



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE  
NÚCLEO DE TECNOLOGIA  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

JOÃO VICTOR REGIS MAGALHÃES

**COMPORTAMENTO HIDROLÓGICO E HIDRODINÂMICO NO CANAL DO  
FRAGOSO EM OLINDA, NORDESTE DO BRASIL, PARA DIVERSOS CENÁRIOS  
DE ENCHENTE**

Caruaru

2023

## **Comportamento hidrológico e hidrodinâmico no canal do Fragoso em Olinda, Nordeste do Brasil, para diversos cenários de enchente**

### **Hydrologic and hydrodynamic behavior of Fragoso's channel in Olinda, Northeastern Brazil, for different flooding scenarios**

**João Victor Regis Magalhães<sup>1</sup>**

---

#### **RESUMO**

Devido ao crescimento da população urbana, tende-se a aumentar também as parcelas de área impermeável de solo. Tal aumento de área urbanizada reflete no aumento do escoamento superficial de águas pluviais nas bacias urbanizadas, fazendo-se necessário um planejamento e infraestrutura adequada para atender as demandas de manejo destas águas.

Este estudo visa desenvolver modelagem hidrológica e hidrodinâmica da bacia do rio Fragoso e do Canal do Fragoso, em Olinda – PE, com a análise de diversos cenários de precipitação e de estágio de conclusão do Canal. Esta análise objetiva verificar o impacto causado por eventos de precipitação intensa.

Para o desenvolvimento dos modelos hidrológicos, foi utilizado o *software* HEC-HMS (Hydrologic Engineering Center-Hydrologic Modeling System), delimitando as sub-bacias de interesse e simulando os eventos de precipitação com o objetivo de gerar hidrogramas a serem utilizados na modelagem hidrodinâmica do Canal do Fragoso.

Para o desenvolvimento dos modelos hidrodinâmicos, foi utilizado o *software* HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center-River Analysis System).

No desenvolvimento dos modelos computacionais da bacia do rio Fragoso, fez-se uso do Modelo Digital do Terreno (MDT) para o município de Olinda, disponibilizado pelo projeto Pernambuco Tridimensional (PE3D).

Os principais resultados obtidos foram diferentes manchas de inundação para os eventos, permitindo a validação do modelo, a identificação de áreas de risco à população e a elaboração de planos de desapropriação e evacuação para tais áreas.

**Palavras-chave:** modelagem hidrológica; modelagem hidrodinâmica; drenagem urbana; PE3D; recursos hídricos.

---

<sup>1</sup>Graduando em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Pernambuco. Email: joao.regis@ufpe.br

---

**ABSTRACT**

Due to the rampant urban populational growth, there's a tendency of increase in the percentage of impermeable area of the soil. Such rise in the urbanized area reflects in the increase of surface runoff in urbanized water basins, making it necessary to have an adequate planning and infrastructure capable of handling the demands of managing such rains.

This study intends to develop hydrological and hydrodynamical modeling of Fragoso River's water basin and Fragoso's Channel, in Olinda – Pernambuco, with the analysis of diverse scenarios of precipitation and stages of completeness of the Channel. This analysis objectifies verifying the impact caused by intense precipitation events.

In developing the hydrological models, the software HEC-HMS (Hydrologic Engineering Center-Hydrologic Modeling System) was used, delimiting the sub-basins of interest and simulating the precipitation events with the objective of constructing hydrographs to be utilized in the hydrodynamical modeling of Canal do Fragoso.

In developing the hydrodynamical models, the software HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center-River Analysis System).

For the development of the computational models of Fragoso River's water basin, the Digital Terrain Model (DTM) of Olinda was used, made available by the project Pernambuco Tridimensional (PE3D).

The main results obtained were different flooded areas for each of these events, making it possible to validate the model, to identify risk areas to the local population and the development of expropriation and evacuation of such areas.

**Keywords:** hydrologic modeling; hydrodynamic modeling; urban drainage; PE3D; water resources.

---

**DATA DE APROVAÇÃO:** 12 de maio de 2023.

---

## 1 INTRODUÇÃO

A parcela da população mundial que vive em centros urbanos aumentou drasticamente na segunda metade do século XX e segue aumentando nas duas primeiras décadas do século XXI (ONU, 2019). Com o aumento populacional dos centros urbanos, é necessário um planejamento em larga escala de diversos sistemas para a população – transporte, abastecimento de água, manejo de efluentes e resíduos, e drenagem de águas pluviais (TUCCI, 2007).

Em condições naturais, o solo das bacias hidrográficas possui características que auxiliam no processo de infiltração das águas pluviais (TUCCI, 2002) no mesmo, sendo essas características: a taxa de infiltração da água no solo, a rugosidade do solo e a presença de vegetação, diminuindo a quantidade de escoamento superficial, e diminuindo a velocidade do mesmo, respectivamente.

Verifica-se que o aumento de fenômenos de inundações concomitantemente com o crescimento dos centros urbanos em área, é, em grande parte, causado pela impermeabilização das bacias destes mesmos centros urbanos e pela transformação das áreas superficiais destas bacias em superfícies lisas – também livre de vegetação – fazendo com que o escoamento superficial ocorra em maior volume e de forma acelerada, antecipando o pico de vazão.

No Brasil, tende-se a tentar controlar tais cheias e alagamentos urbanos por meio da canalização da água escoada superficialmente até um corpo d'água que suporte esta vazão adicional. Comumente, porém, as técnicas implementadas nos sistemas brasileiros de drenagem urbana não são capazes de suportar chuvas de grande volume de precipitação, causando danos pessoais, estruturais, e financeiros ao Estado e a população das áreas afetadas. Tais sistemas de drenagem convencionais falham devido ao crescimento urbano, quando não tem as dimensões e características necessárias para atender a demanda, já que uma pequena parte da bacia deverá receber uma quantidade cada vez maior de escoamento superficial.

A área de estudo se trata da bacia do rio Fragoso, em Olinda – PE. Esta bacia em questão é altamente urbanizada, onde se observa grandes índices de impermeabilização do solo, desmatamento da mata ciliar, e ocupações às margens do rio.

Recentemente, o rio Fragoso sofreu enchentes que causaram grandes danos ao patrimônio público, resultando em um planejamento de finalização da obra do Canal do Fragoso, responsável por levar as águas pluviais incidentes na bacia até o seu exutório, o rio Paratibe (que logo depois deságua no mar).

No presente estudo, será analisado o comportamento hidrológico da bacia do rio Fragoso assim como o comportamento hidrodinâmico do objeto de estudo, o Canal do Fragoso,

objetivando analisar o impacto de chuvas intensas no mesmo. Foram apresentados diversos cenários de precipitação e de estágio de conclusão do Canal, atualmente não concluído e em estágio de aumento de sua extensão. A análise será dada principalmente por meio de modelagem hidrológica e hidrodinâmica, e simulações dos modelos para os diferentes cenários.

---

## **2 METODOLOGIA**

Para a elaboração de um modelo hidrológico e um modelo hidrodinâmico, faz-se necessário

o conhecimento de diversos parâmetros que caracterizam a bacia hidrográfica, aproximando o tanto quanto possível o modelo computacional criado com a situação real da bacia. As etapas que seguirão a caracterização da bacia, são: geração de hietogramas de chuvas de projeto e chuvas naturais, modelagem hidrológica, geração de hidrogramas para as variadas chuvas, modelagem hidrodinâmica, definição de cenários de simulação, validação dos resultados obtidos, e análise dos resultados obtidos.

## 2.1 CARACTERIZAÇÃO DA BACIA

A partir do uso do MDT de alta resolução gerado pelo programa PE3D (CIRILO et al., 2014), foi possível delinear as bacias e sub-bacias de interesse, obtendo-se parâmetros essenciais como área e declividade média das sub-bacias.

Como citado anteriormente, a bacia do rio Fragoso se trata de uma bacia altamente urbanizada, consequentemente resultando em grande escoamento superficial. Os parâmetros relacionados ao índice de urbanização da referida bacia (área impermeável e CN) foram obtidos na literatura (RODRIGUES; CABRAL, 2022) e posteriormente comparados com os valores obtidos por meio de ortoimagens geradas pelo PE3D, resultando em valores próximos, o que foi considerado como satisfatório para o presente estudo.

Outro parâmetro essencial para a simulação hidrodinâmica de uma bacia hidrográfica é o coeficiente de Manning. Foram estipulados valores para variadas áreas baseadas no tipo de estrutura presente, presentes na Tabela 1. Os valores para o coeficiente de Manning foram estimados baseado nas condições do local de estudo e valores comumente adotados na literatura.

**Tabela 1** – Coeficientes de Manning adotados

SUB-ÁREA	COEFICIENTE DE MANNING
Canal atual	0,030
Canal natural inacabado	0,100
Canal projetado	0,015
Área urbana	0,024
Leito rio Paratibe	0,050
Mata inundada	0,100

Fonte: Autor (2023)

Devido às condições de manutenção e estado da superfície de escoamento do canal atual, adotou-se um valor de coeficiente de Manning de 0,030, acima do valor usual para superfícies de concreto. O canal natural inacabado contém diversos pontos de estrangulamento além de

vegetação presente e depósitos de sólidos, contribuindo para o alto valor adotado. Os demais valores adotados são comumente adotados na literatura presente.

## 2.2 HIETOGRAMAS

Optou-se pela geração de hietogramas de projeto e também utilização de hietogramas de chuvas naturais.

### 2.2.1 GERAÇÃO DE HIETOGRAMAS DE PROJETO

Para os hietogramas de projeto, foram calculados com tempos de retorno de 25, 50, e 100 anos, sendo estes tempos de retorno usualmente utilizados para obras de macrodrenagem como a do canal do Frágoso.

Inicialmente, foram gerados hietogramas com a seguinte IDF presente na literatura (COUTINHO et al., 2017) para o município de Olinda.

