



**MODELO HIDROLÓGICO-HIDRODINÂMICO DO CANAL DA TAMANDARÉ EM
BELÉM-PA PARA IMPLANTAÇÃO DE OBRA PRÉVIA À COP 30**

**HYDROLOGICAL-HYDRODYNAMIC MODEL OF THE TAMANDARÉ CANAL IN
BELÉM-PA FOR THE IMPLEMENTATION OF WORKS PRIOR TO COP 30**

**MODELO HIDROLÓGICO-HIDRODINÂMICO DEL CANAL DE TAMANDARÉ EN
BELÉM-PA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE OBRAS PREVIAS A LA COP 30**



10.56238/2ndCongressSevenMultidisciplinaryStudies-036

Marco Valério de Albuquerque Vinagre

Doutor em Engenharia de Recursos Naturais da Amazônia

Instituição: Universidade da Amazônia (UNAMA)

E-mail: valeriovinagre@gmail.com

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-7650-9204>

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/8044094535697705>

Francisco Denis Pereira Chaves

Doutorando em Desenvolvimento e Meio Ambiente Urbano (PPDMU)

Instituição: Universidade da Amazônia (UNAMA)

E-mail: franciscodpchaves@gmail.com

Orcid: <https://orcid.org/0009-0003-7997-8190>

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/4798073398357557>

Alberto Carlos de Melo Lima

Doutor em Hidráulica e Saneamento

Instituição: Universidade do Estado do Pará (UEPA)

E-mail: acmlima@gmail.com

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-8752-7432>

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/0524669127885256>

Luan da Silva Freitas

Doutorando em Desenvolvimento e Meio Ambiente Urbano (PPDMU)

Instituição: Universidade da Amazônia (UNAMA)

E-mail: freitasluan52@gmail.com

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-0186-695X>

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/2515137074404173>

Roberto Fontes de Souza

Doutorando em Arquitetura e Urbanismo

Instituição: Universidade de São Paulo (USP)

E-mail: fontes2@gmail.com

Orcid: <https://orcid.org/0009-0004-8459-0462>

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/0584412115660517>



Rodrigo Lauria Fonseca

Doutorando em Desenvolvimento e Meio Ambiente Urbano (PPDMU)

Instituição: Universidade da Amazônia (UNAMA)

E-mail: rodrigolauriafonseca@gmail.com

Orcid: <https://orcid.org/0009-0007-6120-5244>

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/6072236533521159>

Edilaine Cristina Pamplona Menezes

Mestrado em Engenharia Civil

Instituição: Universidade Federal do Pará (UFPA)

E-mail: edilainecristina@gmail.com

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-3574-3085>

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/3009334989716730>

RESUMO

A implantação do Parque Linear Tamandaré, em Belém-PA, na Amazônia, para melhoria da infraestrutura urbana prévia à COP30 (30ª Conferência das Partes da ONU sobre Mudanças Climáticas), teve por base estudo hidrológico-hidrodinâmico desenvolvido com o uso do código computacional livre Storm Water Management Model (SWMM), para formular e propor medidas de combate e prevenção a transbordamentos do Canal da Tamandaré, decorrentes de eventos de precipitação intensa e maré elevada, atuando sobre terrenos bastante impermeabilizados, com baixas cotas altimétricas (de 0 a 6 m). O comportamento hidráulico da bacia foi simulado de forma realista considerando um evento de chuva com período de retorno de 50 anos (precipitação de 172 mm em 24 horas), associado à condição da máxima preamar (3,02 m). Os resultados evidenciaram a suscetibilidade a alagamentos em áreas com cotas inferiores a 3,02 m devido à influência das marés e indicaram a importância do uso de comportas para controle hidráulico. Verificou-se que a ocupação da capacidade do Canal da Tamandaré atingiu 100% e transbordou, recomendando-se o uso de eletrobombas de recalque como medida preventiva contra transbordamentos, indicando-se instalação de duas eletrobombas, cada uma com vazão de 1,0 m³/s e altura manométrica de recalque de 7,2 mca, acionadas automaticamente quando a ocupação do canal atingir 85% e desligadas ao atingir 60%. Dessa forma, a simulação computacional com o SWMM possibilitou a formulação de soluções de engenharia para um problema de grande relevância no combate e na prevenção de alagamentos na cidade de Belém-PA.

