

# UFPA

PPGEC

# Universidade Federal do Pará

---



João Diego Alvarez Nylander

**Avaliação da Utilização de Comporta em  
Eventos Extremos de Precipitação  
Pluviométrica e de Maré no Canal de  
Drenagem da Tamandaré**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

Instituto de Tecnologia

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

Dissertação orientada pelo Professor José Almir Rodrigues Pereira

Belém – Pará – Brasil

2019

João Diego Alvarez Nylander

**AVALIAÇÃO DA UTILIZAÇÃO DE COMPORTA EM EVENTOS  
EXTREMOS DE PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA E DE MARÉ NO  
CANAL DE DRENAGEM DA TAMANDARÉ**

Dissertação apresentada para obtenção do grau em Mestre em Engenharia Civil, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará.  
Área de concentração: Engenharia Hídrica.  
Linha de Pesquisa: Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental.  
Orientador: Prof. Dr. José Almir Rodrigues Pereira.

Belém

2019

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD  
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará  
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)**

---

N993a Nylander, João Diego Alvarez

Avaliação da Utilização de Comporta em Eventos Extremos de Precipitação Pluviométrica e de Maré no Canal de Drenagem da Tamandaré / João Diego Alvarez Nylander. — 2019.  
179 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. José Almir Rodrigues Pereira  
Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará, Belém, 2019.

1. Canal da Tamandaré . 2. Inundação. 3. SWMM. 4. Comporta. I. Título.

CDD 628

---



**AVALIAÇÃO DA UTILIZAÇÃO DE COMPORTA EM  
EVENTOS EXTREMOS DE PRECIPITAÇÃO  
PLUVIOMÉTRICA E DE MARÉ NO CANAL DE DRENAGEM  
DA TAMANDARÉ**

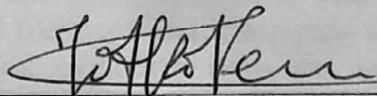
AUTOR:

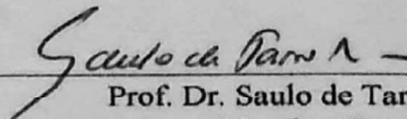
**JOÃO DIEGO ALVAREZ NYLANDER**

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA À BANCA  
EXAMINADORA APROVADA PELO COLEGIADO DO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
ENGENHARIA CIVIL DO INSTITUTO DE  
TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO  
PARÁ, COMO REQUISITO PARA OBTENÇÃO DO  
GRAU DE MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL NA  
ÁREA DE RECURSOS HÍDRICOS E SANEAMENTO  
AMBIENTAL.

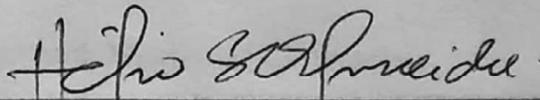
APROVADO EM: 24 / 04 / 2019.

BANCA EXAMINADORA:

  
Prof. Dr. José Almir Rodrigues Pereira  
Orientador (UFPA)

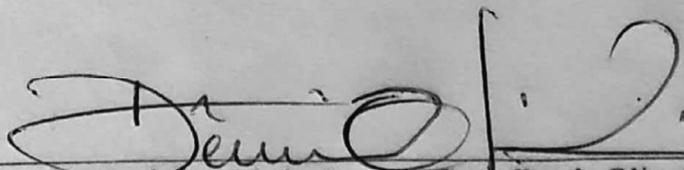


Prof. Dr. Saulo de Tarso Marques Bezerra  
Membro Externo (UFPE)



Prof. Dr. Hélio da Silva Almeida  
Membro Interno (UFPA)

Visto:



Prof. Dr. Dênio Ramam Carvalho de Oliveira  
Coordenador do PPGEC / ITEC / UFPA

## RESUMO

Simulação hidrodinâmica do impacto de eventos de inundação em canal de drenagem urbana ocasionados por coincidência de precipitações pluviométricas e oscilações de maré. A área de estudo foi a bacia de drenagem da Tamandaré, localizada na região central do município de Belém/PA. A pesquisa foi desenvolvida em três etapas. Inicialmente, foram investigadas as principais informações relacionadas ao manejo de águas pluviais na bacia estudada, sendo obtidos dados de topografia, hidrológicos e do sistema de drenagem. Em seguida, no software *Storm Water Management Model 5.0* foram realizadas 14 simulações de cenários de escoamento na estrutura de macrodrenagem, considerando: a) precipitação pluviométrica, com duração de 1,5 h, 3 h, 6 h e 12 h; b) maré, condição de maré alta e baixa; e c) precipitação pluviométrica com efeitos de maré. Finalmente, foram realizadas novas simulações com a utilização de comporta nos cenários que apresentaram inundações. Com a pesquisa foi constatado que a área de contribuição da bacia da Tamandaré é menor do que a apresentada em fontes oficiais, bem como que ocorrem precipitações pluviométricas intensas, grande elevação do nível de maré e inundações de vias. Com os resultados das simulações foi verificado que a capacidade do canal da Tamandaré é suficiente para escoar, isoladamente, os volumes precipitados e os volumes de maré baixa. Contudo, quando a maré alta é acima de 3,39 m ocorre inundação, situação agravada na coincidência com precipitação pluviométrica. O cenário com maior magnitude de inundação ocorreu durante precipitação pluviométrica de 6 h e maré alta atingindo 3,44 m, gerando nível de água de até 1,07 m acima do solo nas vias próximas ao canal da Tamandaré. Apesar da utilização de comporta ter amenizado essa condição, também foram verificados eventos de inundações, com a pior situação ocorrendo durante precipitação pluviométrica de 12 h e maré alta, formando nível de água de até 0,69 m sobre o terreno. Assim, a aplicação de comporta deve ser complementada por outros dispositivos técnicos de contenção e/ou de bombeamento do volume excedente de água pluvial, para evitar a ocorrência de inundações na coincidência de eventos intensos de precipitação pluviométrica e de maré alta nesse canal de drenagem da área urbana densamente ocupada do município de Belém.

**Palavras-chave:** Inundação; Canal da Tamandaré; Maré alta; Comporta.

## ABSTRACT

Hydrodynamic simulation of the impact of flood events in urban drainage channel caused by coincidence of rainfall and tidal oscillations. The study area was Tamandaré drainage basin, located in the central region of the city of Belém / PA. The research was developed in three stages. Initially, the main information related to the management of rainwater in the basin was investigated, obtaining topography, hydrological data and the drainage system. Then, in the SWMM 5.0 software, 14 simulations of runoff scenarios were carried out in the macrodrainage structure, considering: a) rainfall, lasting 1.5 h, 3 h, 6 h and 12 h; b) tide, high and low tide conditions; and c) rainfall + tide. Finally, new simulations were performed with the use of floodgate in the scenarios that presented floods. With the research, it was verified that the contribution area of the Tamandaré basin is smaller than the one presented in official sources, as well as intense rainfall, high tidal levels and flooding of roads. With the results of the simulations, it was verified that the capacity of the Tamandaré channel is sufficient to leak the precipitated volumes and low tide volumes separately. However, when the high tide is above 3.39 m flood occurs, situation aggravated in coincidence with rainfall. The highest flood magnitude occurred during rain of 6 h and high tide reaching 3.44m, generating a water level up to 1.07 m above the ground in the roads near the Tamandaré channel. In spite of the use of the dam, flood events were also observed, with the worst situation occurring during 12 h rain and high tide, forming a water level of up to 0.69 m above the ground. Therefore, the floodgate application must be complemented by other technical devices for containment and / or pumping the surplus volume of rainwater, to avoid the occurrence of floods in the coincidence of intense rainfall and high tide events in this drainage channel of the densely occupied urban area of the municipality of Belém.

**Keywords:** Flooding; Tamandaré's drainage channel; high tide; Floodgate.

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE ESQUEMAS .....</b>	<b>10</b>
<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>11</b>
<b>LISTA DE GRÁFICOS .....</b>	<b>13</b>
<b>LISTA DE MAPAS .....</b>	<b>15</b>
<b>LISTA DE QUADROS.....</b>	<b>16</b>
<b>LISTA DE TABELAS.....</b>	<b>17</b>
<b>LISTA DE SIGLAS.....</b>	<b>18</b>
<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>19</b>
<b>2 OBJETIVOS .....</b>	<b>21</b>
2.1 GERAL .....	21
2.2 ESPECÍFICOS.....	21
<b>3 REVISÃO DA LITERATURA.....</b>	<b>22</b>
3.1 A OCORRÊNCIA DE INUNDAÇÃO NO ESPAÇO URBANO.....	22
<b>3.1.1 Características morfométricas para avaliar a suscetibilidade de eventos de inundação em bacias .....</b>	<b>26</b>
<b>3.1.2 Quanto à origem: Inundações Ribeirinhas e Decorrentes da Urbanização .....</b>	<b>30</b>
<b>3.1.3 Quanto à velocidade de ocorrência: Inundações Bruscas e Graduais .....</b>	<b>32</b>
<b>3.1.4 Quanto às Perdas Ocasionaladas: Inundações com Danos Tangíveis e Intangíveis</b>	<b>34</b>
3.2 MEDIDAS DE CONTROLE DE INUNDAÇÃO .....	38
<b>3.2.1 Medidas Não Estruturais .....</b>	<b>38</b>
<b>3.2.2 Medidas Estruturais .....</b>	<b>41</b>
3.3 SISTEMA DE DRENAGEM URBANA .....	43
<b>3.3.1 Estruturas de Microdrenagem e de Macrodrenagem .....</b>	<b>45</b>
3.4 SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS PARA AVALIAÇÃO DE INUNDAÇÕES EM SISTEMAS DE DRENAGEM URBANA .....	50
<b>3.4.1 Storm Water Management Model (SWMM) – Estado da Arte .....</b>	<b>55</b>
<b>3.4.2 Estrutura Computacional do SWMM .....</b>	<b>57</b>
3.4.2.1 Escoamento Superficial .....	59
3.4.2.2 Infiltração.....	60
3.4.2.3 Propagação do escoamento nas estruturas de drenagem urbana.....	63

