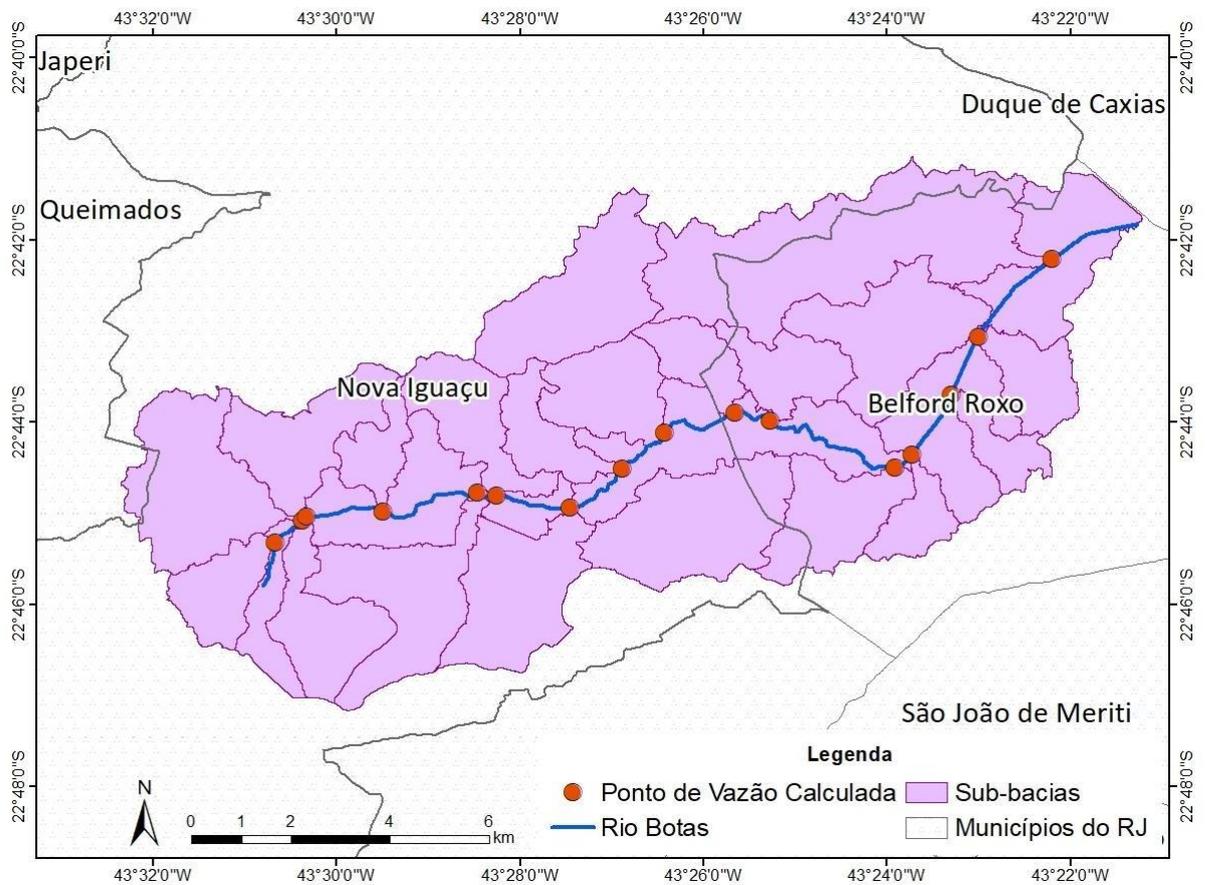
Fonte: Embrapa, 2017

2.3.1 Modelagem hidrológica

Para a preparação dos dados da modelagem hidrológica primeiro foi utilizado o HEC-GeoHMS para pré-processar os dados que são inseridos posteriormente no HEC-HMS. Primeiro foram gerados os dados físicos da bacia, um novo MDE hidrológicamente consistido, onde as calhas do sistema fluvial foram reforçadas. Com os dados deste novo MDE, também foram geradas diversas sub-bacias. A figura 7 apresenta a espacialização das sub-bacias utilizadas no trabalho.

Nas junções das sub-bacias com o rio Botas foram criados pontos de cálculos de vazão para gerar dados detalhados ao longo do rio.

Figura 7 - Sub-bacias do rio Botas e os pontos de cálculos de vazão.



Fonte: A autora, 2019.

Para o cálculo da infiltração será utilizado o método de perda do SCS, para isto é necessário fornecer os valores de CN e a taxa de impermeabilização do solo por sub-bacia. Como já mencionado o CN é calculado em função do tipo de solo, precedente de chuva e uso do solo.

O primeiro passo é classificar o tipo de solo em função dos grupos de solos já estabelecidos para o modelo, esses tipos são (USDA-NRCS, 1986):

- a) grupo A – solos que apresentam baixo potencial de escoamento e alta infiltração mesmo quando completamente molhados. Eles são constituídos, basicamente, de materiais na granulometria de areia à cascalho e possuem alta taxa de transmissão de água;
- b) grupo B – os solos apresentam taxas moderadas de infiltração quando completamente molhados, são profundos, de moderados a bem drenados com texturas finas a moderadamente grossas;

- c) grupo C – o solo possui baixa taxa de transmissão quando completamente molhado e apresenta uma camada impermeável que impede o movimento descendente da água, a textura é de moderadamente fina a fina;
- d) grupo D – apresentam alto potencial de escoamento com baixa infiltração quando completamente molhado e são principalmente solos argilosos, com lençol freático permanente ou camada de argila perto ou na superfície.

Os solos encontrados na área de estudo foram confrontados com essas definições e alocados dentro dos grupos mais correlacionáveis. Para uma melhor correspondência foi utilizado o artigo que trata da correlação dos grupos de solos do modelo SCS e as características de solos tropicais, mais especificamente, solos brasileiros.

Para a definição dos tipos de solos foram utilizados os documentos Classificação de Solos da Embrapa e o Solos do Estado do Rio de Janeiro (EMBRAPA. CENTRO NACIONAL DE PESQUISA DE SOLOS, 2006; FILHO; LUMBRERAS; SANTOS, 2000).

A seguir são apresentados os tipos de solos da área de estudo com as suas definições e classificações correspondentes aos grupos do modelo SCS.

- a) **podzólico vermelho-amarelo, atualmente classificado como argissolo vermelho-amarelo** - a textura varia de argilosa a arenosa no horizonte A e de média a muito argilosa no horizonte B, sempre há incremento na porção de argila em função da profundidade. Possuem profundidade variável e são de forte a imperfeitamente drenados. Os argissolos vermelho-amarelo do estado do Rio de Janeiro possuem argila de baixa atividade e transição não abrupta. Nesta dissertação correspondem aos solos do Grupo C;
- b) **Planossolo** – são solos minerais que apresentam desargilinação vigorosa da parte superficial e acumulação ou concentração intensa de argila no horizonte subsuperficial, conferindo uma característica distintiva. Normalmente adensados devido ao acúmulo de argila em subsuperfície apresentam, por vezes, um horizonte pã (horizonte endurecido ou cimentado quando seco). Compreende solos minerais imperfeitamente ou mal drenados. A presença do horizonte endurecido é responsável pela formação de lençol freático suspenso de existência periódica durante o ano. Nesta dissertação correspondem aos solos do Grupo D;
- c) **latossolo vermelho** - são solos profundos, porosos a muito porosos, a textura alterna de argila a areia. Têm sequência de horizontes A, B e C com

pouca diferenciação de sub-horizontes e transições usualmente difusas ou graduais. A sílica e as bases trocáveis (Ca, Mg e K) são removidas do sistema, levando ao enriquecimento de óxidos de ferro e de alumínio que são agentes aglutinantes dando a massa do solo aspecto maciço e poroso, conferindo uma estrutura granular muito pequena. Nesta dissertação correspondem aos solos do Grupo B.

Um outro critério para o cálculo da infiltração é a chuva antecedente que foi dividida em três classes: I – para condições secas, II para condições médias e III para condições úmidas (USDA-SCS, 2004). Neste trabalho será utilizada a classe II, pois as inundações são provocadas em época de verão onde as chuvas são recorrentes.

Depois de selecionar o grupo a cada qual tipo de solo pertence e associar ao uso da terra fornecido pelo modelo SCS é possível obter os valores de CN. A tabela 1 apresenta a relação entre a cobertura do solo confeccionada para a área de estudo com a fornecida pelo modelo.

Tabela 1– Relação entre o uso do solo da bacia do rio Botas com a cobertura do solo do modelo SCS.

Uso do Solo	CN para escoamento superficial em função do tipo de solo
Campo/Pastagem	Espaços abertos com 50% -75% de grama
Encosta Degradada	Espaços abertos com 50% -75% de grama
Solo Exposto	Áreas permeáveis e sem vegetação
Mata Atlântica	Floresta com mais 75% de áreas cobertas
Vegetação Secundária	Floresta com mais 75% de áreas cobertas

Fonte: A autora, 2019.

Os valores de CN foram calculados para cada sub-bacia. Pelo fato de cada sub-bacia possuir mais de uma pedologia e tipo de uso do solo foi realizada uma média ponderada. Nesta média, a área de cada conjunto de pedologia e uso do foi somada e dividida pela área da sub-bacia.

2.3.2 Modelagem Hidrodinâmica

Os dados gerados para a modelagem hidrológica são os mesmos utilizados na modelagem hidrodinâmica, como o MDE, mapa de uso e cobertura do solo e o mapa fluvial com o rio Botas e os afluentes principais.

No HEC-RAS é utilizado o MDE com resolução de 1m, o mapa de uso e cobertura do solo para a espacialização dos valores de Manning. As vazões utilizadas foram geradas pelo HEC-HMS e inseridas ao longo do rio Botas nos pontos apresentados pela figura 7.

Em relação às configurações de parâmetros, todos os modelos foram gerados para fluxos instáveis, com intervalo de computação (*time step*) de 15 segundos baseados no Número de *Courant* e resolvendo as equações completas de Saint – Venant.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Foram utilizadas modelagens hidrológicas e hidrodinâmicas para mapear as áreas de perigo de inundação do rio Botas que intercepta os municípios de Nova Iguaçu e de Belford Roxo, Rio de Janeiro.

3.1 Modelagem Hidrológica

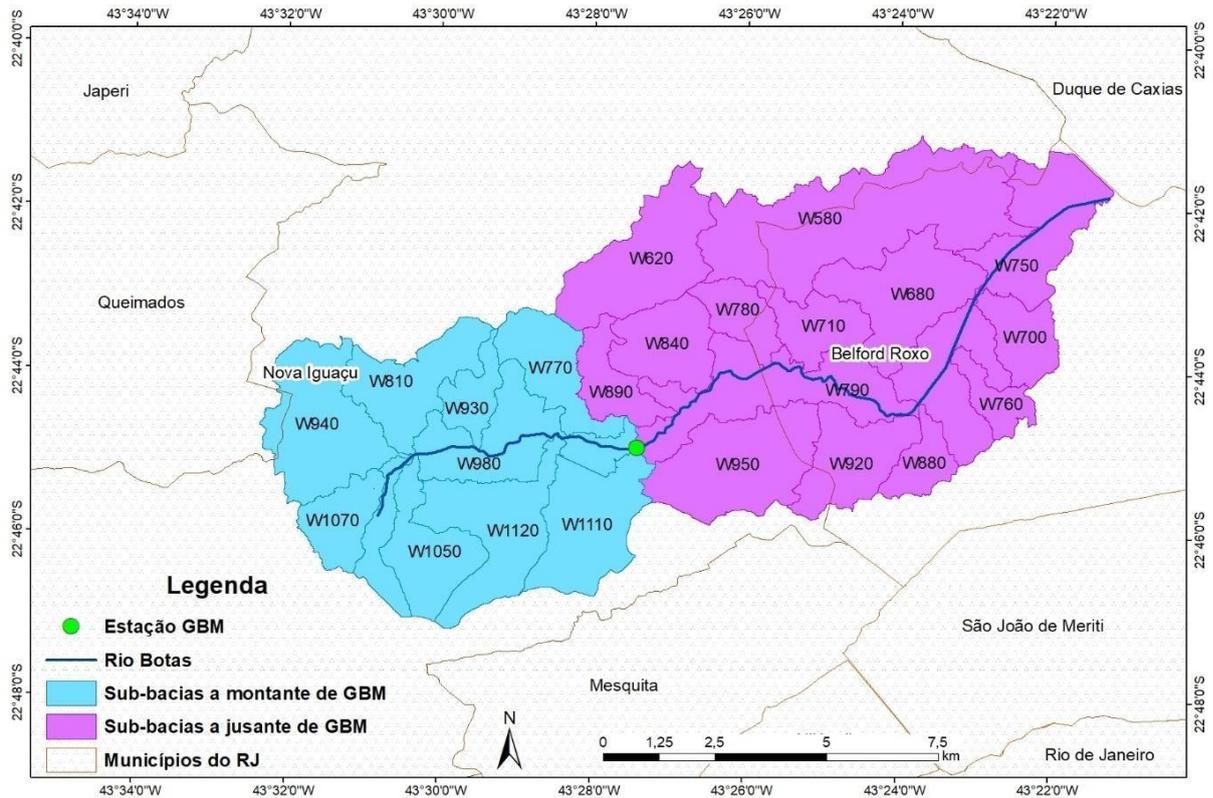
Para a confecção da modelagem hidrológica foram filtrados os dados da estação pluviométrica – GBM Nova Iguaçu – do INEA. O CEMADEN possui uma estação hidrológica no rio Botas, no município de Belford Roxo, mas após análise dos dados esta estação foi descartada por não apresentar valores reais do nível da água.

O segundo passo foi a verificação da sobreposição dos dados de vazão e de precipitação, já que o registro das estações pluviométricas do CEMADEN nos municípios de Nova Iguaçu e Belford Roxo estão descontinuados.

A estação GBM só tem dados de 2018 até 2020. Das dez estações pluviométricas que recobrem a bacia estudada somente três estações, Palhada (Nova Iguaçu), Nova Aurora (Nova Iguaçu) e Jardim Ocidental (Belford Roxo), possuem série histórica que se sobreponha aos dados da estação GBM para a calibração e validação do modelo.

Como não há medidas de vazões para diferentes eventos de chuva não foi possível calcular a curva-chave do rio Botas, assim o modelo foi calibrado e verificado em função dos dados de altura da lâmina d'água registada na estação GBM (Figura 8).

Figura 8 - Estação fluviométrica GBM e sua relação com as sub-bacias do rio Botas.



Fonte: A autora, 2020.

Os eventos escolhidos para calibração e validação foram selecionados em função da altura do nível da água registrado. Todos os eventos possuem nível de no mínimo 1,4 m já que a altura da lâmina de água no rio Botas sem chuva é menor do que 50 cm, segundo análise dos dados fluviométricos. Também não há nenhum registro do nível da água maior que 4 m. Assim foram selecionados quatro eventos para calibração e três eventos de validação.

Para calibrar o modelo foram modificados os seguintes parâmetros: taxa de impermeabilidade e CN referentes ao modelo de perda e o *lag time* e o fator de pico referentes ao modelo do hidrograma unitário.

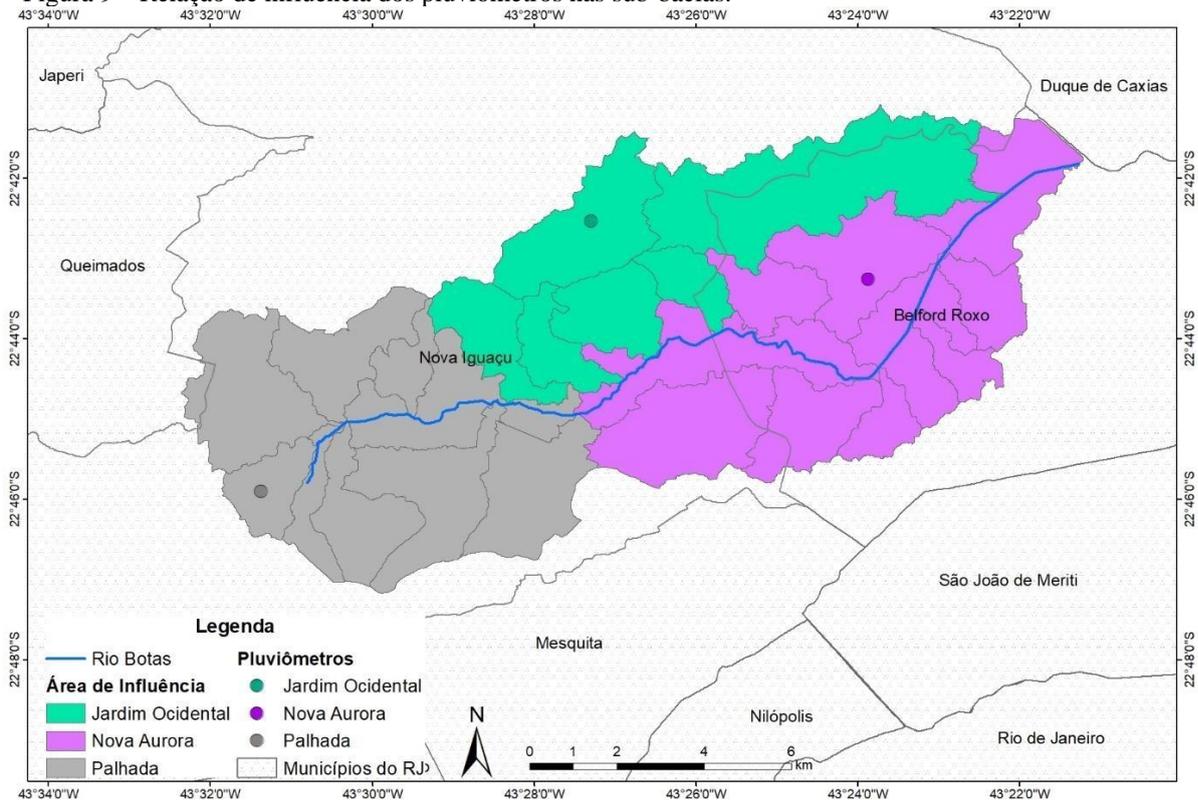
3.1.1 Calibração

Como apresentado no tópico anterior, só foi possível calibrar um ponto da bacia, desta forma as sub-bacias a montante da estação GBM tiveram seus valores alterados para acalibração neste ponto. As sub-bacias a jusante tiveram seus valores iniciais modificados em

função da similaridade com as sub-bacias a montante. Os nomes e as localizações das sub-bacias em relação a estação GBM se encontram na figura 8.

O primeiro evento simulado ocorreu no intervalo entre 04 e 05 de fevereiro de 2019 das 19 h 20 min às 08 h 20 min. Foram utilizadas as estações pluviométricas Palhada, Nova Aurora e Jardim Ocidental. Como o modelo é semi-distribuído é possível selecionar diferentes séries de chuva para sub-bacias distintas (Figura 9). O maior nível alcançado pela água foi 3,67m.

Figura 9 – Relação de influência dos pluviômetros nas sub-bacias.



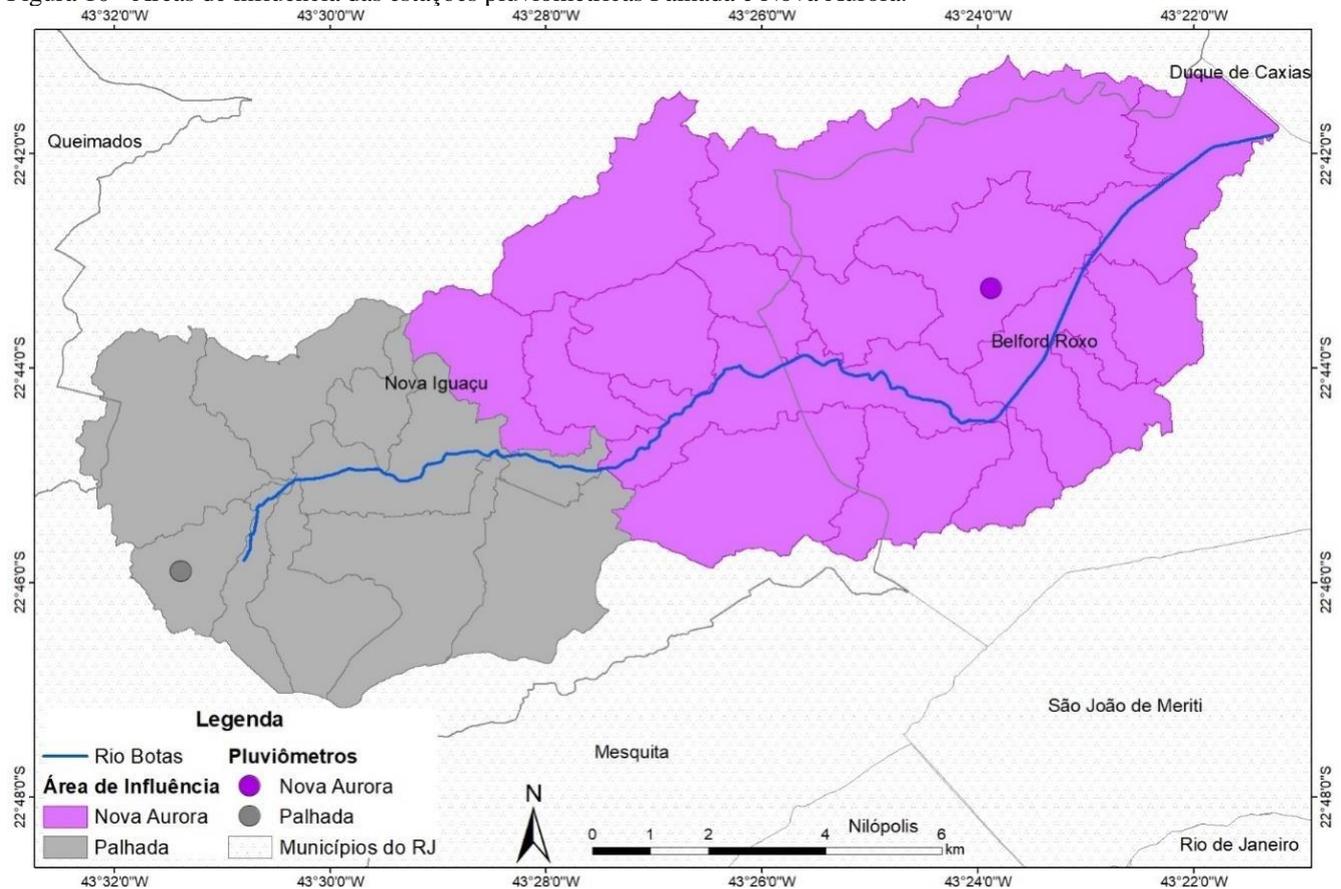
Fonte: A autora, 2020.

O segundo evento simulado ocorreu no período entre 01 e 02 de março de 2019 das 23 h 15 min às 07 h 15 min. Em relação à precipitação foi realizada a mesma distribuição da primeira simulação. O nível máximo da água foi de 2,04 m.

O terceiro evento simulado ocorreu no dia 20 de fevereiro de 2019 das 00 h 30 min às 07 h 15 min. Em relação à precipitação, a distribuição foi diferente das simulações anteriores, pois não há registro na estação Jardim Ocidental (Figura 10). O nível máximo da água foi de 2,41 m.

O quarto evento de simulação ocorreu no intervalo entre 08 e 09 de abril de 2019 das 20 h 40 min até às 18 h 00 min. Em relação à precipitação foi realizada a mesma distribuição da primeira simulação. O nível máximo da água foi de 1,43 m.

Figura 10 - Áreas de influência das estações pluviométricas Palhada e Nova Aurora.



Fonte: A autora, 2020.

A seguir serão apresentados os valores iniciais e suas respectivas alterações para calibração do modelo. Todas as sub-bacias tiveram a sua taxa de impermeabilidade superestimada. As sub-bacias com a menores taxas de impermeabilidade inicial foram as que mais tiveram seus valores alterados.

A taxa de impermeabilização interfere diretamente no escoamento superficial, pois o modelo de perda SCS considera escoamento total nas áreas inseridas como impermeáveis (Tabela 2). Uma diferença nestes valores era esperada devido a representação cartográfica (escala 1:10.000) e também pela infiltração não contabilizada que ocorre nas áreas urbanas já que as mesmas não são totalmente impermeáveis.

Tabela 2 – Valores de urbanização inicial e calibrado e as suas diferenças percentuais.