Palavras-chave: Alagamentos. Urbanização. SWMM. Bacia do Armas. Amazônia.

ABSTRACT

The implementation of the Tamandaré Linear Park in Belém-PA, in the Amazon, to improve urban infrastructure before COP30 (30th UN Conference of the Parties on Climate Change), was based on a hydrological-hydrodynamic study developed using the free computational code Storm Water Management Model (SWMM), to formulate and propose measures to combat and prevent overflows of the Tamandaré Channel, resulting from intense precipitation events and high tides, acting on highly impermeable terrain with low altimetric elevations (from 0 to 6 m). The hydraulic behavior of the basin was realistically simulated considering a rainfall event with a 50-year return period (172 mm of precipitation in 24 hours), associated with the maximum high tide condition (3.02 m). The results highlighted the susceptibility to flooding in areas with elevations below 3.02 m due to tidal influence



and indicated the importance of using floodgates for hydraulic control. It was found that the occupancy of the Tamandaré Channel's capacity reached 97%, recommending the use of electric booster pumps as a preventive measure against overflows. The installation of two electric pumps was indicated, each with a flow rate of $1.0 \text{ m}^3/\text{s}$ and a manometric head of 7.2 m, automatically activated when the canal occupancy reaches 85% and deactivated when it reaches 60%. Thus, the computer simulation with SWMM enabled the formulation of engineering solutions for a problem of great relevance in combating and preventing flooding in the city of Belém-PA.

Keywords: Flooding. Urbanization. SWMM. Armas Basin. Amazon.

RESUMEN

La implementación del parque lineal de tamandaré en belém-pa, en la amazonia, para mejorar la infraestructura urbana antes de la cop30 (30ª conferencia de las partes de la onu sobre el cambio climático), se basó en un estudio hidrológico-hidrodinámico desarrollado mediante el código computacional libre storm water management model (swmm), para formular y proponer medidas para combatir y prevenir desbordamientos del canal de tamandaré, resultantes de eventos de intensas precipitaciones y mareas altas, que actúan sobre terrenos altamente impermeables y con elevaciones altimétricas bajas (de 0 a 6 m). El comportamiento hidráulico de la cuenca se simuló de forma realista considerando un evento de lluvia con un período de retorno de 50 años (172 mm de precipitación en 24 horas), asociado con la condición de pleamar máxima (3,02 m). Los resultados destacaron la susceptibilidad a inundaciones en zonas con elevaciones inferiores a 3,02 m debido a la influencia de las mareas e indicaron la importancia del uso de compuertas para el control hidráulico. Se constató que el Canal de Tamandaré alcanzó el 100% de su capacidad y se desbordó, por lo que se recomendó el uso de bombas de refuerzo eléctricas como medida preventiva contra desbordamientos. Se indicó la instalación de dos bombas eléctricas, cada una con un caudal de $1,0 \text{ m}^3/\text{s}$ y una altura de bombeo de 7,2 m, que se activan automáticamente cuando la capacidad del canal alcanza el 85% y se desactivan al alcanzar el 60%. De esta forma, la simulación por computadora con SWMM permitió la formulación de soluciones de ingeniería para un problema de gran relevancia en el combate y la prevención de inundaciones en la ciudad de Belém-PA.

Palabras clave: Inundaciones. Urbanización. SWMM. Cuenca de Armas. Amazonía.



1 INTRODUÇÃO

Belém, capital do Estado do Pará, situada na Amazônia Brasileira, foi sede do megaevento da COP30 (30ª Conferência das Partes da ONU sobre Mudanças Climáticas) no ano de 2025. Durante a fase preparatória, a cidade recebeu investimentos para melhorar sua infraestrutura e solucionar importantes problemas estruturais, dentre os quais os alagamentos urbanos da bacia do Igarapé das Armas, onde foi implantado o Parque Linear Nova Tamandaré, com base no estudo hidrológico-hidrodinâmico apresentado a seguir.

A drenagem do canal da Tamandaré, em Belém-PA, representa um importante desafio urbano na Amazônia, devido seus transbordamentos que ocorrem devido marés elevadas e ou chuvas intensas.