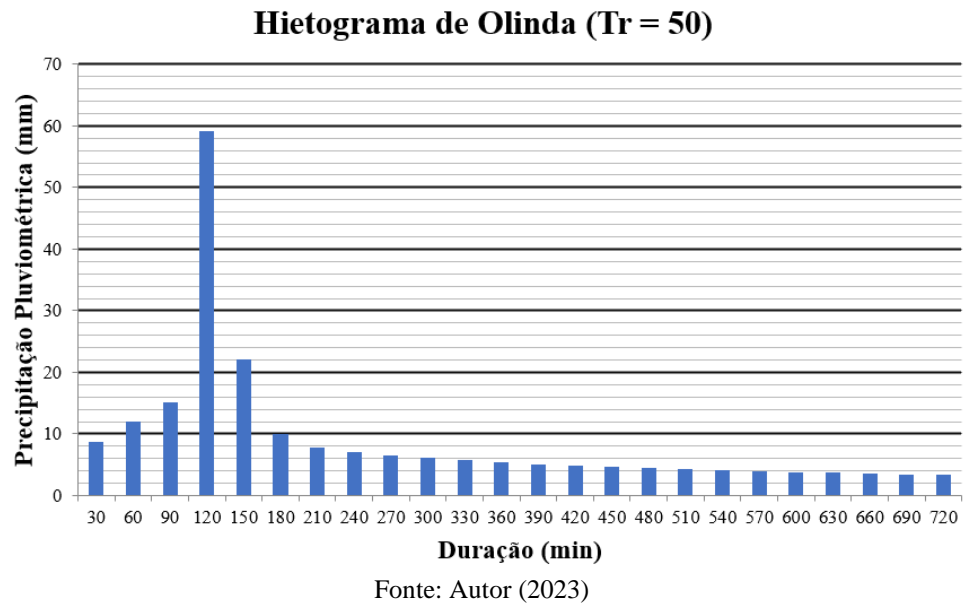
$$i = \frac{400,14 \times T_r^{0,2129}}{(t+2,83083)^{0,5581}} \quad (1)$$

Porém, por meio de análise de série histórica e frequência das chuvas pelo Método de Distribuição de Gumbel, foi identificada uma disparidade, optando-se então pelo uso da seguinte IDF desenvolvida pela Emlurb para o município de Recife (SILVA JUNIOR; SILVA, 2016), devido à proximidade espacial dos municípios.

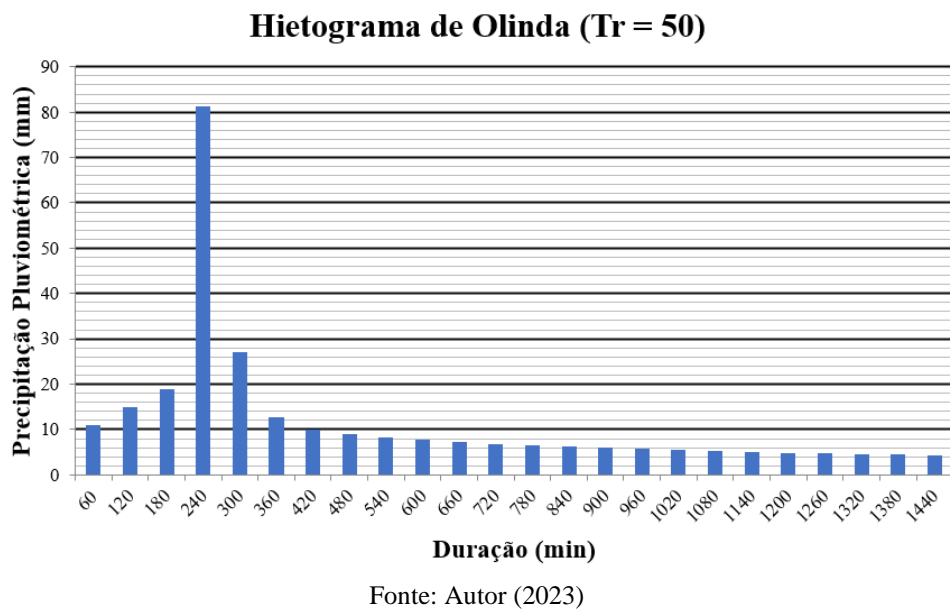
$$i = \frac{611,3425 \times T_r^{0,1671}}{(t+7,3069)^{0,6348}} \quad (2)$$

Os hietogramas gerados com essa IDF tem duração de chuva igual a 3 e 6 vezes o tempo de concentração calculado para a bacia do rio Frágoso pelo método de Carter. Utilizando como parâmetro a declividade média das sub-bacias, obteve-se um tempo de concentração de 176,39 minutos, optando-se então por chuvas com durações de 540 minutos (9 horas) e 1040 minutos de duração (18 horas). Na Figura 1 e na Figura 2 são apresentados hietogramas gerados para as chuvas de  $T_r$  de 50 anos com durações de 9 horas e 18 horas.

**Figura 1** – Hietogramas com  $T_r$  de 50 anos e  $t_d$  de 9 horas



**Figura 2** – Hietograma com  $T_r$  de 50 anos e  $t_d$  de 18 horas



### 2.2.2 GERAÇÃO DE HIETOGRAMA DE CHUVA NATURAL

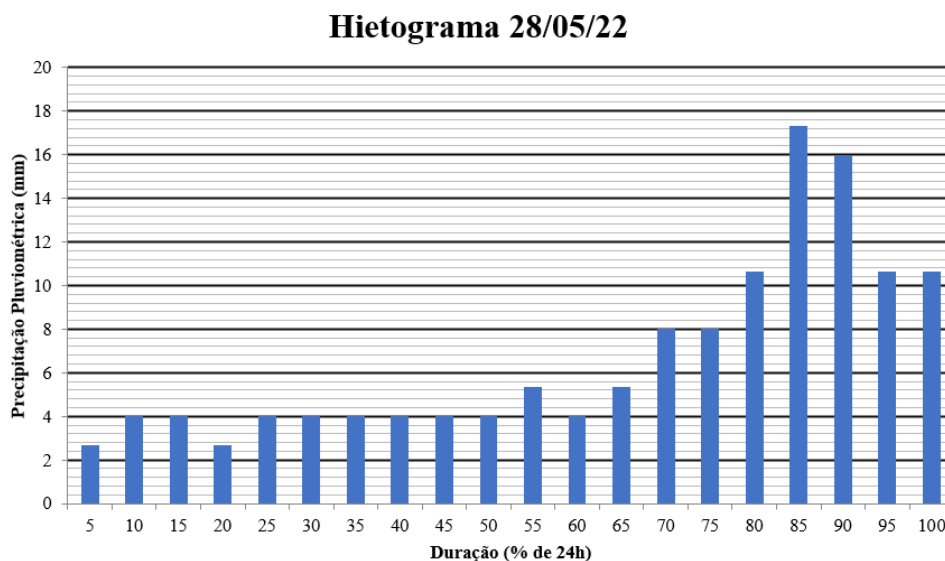
A chuva natural escolhida para este estudo foi a de 28 de maio de 2022 devido aos danos causados pela inundação resultante. Os dados foram colhidos na página de monitoramento pluviométrico da Apac, do posto Olinda (Academia Santa Gertrudes), de código 551. Neste dia o posto registrou precipitação de 133,3 milímetros. O hietograma resultante, mostrado na Figura 3, desse total de precipitação diária foi gerado pelo método de distribuição temporal de Huff em um período de 24 horas, divididos em montantes de 1,2 horas (5% do tempo de duração



total).

Foi realizada a análise das precipitações máximas anuais do posto pluviométrico de código 834007, localizado em Recife – este posto conta com dados de chuvas de 59 anos. Determinadas as precipitações máximas anuais, o tempo de retorno para o evento de precipitação de 28 de maio de 2022 foi estimado de cerca de 3 anos por meio de Distribuição de Gumbel.

**Figura 3** – Hietograma para o evento de precipitação de 28 de maio de 2022

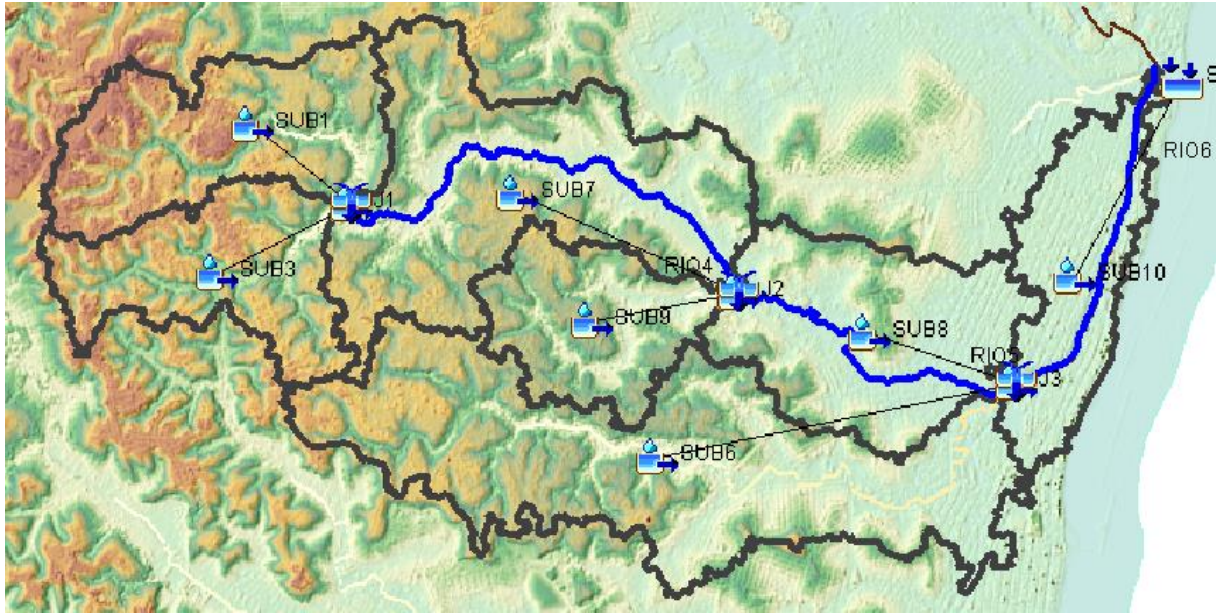


Fonte: Autor (2023)

## 2.3 MODELO HIDROLÓGICO

O modelo hidrológico para a bacia do rio Fragoso foi gerado no software HEC-HMS, para o cálculo dos diversos hidrogramas, com o uso do MDT da área obtido pelo programa PE3D. O modelo representado na Figura 4 subdivide a bacia do rio Fragoso em sete sub-bacias.