Sub-Bacia	área urbana calculada	área urbana calibrada	diferença
W1050	35,65 %	22 %	38,29 %
W1070	94,11 %	80 %	15,00 %
W1110	62,38 %	52 %	16,64 %
W1120	56,94 %	43 %	24,49 %
W770	73,01 %	63 %	13,71 %
W810	62,55 %	51 %	1,47 %
W930	60,33 %	50 %	17,13 %
W940	40,54 %	30 %	26,00 %
W980	83,77 %	73 %	12,85 %

Fonte: A autora, 2020.

O critério mais alterado foi o CN devido à falta de dados hidráulicos do solo e a escala do mapa pedológico ser de 1:250.000 o que não condiz com o detalhe necessário ao desenvolvimento do trabalho.

Os valores iniciais e calibrados de CN são demonstrados na tabela 3. Das nove sub-bacias analisadas somente duas não apresentaram superestimação nos valores de CN o que indica que ocorre mais perda nas sub-bacias do que o estipulado inicialmente. A superestimação dos resultados era esperada já que os valores de impermeabilidade, apresentados anteriormente, foram utilizados para o cálculo de CN.

As sub-bacias que apresentam grau de impermeabilidade maior que 70% (W1070 e W980) são as únicas com os valores subestimados.

Tabela 3 - Valores iniciais e finais de CN, suas diferenças percentuais e o grau de impermeabilização.

Sub-Bacias	CN Inicial	CN Calibrado	Diferença (%)	Taxa de Urbanização (%)
W1050	50,98	13,0	74	22
W1070	5,28	12,0	127	80
W1110	30,29	10,0	66	52
W1120	32,92	9,80	70	43
W770	21,30	10,80	49	63
W810	27,85	10,0	64,	51
W930	31,78	11,0	65	50
W940	48,56	11,0	77	30
W980	13,28	23,75	78	73

Fonte: A autora, 2020.

Os valores finais de CN variaram de 9,8 a 13, o único valor que difere deste intervalo é o da sub-bacia W980, cujo sua única característica distinta das demais é o seu formato mais alongado. A forma da bacia é um dos critérios utilizados na confecção das relações empíricas do modelo de perda SCS o que pode justificar a diferença assinalada.

O fator de pico também foi selecionado em função das características da bacia. Na calibração foi perceptível a relação entre a taxa de impermeabilidade e o fator de pico (Tabela 4).

Tabela 4 – Relação entre as taxas de urbanização e o fator de pico.

Taxa de Urbanização (%)	Fator de Pico
Maior que 60	300
De 45 - 60	484
Até 45	150

Fonte: A autora, 2020.

Outro fator que pode ser calibrado é o *Lag Time* que é derivado do tempo de concentração pela Equação 6 (USDA-NRCS, 2010). Os dados estão apresentados na tabela 5.

$$LT = 0,6Tc \quad (6)$$

$LT = \textit{lag time}$

$Tc = \textit{tempo de concentração}$

Tabela 5 – Valores dos tempos de concentração e dos *lag times* iniciais e calibrados.

Sub-Bacias	TC Calculado (h)	<i>Lag Time</i> Calculado (h)	<i>Lag Time</i> Calibrado (h)
W1070	5,60	3,36	1,50
W940	3,86	2,32	1,53
W810	4,14	2,48	1,55
W930	8,98	5,39	1,53
W770	4,30	2,58	1,42
W1110	4,11	2,46	1,55
W1120	3,67	2,20	1,47
W1050	3,93	2,36	1,52
W980	4,32	2,59	1,67

Fonte: A autora, 2020.

As três menores diferenças entre o *lag time* inicial e o calibrado estão justamente nas três bacias que apresentaram as maiores diferenças de taxa de impermeabilização.

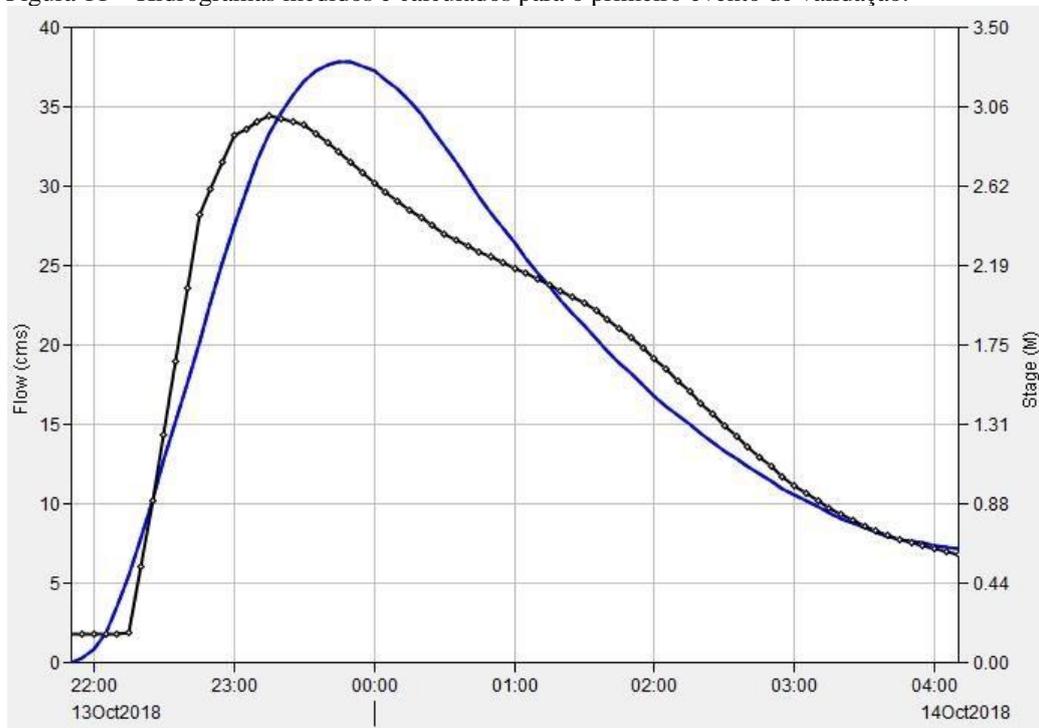
3.1.2 Validação

Foram realizadas validações para três eventos com os valores do nível da d'água na estação pluviométrica GBM.

O primeiro evento simulado ocorreu de 13 a 14 de outubro de 2018 das 21 h 50 min às 04 h 10 min (Figura 11). Para os dados de chuva foram utilizadas as estações pluviométricas Palhada e Nova Aurora.

Os ramos ascendentes e descendentes do hidrograma estão ajustados. Houve uma pequena diferença no tempo de pico em meia hora e na altura da água em menos de 0,5 m.

Figura 11 – Hidrogramas medidos e calculados para o primeiro evento de validação.



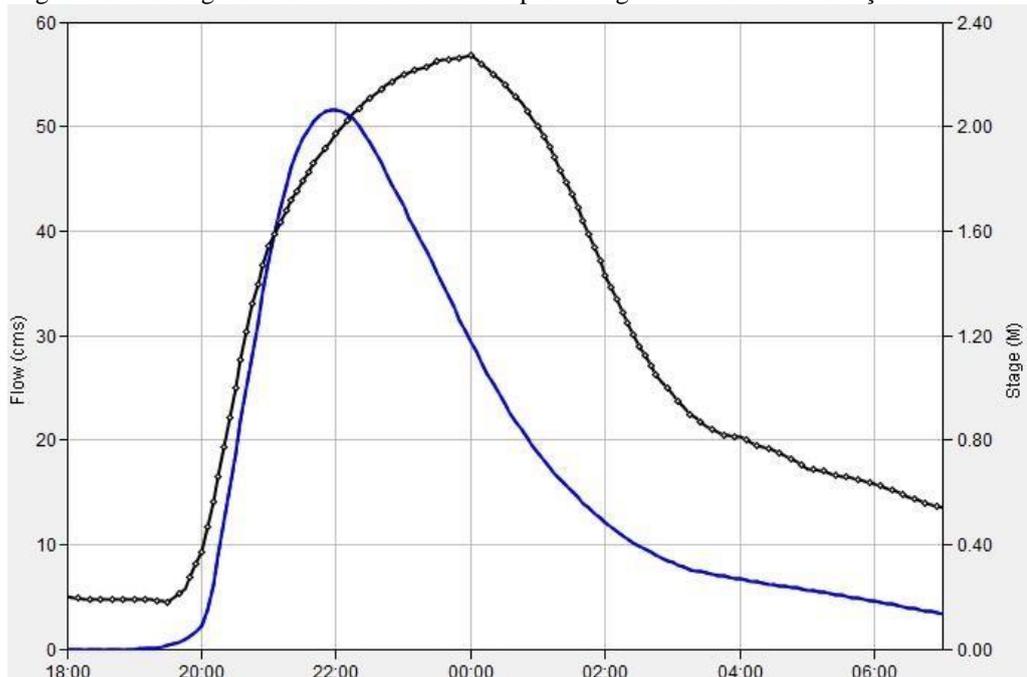
Legenda: valores observados em linha preta e os valores calculados em linha azul.

Fonte: A autora, 2020.

O segundo evento simulado ocorreu de 03 a 04 de março de 2019 das 18 h 00 min às 07 h 00 min (Figura 12). Para os dados de chuva foram utilizadas as estações pluviométricas Palhada, Nova Aurora e Jardim Ocidental.

Os resultados calculados e medidos são próximos somente no início (até às 21h) do ramo de ascensão do hidrograma. A diferença no tempo de pico é de aproximadamente 2h.

Figura 12 - Hidrogramas medidos e calculados para o segundo evento de validação.



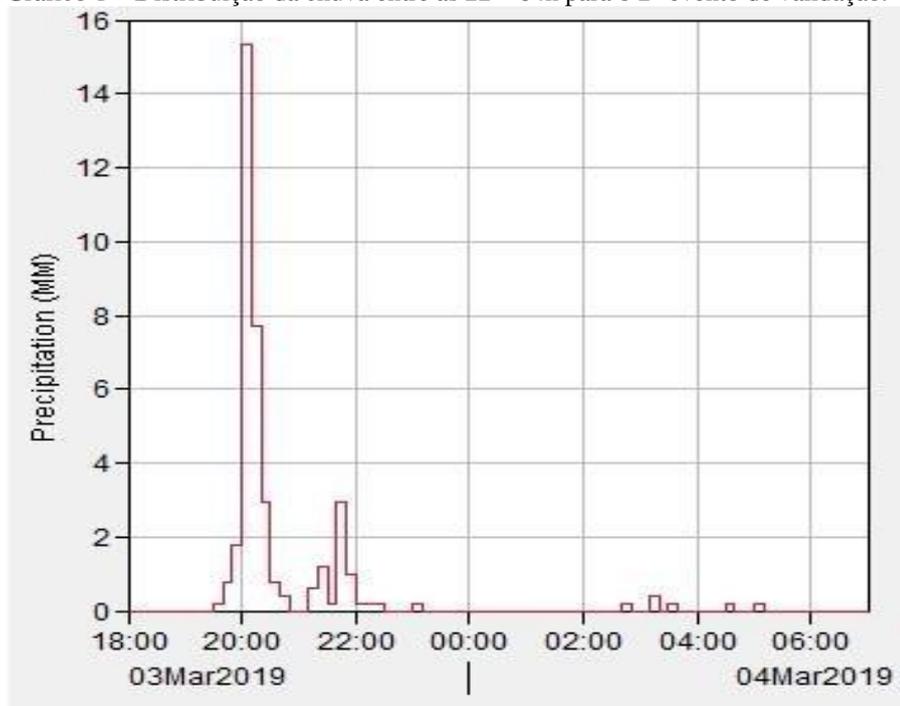
Legenda: valores observados em linha preta e os valores calculados em linha azul.

Fonte: A autora, 2020.

Por meio da análise do registro de chuva e da alteração do nível da água na estação GBM é possível entender que nem sempre há uma correlação entre os registros. Há eventos de aumento na profundidade da água do rio sem registro de chuva ou volume de chuva que justifique o tamanho da mudança na profundidade da água.

O gráfico 1 apresenta a quantidade de chuva que foi registrada na estação Palhada para este evento, pois esta é a única estação pluviométrica aplicada no estudo que se localiza antes da estação GBM.

Gráfico 1 – Distribuição da chuva entre as 22 – 04h para o 2º evento de validação.



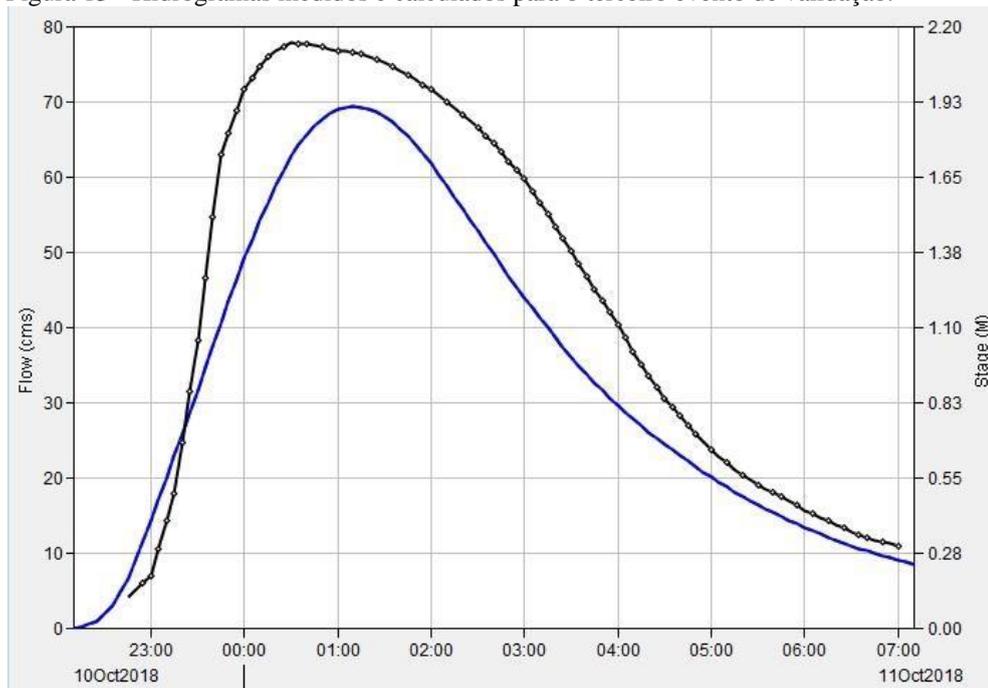
Fonte: A autora, 2020.

Neste gráfico é possível observar que por volta das 22 h 30 min a intensidade da chuva diminuiu drasticamente e cessou por volta de 23 h 30 min e não apresentou registro com mais de 1 mm. Esta distribuição da chuva não explica o hidrograma com os valores medidos da figura 12.

Além deste evento ainda há mais dois registros onde a precipitação não corresponde a elevação no nível da água no rio. No evento do dia 19 de maio de 2018 a profundidade da água alcançou 1,25 m, subindo 1,05 m em 1 h, com apenas 4,35 mm em 19 h. No dia 16 de março de 2019 a altura da água atingiu 2 m, subindo 1,87 m em 3 h, com apenas 1,79 mm em 19 h.

O terceiro evento simulado ocorreu entre 10 e 11 de outubro de 2018 das 22 h 10 min às 07 h 10 min (Figura 13). Para os dados de chuva foram utilizadas as estações pluviométricas Palhada e Nova Aurora. A diferença entre os tempos de pico é de 40 min como dos estágios é por volta de 40 cm.

Figura 13 - Hidrogramas medidos e calculados para o terceiro evento de validação.



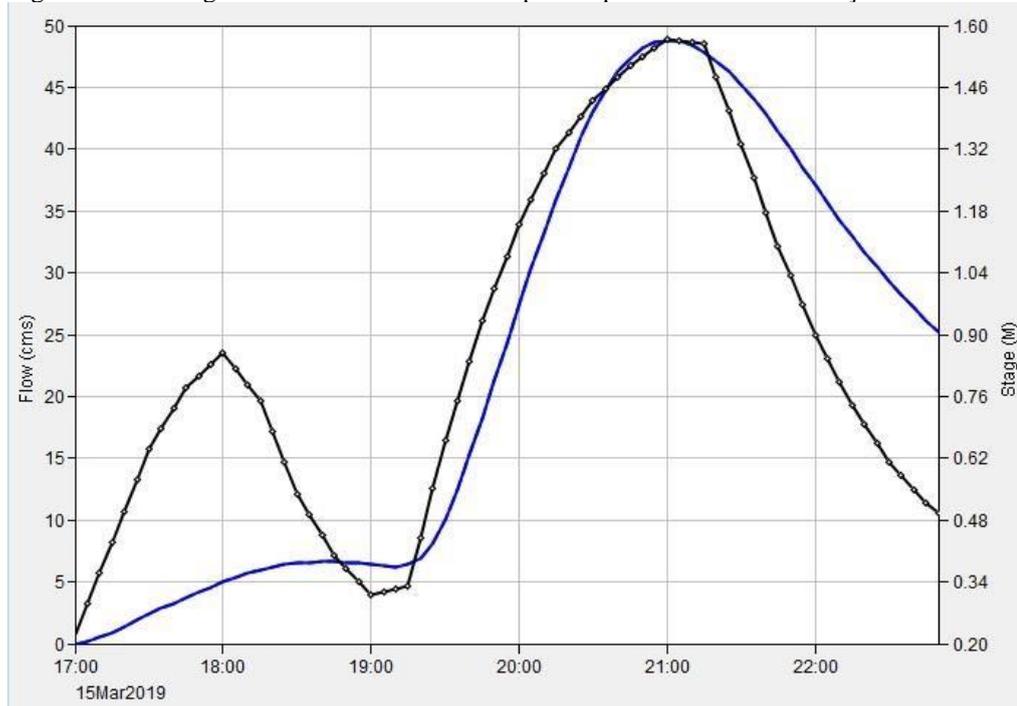
Legenda: valores observados em linha preta e os valores calculados em linha azul.

Fonte: A autora, 2020.

O quarto evento foi o do dia 15 de março de 2019 das 17 h 00 min às 19 h 50 min (Figura 14). Para os dados de chuva foram utilizadas as estações pluviométricas Palhada, Nova Aurora e Jardim Ocidental.

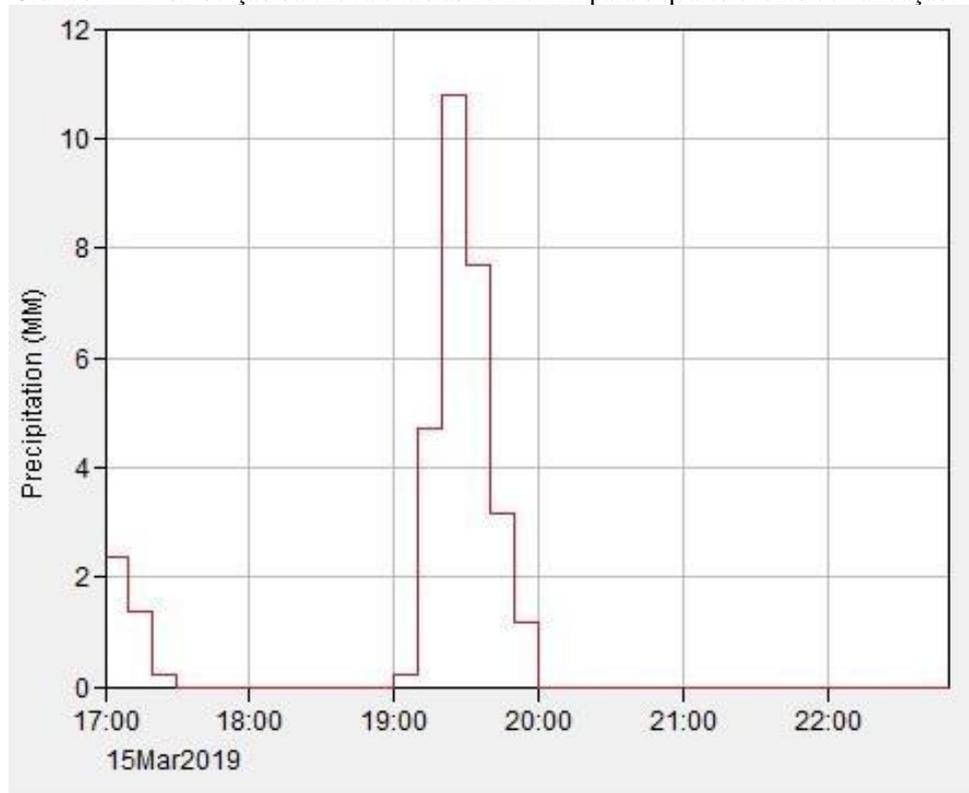
Neste evento também ficou perceptível a eventual não correlação entre os dados medidos e calculados. O Gráfico 2 apresenta os dados de chuva onde são compatíveis somente com o maior pico do hidrograma.

Figura 14 - Hidrogramas medidos e calculados para o quarto evento de validação.



Legenda: valores observados em linha preta e os valores calculados em linha azul.
 Fonte: A autora, 2020.

Gráfico 2 – Distribuição da chuva entre às 17 h e 22h para o quarto evento de validação.



Fonte: A autora, 2020.

3.2 Modelagem Hidrodinâmica

Para calibrar e validar a modelagem hidrodinâmica foram solicitados boletins de ocorrência da Defesa Civil com registros de inundações. Porém não fazia parte do protocolo da Defesa Civil coletar os dados do dia, local e o nível da água para preencher os boletins. Assim, somente três eventos com as informações de data e local foram encontrados. Destes somente um contém a cota máxima de inundação.

Todas as modelagens são em duas dimensões (2D) com uma malha irregular de 5 m. Para calibração foram ajustados os valores da declividade da energia da água, a jusante e a montante, e os valores de Manning para toda área 2D.

Para os valores iniciais do número de Manning foram consultadas quatro referências clássicas (BARNER, 1969; CHOW, 1985; VERSION, 1989; HORTON 1940). A tabela 6 apresenta os valores utilizados com os respectivos autores.

Tabela 6 – Valores de Manning com os respectivos autores e uso do solo.

Autor		Cobertura do solo	Valor Inicial
Chow, 1985	Horton		
0,025 - 0,05	0,025	Campo/Pastagem	0,025
	0,8	Mata Atlântica (floresta com vegetação rasteira densa)	0,8
0,1 - 0,06		Solo Exposto	0,1
	0,012	Asfalto	0,012

Fonte: A autora, 2020.

Foi utilizado o valor de 0,016 para o número de Manning nas áreas urbanas considerando que as mesmas são em sua maior parte asfaltadas. As áreas classificadas como: urbanização incipiente, área urbanizada e área totalmente urbanizada foram reunidas em área urbanizada e utilizado o valor de 0,016.

Para os valores de declividade de energia da lâmina d'água foi utilizado como base o relatório IG-RE-006-R0 (1994) que apresenta o valor de 0,000 145.

3.2.1 Calibração

Devido à limitação de dados, foram confeccionados quatro eventos para calibração, onde em três casos são analisados somente os valores da altura da lâmina d'água na calha do rio. Para isto, foi selecionado o ponto onde se encontra a estação GBM Nova Iguaçu. Para calibrar o número de Manning na área inundada foram utilizados os dados do boletim de ocorrências da Defesa Civil com eventos não necessariamente incluídos nos registros da referida estação.

O primeiro evento selecionado foi o de 01 a 02 de março de 2019 das 22 h 50 min às 07 h 05 min. A altura máxima da água de alcançou 2,04 m e este modelo foi confeccionado para calibrar os valores da calha do rio.

O segundo evento ocorreu no intervalo de 04 a 05 de fevereiro de 2019 das 19 h 20 min às 08 h 15 min. O nível máximo da água foi de 3,7 m e este modelo foi confeccionado para calibrar os valores da calha do rio.

O terceiro evento ocorreu no dia 20 de fevereiro de 2019 de 00 h 30 min às 07 h 15 min. A altura de pico foi 2,41 m e este modelo foi confeccionado para calibrar os valores da calha do rio.

O quarto evento ocorreu no dia 22 de março de 2018 de 07 h 30 min às 14 h 40 min. Este evento foi modelado para calibrar a zona de inundação assim foi realizada sua modelagem mesmo sem os dados da estação GBM. Para este evento há um relato de três ruas inundadas devido ao evento de chuva. Anteriormente a calibração foi verificado se a inundação foi devido ao rio Botas ou a outro curso d'água por meio de imagens de satélites.