A solução estudada para a bacia do Tamandaré, para implantação do Parque Linear Nova Tamandaré, foi desenvolvida com base na modelagem computacional hidrológico-hidrodinâmica dessa bacia, utilizando o software SWMM, incluindo a ocorrência de chuvas intensas simultâneas a preamares elevadas, com foco nos alagamentos recorrentes no Canal da Tamandaré, de modo a auxiliar nas decisões de projetos e obras de implantação dessa importante obra.

Figura 1. Avenida Tamandaré em Belém-PA antes do Parque Linear.



Fonte: Agência Pará, 2025.



Figura 2. Avenida Tamandaré em Belém-PA depois da implantação do Parque Linear. Nova Tamandaré implantado em Belém-PA.



Fonte: Agência Pará, 2025.

A Figura 2 mostra o Parque Linear Nova Tamandaré implantado em Belém-PA.

Conforme verifica-se na Figura 1, situa-se em área muito urbanizada e impermeabilizada por pavimentos, edificações e tem seu exutório na Baía de Guajará.

A funcionalidade do sistema de drenagem da Bacia do Tamandaré destaca-se pela importância de não alagar a Avenida Tamandaré, evitando perdas e prejuízos à cidade e seus habitantes, em especial quando da ocorrência chuvas intensas associadas a elevados níveis de maré da Baía de Guajará.

A Figura 3 apresenta imagem do Canal Tamandaré com transbordo devido efeito de preamar elevada.

Figura 3. Canal da Tamandaré com transbordo em março de 2013.



Fonte: Vinagre (2013)

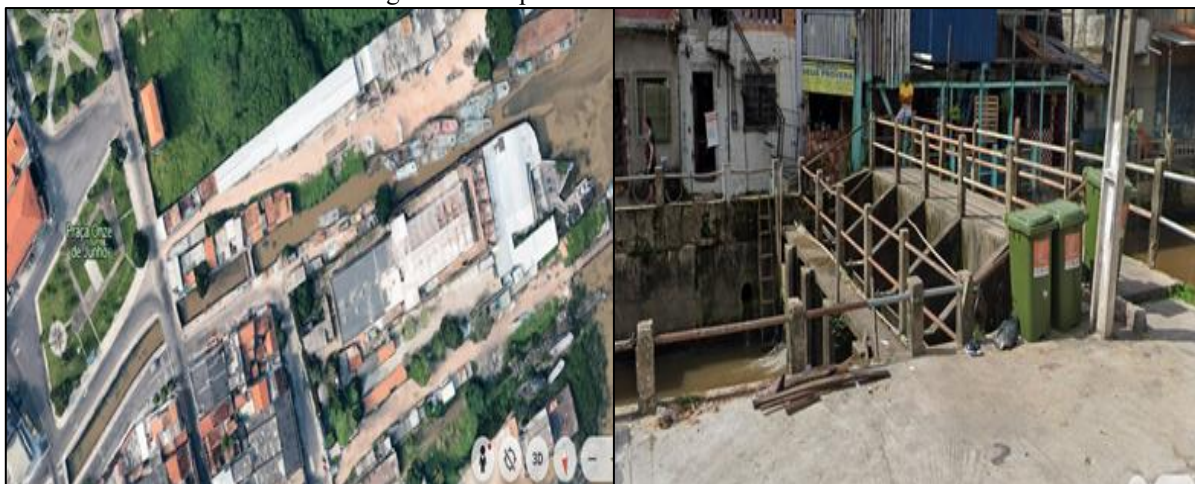
Observa-se na Figura 2 transbordo e alagamento no canal da Tamandaré sob o efeito de chuva



intensa e elevado nível de maré em seu exutório na Baía de Guajará. Trata-se de área muito urbanizada e impermeabilizada.

A Figura 3 apresenta as comportas do Canal da Tamandaré, na Av. Tamandaré, essenciais a sua funcionalidade.

Figura 4. Comportas do Canal da Tamandaré.



Fonte: Google (2023)

Observam-se na Figura 4 o exutório e as comportas do Canal da Tamandaré.

A cidade de Belém-PA apresenta cotas altimétricas entre 0 e 16 m (BELÉM, 2020), sendo rica em recursos hídricos, com intensas precipitações, e por situar-se próximo ao Equador, elevados níveis de maré. Estes são fatores decisivos para a ocorrência de importantes alagamentos urbanos.