**Figura 4** – Modelo hidrológico gerado no software HEC-HMS



Fonte: Autor (2023)

De maneira similar, foi gerado um modelo hidrológico da bacia do rio Paratibe com o objetivo de obter-se os diferentes hidrogramas para a mesma, visto que a vazão do mesmo influencia no remanso presenciado no canal do Fragoso, fenômeno simulado no modelo hidrodinâmico.

## 2.4 MODELO HIDRODINÂMICO

Para modelagem hidrodinâmica e simulação hidrodinâmica, o *software* de escolha foi o HEC-RAS.

### 2.4.1 GEOMETRIA DO MODELO

A geometria do modelo hidrodinâmico, associada ao MDT utilizado, foi gerada como uma malha bidimensional envolvendo a área de estudo, restringindo-se ao canal do Fragoso e proximidades da foz do rio Paratibe. Dentro desta malha bidimensional, o fluxo de água é irrestrito, estando sob domínio das características da bacia também inseridos no modelo (elevações do terreno e coeficiente de Manning).

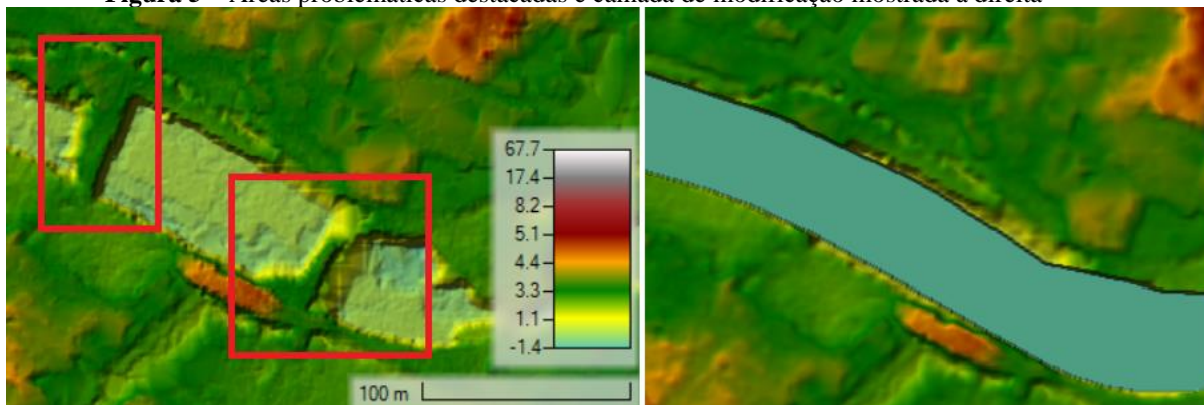
Optou-se por uma malha de células de 10 metros por 10 metros, totalizando um total de 53987 células. Nas proximidades do canal do Fragoso e do rio Paratibe, onde ocorre a maior parte do fluxo de água, optou-se por um refinamento da malha com células variando de 2 metros por 2 metros e 5 metros por 5 metros.

Como condições de contorno, foram considerados: o começo do canal do Fragoso recebendo os hidrogramas calculados para as diversas chuvas no modelo hidrológico, estando essa entrada de vazão à aproximadamente 4,8 km do seu encontro com o rio Paratibe, ponto aproximadamente 1,3 km à montante da foz do rio Paratibe, recebendo o seu respectivo hidrograma, e exutório na foz do rio Paratibe representando o mar recebendo a vazão combinada.

#### 2.4.2 MODIFICAÇÕES NO MDT

Apesar do MDT ser de grande valia para a modelagem hidrodinâmica, foi notado que ele precisa de um tratamento adicional para a elaboração de um modelo confiável, principalmente quando se trata de uma área altamente urbanizada com alterações topológicas constantes. A primeira modificação é mostrada na Figura 5, se trata da remoção das pontes que passam por cima do canal, o MDT “entende” estas pontes como barramentos devido à cota elevada quando comparada à cota do canal.

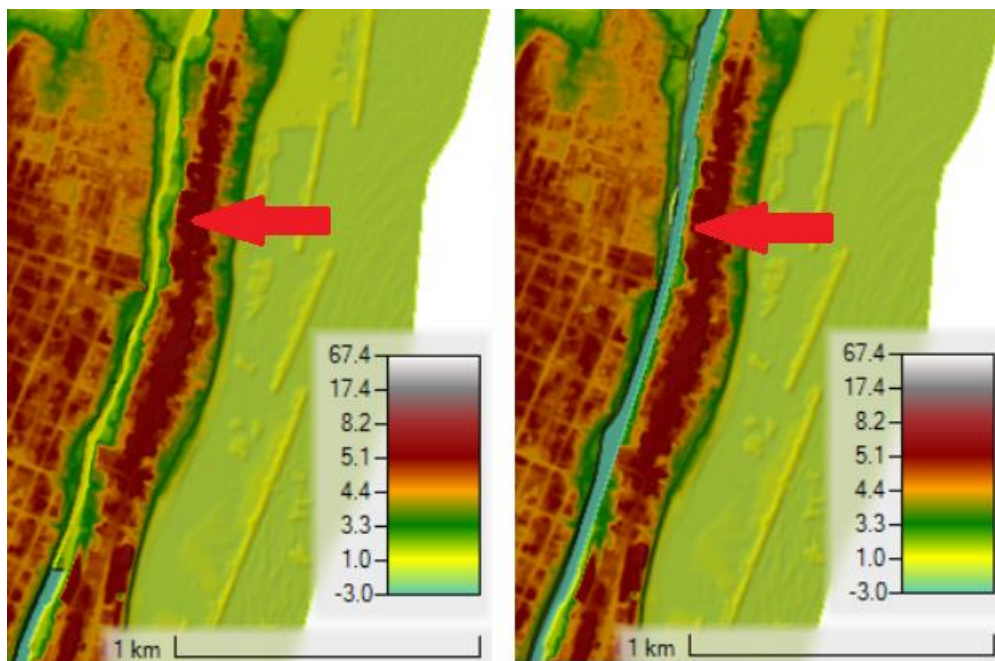
**Figura 5** – Áreas problemáticas destacadas e camada de modificação mostrada à direita



Fonte: Autor (2023)

A segunda modificação feita foi para o caso do segundo cenário de simulação hidrodinâmica, onde foi realizada a simulação hidrodinâmica com o canal finalizado com as dimensões projetadas, essa modificação está representada na Figura 6.

**Figura 6** – Canal inacabado e modificação representando o canal projetado, respectivamente



Fonte: Autor (2023)

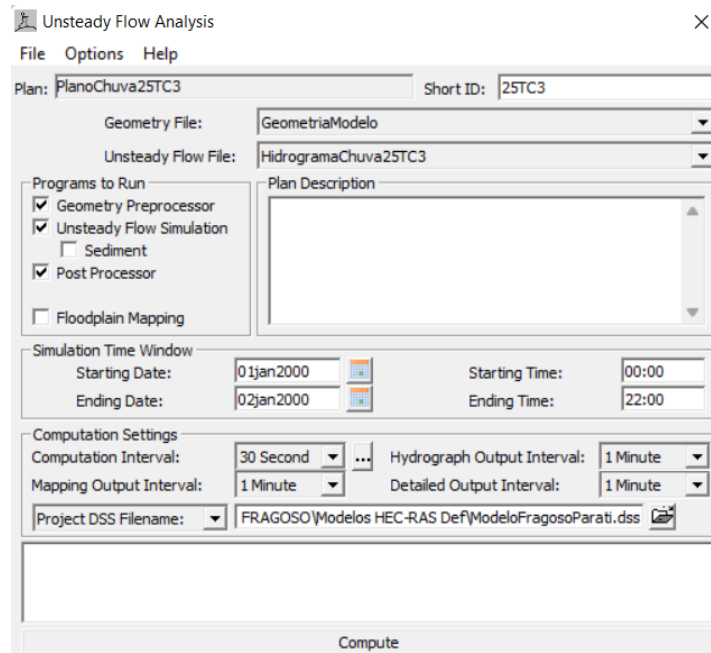
### 2.4.3 DADOS DE ENTRADA

Como dados de entrada para realização das simulações hidrodinâmicas, foram inseridos os hidrogramas do canal do Fragoso e do rio Paratibe para as diversas chuvas simuladas.

### 2.4.4 SIMULAÇÃO HIDRODINÂMICA

Para as simulações desse modelo hidrodinâmico, foram utilizadas a equação de difusão de ondas para escoamento não-permanente bidimensional disponibilizado pelo software HEC-RAS. Demais parâmetros podem ser vistos na Figura 7 e na Tabela 2.

**Figura 7** – Janela de opções de simulação hidrodinâmica do HEC-RAS



Fonte: Autor (2023)

**Tabela 2 – Opções de simulação**

OPÇÃO	VALOR
Tempo de simulação	46 horas
Intervalo de computação	30 segundos
Intervalo de geração de mapa de resultados	1 minutos
Intervalo de geração de hidrogramas	1 minuto
Intervalo de detalhamento de dados	1 minuto

Fonte: Autor (2023)

Devido a convergência do modelo e erros acumulados extremamente baixos, essas opções de simulação escolhidas foram consideradas boas para a simulação hidrodinâmica.

## 2.5 CENÁRIOS DE SIMULAÇÃO

Ao elaborar um modelo hidrodinâmico, faz-se uso de parâmetros e definição de características do modelo com o intuito de aproximá-lo ao caso real – porém, um modelo hidrodinâmico só pode se mostrar confiável a partir do momento que os resultados obtidos por ele, de um evento real, sejam verificados por meio de observação empírica.

Com isso, foi adotado um cenário de simulação de uma chuva natural de modo a comparar os resultados obtidos pelo modelo com os acontecimentos observados na área de estudo. A chuva natural escolhida se trata do evento de precipitação ocorrido em 28 de maio de 2022, tal evento causou inundações na região e as fotografias dessas inundações foram utilizadas como

comparação para a mancha de inundação obtida no modelo hidrodinâmico.