O único valor de Manning modificado foi para a calha do rio cujo o valor inicial era de 0,03 e foi calibrado para 0,02. O valor de 0,03 foi retirado do trabalho de SOUZA, M (2010) para o rio Iguaçu cujo o Botas é um dos principais afluentes.

Uma das causas prováveis pela diminuição do número de Manning no canal é a limpeza que a prefeitura de Nova Iguaçu realiza nos rios durante o verão, pois o valor inicial de Manning foi estipulado para a calha do rio sem limpeza. A seguir serão apresentadas duas fotos (Figuras 15 e 16) para comparação de trechos com e sem a limpeza recente.

Os valores de declividade da energia da água nas extremidades inicial e final da malha 2D foram 0,9 e 0,009, respectivamente.

Figura 15 – Foto de uma seção do rio Botas sem limpeza da sua calha.



Fonte: A autora, 2020.

Figura 16 – Foto de uma seção do rio Botas com limpeza recente da calha e das margens.



Fonte: A autora, 2020.

3.2.2 Validação

Devido a limitação dos dados não foi possível realizar uma validação a partir de pontos inundados então a mesma foi realizada de uma maneira empírica. Por meio das observações da Defesa Civil foi constatado que um dos lugares que apresenta maior recorrência de inundações do rio Botas é o condomínio Ouro Preto, em Comendador Soares, Nova Iguaçu. Com chuvas de 30mm/h houve registros de inundações com lâmina d'água de no máximo 50 cm.

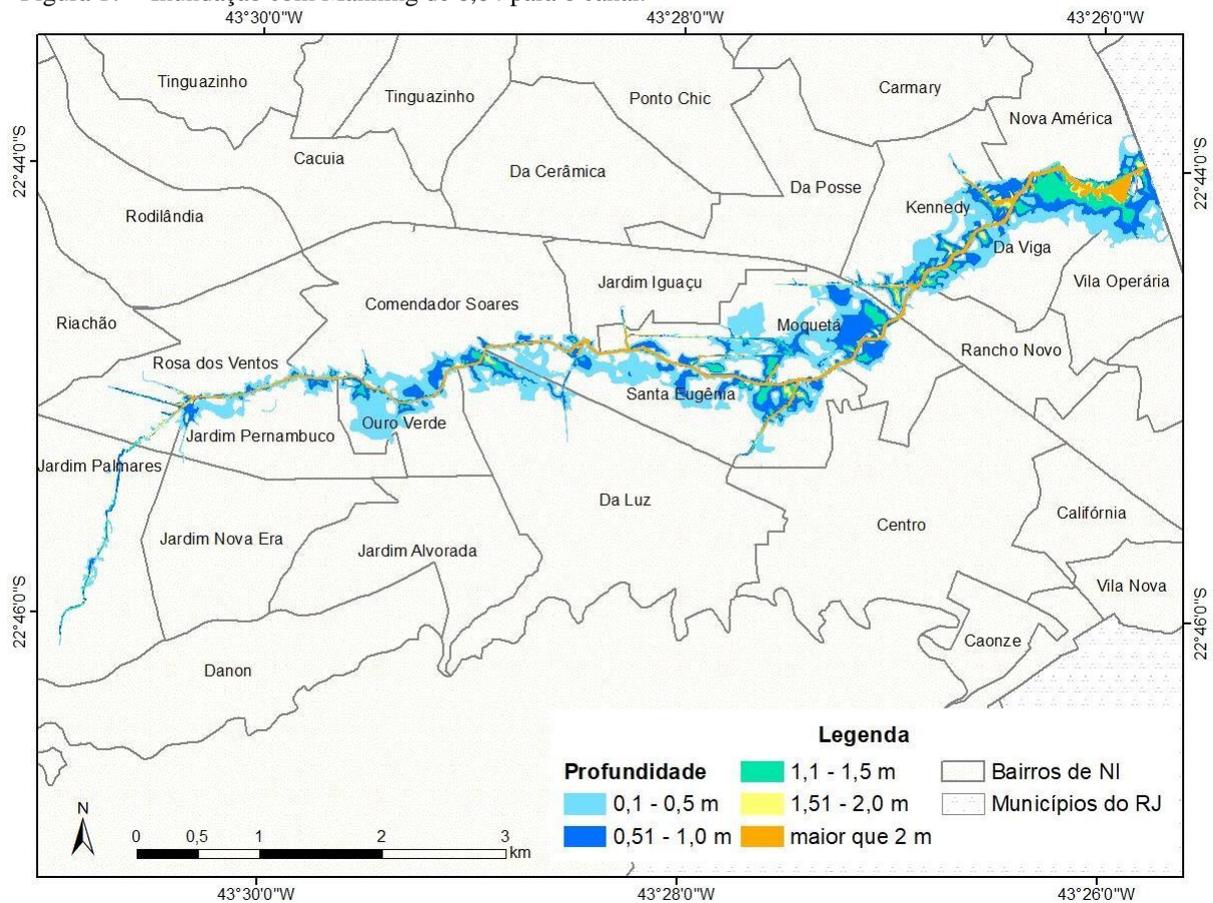
Para verificar empiricamente o modelo foram utilizados os dados de chuva do dia 20 de fevereiro de 2019 de 00 h 30 min às 2 h 00 min, os registros utilizados foram das estações Palhada e Nova Aurora. Esta data foi selecionada porque houve um aumento na altura da lâmina d'água registrada pela estação GBM com pico de 2,35 m as 3 h 30 min.

Devido à ausência de dados e o fato do valor de Manning ser o principal fator de calibração do modelo hidrodinâmico, foi realizada uma investigação para verificar a sua influência na dimensão da mancha de inundação.

Assim, foram realizados dois testes: um com o valor de Manning pela metade e outro com o dobro do seu valor inicial tanto para a calha do rio quanto para a planície de inundação. Essas alterações foram realizadas para maior entendimento da relação entre os valores de rugosidade e a região inundada.

A primeira alteração foi realizada no canal. Utilizou-se os números de Manning de 0,04 e 0,01 mantendo todos os outros parâmetros constantes. As figuras 17 e 18 exibem seus resultados, respectivamente.

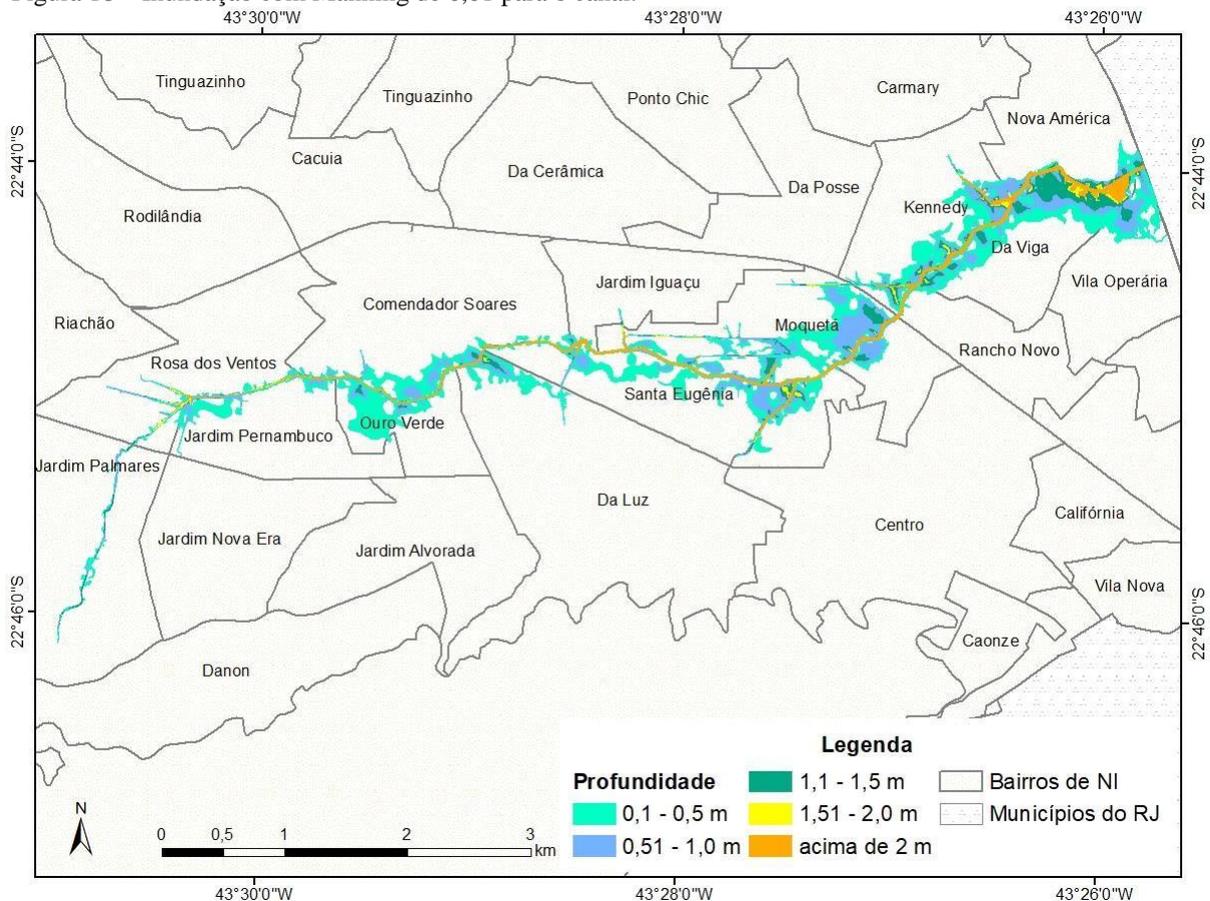
Figura 17 – Inundação com Manning de 0,04 para o canal.



Fonte: A autora, 2020

Neste cenário visualiza-se que a maior parte da área inundada corresponde a profundidade de 0,1 – 1 m em alguns pontos isolados há intervalos com 1 m a 2 m. Na parte mais a jusante são encontradas profundidades maiores de maneira mais recorrente e os intervalos de 3 – 5 m ficam restritos ao canal.

Figura 18 – Inundação com Manning de 0,01 para o canal.



Fonte: A autora, 2020

Por meio das figuras 17 e 18 é perceptível que as mudanças investigadas no número de Manning do canal resultaram em manchas de inundação com diferenças perceptíveis em alguns pontos.

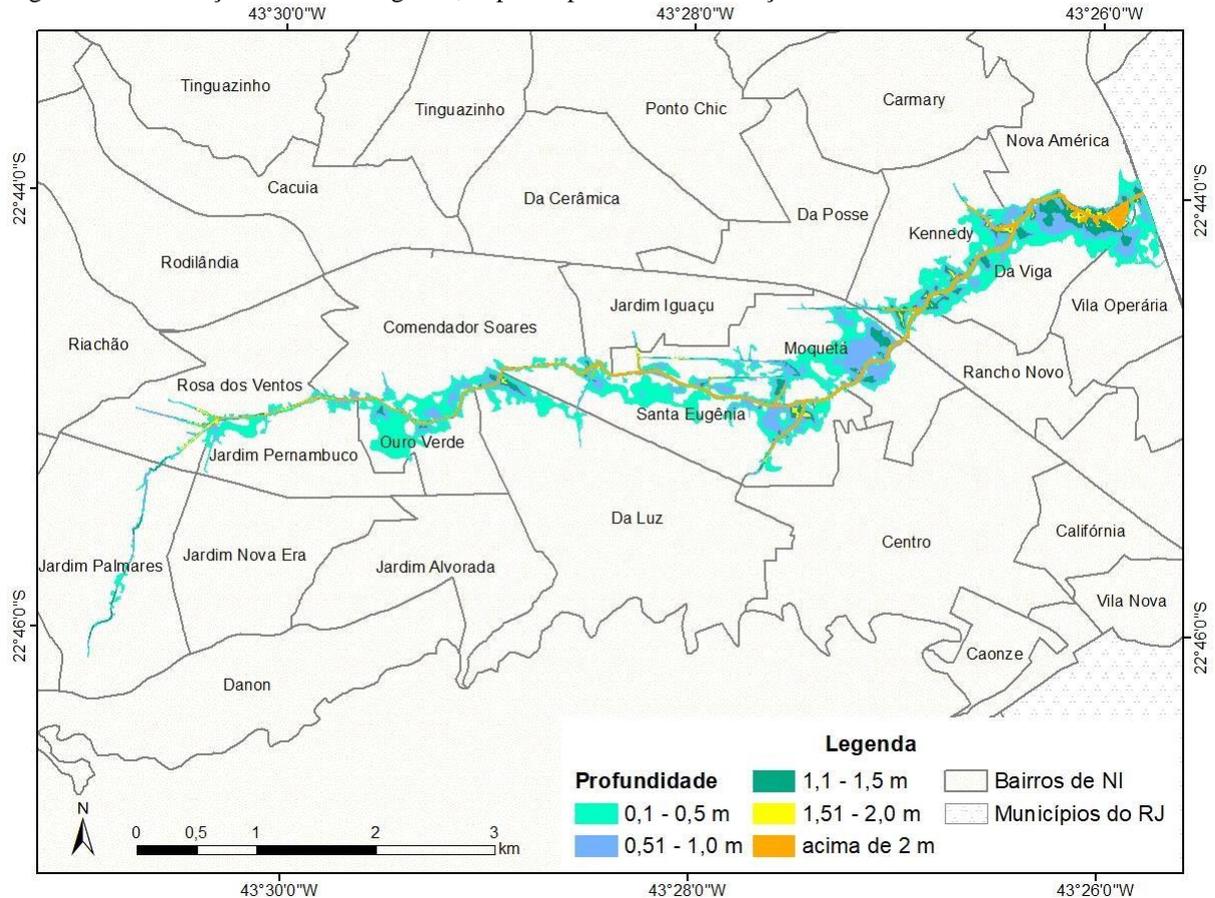
O modelo com o valor de Manning inalterado possui uma área de 2,87 km², o valor de 0,04 possui 3,50 km² e o de 0,01 possui 2,83 km². Assim a maior área inundada é apresentada no modelo com Manning de 0,04 onde ocorreu um acréscimo de 0,67 km² na área inundada. Em relação à profundidade da inundação, o teste com o valor de Manning de 0,04 também apresentou os maiores resultados, já que na figura 18 fica evidente que as zonas mais profundas são mais recorrentes além de serem maiores.

Estes resultados já eram esperados, pois com o aumento do valor de Manning há um maior represamento da água o que leva a cenários de inundação mais intensos. Na comparação entre os valores simulados e medidos verificou-se uma superestimação, maior que 1m nos valores simulados com Manning de 0,04. Os valores de Manning igual a 0,01 subestimaram os valores medidos.

Na comparação dos resultados é possível afirmar que a limpeza da calha do rio Botas é um artifício positivo na minimização dos impactos causadas pela inundação, de modo que interfere mais nas relações de profundidade do que na extensão.

A seguir são apresentadas as figuras 19 e 20 com as mudanças nos valores de rugosidade para a planície de inundação.

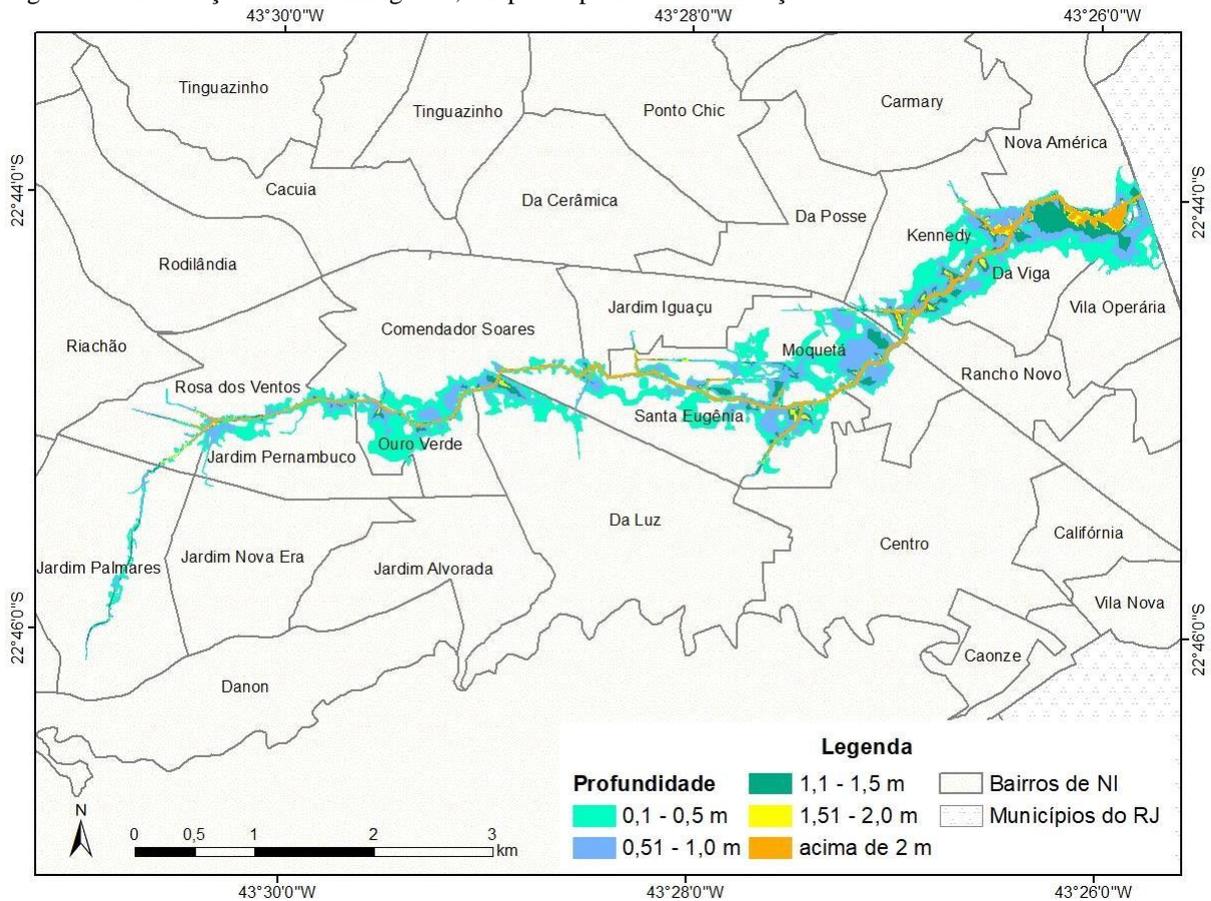
Figura 19 – Inundação com Manning de 0,08 para a planície de inundação.



Fonte: A autora, 2020

Neste cenário há um predomínio da profundidade 0,1 – 1 m com profundidades maiores isoladas, com exceção dos bairros a jusante.

Figura 20 – Inundação com Manning de 0,032 para a planície de inundação.



Fonte: A autora, 2020.

A mesma observação relativa aos mapas com modificação nos valores de Manning para o canal também podem ser aplicadas para os mapas com valores diferentes para a planície de inundação.

A área com o valor de Manning de 0,008 possui 2,83 km² e com o valor de 0,32 possui 3,44 km². Como o valor da área para o modelo inalterado é de 2,87 km² a sua diferença para o modelo com Manning de 0,008 é praticamente nula. Todavia, para o valor de 0,032 a diferença é de 0,57 km².

Esses valores revelam que mesmo se houver subestimação ou superestimação do valor de Manning para a área urbana, a sua diferença dentro do intervalo analisado não modifica de maneira significativa o resultado. Assim, os valores de Manning para o canal e para a planície de inundação foram mantidos.

3.3 Cenários de inundações

3.3.1 Precipitação

Os cenários de inundação foram confeccionados em função do protocolo seguido pela Defesa Civil de Nova Iguaçu e pela análise de chuva da estação Ecologia Agrícola. A tabela 7 apresenta o protocolo utilizado pela Defesa Civil.

Neste protocolo os diferentes estágios de risco foram calculados em função dos acumulados de chuva para 15 min, 1 h, 4/6 h, 12h e 24h. Essa distribuição dos acumulados é importante, pois interfere diretamente na intensidade dos eventos, como as inundações. O Tempo de Retorno (TR) foi formulado para cada grau de risco. Este protocolo foi elaborado pelo CEMADEN com o auxílio da Defesa Civil de Nova Iguaçu.

Tabela 7 – Protocolo de Alerta da Defesa Civil de Nova Iguaçu.

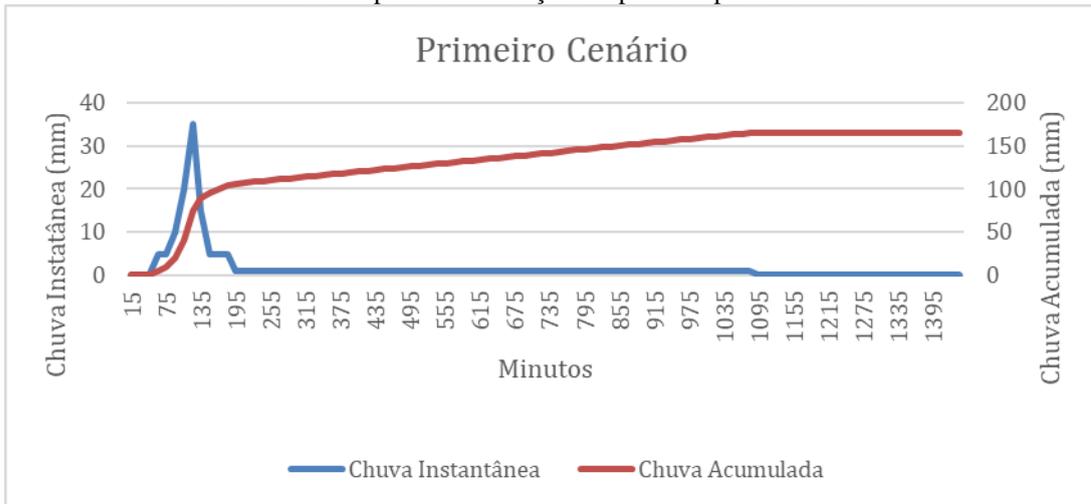
Duração/Estágio	TR (anos)	15 min	1h	4/6h	12h	24h
		Precipitação (mm)				
Risco Muito Baixo		Sem previsão de chuva forte				
Risco Baixo	menor que 2	até 15	até 40	até 60	até 70	até 80
Risco Moderado	entre 2 e 10	15-30	40-65	60-90	70-115	80-135
Risco Alto	entre 10 e 20	30-35	65-75	90-105	115-135	135-165
Risco Muito Alto	maior que 20	>35	>75	>105	>135	>165

Fonte: Defesa Civil de Nova Iguaçu, 2020.

Na tabela 7 demonstra-se os acumulados de chuva em função do tempo, mas não a distribuição do pico de chuva. Como não foram encontrados estudos sobre o assunto na região, até o momento, três cenários foram testados. O objetivo destes cenários foi encontrar qual a distribuição de chuva (com mesmo acumulado) acarreta nos maiores valores de inundação. Todos os cenários foram testados com os valores de chuva classificados como Risco Muito Alto na tabela 7.

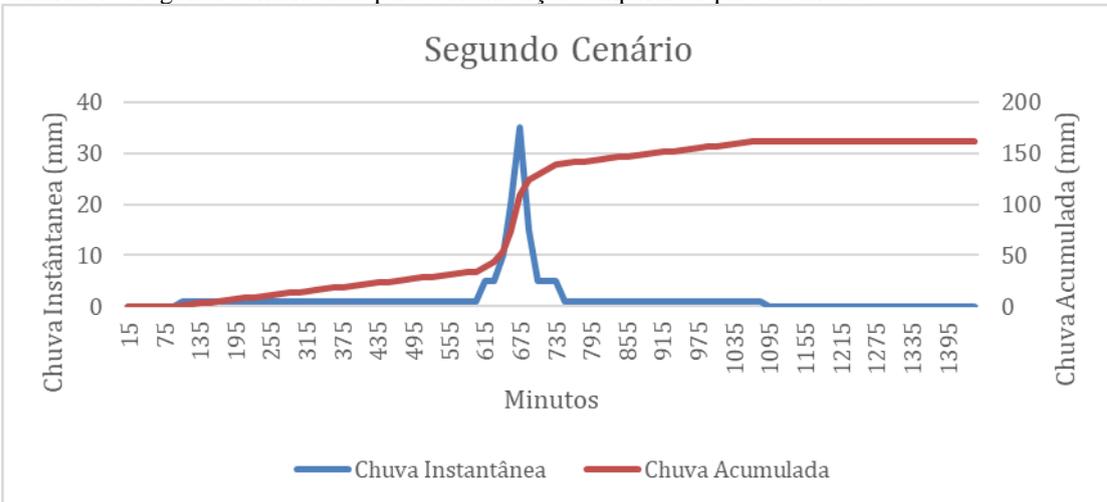
O primeiro cenário é com o pico de chuva no início do evento (Gráfico 3). No segundo, o pico de chuva se encontra no meio do evento (Gráfico 4) e no terceiro, o pico se concentra no final (Gráfico 5). Todos os eventos foram calculados para 24h.