Assim, a questão norteadora da presente pesquisa é investigar a possibilidade de se elaborar modelo computacional hidrológico-hidrodinâmico adequado à formulação de componentes de engenharia adequados a prevenção e combate a alagamentos do canal da Tamandaré em Belém-PA, na Amazônia.

Justifica-se que essa questão é extremamente relevante, pois a funcionalidade do sistema de drenagem do Canal da Tamandaré reverbera sua importância na prevenção e controle de alagamentos na bacia do Tamandaré, evitando perdas e prejuízos à cidade e seus habitantes, em especial quando da ocorrência de chuvas intensas associadas a elevados níveis de maré da Baía de Guajará.

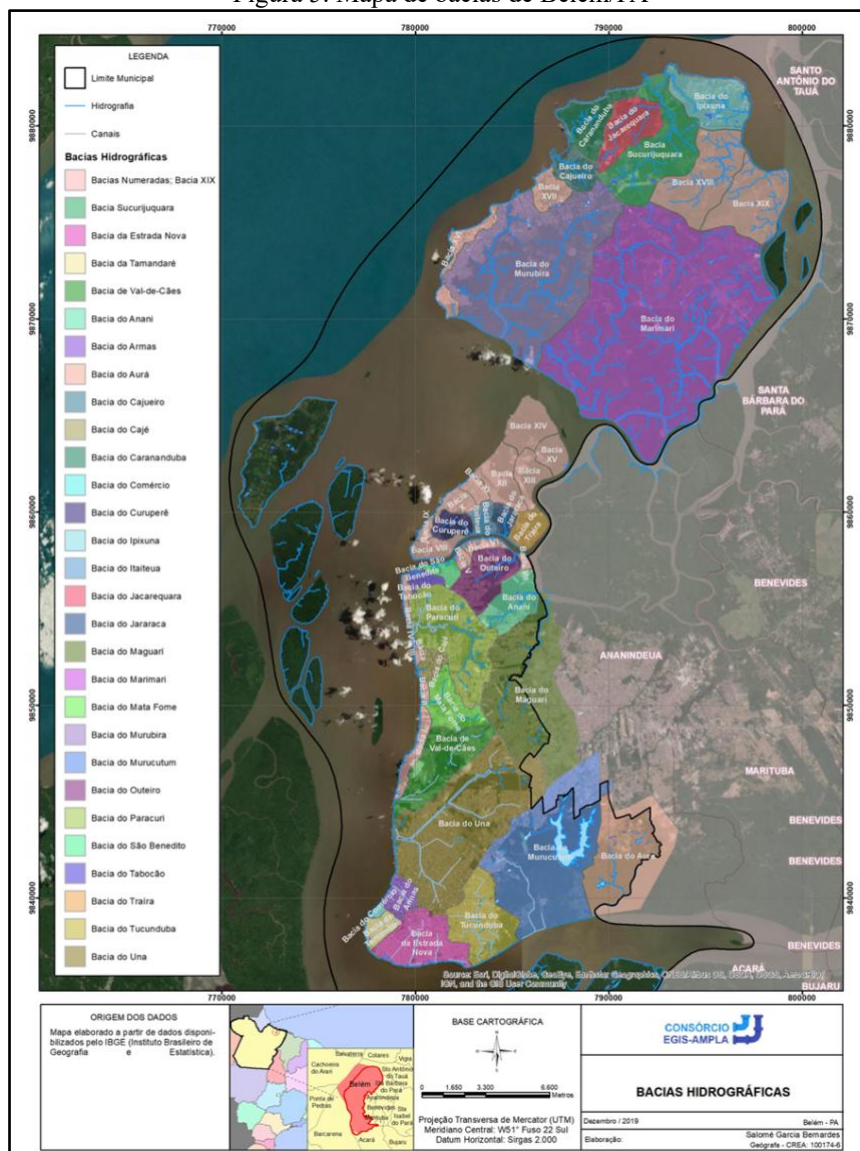
2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 BACIAS HIDROGRÁFICAS DE BELÉM-PA

A Figura 5 a seguir apresenta o mapa de bacias hidrográficas de Belém-PA.