Além do evento natural, utilizado para validação do modelo, foram simulados cenários para chuvas de projeto com  $T_r$  de 25, 50, e 100 anos, para os  $t_d$  de 9 horas e 18 horas.

Todos os cenários (chuva natural e chuvas de projeto) foram simulados em duas situações do canal, a situação atual com a obra do canal do Fragoso inacabado, e a situação projetada com o canal completo, tendo objetivo de avaliar como o canal se comporta com os diferentes eventos de precipitação e análise de áreas de risco de inundação.

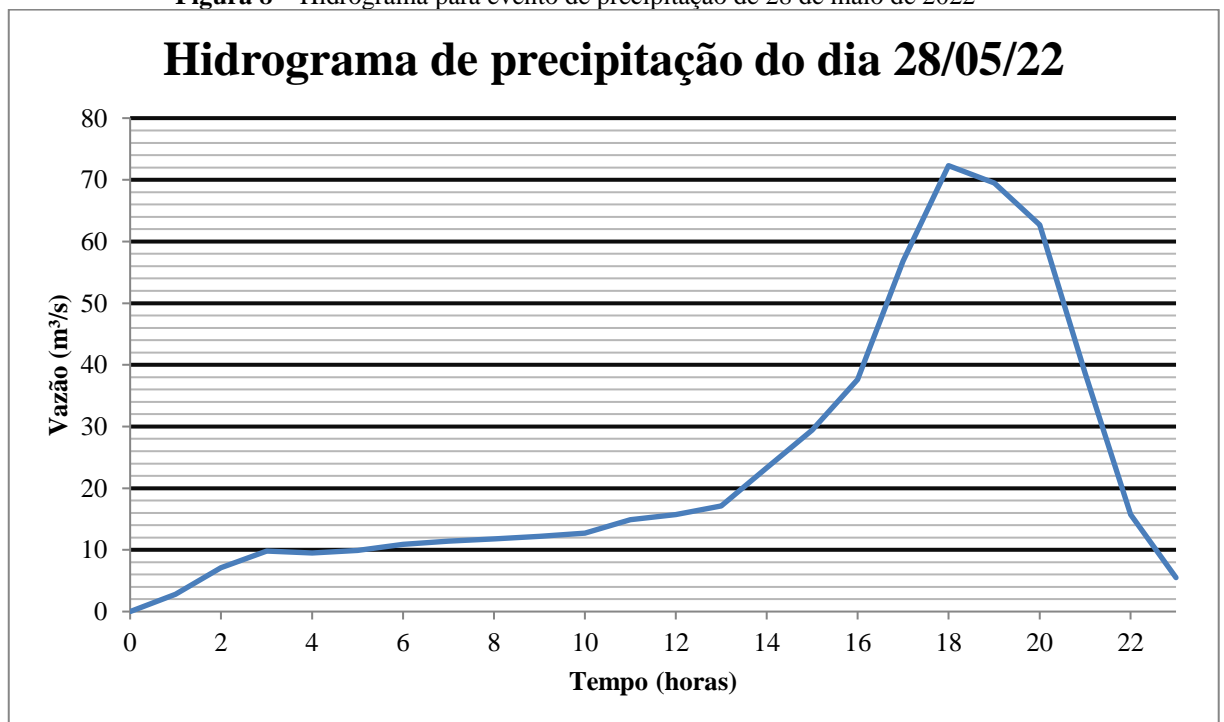
### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com as simulações hidrológicas e hidrodinâmicas feitas, foram obtidos resultados referentes às mesmas, sendo estes os hidrogramas resultantes dos eventos de precipitação e as manchas de inundação também ligados a tais eventos.

#### 3.1 HIDROGRAMAS

Foram obtidos hidrogramas, por meio de simulação hidrológica no software HEC-HMS, para o canal do Fragoso e para o rio Paratibe para a chuva natural de 28 de maio de 2022, com o principal objetivo de validar o modelo, e também para as chuvas de projeto com  $T_r$  de 25, 50, e 100 anos, sendo elas avaliadas com durações de  $3 t_c$  e  $6 t_c$ . Os hidrogramas em forma de gráfico podem ser vistos na Figura 8, Figura 9, e Figura 10.

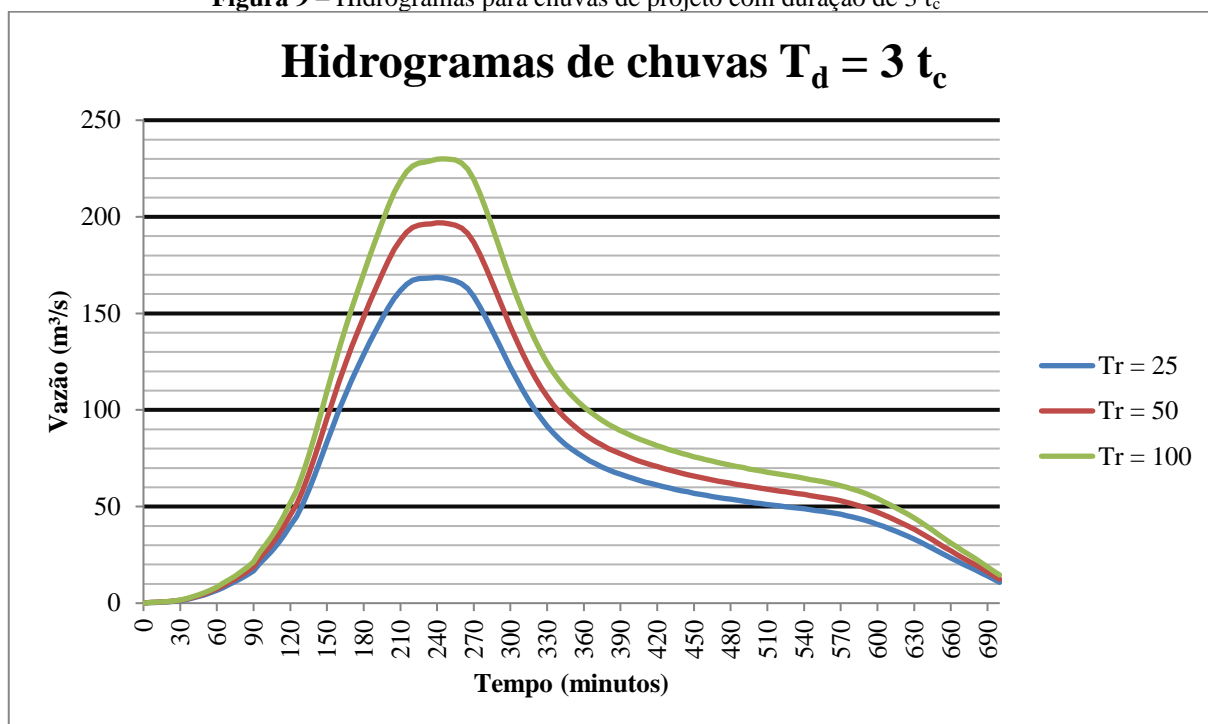
**Figura 8** – Hidrograma para evento de precipitação de 28 de maio de 2022



Fonte: Autor (2023)

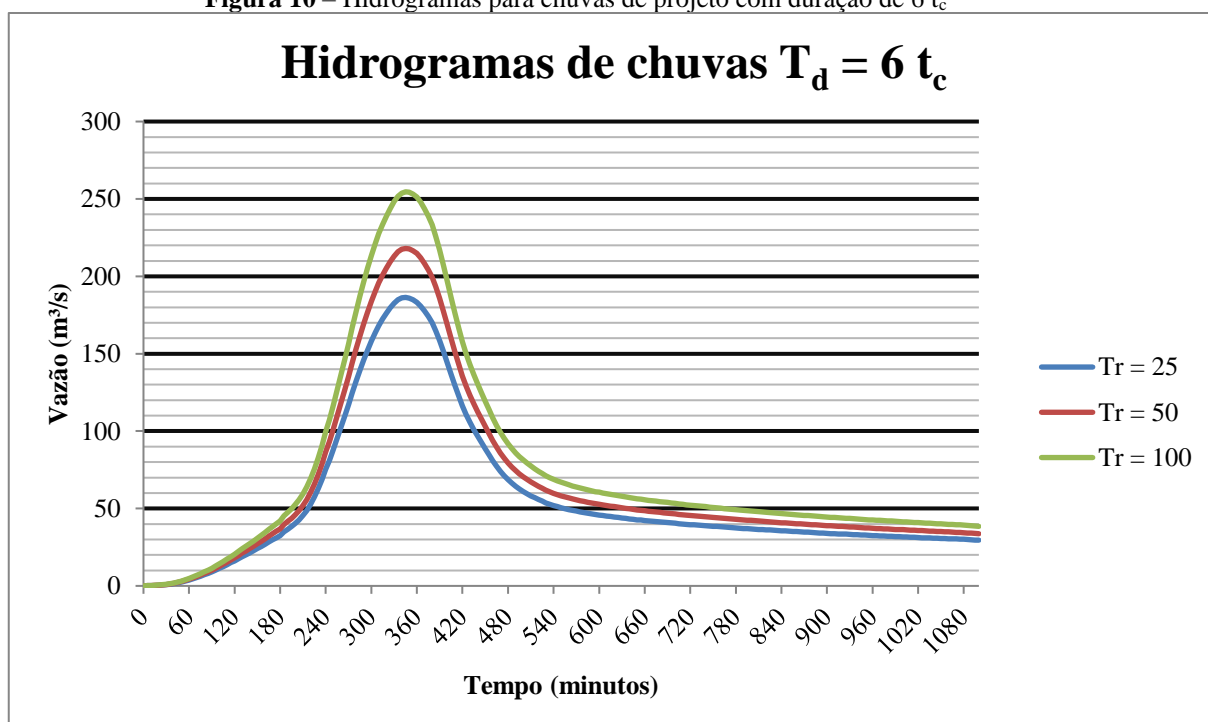


**Figura 9** – Hidrogramas para chuvas de projeto com duração de  $3 t_c$



Fonte: Autor (2023)

**Figura 10** – Hidrogramas para chuvas de projeto com duração de  $6 t_c$



Fonte: Autor (2023)

Os picos de vazão para o rio Paratibe são mostrados na Tabela 3.