Gráfico 3 – Primeiro cenário teste para a distribuição temporal do pico de chuva.



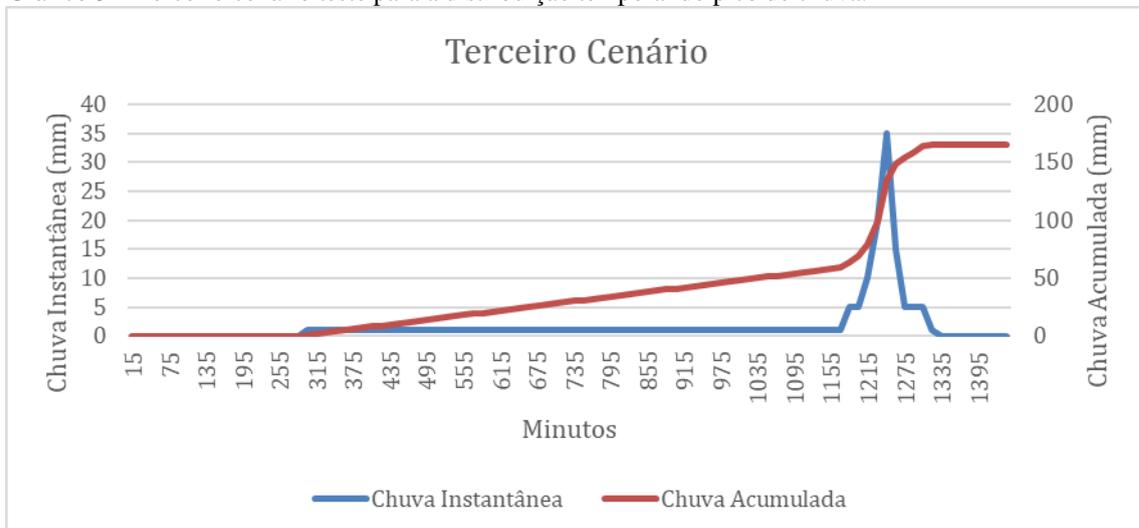
Fonte: A autora, 2020.

Gráfico 4 – Segundo cenário teste para a distribuição temporal do pico de chuva.



Fonte: A autora, 2020.

Gráfico 5 – Terceiro cenário teste para a distribuição temporal do pico de chuva.



Fonte: A autora, 2020.

Essas diferentes distribuições de chuva foram simuladas no HEC-HMS para confecção das vazões ao longo do rio Botas (Tabela 8). As junções foram numeradas em ordem crescente de montante para jusante. A figura 7 (acima) apresenta a sua distribuição.

Tabela 8 – Distribuição dos valores de vazão em função do pico de chuva, junções e dos municípios.

Junções	Vazão para pico de chuva no Início	Vazão para pico de chuva no Meio	Vazão para pico de chuva no Fim	Município
1	17,5	18,5	18,3	Nova Iguaçu
2	26,3	28,8	28,6	Nova Iguaçu
3	65	68,3	68	Nova Iguaçu
4	76,2	79,7	79,4	Nova Iguaçu
5	87,7	93,1	92,8	Nova Iguaçu
6	108,3	114,7	114,2	Nova Iguaçu
7	164,2	175,8	174,6	Nova Iguaçu
8	184	196,3	195,9	Nova Iguaçu
9	221,9	234,8	235,1	Nova Iguaçu
10	244,6	257,9	258,4	Belford Roxo
11	271,1	284,8	285,5	Belford Roxo
12	398,2	415,9	416,5	Belford Roxo
13	453,8	476,5	477,3	Belford Roxo
14	471,3	494,9	495,8	Belford Roxo
15	500,7	525,4	526,3	Belford Roxo
16	539,3	565,5	566,4	Belford Roxo
17	610,8	643,1	645,7	Belford Roxo

Legenda: Chuva início – vazão calculada para o pico de chuva no início do evento;
 Chuva meio – vazão calculada para o pico de chuva no meio do evento;
 Chuva fim - vazão calculada para o pico de chuva no final do evento.

Fonte: A autora, 2020.

Como observado na tabela 8, os valores de vazão calculados com o pico de chuva no meio e no final do evento chuvoso são muito próximos e não causam diferenças perceptíveis na modelagem hidrodinâmica, assim para todos os cenários serão utilizadas as chuvas com o pico no meio da distribuição.

Na confecção dos mapas foram observados valores muito elevados de profundidade e extensão de inundação para o município de Belford Roxo, assim pela incerteza dos resultados optou-se por apresentar os cenários somente para a cidade de Nova Iguaçu.

Além dos cenários do protocolo acima foram confeccionados mais dois em função dos dados medidos na estação Ecologia Agrícola do INMET. Na bacia do rio Botas só há estações do CEMADEN, com resolução de 10 min e da ANA (Agência Nacional de Águas), com resolução de 24 h.

As estações da ANA foram descartadas pelo fato de dados diários não serem compatíveis com o objetivo do estudo. As estações do CEMADEN foram analisadas, porém o tamanho da série foi considerado pequeno (em média quatro anos) além do fato das estações apresentarem uma alta porcentagem de dados ausentes.

Portanto, foi selecionada a estação climatológica Ecologia Agrícola, apesar de se localizar em Seropédica e estar a aproximadamente 15 km de distância do limite mais próximo da bacia. Contudo, esta estação possui uma série com 18 anos de dados, resolução horária e não há nenhum relevo para bloquear a distribuição das chuvas (como citado na metodologia).

O estudo teve por objetivo reproduzir cenários característicos de chuva registrados pela estação. De tal modo a tabela 9 contém os valores de máximo, a média e a mediana para a duração, o acumulado e o máximo de chuva registrado para os eventos analisados. No cálculo foram selecionados somente os dados do verão, pois na análise dos boletins de ocorrência da Defesa Civil as inundações são mais recorrentes nesta estação.

Tabela 9 – Dados de chuva medidos para o verão.

Verão	Duração (h)	Acumulado	Máximo
Máximo	18	139,8	66,2
Média	2,19	4,25	2,74
Mediana	1	0,8	0,6

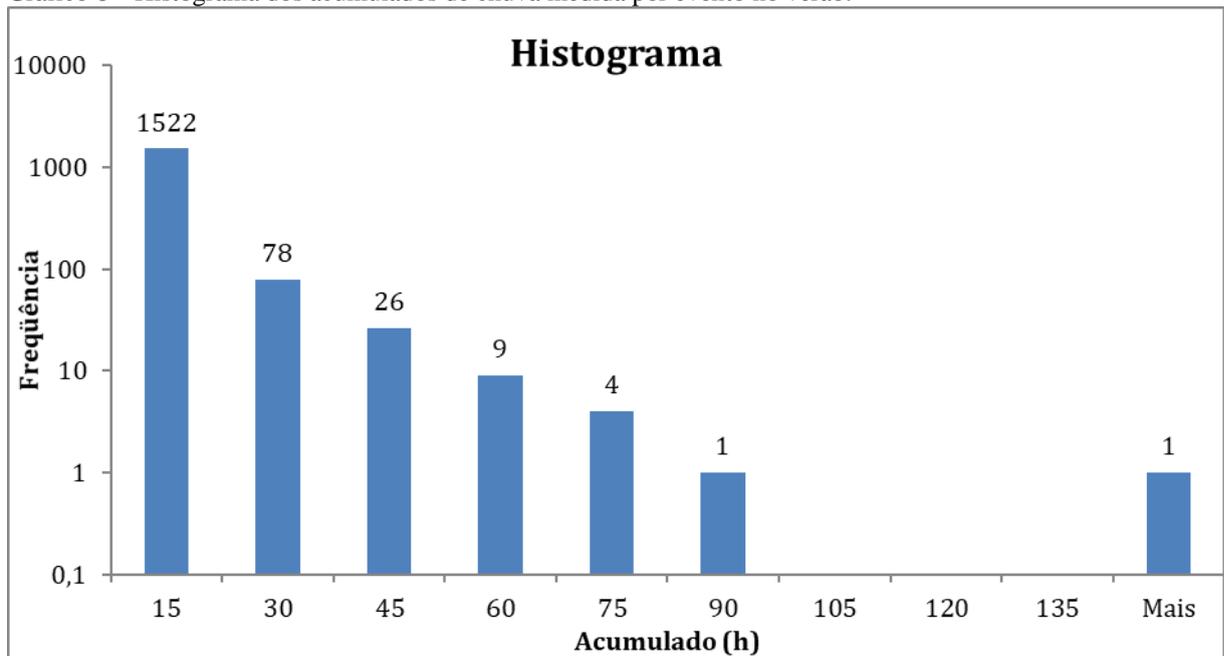
Fonte: A autora, 2020.

Neste trabalho, evento chuvoso foi considerado como chuva registrada sem intervalo no registro, sendo assim, se em um dia choveu durante 24 h, mas tem quatro intervalos não consecutivos de registro sem chuva são considerados seis eventos.

Por meio da análise das chuvas foram selecionados dois conjuntos de dados que recriam as características de chuvas típicas do verão. Para formular os cenários foram analisados 1.641 eventos. O primeiro cenário foi confeccionado com os valores máximos do verão que se encontram na tabela 9, logo é um evento com duração de 18 h, acumulado de 140 mm e máximo de 66 mm/h.

Para o outro cenário foram analisadas as distribuições das chuvas em relação a duração, o acumulado e o valor máximo em uma hora em função da frequência dos eventos (Gráfico 6).

Gráfico 6 – Histograma dos acumulados de chuva medida por evento no verão.

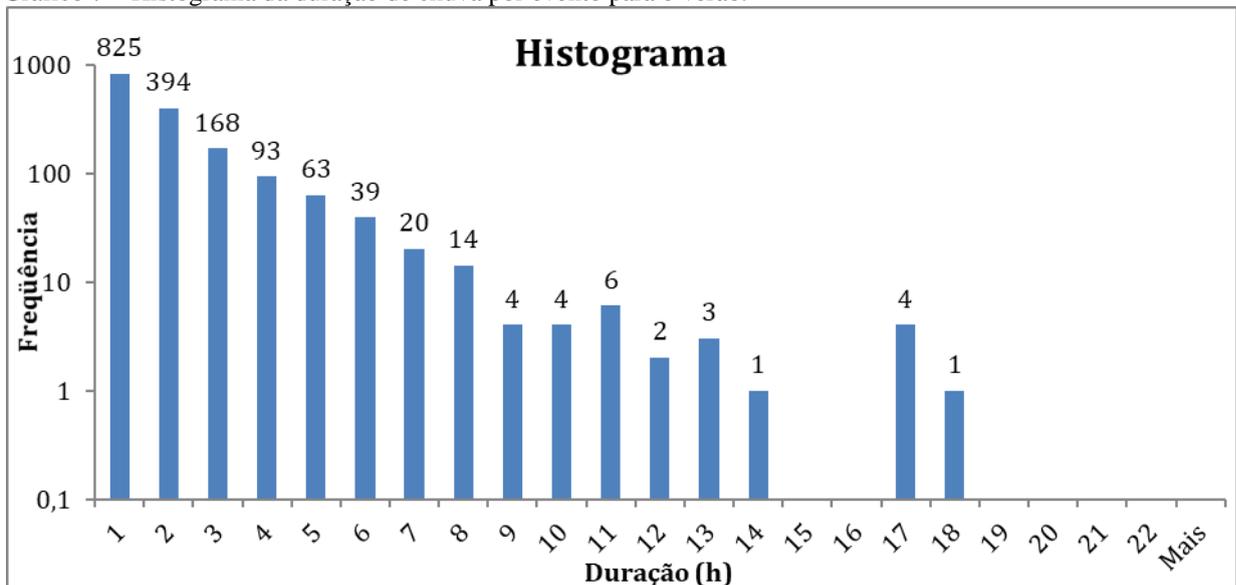


Fonte: A autora, 2020.

Segundo o gráfico 6, o acumulado de até 15 mm é o mais recorrente (92%), esse valor está diretamente relacionado a definição de evento chuvoso utilizada nesta dissertação, já que é comum chuvas longas terem intervalos sem chuva.

A recorrência, em média, dos acumulados a partir de 60 mm são de dois anos. Já os acumulados de até 15 mm ocorrem em uma proporção de 84 vezes ao ano. O Gráfico 7 apresenta o histograma da duração da chuva em função da frequência.

Gráfico 7 - Histograma da duração de chuva por evento para o verão.

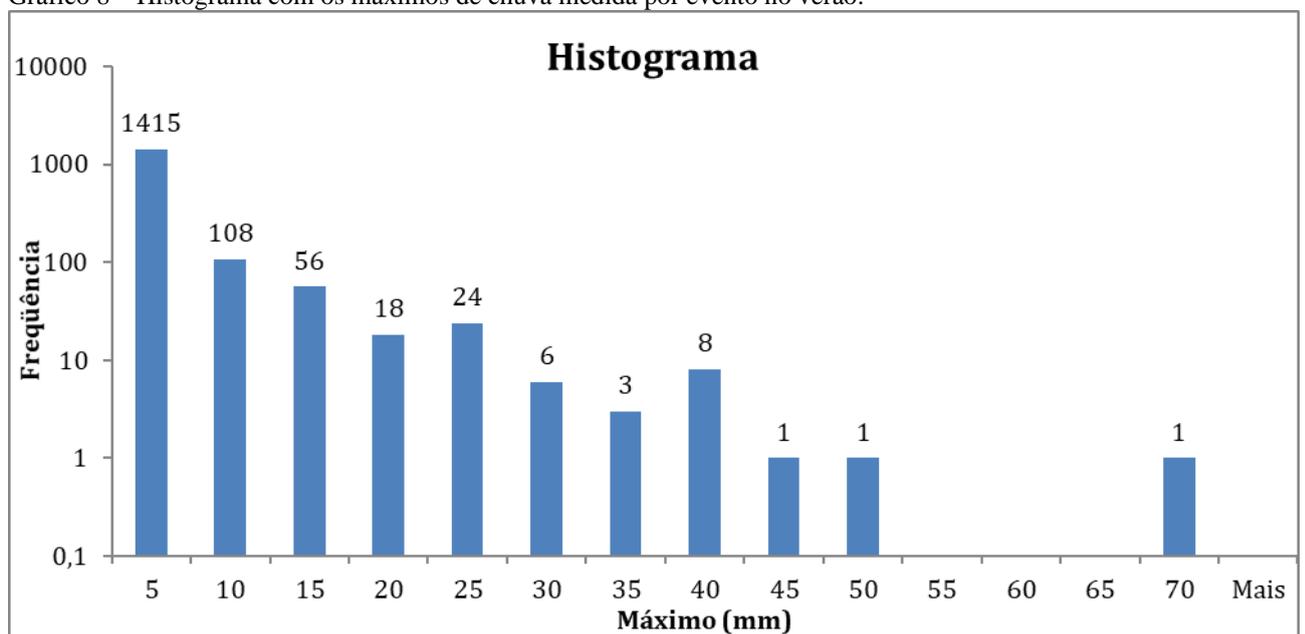


Fonte: A autora, 2020.

As durações de 1 h são as mais recorrentes (50%), logo após vem as de 2 h e 3 h e a partir das chuvas de 4 h a queda na frequência se torna mais sutil. A soma das chuvas de 1 h a 3 h resulta em 84% do total dos eventos chuvosos, isso pode indicar que as chuvas curtas são as mais típicas do verão.

Todos os eventos com 9 h ou mais ocorrem menos de 9 vezes o que dá uma média maior do que 2 anos de recorrência. O Gráfico 8 apresenta os dados dos máximos registrados para cada evento.

Gráfico 8 - Histograma com os máximos de chuva medida por evento no verão.



Fonte: A autora, 2020.

Em relação aos máximos de chuva por evento os mais frequentes são os de até 5 mm (86%), dos 1.415 eventos de até 5 mm, 794 (56%) ocorreram em eventos com duração de 1 h, isso quer dizer que ainda restam 621 eventos com máximos de até 5mm. Isto indica que este máximo não é um reflexo da definição de evento chuvoso escolhido para este trabalho, mas sim uma característica das chuvas de verão.

Há uma queda acentuada nos valores de frequência entre os acumulados de 5 mm e 10 mm. A soma de ambos os máximos representa 92% do total de eventos. Os acumulados de 20 até 25 ocorrem, em média, uma vez ao ano. A partir dos 30 mm são os eventos que menos ocorrem com uma recorrência maior do que dois anos.

Para a escolha do segundo cenário de inundação os dados foram separados em dois grupos em relação a frequência, os 50% mais e menos frequentes. Os valores mais recorrentes

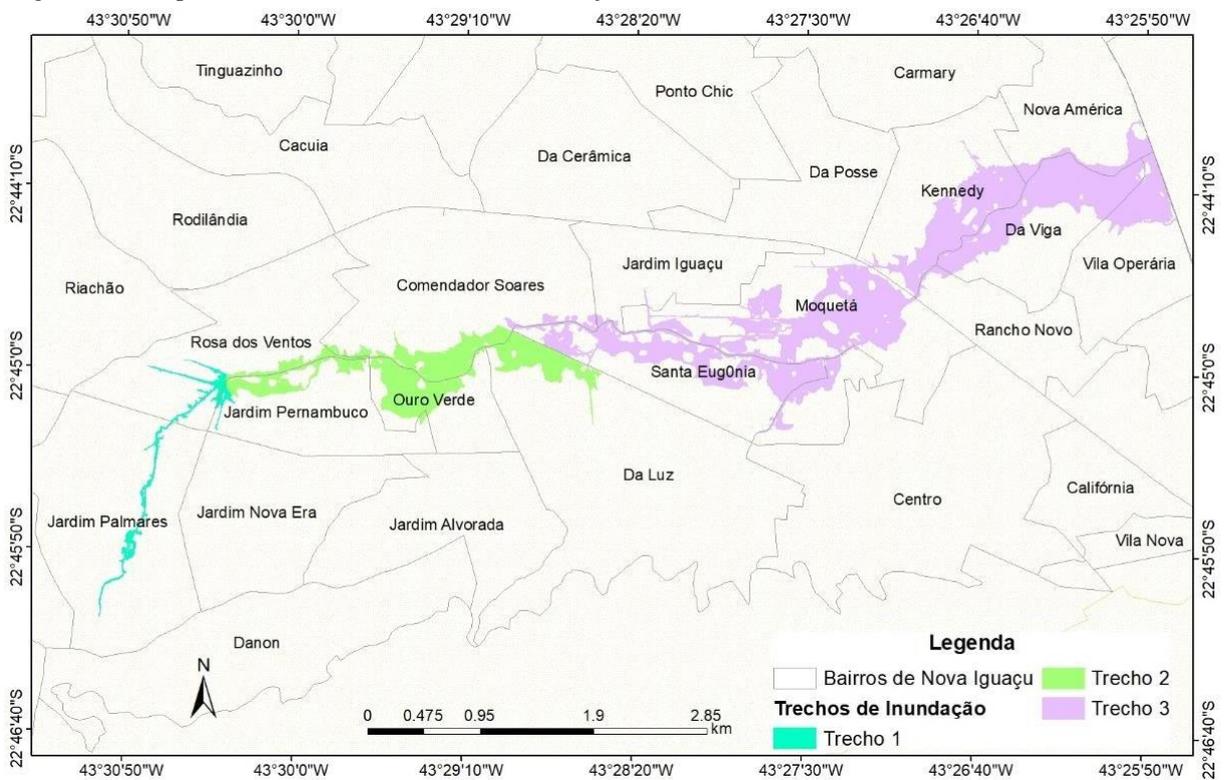
no primeiro grupo dos 50% mais frequentes apresentaria um evento chuvoso pouco intenso para o estudo de inundação.

Assim, foram selecionados os valores mais frequentes dentro do grupo com menor frequência. Portanto, as suas características são: duração de 11 h, acumulado de 90 mm com um máximo de 40 mm/h. Nos valores de chuva acumulada há duas opções de escolha: 90 mm ou 135 mm. Como o acumulado de 135 mm já foi utilizado optou-se pelos 90 mm.

3.3.2 Cenários

Por meio da análise dos cenários de inundação e suas diferentes características ao longo do rio é possível descrevê-la em três subdivisões. A primeira parte pertence ao intervalo da cota de 36 m a 25m. A segunda pertence ao intervalo de 25 m a 21 m/17 m. A terceira parte começa por volta da cota 17 m/21 m e se estende até a cota de 5 m no limite de Nova Iguaçu (Figura 21).

Figura 21 – Mapa com os diferentes trechos de inundação.



Fonte: A autora, 2020.

O trecho 1 é formado pelos bairros Jardim Palmares e uma porção de Rosa dos Ventos e do Jardim Pernambuco. Sua característica é a concentração da inundação nas margens do rio. Neste trecho os extravasamentos estão relacionados as depressões do terreno ligados às margens do rio.

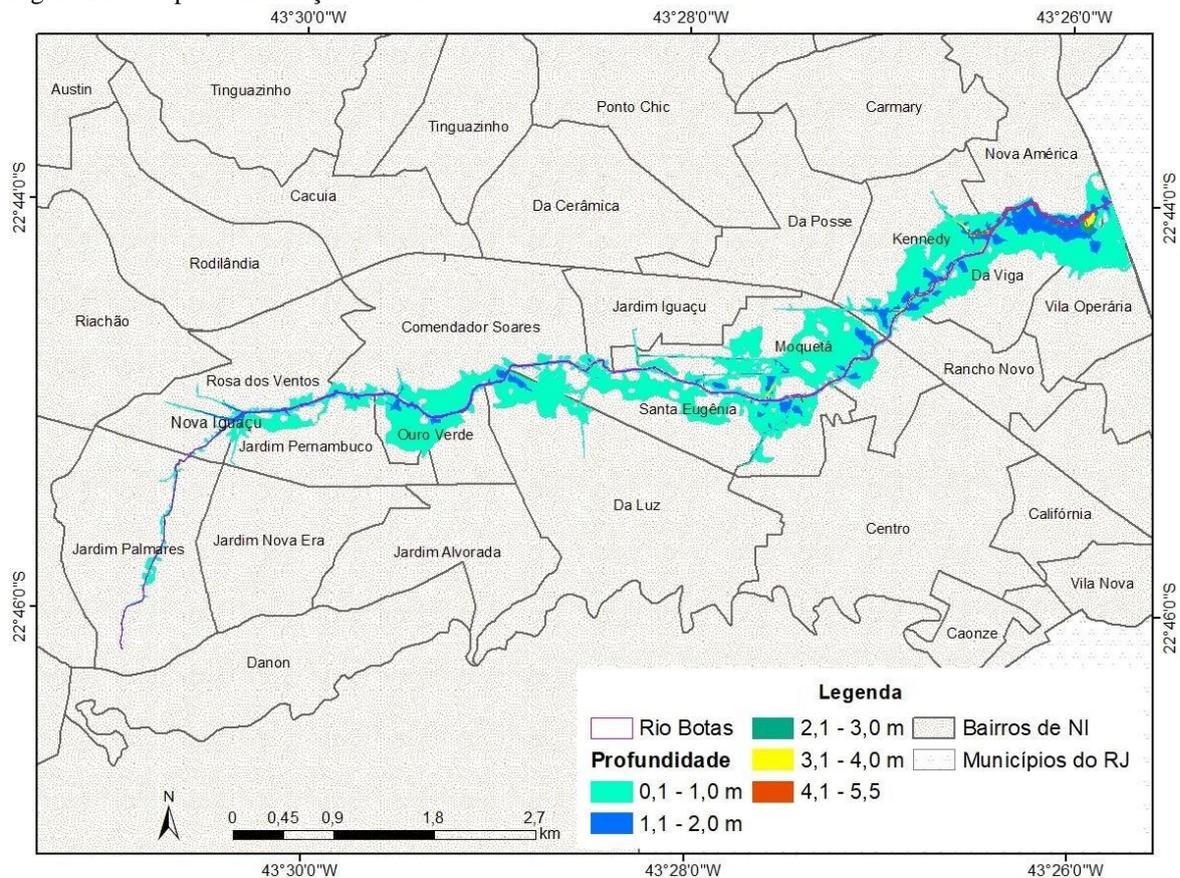
O trecho 2 abrange uma parte de Rosa dos Ventos, Jardim Pernambuco e Jardim Iguaçu além dos bairros Comendador Soares, Ouro Verde e Da Luz. Neste intervalo a inundação se expande para além das margens do rio, porém a profundidade da lâmina d'água é pequena. Profundidades maiores se concentram nas regiões rebaixadas do terreno e na interseção com os afluentes.