Figura 5. Mapa de bacias de Belém/PA



Fonte: Autores (2025)

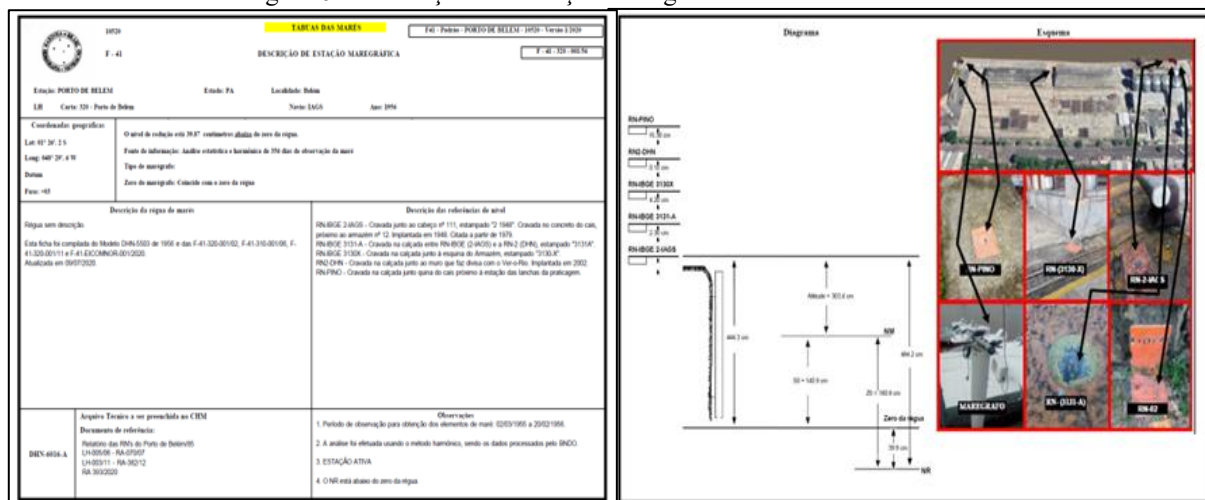
Observa-se na Figura 5 a Bacia da Tamandaré no mapa de bacias hidrográficas da cidade de Belém-PA.

2.2 ALTIMETRIA DO CHN E IBGE

O Centro de Hidrografia e Navegação da Marinha do Brasil divulga anualmente as tábuas de maré do Porto de Belém-PA, com dados da Estação Maregráfica desse porto.

A Figura 6. mostra informações referentes a Estação Maregráfica do Porto de Belém-PA.

Figura 6. Informações da Estação Maregráfica do Porto de Belém-PA.



Fonte: CHN (2025)

A figura 6 mostra informações da estação maregráfica do porto de belém-pa, a qual efetua a medição do nível das marés pela metodologia do nível de redução, e não pelo datum altimétrico brasileiro (IBGE, 2009).