**Tabela 3** – Picos de vazão para o rio Paratibe

<b>EVENTO</b>	<b>PICO DE VAZÃO (M³/S)</b>
Chuva natural de 28 de maio de 2022	147,3
Chuva de projeto com $T_r = 25$ e $T_d = 3 t_c$	414,8
Chuva de projeto com $T_r = 50$ e $T_d = 3 t_c$	475,1
Chuva de projeto com $T_r = 100$ e $T_d = 3 t_c$	543,9
Chuva de projeto com $T_r = 25$ e $T_d = 6 t_c$	426,3
Chuva de projeto com $T_r = 50$ e $T_d = 6 t_c$	489,2
Chuva de projeto com $T_r = 100$ e $T_d = 6 t_c$	561,9

Fonte: Autor (2023)

### 3.2 MANCHAS DE INUNDAÇÃO

Na etapa de simulação hidrodinâmica, o principal resultado obtido são as manchas de inundação para os variados eventos de precipitação. As manchas de inundação nos permitem avaliar o comportamento do canal do Fragoso para os diferentes eventos, assim como identificar áreas de risco baseado nas profundidades de inundação.

Tal identificação das áreas de risco de inundação é de essencial importância para medidas preventivas contra danos causados pelas enchentes à população do local, auxiliando na tomada de decisões de órgãos como a Agência Pernambucana de Águas e Clima (Apac) e a Coordenadoria de Defesa Civil do Estado de Pernambuco (CODECIPE).

#### 3.2.1 CENÁRIO 1 – CHUVA NATURAL COM CANAL INACABADO

A simulação hidrodinâmica do evento de precipitação de 28 de maio de 2022 foi de suma importância para a validação do modelo, tendo sua mancha de inundação a utilidade de comparação com as imagens registradas na bacia do rio Fragoso para tal evento. A mancha de inundação gerada para este evento, no software HEC-RAS, é mostrada na Figura 11. A Figura 12 conta com elementos destacados de modo a compará-los com os mesmos elementos destacados na Figura 13, que mostra imagem aérea do canal do Fragoso no dia dessa chuva.

**Figura 11** – Mancha de inundação para chuva de 28 de maio de 2022 com o canal inacabado



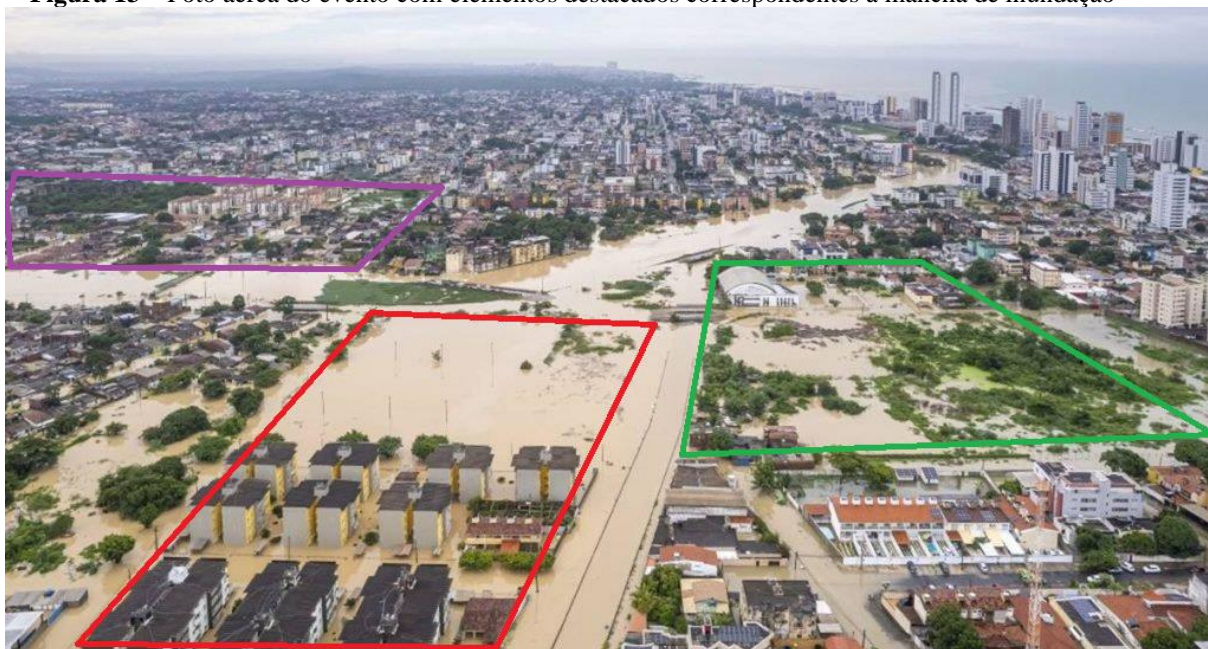
Fonte: Autor (2023)

**Figura 12** – Elementos destacados para comparação com imagens aéreas do evento de precipitação



Fonte: Autor (2023)

**Figura 13** – Foto aérea do evento com elementos destacados correspondentes à mancha de inundação



Fonte: Autor (2023)

A correspondência da imagem do local de estudo no dia desse evento com a mancha de inundação gerada validou o modelo hidrodinâmico criado como um modelo aproximado da situação real, tornando-o apto a ser tomado como referência para simulações com diferentes hidrogramas.

### **3.2.2 CENÁRIO 2 – CHUVAS DE PROJETO COM CANAL INACABADO**

No segundo cenário para as simulações hidrodinâmicas, foi inserido como dado de entrada os hidrogramas das chuvas de projeto de  $T_r$  25, 50, e 100, e duração de 3  $t_c$  e 6  $t_c$ .

As manchas de inundação geradas são mostradas na Figura 14, Figura 15, Figura 16, Figura 17, Figura 18, e Figura 19.



**Figura 14** – Mancha de inundação para precipitação com  $T_r$  de 25 anos, duração de 3  $t_c$ , e canal inacabado



Fonte: Autor (2023)

**Figura 15** – Mancha de inundação para precipitação com  $T_r$  de 50 anos, duração de 3  $t_c$ , e canal inacabado



Fonte: Autor (2023)

**Figura 16** – Mancha de inundação para precipitação com  $T_r$  de 100 anos, duração de 3  $t_c$ , e canal inacabado



Fonte: Autor (2023)

**Figura 17** – Mancha de inundação para precipitação com  $T_r$  de 25 anos, duração de 6  $t_c$ , e canal inacabado



Fonte: Autor (2023)



**Figura 18** – Mancha de inundação para precipitação com  $T_r$  de 50 anos, duração de 6  $t_c$ , e canal inacabado



Fonte: Autor (2023)

**Figura 19** – Mancha de inundação para precipitação com  $T_r$  de 100 anos, duração de 6  $t_c$ , e canal inacabado



Fonte: Autor (2023)

Nos cenários de chuva de projeto, nota-se claramente a inaptidão do canal, nas condições atuais, de suportar chuvas intensas. A maior diferença nas manchas de inundação geradas para a situação atual do canal são as profundidades de inundação, sendo a área total inundada aproximadamente igual para as diferentes chuvas simuladas. Isto indica a urgência requerida de medidas preventivas de danos à população residente dessas zonas, e também da conclusão do canal da maneira como está projetado, de modo a evitar completamente quaisquer danos.

### **3.2.3 CENÁRIO 3 – CHUVA NATURAL E CHUVAS DE PROJETO COM CANAL ACABADO**

Já no terceiro cenário, foram inseridos como dado de entrada das simulações os mesmos hidrogramas previamente simulados nos cenários 1 e 2, porém com o modelo hidrodinâmico contendo o canal do Fragoso acabado, com as suas dimensões projetadas.

Primeiramente foi simulado o evento de precipitação de 28 de maio de 2022. Este mesmo evento teve mancha de inundação gerada condizente com a situação real, a qual gerou grandes inundações. A mancha de inundação para esta precipitação, no cenário com o canal acabado, é mostrada na Figura 20.

Quando comparado com o cenário 1, é perceptível que o canal do Fragoso, em seu estado de projeto, exerce a função a qual foi projetado para cumprir, conseguindo evitar inundações de áreas urbanas para eventos de chuvas intensas.

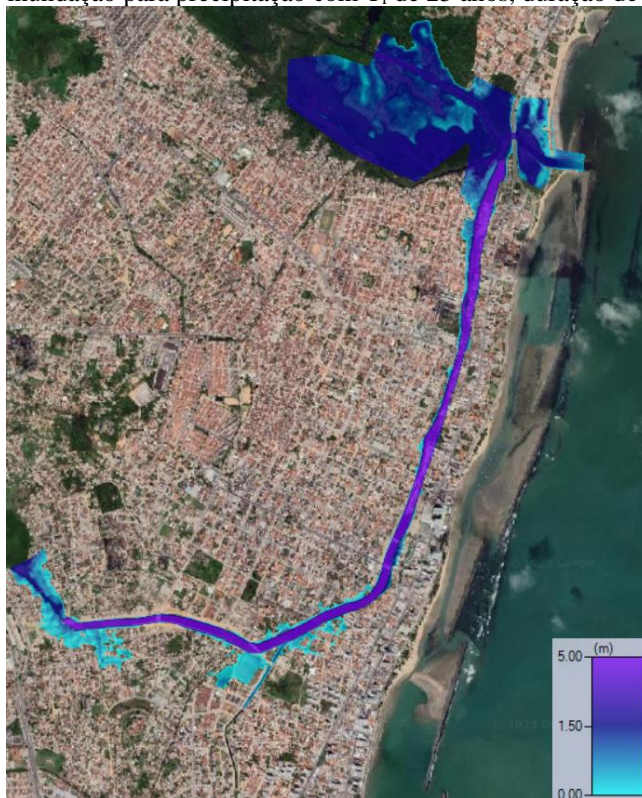
As chuvas de projeto, estas com níveis pluviométricos bem maiores que a chuva natural simulada, também foram simuladas para a situação com o canal completo. As manchas de inundação resultantes das diferentes chuvas de projeto constam na Figura 21, Figura 22, Figura 23, Figura 24, Figura 25, e Figura 26.