O terceiro trecho contém uma parte de Comendador Soares e totalmente Jardim Iguaçu, Santa Eugênia, Moquetá, Rancho Novo, Kennedy, Vila Operaria e Nova América. Neste segmento se concentra a maior parte da área inundada e as maiores profundidades de inundação, como será explicitado mais adiante.

3.3.3 Cenário 1

Como mencionado este cenário foi calculado com os valores de chuva correspondente ao risco baixo no protocolo da Defesa Civil (Figura 22).

Figura 22 – Mapa de inundação do cenário 1.



Fonte: A autora, 2020.

Por meio da figura 22 observa-se que todos os bairros nas margens do rio Botas foram inundados, porém em proporções diferentes. A tabela 10 apresenta os valores absolutos de inundação e a porcentagem inundada dos bairros.

Este cenário segue as características de inundação proposta pela divisão em trechos, porém na comparação com a tabela 10 verifica-se que nem todos os bairros contidos no trecho 3 são os mais inundados, por exemplo o bairro Rancho Novo tem 0,01 km² inundados, já o bairro Comendador Soares, situado no trecho 2, contém 0,22 km² de áreas inundada.

Assim, os bairros menos afetados ou são os bairros cujo limites interagem pouco com o rio Botas ou que se encontram a montante como os bairros Jardim Palmares e Rosa dos Ventos. Já os bairros mais afetados apresentam maior interação de seus limites com a calha do rio e estão entorno da cota máxima de 20 m. Por conseguinte, dos 3,065 km² totais inundados, o trecho 1 tem 0,07 km² (2%), o trecho 2 possui 0,7 km² (20%) e o trecho 3 contém 2,28 km² (78%).

Tabela 10 – Extensão da inundação por bairro afetado.

Bairro	Área Inundada (km ²)	Porção Inundada do Bairro
Moquetá	0,64	35,65%
Da Viga	0,49	47,02%
Santa Eugênia	0,41	36,84%
Kennedy	0,38	29,28%
Comendador Soares	0,22	9,20%
Ouro Verde	0,2	30,53%
Da Luz	0,16	4,59%
Vila Operária	0,16	15,76%
Jardim Pernambuco	0,11	10,67%
Nova América	0,09	4,67%
Chacrinha	0,07	16,51%
Rosa dos Ventos	0,07	4,14%
Jardim Palmares	0,04	1,66%
Jardim Iguaçu	0,01	1,03%
Rancho Novo	0,01	1,18%

Fonte: A autora, 2020.

Na tabela 10, a ordem crescente da área inundada não corresponde a porcentagem inundada de cada bairro, este fato ocorre pelo fato de cada bairro possui tamanhos diferentes. Assim, os bairros Chacrinha e Nova América apesar de apresentarem a mesma quantidade de área inundada, a porcentagem de inundação por bairro é diferente, pois Chacrinha possui uma área de 0,42 km², já Nova América 1,92 km².

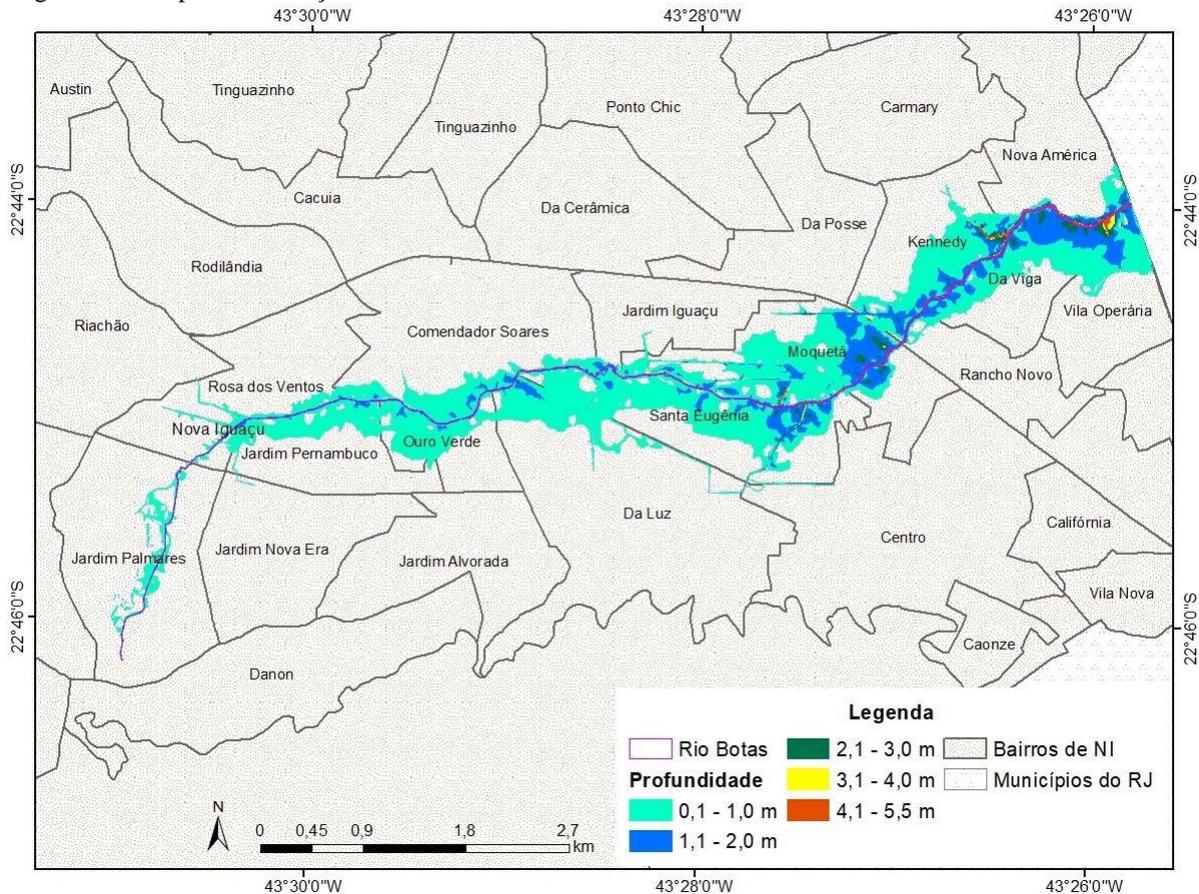
Os bairros mais afetados são Moquetá, Da Viga e Santa Eugênia todos com mais de 35% do seu território inundado. Os menos afetados são Rancho Novo, Jardim Iguaçu e Jardim Palmares com média de 1% dos seus territórios inundados.

Em relação a profundidade, no trecho 1 na planície de inundação o nível máximo é de 1 m e na calha do rio a profundidade máxima é de 2 m a 2,5 m. No trecho 2 a lâmina d'água na área inundada alcança até 2 m e no canal 3,5 m a 4m. No trecho 3 a altura máxima da água alcança 4 m a 4,5 m na zona inundada e no canal 5,5 m. No bairro da Viga (trecho 3) a profundidade máxima varia de 2,5 m a 3,0 m.

3.3.4 Cenário 2

Este cenário foi baseado nos valores de chuva correspondente a risco moderado no protocolo utilizado pela Defesa Civil (Figura 23).

Figura 23 – Mapa de inundação do cenário 2.



Fonte: A autora, 2020.

Como no cenário 1 aqui também é possível subdividir a inundação. A tabela 11 apresenta os valores absolutos de inundação e a porcentagem inundada de cada bairro.

Na comparação das tabelas 10 e 11 nota-se que não há diferença significativa entre os valores individuais e nem entre os bairros mais e menos afetados. Os bairros mais afetados continuam sendo os mesmos do cenário 1, porém a porcentagem mínima de inundação subiu de 35% para 50%. Em relação aos menos afetados, a composição dos bairros também se manteve, com o aumento mais expressivo no bairro Jardim Palmares.

Tabela 11 - Relação entre áreas inundadas e porcentagem de inundação para cada bairro.

Bairro	Área Inundada (km ²)	Porção Inundada do Bairro (km ²)
Moquetá	0,91	51%
Santa Eugênia	0,69	62%
Da Viga	0,59	57%
Kennedy	0,51	39%
Comendador Soares	0,31	13%
Da Luz	0,27	8%
Jardim Pernambuco	0,24	23%
Ouro Verde	0,24	37%
Vila Operária	0,2	20%
Chacrinha	0,11	26%
Nova América	0,11	6%
Rosa dos Ventos	0,11	7%
Jardim Palmares	0,09	4%
Jardim Iguaçu	0,02	2%
Rancho Novo	0,02	2%

Fonte: A autora,2020.

Neste modelo também ocorreu inundação por todo o percurso analisado. Dos 4,42 km² inundados, 0,15 km² no trecho 1 (3%), 1 km² no trecho 2 (23%) e 3,21 km² no trecho 3 (74%).

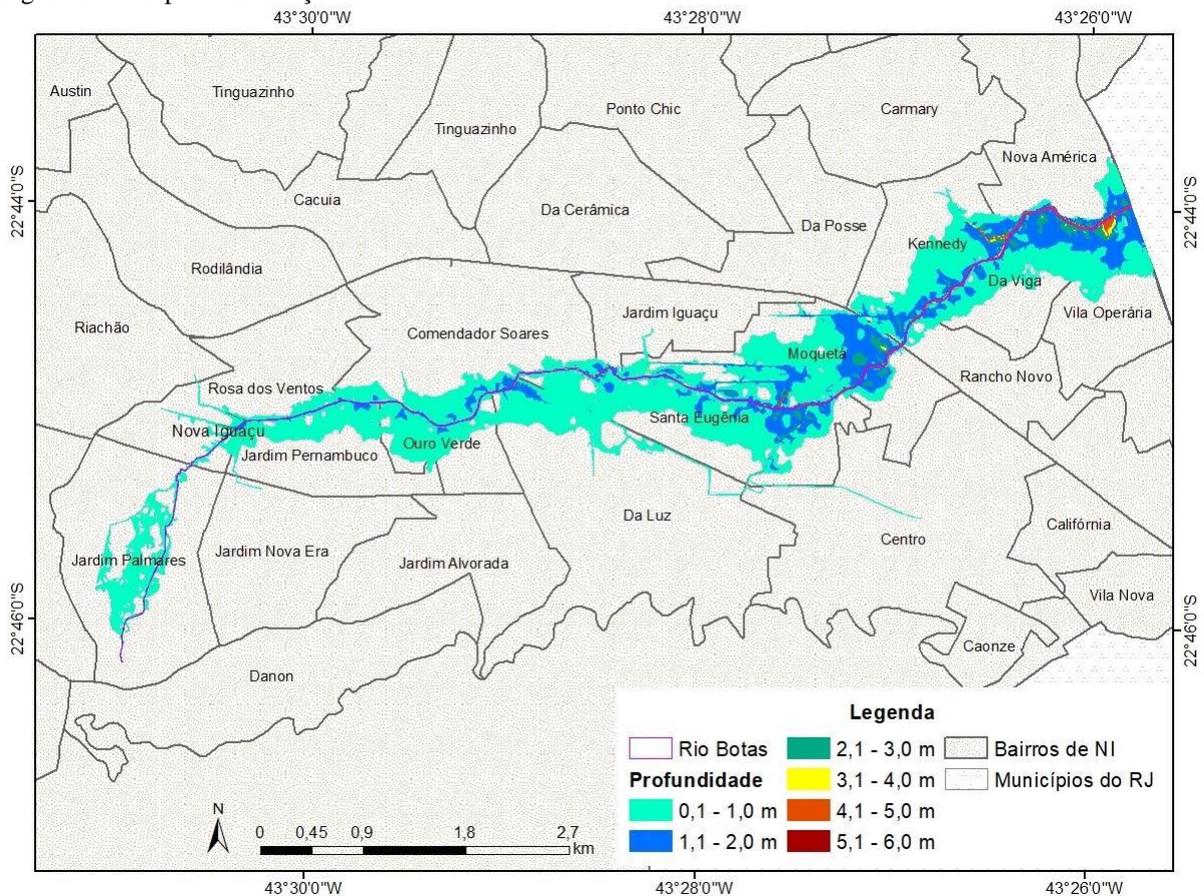
Em relação a profundidade da lâmina d'água o trecho 1, na área inundada ocorrem casos isolados de profundidades com 1 m a 1,5 m, porém perto do trecho 2, a área inundada alcança 2 m. Na calha do rio a profundidade máxima é de 2,5 m a 3 m.

O trecho 2, ocorrem casos isolados de profundidades com 1,5 m a 2,0 m, porém na proximidade com o trecho 3 a área inundada alcança 2,0 m a 2,5m. Na calha do rio o nível máximo da água é de 4,0 m a 4,5m. No trecho 3, as maiores profundidades são em torno de 3,0 m a 3,5 m e na calha 5,0 m a 5,5 m. A inundação máxima é no bairro da Viga (trecho 3) com 4,10 m.

3.3.5 Cenário 3

Este cenário foi baseado nos valores de chuva correspondente ao risco alto no protocolo utilizado pela Defesa Civil (Figura 24).

Figura 24 – Mapa de inundação do cenário 3.



Fonte: A autora, 2020.

Na figura 24 nota-se que o bairro Jardim Palmes apresenta uma inundação maior do que nos cenários anteriores, esse aumento é verificado na tabela 12. Na comparação das tabelas 10 e 11 percebe-se que neste bairro ocorreu o maior aumento de área inundada.

Dos 5,12 km² inundados, 0,3 km² pertencem ao trecho 1 (6%), 1,14 km² ao trecho 2 (22%) e 3,63 km² ao trecho 3 (72%). Apesar do crescimento da inundação no bairro Jardim Palmes (11%), pela tabela 12, a maior parte da área inundada se concentra no trecho 3 (71%).

Os bairros mais afetados se mantêm, porém com uma porcentagem mínima de 60%. Os menos afetados também se mantiveram com uma taxa máxima de inundação de 10%.

Tabela 12 – Relação entre áreas inundadas e porcentagem de inundação para cada bairro.

Bairro	Área Inundada (km ²)	Porção Inundada do Bairro
Moquetá	0,95	53%
Santa Eugênia	0,73	66%
Da Viga	0,63	60%
Kennedy	0,55	42%
Comendador Soares	0,33	14%
Da Luz	0,3	9%
Jardim Palmares	0,26	11%
Jardim Pernambuco	0,26	25%
Ouro Verde	0,26	40%
Vila Operária	0,22	22%
Nova América	0,14	7%
Rosa dos Ventos	0,13	8%
Chacrinha	0,12	28%
Rancho Novo	0,03	4%
Jardim Iguaçu	0,02	2%

Fonte: A autora, 2020.

No trecho 1 tem predomínio das profundidades menores do que 80 cm. Em locais pontuais, principalmente, no encontro do rio Botas com canais menores a profundidade alcança 1 m. No canal a profundidade máxima é de 2 m a 2,5 m.

No trecho 2 há uma predominância de profundidades de até 1 m com áreas que apresentam até 2 m de lâmina d'água. No canal, a profundidade máxima é de 4 m.

No trecho 3 a maior parte da área inundada tem até 1 m, porém há zonas disseminadas com 2,5 m a 3 m. O canal alcança 6 m de profundidade. No bairro Da Viga (trecho 3) há uma região com profundidade de 4,5 m a 5,0 m.

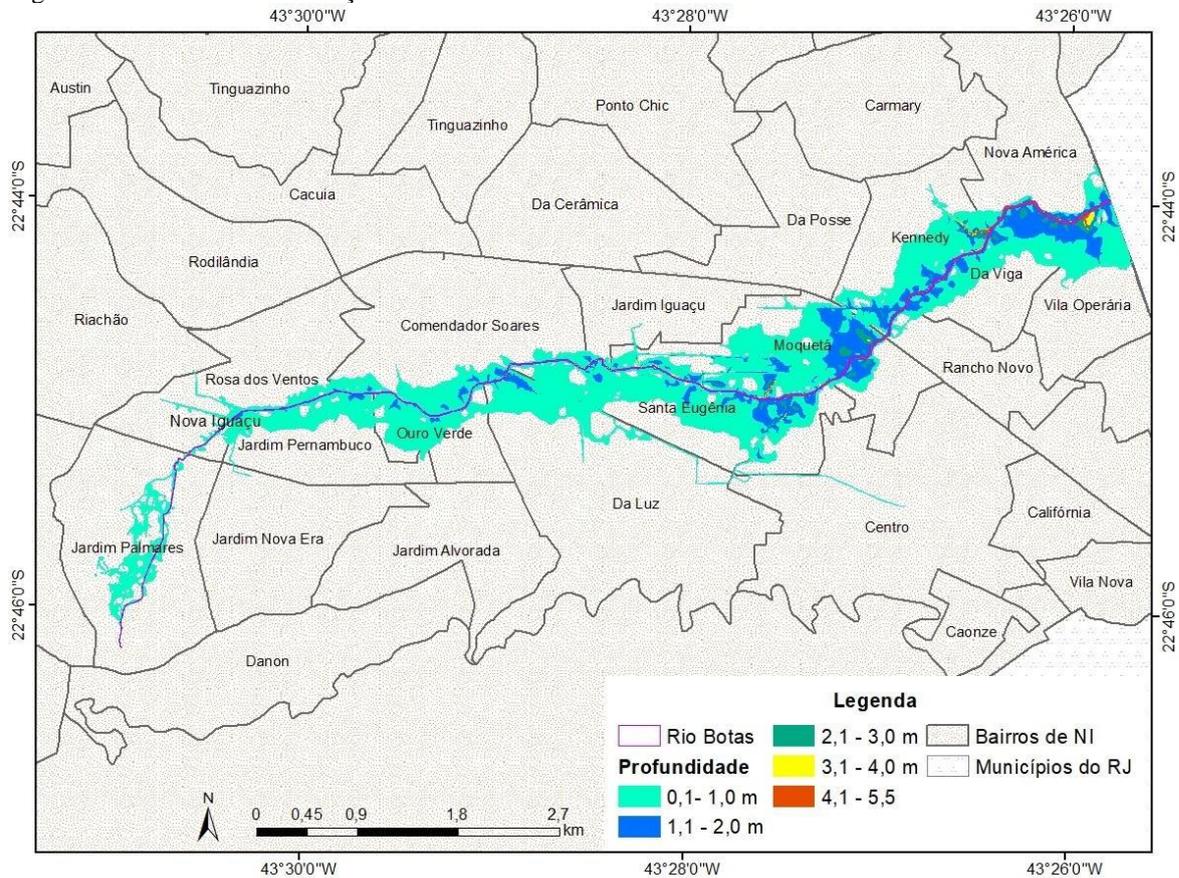
3.3.6 Cenário 4

Como mencionado anteriormente este cenário foi confeccionado baseado nos valores máximos de chuva do verão referentes a estação Ecologia Agrícola (Figura 25).

O bairro Jardim Palmares apresenta áreas inundadas que ultrapassam as margens do rio Botas, assim como no cenário 3. Também é possível inferir que o centro de Nova Iguaçu,

por meio do Canal Maxambomba, é afetado pela inundação do rio Botas. Porém a subida no nível da água neste bairro não provoca uma inundação já que a eleva o   de 20 cm.

Figura 25 - Extensão da inundação do cenário 4.



Fonte: A autora, 2020.

A tabela 13 apresenta os valores absolutos e a porcentagem de inundação dos bairros.

Tabela 13 - Extensão da inundação por bairro afetado.

Bairro	Área Inundada (km ²)	Porção Inundada do Bairro
Moquetá	0,92	51%
Santa Eugênia	0,70	63%
Da Viga	0,55	53%
Kennedy	0,49	38%
Comendador Soares	0,31	13%
Da Luz	0,28	8%
Ouro Verde	0,25	38%
Jardim Pernambuco	0,24	23%
Vila Operária	0,19	18%
Jardim Palmares	0,16	7%
Rosa dos Ventos	0,11	7%
Chacrinha	0,11	26%
Nova América	0,10	5%
Rancho Novo	0,02	3%
Jardim Iguaçu	0,02	2%

Fonte: A autora, 2020.

Dos 4,42 km² inundados, 0,22 km² (5%) pertencem ao trecho 1, pois mesmo a área inundada no bairro Jardim Palmares sendo maior este trecho ainda assim continua com uma proporção de inundação baixa em relação aos demais. O trecho 2 possui 1,066 km² (24%) e o trecho 3 possui 3,14 km² (71%).

Os bairros mais afetados se mantem constantes com o mínimo de percentual inundado de 51%. O grupo dos bairros menos afetados é igual ao cenário 3

O trecho 1 apresenta inundação de até 1 m, porém na interseção com canais menores a água pode alcançar 1,5 m; no canal alcança 2,5 m a 3 m. A partir do trecho 2 também há predomínio de profundidade com até 1 m, porém se tornam mais frequentes pontos onde a água alcança 1,5 m a 2,0 m; no canal é de 4 m a 4,5 m. No trecho 3 é comum a profundidade de até 1 m, mas são recorrentes regiões com 2,5 m a 3,0 m, o canal apresenta nível de 4,5 m a 5 m. No bairro da Viga (trecho 3) a altura da água alcançou 4,0 m a 4,5 m.

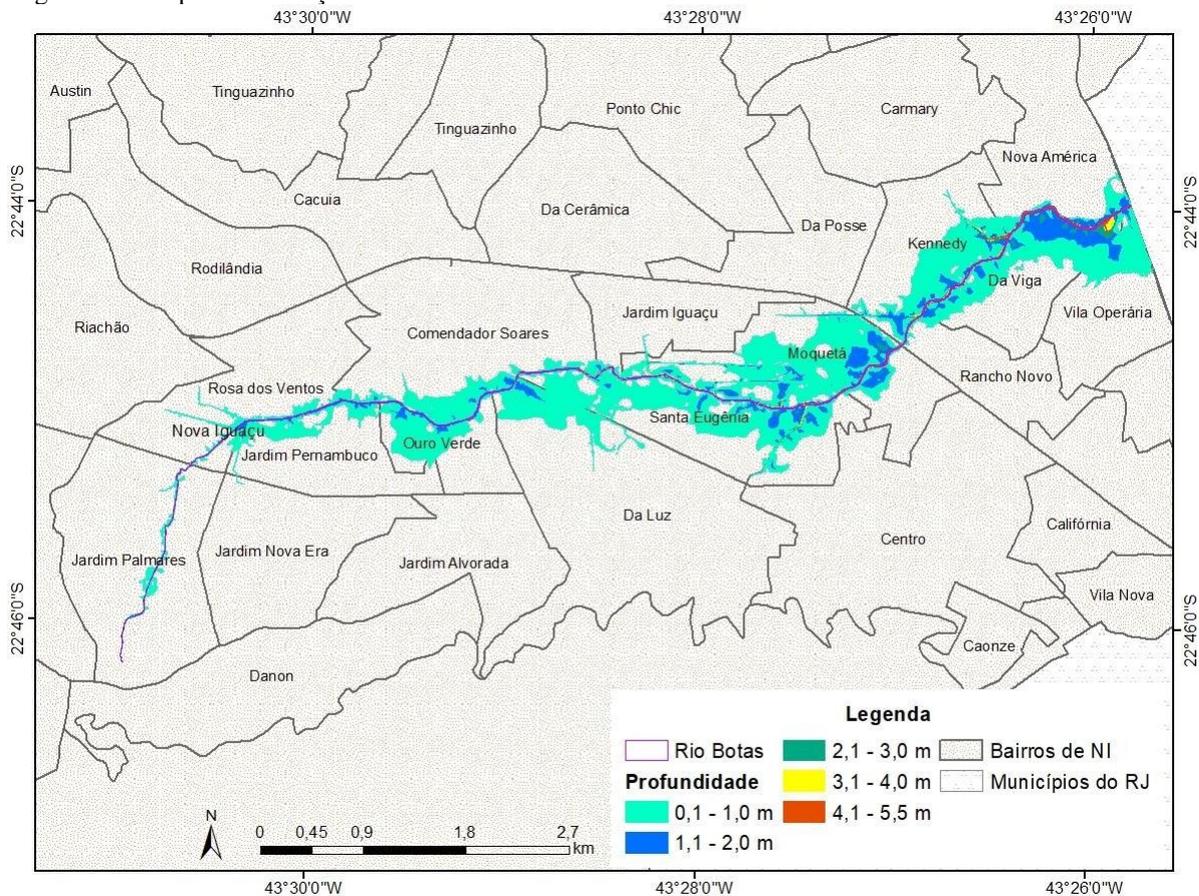
3.3.7 Cenário 5

Este cenário foi composto com os valores máximos de chuva dentro do grupo dos 50% menos frequentes (Figura 26).