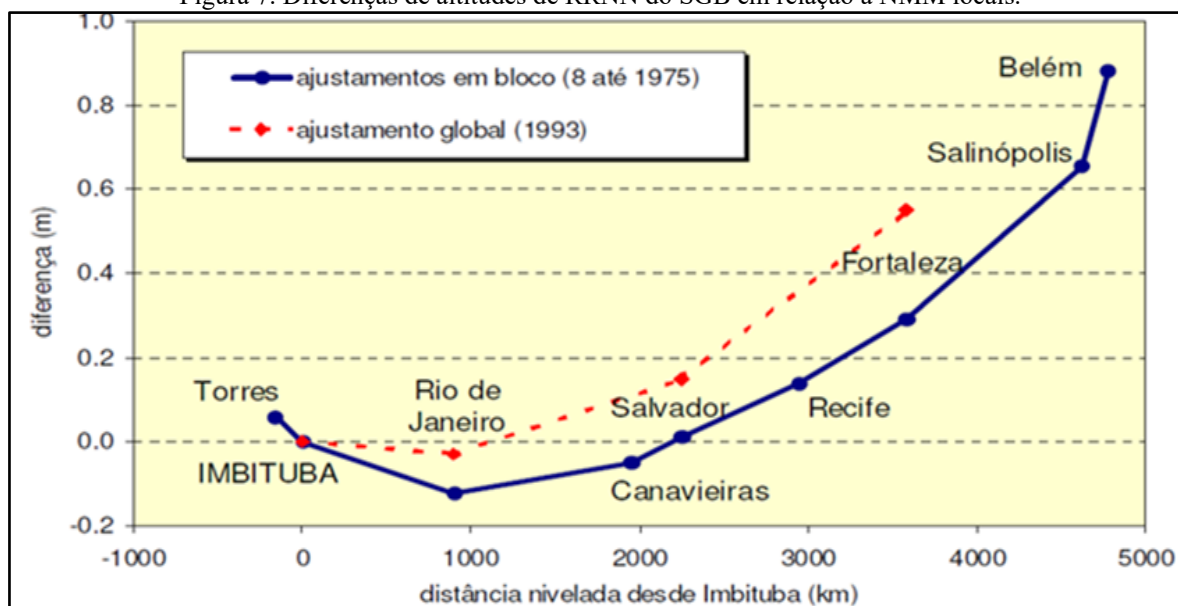
2.3 DATUM ALTIMÉTRICO BRASILEIRO

Conforme o IBGE (2009), a vinculação entre o Datum Vertical do Sistema Geodésico Brasileiro, representado pelos data de Imbituba e Santana, e os Níveis de Redução e Zeros Hidrográficos ao longo do litoral brasileiro é estabelecida a partir das informações disponibilizadas no Banco de Dados Geodésicos (BDG). Esse banco fornece subsídios geodésicos essenciais a aplicações em engenharia, cartografia e estudos científicos. Destacam-se, entre os produtos mais requisitados, as altitudes das Referências de Nível (RRNN) do SGB, amplamente empregadas em análises que envolvem variações altimétricas, especialmente em projetos de drenagem urbana em regiões costeiras sob influência de marés. As altitudes oficiais do SGB são referenciadas a dois valores distintos do nível médio do mar (NMM): o Datum de Imbituba, definido com base em séries maregráficas observadas no período de 1949 a 1957, e o Datum de Santana, estabelecido a partir de observações realizadas entre 1957 e 1958 (Alencar, 1990; FEMAR, 2000; Luz e Guimarães, 2003). No contexto das informações maregráficas, a principal fonte para a costa brasileira é a Tábua de Marés, elaborada e publicada anualmente pelo Centro de Hidrografia e Navegação da Marinha do Brasil.

A Figura 7 mostra as diferenças das altitudes das RRNN do Datum Altimétrico Brasileiro do IBGE, referidas a Imbituba, em relação aos NMM locais.



Figura 7. Diferenças de altitudes de RRNN do SGB em relação a NMM locais.



Fonte: IBGE (2009); Alencar (1990)

A Figura 7 resume o ajustamento global dos dados de nivelamento geométrico da RAAP, concluído em 1993, o qual produziu altitudes de um número significativamente maior de RRNN que os ajustamentos manuais realizados periodicamente entre 1948 e 1975 (Alencar, 1968; Luz e Guimarães, 2001; Luz et al., 2002).

Desta forma, o porto de Belém apresenta leitura de marégrafo +0,8808 m acima da cota do IBGE (Alencar, 1990) para o terreno, onde o sinal positivo mostra que o plano do nível médio do mar registrado pelas observações do Marégrafo local é mais alto do que o determinado em Imbituba, e transportado pelo nivelamento.

2.4 MODELAGEM COMPUTACIONAL COM USO DO SOFTWARE SWMM

O *Storm Water Management Model* (SWMM), Modelo de Gestão de Drenagem Urbana, em português, consiste em um código computacional livre de modelagem computacional hidrológico-hidrodinâmica, desenvolvido pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA) em 1971. Conforme Garcia (2005) é o software mais utilizado mundialmente para simulação de drenagem urbana. Constitui-se em um modelo físico, distribuído, de simulação temporal discreta, no qual uma bacia hidrográfica é representada por uma série de elementos como sub-bacias, junções, condutos, possibilitando a simulação contínua de eventos e processos hidrológico-hidrodinâmicos (BELING, 2013).