**Figura 20** – Mancha de inundação chuva de 28 de maio de 2022, cenário com o canal do Fragoso completo



Fonte: Autor (2023)

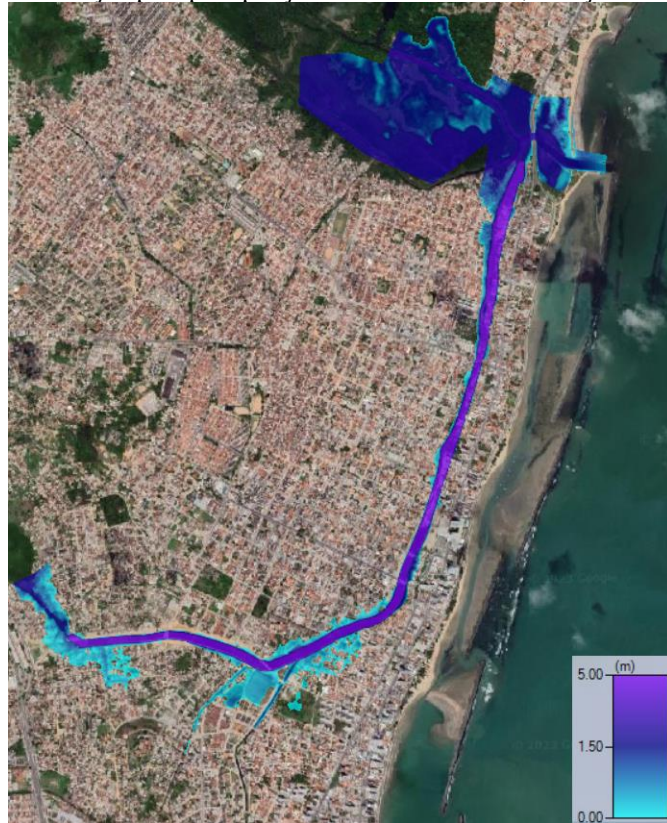
**Figura 21** – Mancha de inundação para precipitação com  $T_r$  de 25 anos, duração de 3  $t_c$ , e canal completo



Fonte: Autor (2023)



**Figura 22** – Mancha de inundação para precipitação com  $T_r$  de 50 anos, duração de 3  $t_c$ , e canal completo



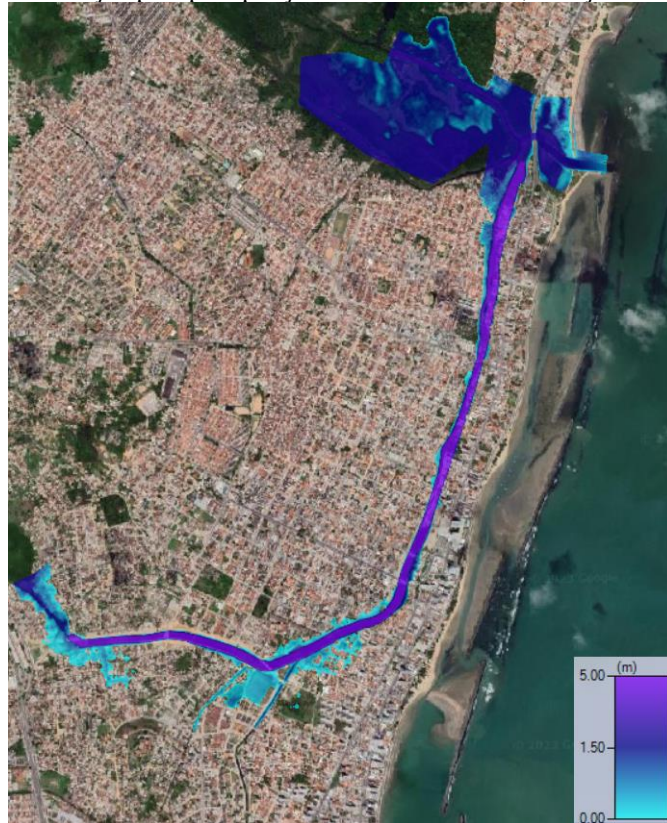
Fonte: Autor (2023)

**Figura 23** – Mancha de inundação para precipitação com  $T_r$  de 100 anos, duração de 3  $t_c$ , e canal completo



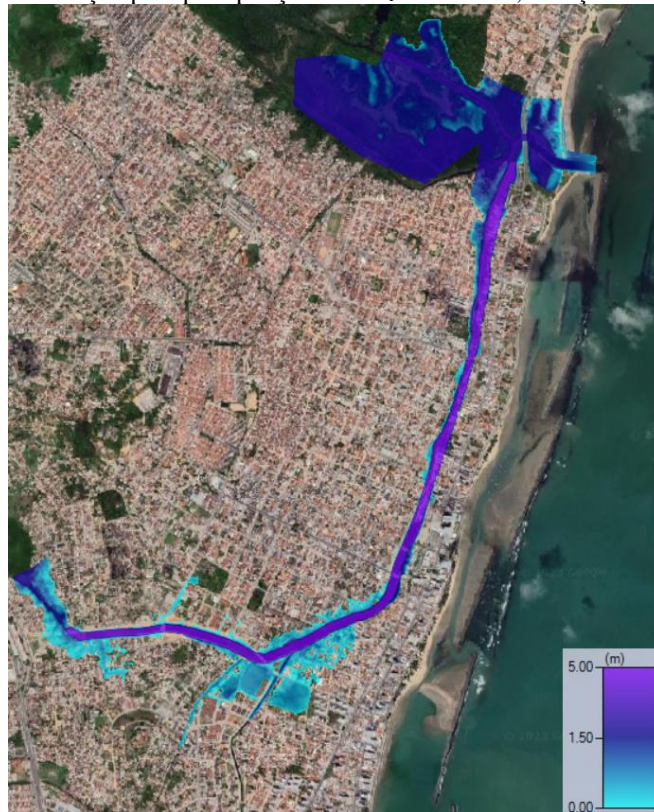
Fonte: Autor (2023)

**Figura 24** – Mancha de inundação para precipitação com  $T_r$  de 25 anos, duração de 6  $t_c$ , e canal completo



Fonte: Autor (2023)

**Figura 25** – Mancha de inundação para precipitação com  $T_r$  de 50 anos, duração de 6  $t_c$ , e canal completo



Fonte: Autor (2023)



**Figura 26** – Mancha de inundação para precipitação com  $T_r$  de 100 anos, duração de 6  $t_c$ , e canal completo



Fonte: Autor (2023)

A influência do canal do Fragoso em seu estado completo é notada imediatamente quando as manchas de inundação do cenário 2 são comparadas com as manchas de inundação presentes no cenário 3.

Apesar da simulação hidrodinâmica ainda resultar em áreas fora do canal sendo inundadas, essas inundações, quando comparadas com as inundações do cenário 2, são em áreas pequenas, com profundidade menor, e as áreas inundadas tem menor percentual de tempo inundadas. Os mapas de percentuais de tempo de área inundada para as chuvas de projeto simuladas no cenário 2 e 3 estão localizadas no Apêndice A.

Deve-se destacar que, apesar dos tempos de retorno para as chuvas de projeto simuladas serem altos, o potencial para danos pessoais, sociais, e econômicos deve ser levado em conta.

Medidas adicionais comumente encontradas na literatura como LIDs (*Low Impact Development*), que são tecnologias com o objetivo de amenizar os efeitos da urbanização. Duas possíveis LIDs que possam vir a trazer maior grau de segurança para o funcionamento adequado do canal do Fragoso, são bacias de retenção, e o aprofundamento da lagoa do Fragoso, localizada à montante do canal do Fragoso, que atualmente age como uma bacia de retenção, amenizando o efeito do pico do hidrograma afluente no canal do Fragoso. Outra possível LID

que amenizaria os picos de vazão no canal do Fragoso, mencionada na literatura (RODRIGUES, 2021), são reservatórios de detenção em lote.

---

## 4 CONCLUSÕES

Este estudo apresentou uma metodologia relativamente simples para análise do comportamento hidrológico e hidrodinâmico de uma bacia, permitindo a validação do modelo construído e a simulação de diversos cenários de enchente.

Verificou-se que o canal do Fragoso, em seu estado atual, não é capaz de suportar chuvas intensas relativamente comuns que acontecem em sua bacia hidrográfica, isto é evidenciado pelos alagamentos causados pelo evento de precipitação de 28 de maio de 2022, o qual foi estimado como tendo um tempo de retorno de 3 anos.

De acordo com o modelo hidrodinâmico, o canal em seu estado concluído é capaz de suportar chuvas como a de 28 de maio de 2022 com facilidade. Também foi verificado que o canal é capaz de suportar quase que completamente eventos de precipitação com tempo de retorno de 25, 50, e 100 anos.

Ainda assim, foram observados pontos de alagamento na mancha de inundação para o canal em seu estado concluído, ainda que com profundidades e áreas alagadas menores que no estado atual do canal.

Uma das propostas da obtenção das áreas alagadas por meio da geração da mancha de inundação com a simulação hidrodinâmica, é a delimitação de áreas de risco, essencial para a elaboração de planos emergenciais para chuvas intensas e medidas preventivas.

Entende-se então que o conhecimento das áreas de risco por meio de simulação hidrodinâmica do canal do Fragoso é de grande valia para órgãos voltados a ações de prevenção e socorro relacionados à desastres causados por chuvas intensas, como a Defesa Civil, aliados à análise meteorológica da Apac.