Na figura 26 a seguir observa-se que o bairro Jardim Palmares voltou a apresentar inundações somente em suas margens assim como os cenários 1 e 2. A tabela 14 apresenta as áreas inundadas para este cenário.

Dos 3,7 km² inundados, 0,09 km² (2,5%) pertencem ao trecho 1, o trecho 2 possui 0,83 km² (22,5%) e o trecho 3 possui 2,76 km² (77%). Neste cenário, os grupos dos bairros mais e menos afetados se igualam aos cenários 1 e 2, com os mais afetados com porcentagem mínima de 45% e os menos afetados de 1%.

Figura 26 – Mapa de inundação do cenário 5.



Fonte: A autora, 2020.

Tabela 14 - Extensão da inundação por bairro afetado.

Bairro	Área Inundada (km ²)	Porção Inundada do Bairro
Moquetá	0,82	45%
Santa Eugênia	0,58	52%
Da Viga	0,52	50%
Kennedy	0,43	33%
Comendador Soares	0,25	11%
Da Luz	0,23	6%
Ouro Verde	0,21	32%
Vila Operária	0,18	17%
Jardim Pernambuco	0,14	14%
Nova América	0,10	5%
Chacrinha	0,09	22%
Rosa dos Ventos	0,08	5%
Jardim Palmares	0,05	2%
Rancho Novo	0,02	2%
Jardim Iguaçu	0,01	1%

Fonte: A autora, 2020.

Predomina no trecho 1 profundidades abaixo de 1 m, mas no encontro com outros cursos de água a profundidade alcança 1,5 m a 2,0 m. A altura máxima da água no canal é de 2,0 m a 2,5 m. No trecho 2 há predominância de lâmina d'água menor que 1 m com regiões entorno de 1,5 m a 2,0 m; no canal é de 3,5 m a 4,0m. No trecho 3 tornam-se frequentes profundidades de 1,5 m a 2,5 m podendo alcançar 3 m; no canal é de 6,5 m. No bairro da Viga (trecho 3) a água a profundidade é de 4,0 a 4,5m.

3.3.8 Comparação entre os cenários

Na comparação das áreas inundadas de todos os cenários as diferenças não são discrepantes, pois a menor área (cenário 1) possui 3,065 km² e a maior 5,12 km² (cenário 4) sendo que essa diferença é em torno de 2 km².

Também não há diferenças significativas entre os valores de inundação nos trechos 1, 2 e 3, pois em todos os cenários, o trecho 1 ficou entorno de 5% do total da área inundada, o trecho 2 ficou com 20 – 25% e o trecho 3 com variação de 71 – 78%.

Em relação a inundação dos bairros também não há muita diferença, os bairros com mais de 30% do seu território inundado são: Moquetá, Da Viga, Santa Eugênia, Kennedy e Ouro Verde.

Em todos os cenários também não há mudança nos bairros que tiveram até 15% do seu terreno inundado, estes são: Rancho Novo, Jardim Iguazu, Jardim Palmares, Rosa dos Ventos, Nova América, Da Luz e Comendador Soares. Apenas há uma exceção no cenário 5 onde há a inclusão de Jardim Pernambuco. Mesmo o bairro Jardim Palmares apresentando as maiores variações de área inundada em todos os cenários, este bairro ficou com menos de 15% da sua área inundada.

Não somente o rio Botas foi inundado nesses cenários, mas também alguns de seus afluentes principais, como os canais Ebony, Moquetá, Mirim, Cacuia e Metropolitano.

Também foi observado que no bairro Da Viga, em todos os cenários, foram calculados os maiores valores de profundidade. Este fato ocorre pelo fato de haver um platô que fica ao lado de um canal secundário que se conecta aos Botas, assim quando há inundação dos dois cursos de água esse platô forma um bloqueio orográfico que dificulta o escoamento superficial.

3.4 Mapeamento de Perigo

Para delimitar as diferentes zonas de perigo primeiro foi realizado um levantamento dos transtornos a circulação das pessoas e a perda de bens materiais em função da profundidade da lâmina d'água (Tabela 15). Após, foi realizado um levantamento dos elementos expostos a inundação.

Para verificar os transtornos causados a circulação das pessoas foi realizada uma associação entre a profundidade da inundação e a parte do corpo humano que essa água alcança. Este cálculo foi realizado para uma pessoa com altura de 1,65 m já que a média de altura do homem brasileiro é de 1,70 m e da mulher é de 1,60 m (CAVALCANTE, 2009).

Tabela 15 – Perdas e transtornos em função da altura da lâmina d'água.

Profundidade (cm)	Pessoa	Objetos
12	Tornozelo	sem perda material
50	Joelho	parte elétrica, cama, sofá
80	Quadril	fogão, guarda-roupa, cômoda

Fonte: A autora, 2020.

O intervalo de profundidade da água de 1 cm a 12 cm será considerado o menor grau de perigo neste trabalho. Indica o início da inundação e provoca um pequeno transtorno na locomoção de pedestres, sem prejudicá-la e sem provocar perdas materiais. Este grau é chamado de perigo baixo.

O intervalo de 12 cm a 50 cm é chamado de perigo médio, pois com a água na altura do joelho a locomoção de pedestres fica prejudicada ainda mais se tratando de grupos vulneráveis como crianças e idosos. Em relação as perdas materiais, a parte elétrica pode ser comprometida além de móveis como cama e sofá. Araújo et al. (2014) realizaram um levantamento sobre a morte de idosos por quedas e cerca de 30% morreram por quedas da própria altura por escorregar, dar passo em falso e tropeçar. Essas são situações que podem ocorrer facilmente com pessoas que tentam passar por áreas inundadas.

O intervalo de 50 cm a 80 cm é o grau de perigo alto, pois a água na altura do quadril dificulta uma locomoção segura dos pedestres e automóveis. Em relação as perdas materiais somam-se a lista: fogão, guarda-roupa e cômodas. Neste grau praticamente todos os móveis e eletrodomésticos que ficam no chão sofrem perda total ou parcial.

O intervalo acima de 80 cm é o grau de perigo muito alto, pois impede a circulação da maior parte dos automóveis e dificulta muito a circulação de pedestres. Neste cenário até o socorro às vítimas fica comprometido, tendo em vista que são necessários equipamentos de resgate especiais, como barcos. Neste grau de perigo também há perda total dos bens materiais listados na tabela 15.

3.4.1 Mapeamento de perigo do cenário 1

A seguir serão apresentadas as zonas de perigo para o cenário 1 (Figura 27).

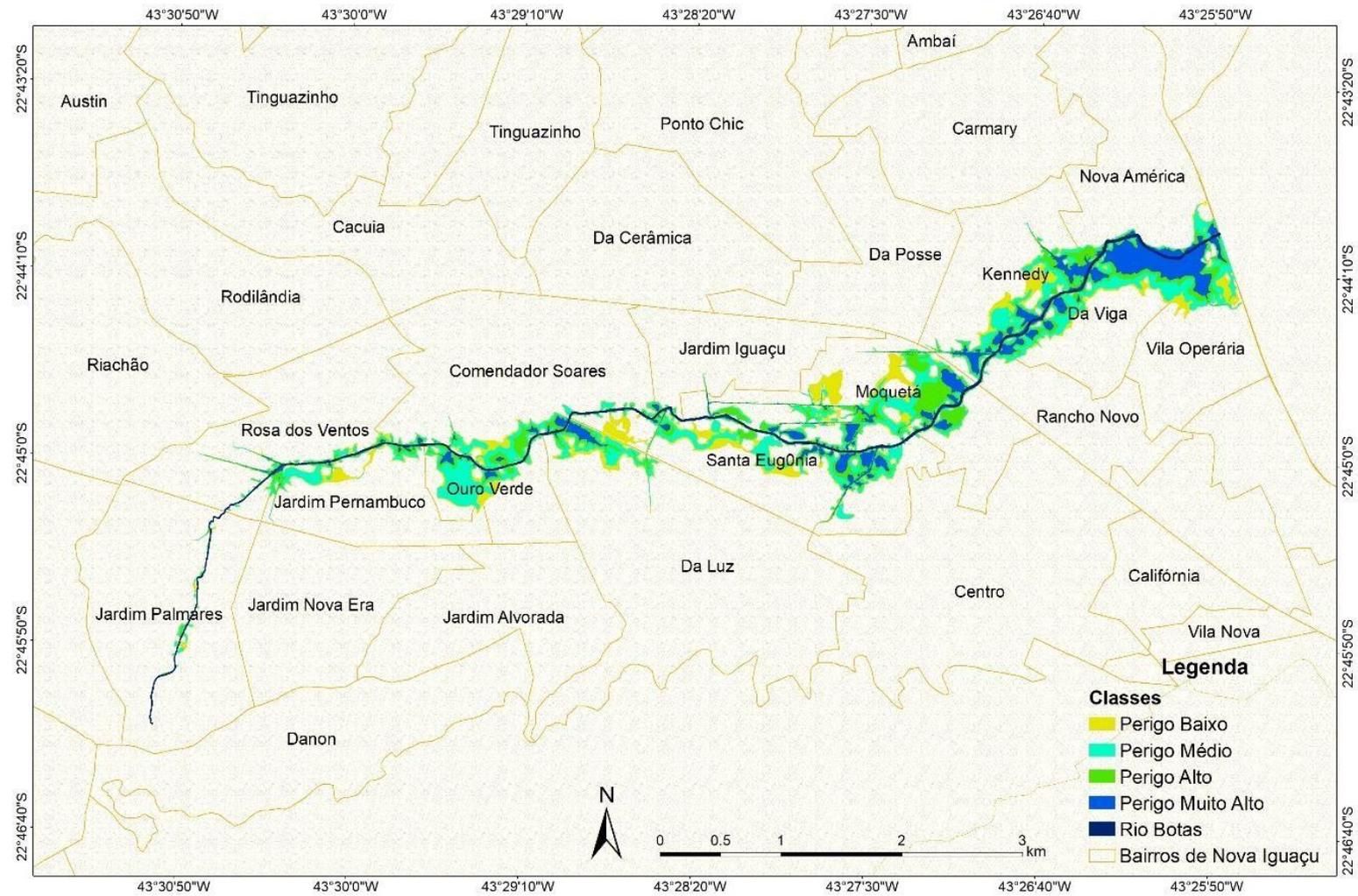
Na figura 27 percebe-se que o perigo médio é predominante, com o perigo baixo concentrado nas zonas afastadas da margem e uma concentração do perigo muito alto na parte mais a jusante.

A tabela 16 apresenta os elementos expostos a inundação retirados do censo de 2010 (IBGE, 2010). Os dados apresentados correspondem a porcentagem inundada do bairro e não ao seu total.

A quantidade dos elementos expostos varia consideravelmente de um bairro para o outro, pois cada um apresenta uma densidade demográfica própria. Assim, bairros com a

mesma porcentagem de área inundada, como os bairros Chacrinha e Rosa dos Ventos, apresentam números de elementos expostos bem diferenciados, como demonstra a tabela 16.

Figura 27 – Mapa de perigo para o cenário.



Fonte: A autora, 2020.

Tabela 16 – Valores dos elementos expostos a inundação do cenário 1 (continua).

Bairro	Área do Bairro (km)	classe	Área Inundada (km ²)	Domicílio	Moradores (total)	Crianças	Idosos
Chacrinha	0,42	perigo baixo	2	33	111	17	11
		perigo médio	9	132	440	67	43
		perigo alto	2	29	97	15	10
		perigo muito alto	3	49	163	25	16
Total			16	243	811	124	80
Comendador Soares	2,4	perigo baixo	2	154	530	96	44
		perigo médio	4	327	1124	204	94
		perigo alto	2	162	555	101	46
		perigo muito alto	2	141	486	88	40
Total			9	784	2695	490	22
Da Luz	3,48	perigo baixo	1	82	284	48	22
		perigo médio	2	127	443	75	34
		perigo alto	1	43	150	25	11
		perigo muito alto	1	47	165	28	12
Total			5	299	1043	175	
Da Viga	1,04	perigo baixo	4	112	398	72	31
		perigo médio	14	427	1515	274	119
		perigo alto	6	195	692	125	54
		perigo muito alto	23	726	2574	465	203
Total			46	1461	5179	936	408
Jardim Iguaçú	0,97	perigo alto	0,2	4	15	3	1
		perigo baixo	0,1	2	8	2	1
		perigo médio	0,3	8	27	5	2
		perigo muito alto	0,4	12	41	8	3
Total			1	26	91	17	7
Jardim Palmares	2,41	perigo baixo	0,4	16	59	13	3
		perigo médio	1	23	84	18	4
		perigo alto	0,2	9	33	7	2
		perigo muito alto	0,3	10	38	8	2
Total			1	58	214	46	11
Jardim Pernambuco	1,03	perigo baixo	4	89	329	73	19
		perigo médio	5	123	455	102	26
		perigo alto	1	33	121	27	7
		perigo muito alto	1	18	66	15	4
Total			11	263	972	217	55
Kennedy	1,29	perigo baixo	6	275	956	177	69
		perigo médio	9	411	1429	265	103
		perigo alto	4	196	682	127	49
		perigo muito alto	7	331	1152	214	83

Tabela 16 – Valores dos elementos expostos a inundação do cenário 1 (conclusão).

Total			27	1213	4220	783	304
Moquetá	1,79	perigo alto	9	229	781	128	73
		perigo baixo	8	194	662	108	62
		perigo médio	10	251	855	140	80
		perigo muito alto	7	177	602	98	56
Total			35	852	2901	474	271
Nova América	1,92	perigo baixo	0	14	49	10	4
		perigo médio	1	56	198	40	16
		perigo alto	1	41	145	29	12
		perigo muito alto	2	90	318	64	25
Total			40	1052	3609	615	327
Ouro Verde	0,65	perigo baixo	5	136	479	109	24
		perigo médio	20	548	1927	439	99
		perigo alto	3	84	295	67	15
		perigo muito alto	3	71	250	57	
Total			30	839	2952	673	151
Rancho Novo	0,85	perigo baixo	0	5	16	2	2
		perigo médio	1	15	50	7	5
		perigo alto	0	4	12	2	1
		perigo muito alto	1	11	38	5	4
Total			2	35	116	15	12
Rosa dos Ventos	1,69	perigo baixo	1	27	96	20	6
		perigo médio	1	58	211	43	14
		perigo alto	1	29	103	21	7
		perigo muito alto	2	67	243	50	16
Total			4	181	653	134	42
Santa Eugênia	1,11	perigo baixo	11	439	1487	224	139
		perigo médio	12	471	1597	241	149
		perigo alto	4	170	576	87	54
		perigo muito alto	8	309	1047	158	98
Total			35	1389	4707	710	439
Vila Operária	1,01	perigo baixo	4	128	445	85	34
		perigo médio	6	180	627	120	48
		perigo alto	3	90	314	60	24
		perigo muito alto	3	99	346	66	
Total			16	497	1732	331	133

Fonte: A autora, 2020.

No total dos elementos expostos, do perigo baixo até o muito alto, há bairros com menos de cinquenta moradias atingidas (Rancho Novo, Jardim Palmares e Jardim Iguçu),

como também bairros com mais de 500 moradias atingidas (Da Viga, Kennedy, Nova América e Santa Eugênia).

Em relação ao número de moradores há bairros com mais de dois mil afetados (Comendador Soares, Da Viga, Kennedy, Moquetá, Nova América, Ouro Verde e Santa Eugênia). Todos os bairros que tiveram mais de 500 moradias inundadas também tiveram mais de dois mil moradores atingidos. Os bairros com menos habitantes atingidos são: Jardim Iguaçú, Jardim Palmares e Rancho Novo e são os mesmos bairros com menos de 50 casas inundadas.

Os bairros que tiveram a maior porcentagem de sua área inundada são: Da Viga, Moquetá, Nova América, Ouro Verde e Santa Eugênia e os menos afetados são Comendador Soares, Da Luz, Jardim Iguaçú, Jardim Palmares, Rancho Novo e Rosa dos Ventos.

Por meio da análise de toda área inundada, constatou-se que o grau de perigo que ocupa maior área é o perigo médio, somente no bairro Da Viga há uma predominância do perigo classificado como muito alto.

Em diversos bairros há uma pequena diferença percentual entre os perigos médios e muito altos. Acredita-se que o perigo muito alto ocupe uma área maior do que o perigo alto pelo seu maior intervalo, como demonstrado na tabela 16. Em nenhum bairro o perigo baixo ocupou uma área maior do que 1%.

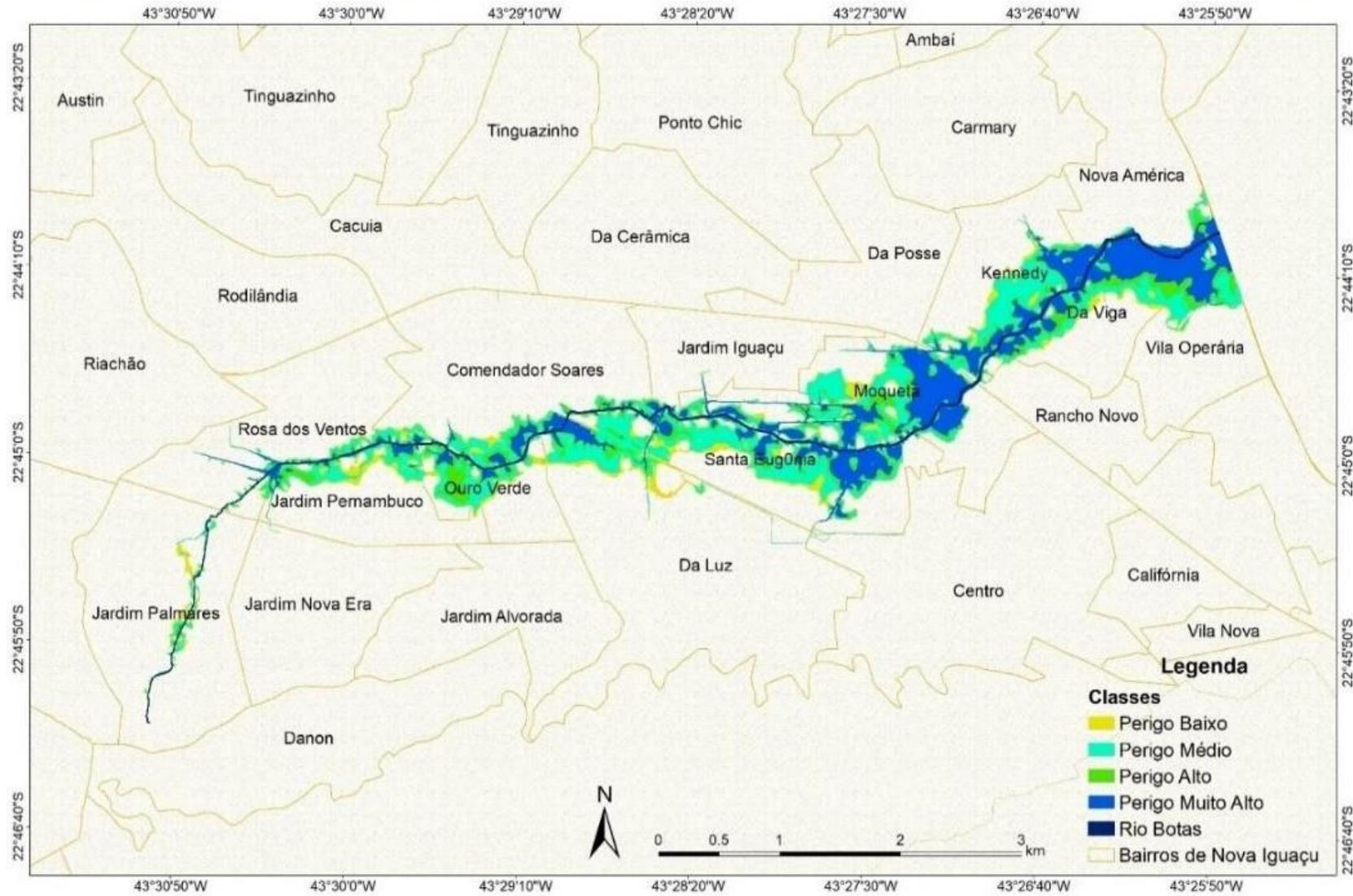
Uma análise a respeito dos moradores mais vulneráveis também é importante, pois um grau de perigo médio (água na altura do joelho) pode ser considerado um impeditivo no deslocamento dessas pessoas. Neste trabalho, pessoas vulneráveis são consideradas as crianças de até 9 anos e idosos a partir dos 65 anos. Todos os bairros apresentam percentual de moradores vulneráveis em torno de 25%.

Prédios públicos das áreas da educação e saúde também foram verificados. Em relação aos prédios da saúde foram afetadas uma clínica da família (risco alto) e uma secretária de saúde municipal (risco médio). Dos prédios da educação, dezessete escolas foram afetadas sendo que destes nove estão dentro dos graus de perigo alto e muito alto o que poderia impedir o seu funcionamento e o cancelamento das aulas.

3.4.2 Mapeamento de perigo do cenário 2

A seguir serão apresentadas as zonas de perigo para o cenário 2 (Figura 28).

Figura 28 – Mapa de perigo para o cenário 2.



Fonte: Aautora, 2020.

Houve uma mudança significativa entre os graus de perigo nos cenários 2 e 1. No cenário 2 ainda há um predomínio do grau médio, porém o grau muito alto foi registrado em mais bairros. Antes este grau só predominava no bairro Da Viga, porém no cenário 2 predomina também em Chacrinha, Jardim Iguaçu, Nova América e Moquetá.

Os bairros onde a diferença entre os valores médio e muito alto são ínfimos são Rancho Novo, Rosa dos Ventos e Vila Operária. O único bairro que apresenta os maiores valores de áreas inundadas entre perigos baixo e médio é o bairro Jardim Palmares.

Pela análise do mapa acima é possível notar um aumento dos graus de perigo alto e muito alto a partir do bairro de Rosa dos Ventos. A seguir a tabela 17 apresenta os elementos a inundação retirados do censo 2010 (IBGE, 2010).

Tabela 17 – Valores dos elementos expostos a inundação do cenário 2 (continua).

Bairro	classe	Área Inundada (km ²)	Domicílios	Moradores (total)	Crianças	Idosos
Chacrinha	perigo baixo	2	29	96	15	9
	perigo médio	8	118	394	60	39
	perigo alto	5	78	261	40	26
	perigo muito alto	10	154	513	78	51
Total		25	379	1263	193	125
Comendador Soares	perigo baixo	2	158	544	99	45
	perigo médio	5	446	1533	279	128
	perigo alto	2	199	683	124	57
	perigo muito alto	3	295	1013	184	84
Total		13	1098	3773	686	314
Da Luz	perigo baixo	2	110	383	64	29
	perigo médio	4	246	856	144	65
	perigo alto	1	71	247	42	19
	perigo muito alto	1	76	264	44	20
Total		8	502	1750	294	132
Da Viga	perigo baixo	4	119	422	76	33
	perigo médio	12	380	1349	244	106
	perigo alto	10	322	1141	206	90
	perigo muito alto	29	928	3290	595	259
Total		56	1749	6201	1121	488
Jardim Iguaçu	perigo baixo	0	5	16	3	1
	perigo médio	0	11	40	7	3
	perigo alto	0	7	24	5	2
	perigo muito alto	1	19	68	13	5
Total		2	42	148	28	11

Tabela 17 – Valores dos elementos expostos a inundação do cenário 2 (continuação).