<b>4</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>65</b>
4.1	ÁREA DE ESTUDO .....	65
4.2	ETAPAS DA PESQUISA .....	69
<b>4.2.1</b>	<b>Etapa 1 – Estudo das Condições Relacionadas à Drenagem Urbana da Bacia da Tamandaré .....</b>	<b>72</b>
4.2.1.1	Características Topográficas da Bacia da Tamandaré (Fase 1) .....	72
4.2.1.2	Fatores Hidrológicos (Fase 2).....	73
4.2.1.3	Condições Estruturais do Sistema de Drenagem Urbana (Fase 3) .....	75
<b>4.2.2</b>	<b>Etapa 2 – Simulação Hidrodinâmica das Condições de Escoamento do Canal de Drenagem da Bacia da Tamandaré.....</b>	<b>75</b>
<b>4.2.3</b>	<b>Etapa 3 – Avaliação da Utilização de Comporta como Medida Estrutural de Contenção de Eventos de Inundação em Bacia de Drenagem Urbana.....</b>	<b>81</b>
<b>5</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>82</b>
5.1	ESTUDO DAS CONDIÇÕES RELACIONADAS À DRENAGEM URBANA DA BACIA DA TAMANDARÉ.....	82
<b>5.1.1</b>	<b>Topografia da bacia (Fase 1) .....</b>	<b>82</b>
<b>5.1.2</b>	<b>Fatores hidrológicos (Fase 2) .....</b>	<b>87</b>
5.1.2.1	Precipitação Pluviométrica .....	87
5.1.2.2	Maré.....	91
<b>5.1.3</b>	<b>Condições Estruturais do Sistema de Drenagem Urbana (Fase 3) .....</b>	<b>94</b>
5.1.3.1	As Fragilidades da Principal Estrutura de Macrodrenagem da Tamandaré.....	102
5.2	SIMULAÇÃO HIDRODINÂMICA DAS CONDIÇÕES DE ESCOAMENTO DO CANAL DE DRENAGEM DA MICROBACIA DA TAMANDARÉ.....	105
<b>5.2.1</b>	<b>Divisão de Sub-bacias e Dados de Entrada .....</b>	<b>105</b>
<b>5.2.2</b>	<b>Hidrogramas das sub-bacias da Tamandaré .....</b>	<b>107</b>
<b>5.2.3</b>	<b>Simulações Hidrodinâmicas das Condições de Escoamento do Sistema de Macrodrenagem da Tamandaré.....</b>	<b>113</b>
5.2.3.1	Simulações do Escoamento das Precipitações Pluviométricas sem Efeitos de Maré no Canal de Drenagem.....	115
5.2.3.2	Simulação do Escoamento das Marés Baixa e Alta sem Eventos de Precipitações Pluviométricas no Canal de Drenagem.....	121

5.2.3.3	Simulação do Escoamento de Precipitações Pluviométricas com Efeitos de Maré Baixa no Canal de Drenagem.....	126
5.2.3.4	Simulação do Escoamento das Precipitações Pluviométricas com Efeitos de Maré Alta no Canal de Drenagem.....	133
5.3	<b>AVALIAÇÃO DE COMPORTA NA CONTENÇÃO DE EVENTOS DE INUNDAÇÃO EM BACIA DE DRENAGEM URBANA.....</b>	<b>145</b>
5.3.1	<b>Acionamento de Comporta em Situação de Precipitação Pluviométrica e Maré Alta.....</b>	<b>146</b>
5.3.2	<b>Proposição de equações de tendência para avaliação dos riscos de inundação da Microbacia da Tamandaré.....</b>	<b>157</b>
5.3.3	<b>Proposição de Alternativas para Impedir a Ocorrência de Inundações na Microbacia da Tamandaré.....</b>	<b>159</b>
6	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>161</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>164</b>