---

## REFERÊNCIAS

- Cirilo, J. A.; Alves, F. H. B.; Silva, L. D.; Campos, J. H. A. L. (2014). Suporte de informações georreferenciadas de alta resolução para implantação de infraestrutura e planejamento territorial. **Revista Brasileira de Geografia Física**, 7(4), 755-763.
- Rabelo, A. E. C. G. C.; Ribas, L. V. S.; Neto, A. R.; Coutinho, A. P.; Antonino, A. C. D. (2017). Espacialização dos Parâmetros de Equações de Chuvas Intensas para a Região Metropolitana do Recife (Spatialization of intense rainfall equations parameters for the Metropolitan Region of Recife). **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 11, n. 4, p. 1542-1554, 2017.
- Rodrigues, A. B., & Cabral, J. J. D. S. P. SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DA TÉCNICA MICRORRESERVATÓRIO DE LOTE NA BACIA DO RIO FRAGOSO EM OLINDA-PERNAMBUCO.
- RODRIGUES, Arivânia Bandeira. **Modelagem hidrológica e hidrodinâmica de inundações na Bacia do Fragoso–Olinda/PE**. 2021. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco.
- Silva Junior, M. A. B.; Silva, S. R. (2016). Impactos da urbanização e das alterações climáticas no sistema de drenagem do Recife-PE (Impacts of urbanization and climate change in the drainage system of Recife-PE). **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 9, n. 6, p. 2034-2053, 2016.
- TUCCI, Carlos Eduardo Morelli. Gerenciamento da drenagem urbana. **Rbrh: Revista Brasileira de Recursos Hídricos. Porto Alegre, RS. Vol. 7, n. 1 (2002 jan./mar.), p. 5-27, 2002.**
- TUCCI, Carlos EM. Inundações urbanas. **Porto Alegre: ABRH/Rhama**, v. 11, 2007.
- UNITED NATIONS DEPARTMENT OF ECONOMIC AND SOCIAL AFFAIRS. 2018 revision of world urbanization prospects. 2018. Disponível em: <https://population.un.org/wup/Publications/Files/WUP2018-Report.pdf>. Acesso em: 3 mar. 2022.



## APÊNDICE A – MAPAS DE PERCENTUAL DE TEMPO DE ÁREA INUNDADA

**Figura A1** – Mapa de percentual de área inundada para precipitação com  $T_r$  de 25 anos, duração de 3  $t_c$ , e canal inacabado



Fonte: Autor (2023)



**Figura A2** – Mapa de percentual de área inundada para precipitação com  $T_r$  de 25 anos, duração de 6  $t_c$ , e canal inacabado



Fonte: Autor (2023)



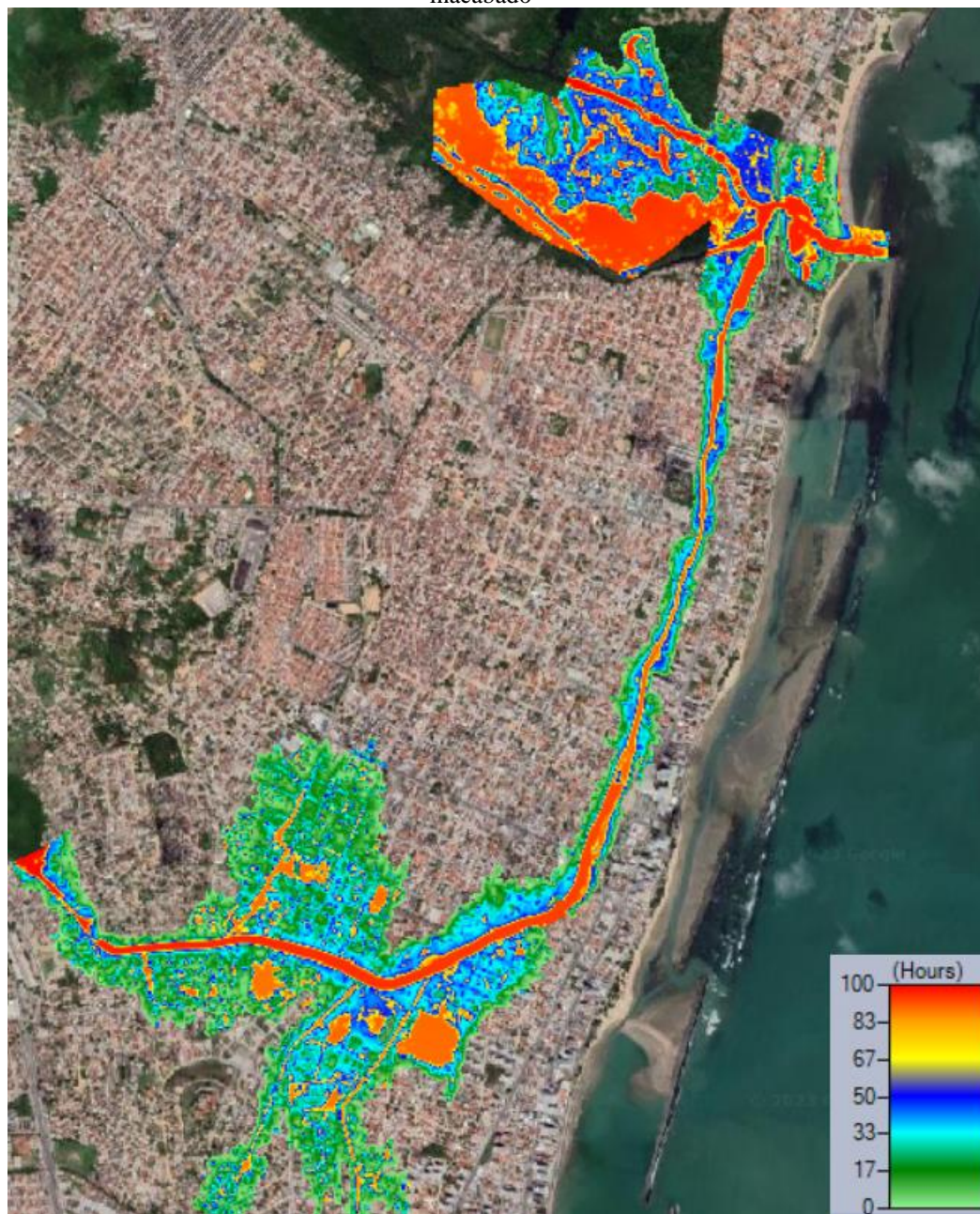
**Figura A3** – Mapa de percentual de área inundada para precipitação com  $T_r$  de 50 anos, duração de 3  $t_c$ , e canal inacabado



Fonte: Autor (2023)



**Figura A4** – Mapa de percentual de área inundada para precipitação com  $T_r$  de 50 anos, duração de 6  $t_c$ , e canal inacabado



Fonte: Autor (2023)



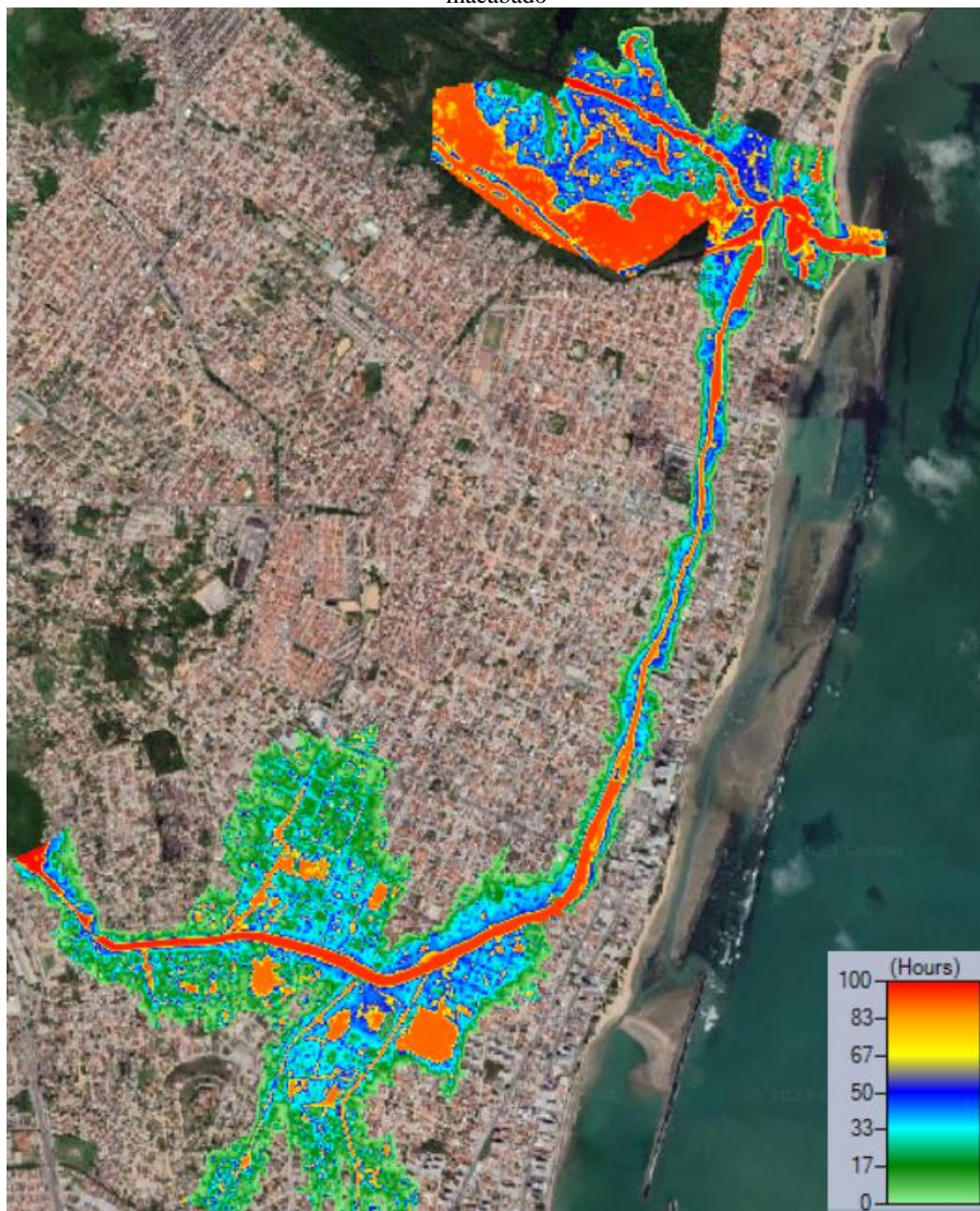
**Figura A5** – Mapa de percentual de área inundada para precipitação com  $T_r$  de 100 anos, duração de 3  $t_c$ , e canal inacabado