Jardim Palmares	perigo baixo	1	56	207	45	11
	perigo médio	1	47	176	38	9
	perigo alto	0	12	46	10	2
	perigo muito alto	0	16	61	13	3
Total		3	132	490	106	26
Jardim Pernambuco	perigo baixo	6	149	548	122	31
	perigo médio	10	259	955	213	54
	perigo alto	3	82	303	68	17
	perigo muito alto	2	55	202	45	11
Total		22	544	2008	448	114
Kennedy	perigo baixo	4	174	606	112	44
	perigo médio	18	803	2794	518	201
	perigo alto	5	199	692	128	50
	perigo muito alto	13	555	1933	359	139
Total		39	1731	6024	1118	433
Moquetá	perigo baixo	5	112	383	63	36
	perigo médio	18	432	1473	240	138
	perigo alto	7	174	592	97	55
	perigo muito alto	21	510	1739	284	162
Total		50	1229	4187	684	391
Nova América	perigo baixo	0	15	51	10	4
	perigo médio	1	45	159	32	13
	perigo alto	1	42	149	30	12
	perigo muito alto	3	144	508	102	41
Total		6	246	868	174	69
Ouro Verde	perigo baixo	5	150	526	120	27
	perigo médio	16	455	1601	365	82
	perigo alto	11	314	1104	251	56
	perigo muito alto	4	110	388	88	20
Total		37	1029	3618	824	185
Rancho Novo	perigo baixo	0	9	31	4	3
	perigo médio	1	19	64	8	7
	perigo alto	0	9	31	4	3
	perigo muito alto	1	14	47	6	5
Total		2	52	173	23	19

Tabela 17 – Valores dos elementos expostos a inundação do cenário 2 (conclusão).

Rosa dos Ventos	perigo baixo	1	42	150	31	10
	perigo médio	2	98	353	72	23
	perigo alto	1	42	152	31	10
	perigo muito alto	2	92	332	68	22
Total		6	274	987	202	64
Santa Eugênia	perigo baixo	8	321	1089	164	102
	perigo médio	30	1182	4008	604	374
	perigo alto	7	291	987	149	92
	perigo muito alto	16	624	2115	319	197
Total		61	2418	8198	1236	764
Vila Operária	perigo baixo	1	28	99	19	8
	perigo médio	8	244	851	162	65
	perigo alto	4	123	428	82	33
	perigo muito alto	7	226	787	150	60
Total		20	621	2165	413	166

Fonte: A autora, 2020.

No cenário total dos elementos expostos só há dois bairros com menos de 100 moradias inundadas; Jardim Iguaçu e Rancho Novo. Os bairros com mais de 1.500 moradias afetadas, são Da Viga, Kennedy e Santa Eugênia. Na questão dos moradores, os bairros menos afetados são Jardim Iguaçu, Jardim Palmares. Já os mais afetados são: Da Viga, Kennedy, Moquetá e Santa Eugênia. Apenas Moquetá não está inserido no grupo de bairros com os menores números de residências afetadas.

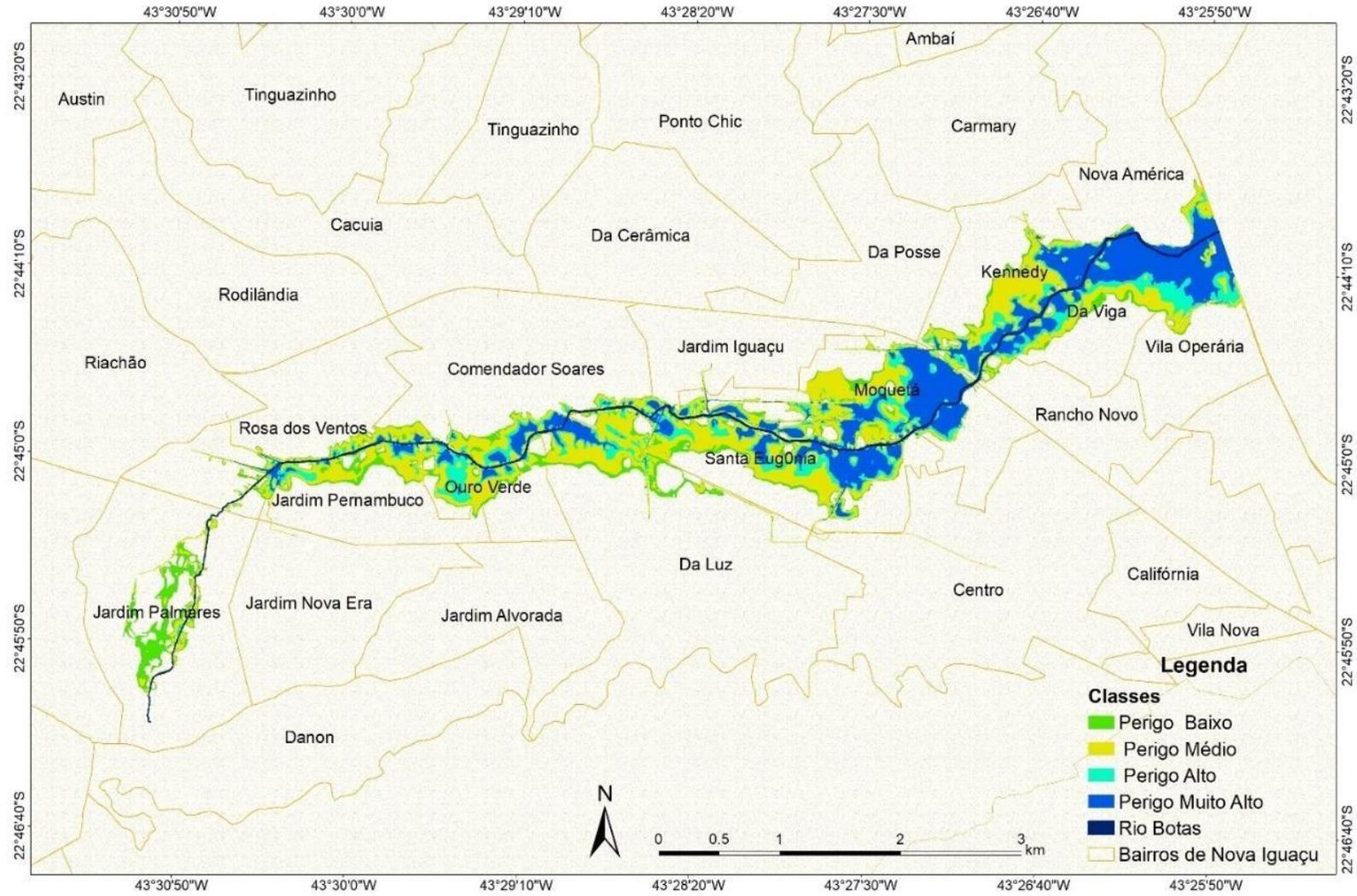
Os bairros Jardim Iguaçu e Rancho Novo apesar de apresentarem menos casas afetadas apresentam na maior parte da área inundada perigo muito alto o que acarreta muitas perdas materiais e transtorno a circulação de pessoas e automóveis. A população vulnerável é cerca de 30% o que agrava o cenário até de remoção das pessoas das residências inundadas.

Em relação aos prédios da saúde a clínica da família situa-se no perigo muito alto, a secretária de saúde municipal no perigo médio e o posto municipal no risco médio. Em relação aos prédios da educação somente escolas foram atingidas com um total de 22, destas 12 situam-se nos graus alto e muito alto.

3.4.3 Mapeamento de perigo do cenário 3

A seguir serão apresentadas as zonas de perigo para o cenário 3 (Figura 29).

Figura 29 – Mapa de perigo para o cenário 3.



Fonte:

A

autora,

2020.

Neste cenário observa-se o predomínio dos perigos baixos e médios nos trechos 1 e 2, porém no trecho 3 há um predomínio dos perigos médios e muito alto. A tabela 18 apresenta os elementos expostos a inundação.

Este cenário corresponde ao risco alto no protocolo da Defesa Civil, logo foi confeccionado com os maiores pico e acumulado de chuva, sendo assim, este cenário apresenta a maior parte da área inundada classificada como perigo muito alto. Este fato acontece nos sete dos quinze bairros analisados. Isso implica que a maior parte das pessoas dentro da área inundada poderão ter o nível da água acima dos quadris com grandes perdas materiais. Somente, o bairro Jardim Palmares tem predominância do perigo baixo.

Tabela 18 – Valores dos elementos expostos a inundação do cenário 3 (continua).

Bairro	classe	Área Inundada (km ²)	Domicílios	Moradores (total)	Crianças	Idosos
Chacrinha	perigo baixo	2	30	100	15	10
	perigo médio	13	188	628	96	62
	perigo alto	6	89	296	45	29
	perigo muito alto	7	110	368	56	36
Total		28	417	1392	213	138
Comendador Soares	perigo baixo	1	125	428	78	36
	perigo médio	4	338	1160	211	96
	perigo alto	3	217	746	136	62
	perigo muito alto	6	478	1641	298	137
Total		14	1157	3975	723	331
Da Luz	perigo baixo	2	118	410	69	31
	perigo médio	1	86	299	50	23
	perigo alto	1	83	288	48	22
	perigo muito alto	4	262	913	154	69
Total		8	548	1909	321	145
Da Viga	perigo baixo	3	100	354	64	28
	perigo médio	33	1050	3724	673	293
	perigo alto	11	337	1196	216	94
	perigo muito alto	11	360	1277	231	100
Total		59	1848	6551	1184	515
Jardim Iguaçú	perigo baixo	0	4	14	3	1
	perigo médio	1	22	77	14	6
	perigo alto	0	7	26	5	2
	perigo muito alto	0	13	46	9	3
Total		2	46	162	30	12

Tabela 18 – Valores dos elementos expostos a inundação do cenário 3 (continua).

Jardim Palmares	perigo baixo	6	242	899	195	48
	perigo médio	0	18	68	15	4
	perigo alto	0	13	50	11	3
	perigo muito alto	2	72	266	58	14
Total		9	346	1283	279	68
Jardim Pernambuco	perigo baixo	5	135	500	112	28
	perigo médio	3	69	256	57	15
	perigo alto	3	86	318	71	18
	perigo muito alto	12	310	1144	255	65
Total		24	601	2218	495	126
Kennedy	perigo baixo	3	118	412	76	30
	perigo médio	15	648	2255	418	162
	perigo alto	6	275	958	178	69
	perigo muito alto	19	818	2847	528	205
Total		42	1860	6472	1201	466
Moquetá	perigo baixo	3	81	274	45	26
	perigo médio	24	584	1991	325	186
	perigo alto	9	208	708	116	66
	perigo muito alto	17	414	1410	230	132
Total		53	1287	4383	716	409
Nova América	perigo baixo	0	12	41	8	3
	perigo médio	4	188	661	132	53
	perigo alto	1	37	132	26	11
	perigo muito alto	2	70	248	50	20
Total		7	307	1082	216	86
Ouro Verde	perigo baixo	5	154	541	123	28
	perigo médio	5	139	487	111	25
	perigo alto	13	357	1254	286	64
	perigo muito alto	16	462	1624	370	83
Total		40	1111	3906	890	200
Rancho Novo	perigo baixo	1	17	56	7	6
	perigo médio	1	16	54	7	6
	perigo alto	1	12	42	5	4
	perigo muito alto	1	26	87	11	9
Total		3	71	239	31	26
Rosa dos Ventos	perigo baixo	1	57	206	42	13
	perigo médio	2	102	369	76	24
	perigo alto	1	47	171	35	11
	perigo muito alto	3	115	414	85	27
Total		8	321	1159	238	75

Tabela 18 – Valores dos elementos expostos a inundação do cenário 3 (conclusão).

Santa Eugênia	perigo baixo	6	245	829	125	77
	perigo médio	18	719	2436	367	227
	perigo alto	12	489	1658	250	155
	perigo muito alto	29	1140	3866	583	360
Total		65	2593	8789	1325	820
Vila Operária	perigo baixo	1	25	86	16	7
	perigo médio	10	309	1077	206	83
	perigo alto	7	210	734	140	56
	perigo muito alto	4	129	451	86	35

Fonte: A autora, 2020.

Em relação as moradias, neste cenário somente dois bairros apresentam menos de cem casas atingidas, esses bairros são Rancho Novo e Jardim Iguaçu. Nos bairros Da Viga, Kennedy e Santa Eugênia são mais de 1.500 habitações atingidas. Em relação ao número de moradores, Jardim Iguaçu e Rancho Novo são os únicos bairros com menos de 1.000 atingidos, os bairros Da Viga, Kennedy e Santa Eugênia são mais de quatro mil.

Neste cenário também foram atingidas uma clínica da família (perigo médio), uma secretária da saúde municipal (perigo médio) e um posto municipal (perigo muito alto). Também foram atingidas 26 escolas sendo nos perigos alto e muito alto.

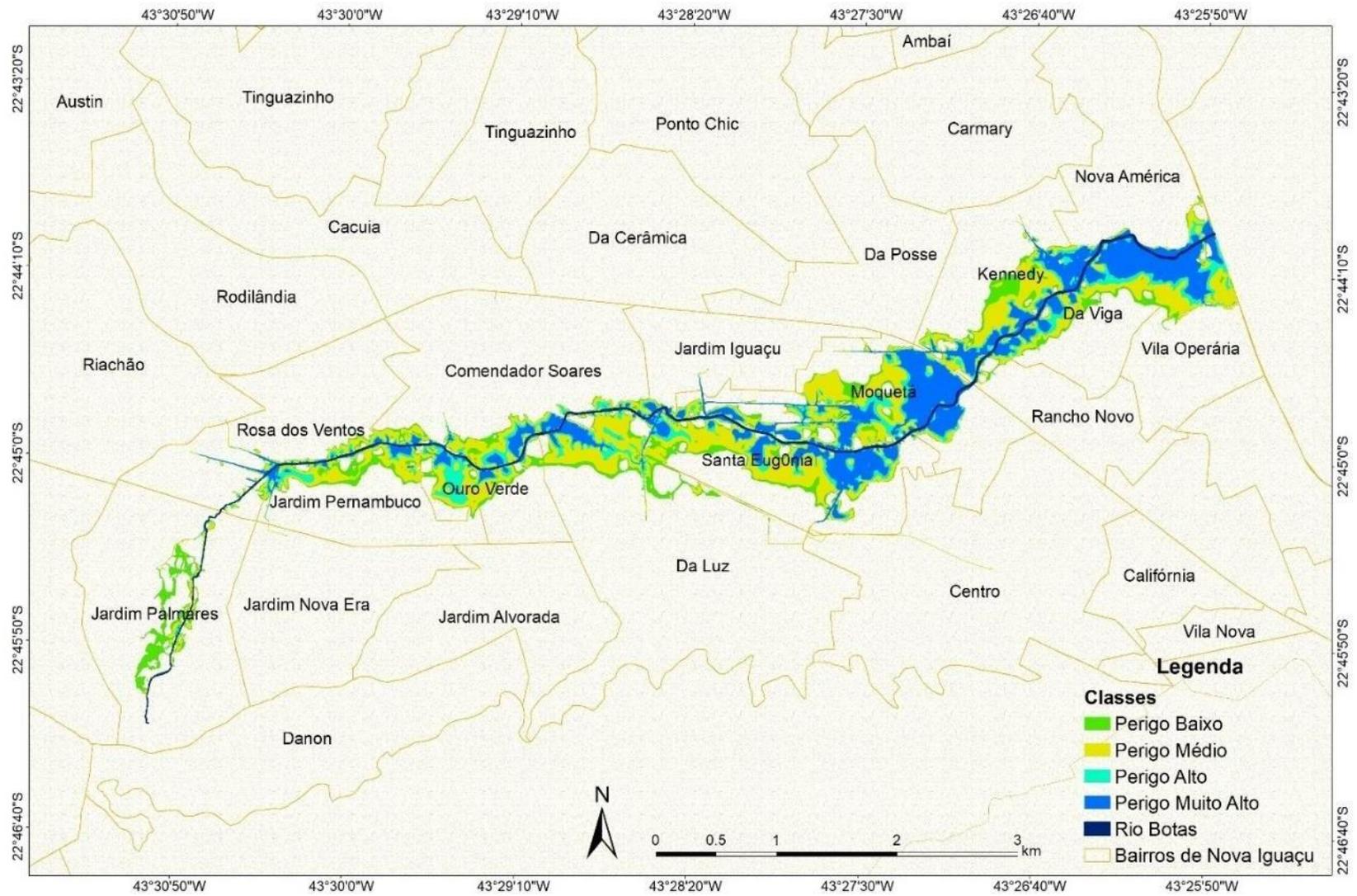
3.4.4 Mapeamento de perigo do cenário 4

A seguir serão apresentadas as zonas de perigo para o cenário 4 (Figura 30).

No mapa abaixo infere-se que há um predomínio dos graus de perigo médio e muito alto, exceto no Jardim Palmares que há uma maior abrangência do perigo baixo. Este fato pode ser explicado pela inclinação mais acentuada do térreo que facilita o escoamento da água.

Nos demais bairros o perigo baixo se concentra no limite da zona inundada diferentemente do risco muito alto que está associado a terrenos rebaixados ligados às margens do rio Botas e no encontro com seus afluentes. A tabela 19 traz os valores dos elementos expostos.

Figura 30 – Mapa de perigo para o cenário 4.



Fonte: A autora, 2020.

Tabela 19 – Valores dos elementos expostos a inundação do cenário 4 (continua).

Bairro	Classe	Área Inundada (km ²)	Domicílio	Moradores (total)	Crianças	Idosos
Chacrinha	perigo baixo	2	31	104	16	10
	perigo médio	8	117	391	60	39
	perigo alto	5	80	268	41	26
	perigo muito alto	11	161	537	82	53
Total		26	390	1300	199	129
Comendador Soares	perigo baixo	2	166	570	104	47
	perigo médio	5	450	1546	281	129
	perigo alto	2	202	693	126	58
	perigo muito alto	3	298	1024	186	85
Total		13	1116	3833	697	319
Da Luz	perigo baixo	2	125	436	73	33
	perigo médio	4	247	860	145	65
	perigo alto	1	72	251	42	19
	perigo muito alto	1	77	268	45	20
Total		8	521	1815	305	137
Da Viga	perigo baixo	5	147	520	94	41
	perigo médio	14	428	1516	274	119
	perigo alto	8	247	875	158	69
	perigo muito alto	27	844	2993	541	236
Total		53	1665	5904	1067	465
Jardim Iguaçu	perigo baixo	0	5	18	3	1
	perigo médio	0	11	40	7	3
	perigo alto	0	7	24	5	2
	perigo muito alto	1	19	69	13	5
Total		2	42	151	28	11
Jardim Palmares	perigo baixo	4	171	633	137	34
	perigo médio	1	47	175	38	9
	perigo alto	0	12	46	10	2
	perigo muito alto	0	17	62	13	3
Total		6	247	916	199	49
Jardim Pernambuco	perigo baixo	6	161	594	133	34
	perigo médio	11	267	984	220	56
	perigo alto	3	83	305	68	17
	perigo muito alto	2	56	205	46	12
Total		23	566	2088	466	119

Tabela 19 – Valores dos elementos expostos a inundação do cenário 4 (conclusão).

Kennedy	perigo baixo	7	297	1032	191	74
	perigo médio	15	665	2314	429	166
	perigo alto	4	199	692	128	50
	perigo muito alto	11	495	1721	319	124
Total	37	1655	5759	1069	414	
Moquetá	perigo baixo	5	113	385	63	36
	perigo médio	18	434	1477	241	138
	perigo alto	7	176	600	98	56
	perigo muito alto	22	525	1789	292	167
Total	51	1248	4252	694	397	
Nova América	perigo baixo	0	13	46	9	4
	perigo médio	1	50	178	36	14
	perigo alto	1	36	126	25	10
	perigo muito alto	3	118	416	83	33
Total	5	217	766	153	61	
Ouro Verde	perigo baixo	6	164	576	131	29
	perigo médio	16	456	1604	365	82
	perigo alto	11	323	1135	259	58
	perigo muito alto	4	115	405	92	21
Total	38	1058	3720	848	190	
Rancho Novo	perigo baixo	1	12	42	5	4
	perigo médio	1	20	67	9	7
	perigo alto	0	6	20	3	2
	perigo muito alto	1	13	44	6	5
Total	2	52	173	23	19	
Rosa dos Ventos	perigo baixo	1	45	162	33	11
	perigo médio	2	100	360	74	23
	perigo alto	1	43	157	32	10
	perigo muito alto	2	93	335	69	22
Total	7	281	1013	208	66	
Santa Eugênia	perigo baixo	8	326	1106	167	103
	perigo médio	30	1204	4080	615	380
	perigo alto	8	309	1046	158	98
	perigo muito alto	16	646	2191	330	204
Total	63	2485	8423	1270	785	
Vila Operária	perigo baixo	1	39	137	26	11
	perigo médio	8	266	928	177	71
	perigo alto	4	115	401	77	31
	perigo muito alto	5	153	535	102	41
Total	18	573	2001	382	154	

Fonte: A autora, 2020.

Dentre os quinze bairros analisados em nove há predomínio do grau médio e em cinco do grau muito alto, o único bairro com predomínio do perigo baixo é o Jardim Palmares, logo neste cenário quatorze dos quinze bairros analisados possuem a maior parte da sua inundação com potencial de perda material e humana.

Nos bairros, em relação as moradias, os menos atingidos são Jardim Iguazu e Rancho Novo (menos de 100) e os maiores são Da Viga, Kennedy e Santa Eugênia (mais de 1.500). Em relação aos habitantes, os bairros Jardim Iguazu e Rancho Novo tem o menor número de pessoas atingidas (menos de 500).

Os prédios públicos de saúde atingidos são: secretária de saúde municipal (risco alto), posto municipal (risco baixo) e clínica da família (risco alto). Em relação aos prédios da área de educação, vinte e três escolas foram atingidas sendo que onze estão nos graus de perigo alto e muito alto.

3.4.5 Mapeamento de perigo do cenário 5

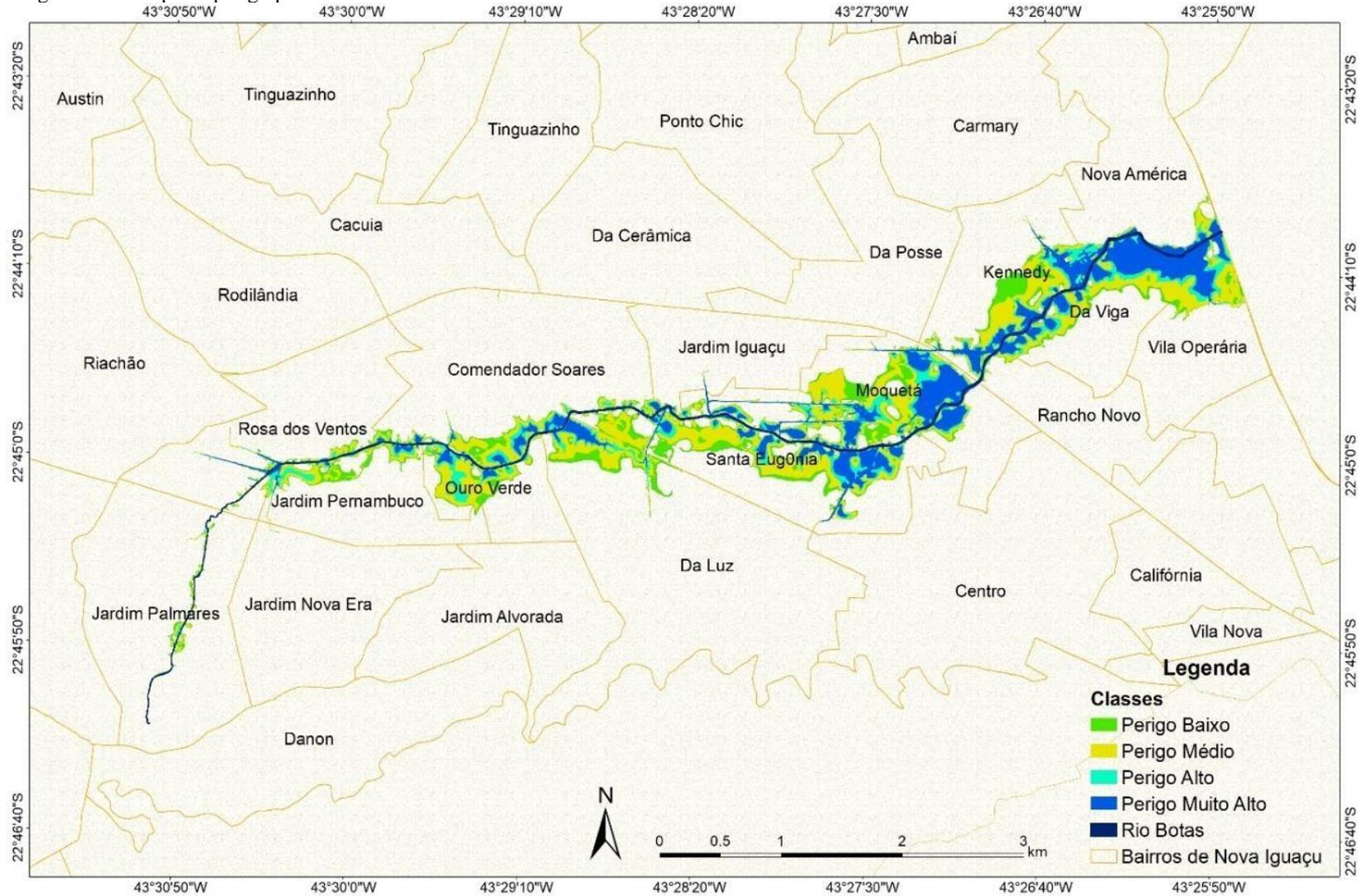
A seguir serão apresentadas as zonas de perigo para o cenário 5 (Figura 31).