Fonte: Autor (2023)



**Figura A6** – Mapa de percentual de área inundada para precipitação com  $T_r$  de 100 anos, duração de 6  $t_c$ , e canal inacabado



Fonte: Autor (2023)



**Figura A7** – Mapa de percentual de área inundada para precipitação com  $T_r$  de 25 anos, duração de 3  $t_c$ , e canal completo



Fonte: Autor (2023)



**Figura A8** – Mapa de percentual de área inundada para precipitação com  $T_r$  de 25 anos, duração de 6  $t_c$ , e canal completo



Fonte: Autor (2023)



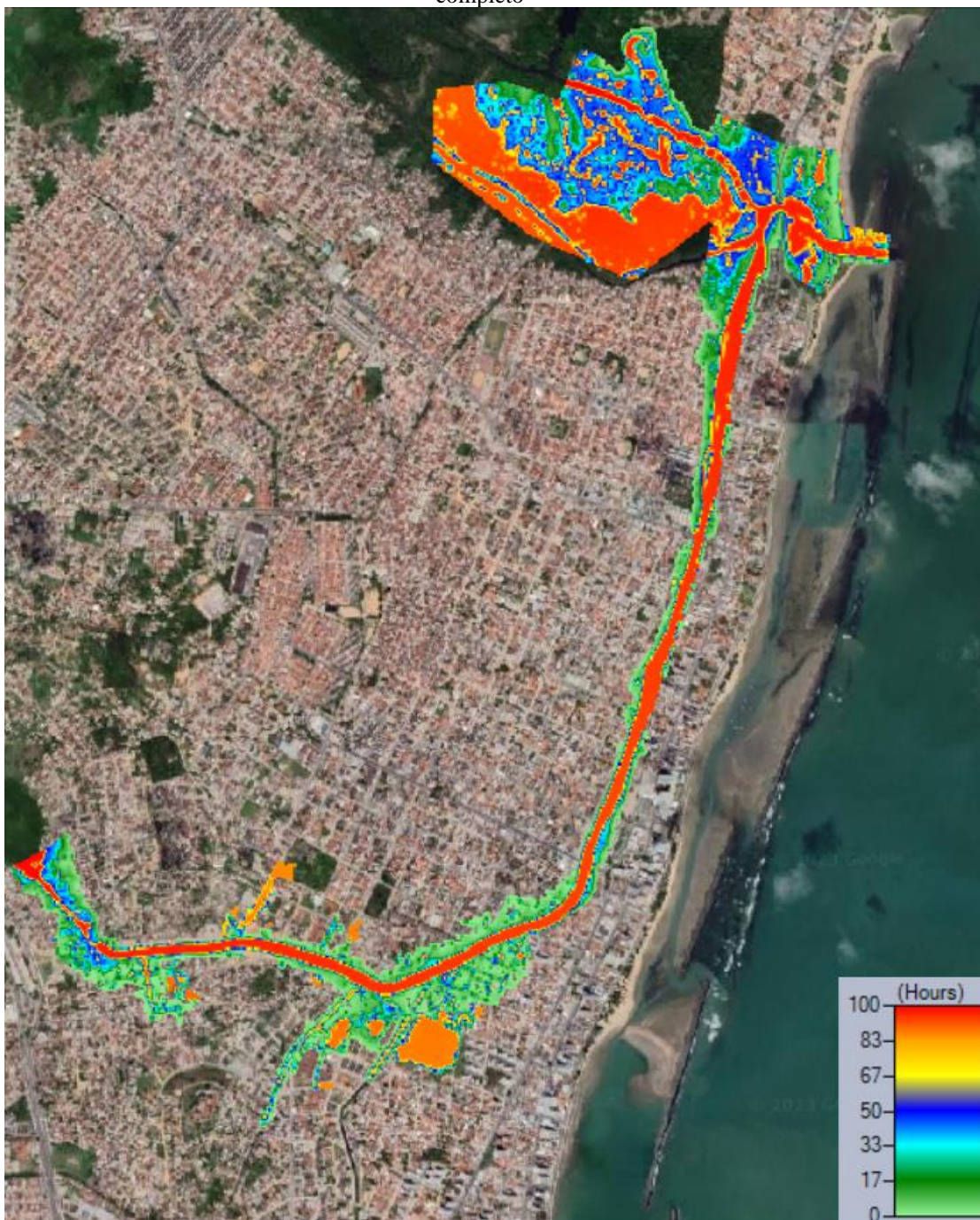
**Figura A9** – Mapa de percentual de área inundada para precipitação com  $T_r$  de 50 anos, duração de 3  $t_c$ , e canal completo



Fonte: Autor (2023)



**Figura A10** – Mapa de percentual de área inundada para precipitação com  $T_r$  de 50 anos, duração de 6  $t_c$ , e canal completo



Fonte: Autor (2023)



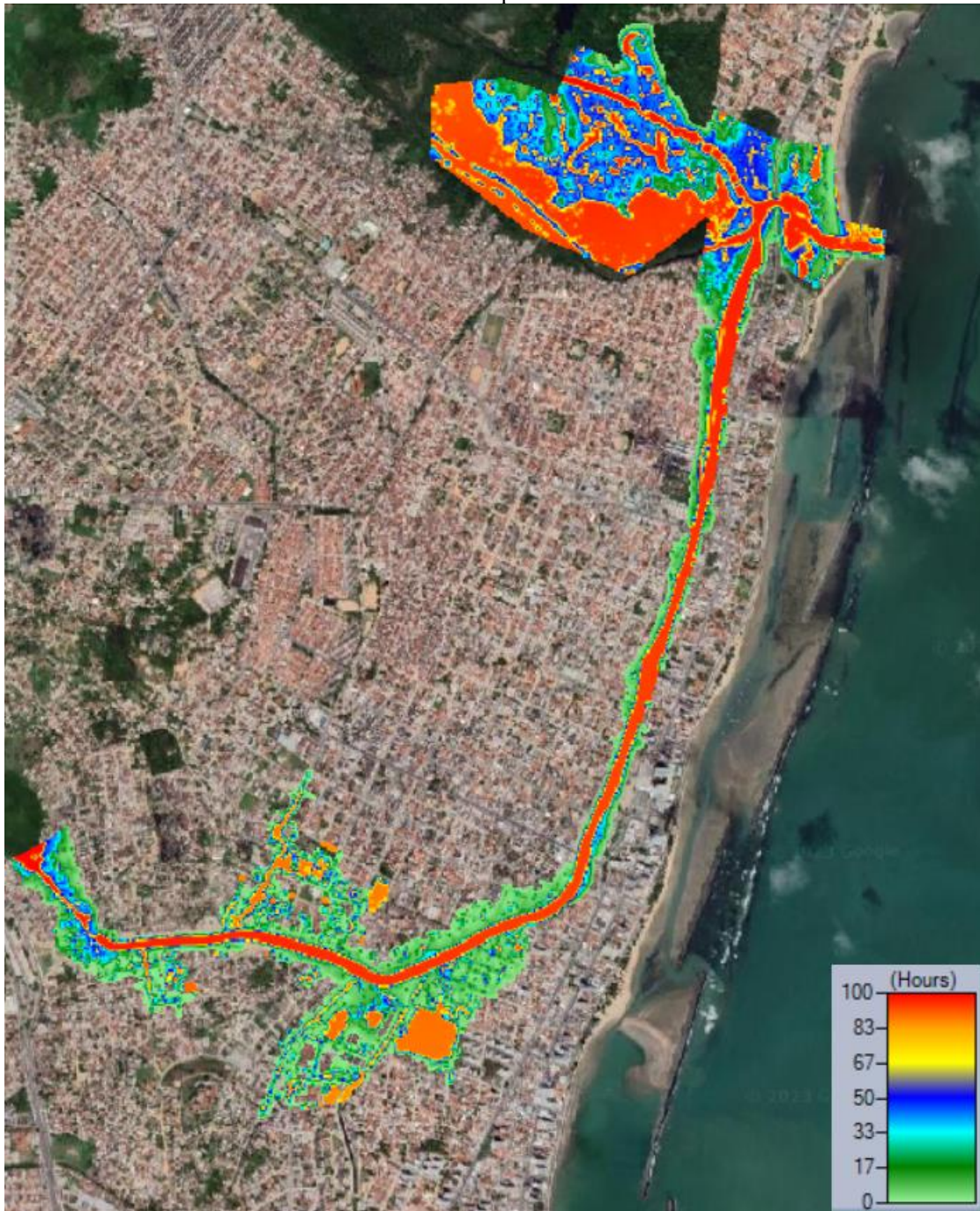
**Figura A11** – Mapa de percentual de área inundada para precipitação com  $T_r$  de 100 anos, duração de 3  $t_c$ , e canal completo



Fonte: Autor (2023)



**Figura A12** – Mapa de percentual de área inundada para precipitação com  $T_r$  de 100 anos, duração de 6  $t_c$ , e canal completo



Fonte: Autor (2023)

JOÃO VICTOR REGIS MAGALHÃES

**COMPORTAMENTO HIDROLÓGICO E HIDRODINÂMICO NO CANAL DO  
FRAGOSO EM OLINDA, NORDESTE DO BRASIL, PARA DIVERSOS CENÁRIOS  
DE ENCHENTE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à  
Coordenação do Curso de Engenharia Civil do  
Campus Agreste da Universidade Federal de  
Pernambuco – UFPE, na modalidade de artigo  
científico, como requisito parcial para obtenção  
do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

**Área de concentração:** Recursos Hídricos,  
Drenagem Urbana.

Aprovado em 12 de maio de 2023.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. Artur Paiva Coutinho (Orientador)  
Universidade Federal de Pernambuco

---

Prof. Dr. Severino Martins dos Santos Neto (Avaliador)  
Universidade Federal de Pernambuco

---

Profa. MSc. Pedro Pereira dos Santos (Avaliador)  
Universidade Federal de Pernambuco