Neste cenário a inundação em Jardim Palmares volta a se concentrar ao longo das margens do rio Botas até o bairro Jardim Pernambuco, onde a inundação toma a planície de inundação com predomínio de perigos baixos e médios, exceto no encontro com afluentes onde o grau chega a ser considerado muito alto.

A partir de Comendador Soares, os perigos de graus alto e muito alto passam a ser mais recorrentes com predomínio nos bairros Moquetá e Da Viga. A tabela 20 apresenta os valores dos elementos expostos.

Como demonstrado pela figura 31 a maior parte da inundação tem o grau de perigo médio, pois são onze bairros com a maior parte da inundação com grau médio, seis com grau muito alto e um grau baixo. O perigo muito alto não representa a maior parte da inundação em nenhum dos bairros.

Figura 31 – Mapa de perigo para o cenário 5.



Fonte: A autora, 2020.

Tabela 20 – Valores dos elementos expostos a inundação do cenário 5 (continua).

Bairro	Classe	Área Inundada (km ²)	Domicílios	Moradores (total)	Crianças	Idosos
Chacrinha	perigo baixo	2	33	111	17	11
	perigo médio	8	120	401	61	40
	perigo alto	4	65	218	33	22
	perigo muito alto	7	110	366	56	36
Total		22	329	1097	168	108
Comendador Soares	perigo baixo	2	174	598	109	50
	perigo médio	4	356	1223	222	102
	perigo alto	2	164	563	102	47
	perigo muito alto	3	216	742	135	62
Total		11	910	3125	568	260
Da Luz	perigo baixo	2	122	425	71	32
	perigo médio	3	185	645	108	49
	perigo alto	1	54	188	32	14
	perigo muito alto	1	60	209	35	16
Total		6	421	1466	247	111
Da Viga	perigo baixo	4	114	406	73	32
	perigo médio	14	442	1568	284	123
	perigo alto	7	216	767	139	60
	perigo muito alto	25	798	2829	511	223
Total		50	1571	5570	1007	438
Jardim Iguaçú	perigo baixo	0	3	12	2	1
	perigo médio	0	9	32	6	2
	perigo alto	0	6	21	4	2
	perigo muito alto	1	14	51	10	4
Total		1	33	116	22	9
Jardim Palmares	perigo baixo	1	24	89	19	5
	perigo médio	1	27	100	22	5
	perigo alto	0	11	39	8	2
	perigo muito alto	0	13	47	10	2
Total		2	74	275	60	15
Jardim Pernambuco	perigo baixo	5	113	417	93	24
	perigo médio	5	132	486	108	28
	perigo alto	3	63	232	52	13
	perigo muito alto	1	29	106	24	6
Total		14	336	1241	277	70
Kennedy	perigo médio	12	544	1892	351	136
	perigo alto	5	199	693	129	50
	perigo muito alto	9	410	1428	265	103
Total		26	1154	4013	745	289

Tabela 20 – Valores dos elementos expostos a inundação do cenário 5 (conclusão).

Moquetá	perigo baixo	8	190	646	105	60
	perigo médio	15	370	1261	206	118
	perigo alto	7	169	574	94	54
	perigo muito alto	16	381	1298	212	121
Total		45	1110	3780	617	353
Nova América	perigo baixo	0	14	48	10	4
	perigo médio	1	55	193	39	15
	perigo alto	1	41	145	29	12
	perigo muito alto	2	100	354	71	28
Total		5	210	741	148	59
Ouro Verde	perigo baixo	5	140	491	112	25
	perigo médio	17	479	1685	384	86
	perigo alto	7	201	707	161	36
	perigo muito alto	3	82	289	66	15
Total		32	902	3172	723	162
Rancho Novo	perigo baixo	0	6	20	3	2
	perigo médio	1	17	58	8	6
	perigo alto	0	5	16	2	2
	perigo muito alto	1	12	41	5	4
Total		2	40	135	18	14
Rosa dos Ventos	perigo baixo	1	33	121	25	8
	perigo médio	2	68	247	51	16
	perigo alto	1	35	127	26	8
	perigo muito alto	2	73	263	54	17
Total		5	210	758	155	49
Santa Eugênia	perigo baixo	11	454	1538	232	143
	perigo médio	23	896	3036	458	283
	perigo alto	6	222	751	113	70
	perigo muito alto	12	489	1657	250	155
Total		52	2060	6982	1053	651
Vila Operária	perigo baixo	2	65	228	44	17
	perigo médio	8	257	894	171	69
	perigo alto	3	99	344	66	26
	perigo muito alto	4	127	443	85	34
Total		17	548	1910	365	146

Fonte: A autora, 2020.

Jardim Iguaçú, Jardim Palmares e Rancho Novo apresentaram menos de 100 casas atingidas; os bairros Da Viga e Santa Eugênia possuem mais de 1.500 moradias.

Em relação ao número de moradores afetados, Jardim Iguaçu, Jardim Palmares e Rancho Novo são menos de 500, os bairros Da Viga e Santa Eugênia são mais de 5.000. Do grupo de moradores mais afetados, 3.149 são considerados vulneráveis.

A tabela 21 apresenta a áreas inundadas em função do grau de perigo juntamente com os elementos expostos em todos os cinco cenários de inundação.

Tabela 21 - Áreas inundadas e os elementos expostos aos cinco cenários de inundação.

Cenário	Nível de perigo	Área (km ²)	Domicílios	Habitantes			Edificações “especiais”		
				Crianças	Idosos	Moradores (total)	Escolas	Escolas Ilhadas	Hospitais
1	Muito Alto	63	2158	1349	562	7529	4	3	0
	Alto	37	1318	824	366	4571	5		1
	Médio	95	3157	2040	836	10982	6		1
	Baixo	48	1706	1056	471	5909	2		0
	Total	243	8339	5269	2235	28991	17	3	2
2	Muito Alto	113	3818	2348	1079	13260	7	3	2
	Alto	57	1965	1267	524	6840	5		0
	Médio	134	4785	2986	1307	16606	9		1
	Baixo	41	1477	947	394	5207	1		0
	Total	345	12045	7548	3304	41913	22	3	3
3	Muito Alto	133	4779	3004	1295	16602	8	2	1
	Alto	74	2467	1568	666	8577	1		0
	Médio	134	4476	2758	1265	15542	8		2
	Baixo	39	1463	978	372	5150	9		0
	Total	380	13185	8308	3598	45871	26	2	3
4	Muito Alto	109	3630	2219	1031	12594	7	3	0
	Alto	51	1711	1102	458	5947	4		2
	Médio	134	4762	2971	1301	16520	10		0
	Baixo	50	1815	1185	472	6361	2		1
	Total	344	11918	7477	3262	41422	23	3	3
5	Muito Alto	87	2914	1789	826	10123	5	3	1
	Alto	47	1550	990	418	5385	2		1
	Médio	114	3957	2479	1078	13721	12		1
	Baixo	35	1485	915	414	5150	3		0
	Total	283	9906	6173	2736	34379	22	3	3

Fonte: A autora, 2020.

Por meio da tabela 21 verifica-se que não há muita diferença entre o total de escolas atingidas pelos diferentes cenários de inundação. As maiores diferenças então na localização dessas escolas em função do grau de perigo.

A maior parte das escolas está nas regiões com graus de perigo médio e muito alto, o que prejudica o seu funcionamento, podendo até impossibilitar totalmente as suas atividades. Além, das escolas diretamente atingidas pela inundação há as escolas que ficam ilhadas, o que também pode prejudicar o seu funcionamento já que alunos e funcionários não conseguiram chegar nas escolas.

Em relação aos prédios de saúde, somente dois foram afetados em todos os cenários, uma clínica da família e uma secretaria da saúde que oscilam entre os perigos médio a muito alto. A partir do cenário 2 um posto de saúde municipal também passa a ser afetado diretamente pela inundação.

CONCLUSÕES

Este estudo teve como objetivo calcular os graus de perigo de inundações de diferentes cenários de chuva utilizados no protocolo da Defesa Civil de Nova Iguaçu e retirados dos dados medidos da estação meteorológica Ecologia Agrícola através da análise dos respectivos hidrogramas de cheias.

Antes da escolha e construção dos cenários foram realizados testes nos dados de chuva e nos valores de Manning para uma melhor construção dos cenários. Nos testes de chuva foi verificada a influência da distribuição das chuvas na intensidade da inundação.

Como resultado percebeu-se que a distribuição da chuva com o pico no meio e no final proporcionam os maiores picos de cheia. Uma simulação nos diferentes valores de Manning para o canal comprovou a importância de se manter o canal e as margens dos rios limpos para uma atenuação da inundação.

Visto que não houve calibração mais detalhada do modelo hidrodinâmico devido à falta de registros de cotas de inundação ao longo do rio Botas no município de Nova Iguaçu, este trabalho apresentou uma relação comparativa entre os bairros inundados.

Os resultados obtidos permitem a comparação dos cenários quanto aos hidrogramas e áreas inundáveis, porém não representam com fidelidade a espacialização da inundação. Em relação aos modelos hidrológicos mesmo sem a curva-chave e com somente um ponto de observação, por meio dos resultados obtidos, pode-se afirmar que a metodologia para a confecção dos hidrogramas foi bem empregada.

A partir dos hidrogramas, manchas de inundações e profundidade da lâmina d'água foram calculados os graus de perigo, pois assim há uma associação entre o nível da água e seus danos associados. Outro quesito importante também é observar os prédios públicos afetados, como escolas e hospitais/posto médico, pois são locais que prestam serviços essenciais a comunidade e a interrupção dos seus serviços afetam pessoas além das áreas inundadas.

Os cenários classificados em ordem crescente de danos e perdas são: 1, 5, 2, 4 e 3. Essa ordem corrobora o protocolo utilizado pela Defesa Civil, pois os cenários 1 e 3, são, respectivamente, os cenários classificados como risco baixo e alto no protocolo da Defesa Civil.

Seus valores são compatíveis com a distribuições das chuvas medidas no verão. Os cenários confeccionados pelos dados medidos na estação pluviométrica (5 e 4) são intermediários entre os confeccionados pela defesa Civil.

Também foi observada a importância de um modelo digital de terreno bem detalhado para o estudo dos graus de perigo. A maior parte dos perigos mais altos, principalmente nos cenários com menos chuva, se concentraram nas reentrâncias do terreno o que poderia não ser bem representado por modelos de terreno com escala menos detalhada.

Outro fator importante é a influência que o rio Botas exerce nos seus afluentes já que os canais Palmares, Cacuia, Mirim, Metropolitano, Moquetá e Ebony sofreram remanso em proporções diferentes, além do fato que no encontro do rio Botas com seus canais secundários ocorre um acúmulo de água acarretando no aumento do grau de perigo.

Em relação aos bairros, foi verificado que todos os bairros ao longo do rio Botas foram inundados em proporções distintas e que nos quesitos extensão e profundidade a inundação ao longo do rio Botas pode ser distribuída em três trechos.

O trecho 1 apresenta as extensões concentradas nas margens dos rios e quando a inundação se expande gera profundidades pequenas, esse trecho é composto pelos bairros Jardim Palmares e porções de Rosa dos Ventos e Jardim Iguaçu.

No trecho 2 a inundação se expande além das margens e surgem pontos com profundidades maiores, principalmente, no encontro do rio Botas com seus afluentes e no limiar com o trecho 3. É composto por porções dos bairros Rosa dos Ventos e Jardim Iguaçu além de Comendador Soares, Ouro Verde e Da Luz.

O trecho 3 é a parte da inundação mais a jusante onde se encontram as maiores áreas inundadas e graus de perigo alto e muito alto disseminados. Neste trecho também se encontra o bairro da Viga que apresentou as maiores profundidades em todos os cenários. É composto pelos bairros: Santa Eugenia, Jardim Iguaçu, Moquetá, Kennedy, Da Viga, Nova América e Vila Operária.

Na relação dos bairros com mais de 30% de área inundada, em todos os cenários, estão Moquetá, Da Viga, Santa Eugênia, Kennedy e Ouro Verde. Entre os bairros com menos de 15% do seu território inundado, em todos os cenários, estão Jardim Iguaçu, Jardim Palmares, Rosa dos Ventos, Nova América, Da Luz e Comendador Soares.

Em relação a contagem dos elementos expostos, tanto moradia quanto moradores, os bairros menos afetados são Jardim Iguaçu e Rancho Novo. Entre os bairros mais atingidos estão Da Viga, Kennedy e Santa Eugênia. Em todos os cenários os mais vulneráveis representam 26% de todos os moradores afetados.

Os resultados de trabalhos como esse são ferramentas que podem ser utilizados pelos tomadores de decisões locais para projetos de mitigação dos eventos de inundação e também como base para um planejamento de uso e ocupação do território de maneira consciente e segura.

REFERÊNCIAS

- ALAGHMAND, Sina; ABDULLAH, Rozi Bin; ABUSTAN, Ismail; VOSOOGH, Behdokht. GIS-based river flood hazard mapping in urban area. **International Journal of Engineering and Technology**, v. 2, n. 6, p. 488–500, 2010.
- ALAGHMAND, Sina; BIN ABDULLAH, Rozi; ABUSTAN, Ismail; ESLAMIAN, Saeid. Comparison between capabilities of HEC-RAS and MIKE11 hydraulic models in river flood risk modeling. **International Journal of Hydrology Science and Technology**, v. 2, n. 3, p. 270–291, 2012.
- ANEES, Mohd Talha; ABDULLAH, K.; NAWAWI, M. N. M.; AB RAHMAN, Nik Norulaini Nik; PIAH, Abd Rahni Mt; ZAKARIA, Nor Azazi; SYAKIR, M. I.; MOHD. OMAR, A. K. Numerical modeling techniques for flood analysis. **Journal of African Earth Sciences**, v. 124, p. 478–486, 2016.
- ARAÚJO, Aíla; MENEZES, Rejane; MENDONÇA, Ana Elza; LOPES, Monique; TAVARES, Alessandre; LIMA, Heloísa. Perfil da mortalidade por queda em idosos. **Revista de Pesquisa: Cuidado é Fundamental Online**, v. 6, n. 3, p. 863–875, 2014.
- ARRIGHI, Chiara; CAMPO, Lorenzo. Effects of digital terrain model uncertainties on high-resolution urban flood damage assessment. **Journal of Flood Risk Management**, v. 12, p. 1–12, 2019.
- BARNER, Harry H. Jr. Roughness characteristics of natural channels. **Journal of Hydrology**, v. 7, n. 3, p. 354, 1969.
- BARROS, Danyella Vale; COSTA, Cristiane Mouzinho; SILVA, Quésia Duarte Da; TEIXEIRA, Estevânia Cruz; SANTANA, Ricardo Gonçalves. Morfometria, uso e cobertura do solo como indicadores de enchentes e inundações na Bacia do Rio do Prata, Ilha do Maranhão. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, v. 3, n. 5, p. 217, 2016.
- BECK, M. B. Forecasting environmental change. **Journal of Forecasting**, v. 10, n. 1–2, p. 3–19, 1991.
- BEN KHALFALLAH, C.; SAIDI, S. Spatiotemporal floodplain mapping and prediction using HEC-RAS - GIS tools: Case of the Mejerda river, Tunisia. **Journal of African Earth Sciences**, v. 142, p. 44–51, 2018.
- BÉZIVIN, Jean; GERBÉ, Oliver. Towards a precise definition of the OMG/MDA framework. **Automated Software Engineering**, p. 273–280, 2001.
- BÜCHELE, B.; KREIBICH, H.; KRON, A.; THIEKEN, A.; IHRINGER, J.; OBERLE, P.; MERZ, B.; NESTMANN, F. Flood-risk mapping: Contributions towards an enhanced assessment of extreme events and associated risks. **Natural Hazards and Earth System Sciences**, v. 6, n. 4, p. 483–503, 2006.

CAVALCANTE, Sidney. Levantamento Do Perfil Antropométrico Da População Brasileira Usuária Do Transporte Aéreo Nacional – Projeto Conhecer, p. 81, 2009.

CAVALCANTI, Rafael Costa; RODRIGUES, João; JUNIOR, Tavares; LÚCIA, Ana; CANDEIAS, Bezerra. Simulação de mapeamento de riscos de inundações usando dados lidar: estudo de caso da bacia do rio una -PE. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 65, n. 4, p. 703–716, 2013.

CEPED, UFSC. Atlas brasileiro de desastres naturais 1991 a 2012. **Florianópolis: CEPED UFSC**, 2013.

CID/SECPLAN. Mapa de uso do solo e cobertura vegetal, 1995

TE, Chow Ven. **Open-channel Hydraulics: International Student Ed**, 1959.

DHI. MIKE SHE Volume 1: User Guide. The Experts in WATER ENVIRONMENTS. **DHI Software Licence Agreement**, v. 27, n. 1, p. 91–95, 2017.

EMBRAPA. Sistema brasileiro de classificação de solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos.**, 2006.

FERNANDEZ, Paulo Alexandre Justo. Avaliação do risco de inundação integração de dados LiDAR E, 2015. Dissertação

FILHO, Amaury de Carvalho; LUMBRERAS, José Francisco; SANTOS, Raphael David Dos. Os solos do Estado do Rio de Janeiro. **Estudo Geoambiental do Estado do Rio de Janeiro**, 2000.

FREEZE, R. Allan; HARLAN, R. L. Blueprint for a Physically-Based. **Journal of Hydrology**, v. 9, p. 237–258, 1969.

GRAYSON, R. B.; MOORE, I. D.; MACMOHAN, T. A. Physically based hydrologic modelling: A terrain based model for investigative purposes. **Water Resources Research**. **Water Resources Research**, v. 28, n. 10, p. 2639–2658, 1992.

GRAYSON, Rodger B.; MOORE, Ian D.; MCMAHON, Thomas A. Physically based hydrologic modeling: 2. **Water Resources Research**, v. 26, n. 10, p. 2659–2666, 1992. IBGE Censo. Disponível em <https://censo2010.ibge.gov.br/>. Acesso em 22/01/2020, v. 13, 2010.

HODGES, B. R. **Hydrodynamical Modeling**. Elsevier Inc., 2014.

JAJARMIZAD, Milad; HARUN, Sobri; SALARPOUR, Mohsen. A Review on Theoretical Consideration and Types of Models in Hydrology. **Journal of Environmental Science and Technology**, v. 5, n. 5, p. 249–261, 2012.

JOSÉ, Valdevino; OLIVEIRA, Carolina. A evolução da urbanização e os processos de produção de inundações urbanas. **Estação Científica (UNIFAP)**, v. 3, n. 1, p. 19–30, 2013.

KOKKONEN, Teemu S.; JAKEMAN, Anthony J. A comparison of metric and conceptual

approaches in rainfall-runoff modeling and its implications. **Water Resources Research**, v. 37, n. 9, p. 2345–2352, 2001.

COPPE/UFRJ-PNUD." **Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia dos Rios Iguaçu/sarapuí, com Ênfase no Controle de Inundações**. Rio de Janeiro: SERLA, 1996.

LAOUACHERIA, Fares; MANSOURI, Rachid. Comparison of WBNM and HEC-HMS for Runoff Hydrograph Prediction in a Small Urban Catchment. **Water Resources Management**, v. 29, n. 8, p. 2485–2501, 2015.

LASTRA, J.; FERNÁNDEZ, E.; DÍEZ-HERRERO, A.; MARQUÍNEZ, J. Flood hazard delINEAtion combining geomorphological and hydrological methods: An example in the Northern Iberian Peninsula. **Natural Hazards**, v. 45, n. 2, p. 277–293, 2008.

LIU, Zhaofei; WANG, Yamei; XU, Zongxue; DUAN, Qingyun. Conceptual Hydrological Models. **Handbook of Hydrometeorological Ensemble Forecasting**, p. 1–23, 2017.

MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL. **Manual De Desastres**, 2003.

MONTE, Benício; COSTA, Denis; CHAVES, Mahelvson; MAGALHÃES, Louis; UVO, Cintia. Hydrological and hydraulic modelling applied to the mapping of flood-prone areas. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 21, n. 1, p. 152–167, 2016.

OGANIA, J. L.; PUNO, G. R.; ALIVIO, M. B. T.; TAYLARAN, J. M. G. Effect of digital elevation model's resolution in producing flood hazard maps. **Global Journal of Environmental Science and Management**, v. 5, n. 1, p. 95–106, 2019.

OLEYIBLO, James Oloche; LI, Zhi Jia. Application of HEC-HMS for flood forecasting in Misai and Wan'an catchments in China. **Water Science and Engineering**, v. 3, n. 1, p. 14–22, 2010.

RAMÍREZ, Jorge A. Prediction and Modeling of Flood Hydrology and Hydraulics. **Inland Flood Hazards: Human, Riparian and Aquac Communities**. p. 293–333. Tese

SANTOS, Kamila Almeida Dos. Utilização de modelo hidrodinâmico para mapeamento de áreas inundação Goiânia- GO, 2015. Dissertação

SECRETARIA NACIONAL DE DEFESA CIVIL. **Ministério da Integração Nacional. Diário Oficial da União**, 2013.

SEGOV UGP/METROPOLITANA. Programa de fortalecimento da gestão do setor público e do desenvolvimento territorial integrado - rio metrópole progestão II. **Relatório técnico final**, 2015

SILVEIRA, ANDRÉ. Desempenho de Fórmulas de Tempo de Concentração em Bacias Urbanas e Rurais. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 10, n. 1, p. 5–29, 2005.

TUCCI, CARLOS. Parâmetros do Hidrograma Unitário para Bacias Urbanas Brasileiras. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 8, n. 2, p. 195–199, 2003.

TUCCI, Carlos E. M.; BERTONI, Juan Carlos. **Inundações Urbanas na América do Sul**. p. 15–29, 2000.

UNISDR; CRED. **The Human Cost Of Weather - Related Disasters 1995 - 2015**, 2015.

US EPA. Storm Water Management Model User's Manual Version 5,1 Office of Research and Development Water Supply and Water Resources Division, 2015.

USACE. HEC-RAS River Analysis System. **User's Manual, Version 4,1**, p. 1–790, 2010.

USACE. Hydrologic Engineering Center, Hydrologic Modelling System HEC-HMS. User's Manual. **Hydrologic Engineering Center**, 2016.

USDA-NRCS. Urban Hydrology for Small. **Soil Conservation**, n. Technical Release 55 (TR-55), p. 164, 1986.

USDA-NRCS. Part 630 Hydrology National Engineering Handbook Chapter 16 Hydrographs. **Engineering**, 2007.

USDA-NRCS. National Engineering Handbook Chapter 15, Time of Concentration., p. 1–15, 2010.

VENDRAME, Iria; LOPES, Wallace Alan Blois. Análise do crescimento urbano e seus efeitos na mudança da dinâmica de escoamento superficial da bacia do Pararangaba. **Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil**, v. 16–21, p. 2555–2562, 2005.

VERSION, Metric. Guide for Selecting Manning ' s Roughness Coefficients for Natural Channels and Flood Plains United States Geological Survey Water , v. 2339, n. 2339, p. 39, 1989.

WHEATER, H. S. Progress in and prospects for fluvial flood modelling. **The Royal Society**, v. 360, n. 1796, p. 1409–1431, 2002.

YOUNG, Peter. Top-down and data-based mechanistic modelling of rainfall-flow dynamics at the catchment scale. **Hydrological Processes**, v. 17, n. 11, p. 2195–2217, 2003.