Essa ferramenta computacional apresenta muitas utilidades, podendo descrever variados processos hidrológicos como escoamento superficial, infiltração, contribuição de águas subterrâneas, propagação da vazão, acúmulo superficial, e propagação da qualidade da água (SHINMA, 2011).



3 METODOLOGIA

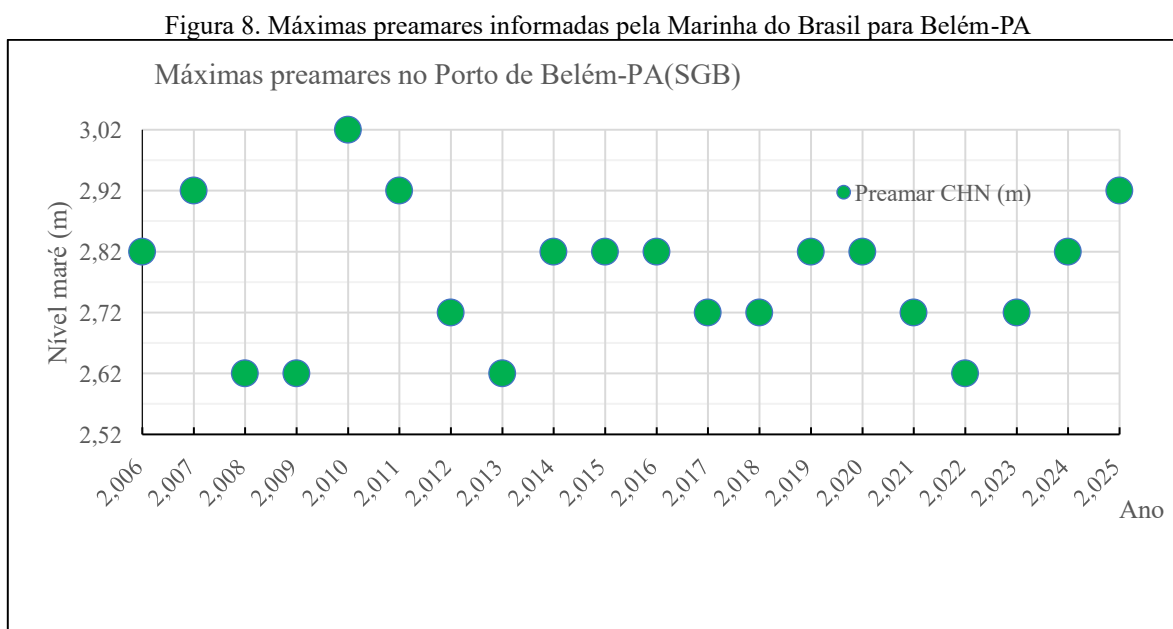
O modelo computacional hidrológico-hidrodinâmico da Bacia do Tamandaré, desenvolvido por meio do software livre SWMM, foi estruturado a partir de uma sequência de procedimentos metodológicos. Inicialmente, realizou-se a elaboração da curva de maré e da série temporal de precipitação. Em seguida, procedeu-se à identificação e quantificação dos elementos constituintes da bacia, incluindo sub-bacias, nós e condutos, bem como à caracterização de seus atributos físicos, tais como forma, tipo e uso do solo, declividade, seções transversais, extensões, cotas altimétricas e coeficientes de rugosidade, com base em levantamentos topográficos e documentos cartográficos disponíveis. Posteriormente, os dados foram inseridos no ambiente do SWMM para a configuração do modelo. Por fim, o modelo foi executado e seus resultados foram analisados de forma crítica.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 RESULTADOS

4.1.1 Curva de Maré e Série Temporal de Precipitação

A Figura 8 apresenta os níveis de máximas preamares do porto de Belém-PA informadas pela Estação Maregráfica da Marinha do Brasil e transpostos para o nível do terreno conforme o Datum Altimétrico Brasileiro do IBGE.



A Figura 8 apresenta os níveis das máximas preamares anuais fornecidos pelo Centro de Hidrografia e Navegação da Marinha do Brasil (CHN), referenciados ao Datum Altimétrico Brasileiro do IBGE. Observa-se que a maior preamar registrada corresponde à cota altimétrica de 3,02 m, ocorrida exclusivamente no ano de 2010. Com base nesses dados, adotou-se, para o presente estudo, a

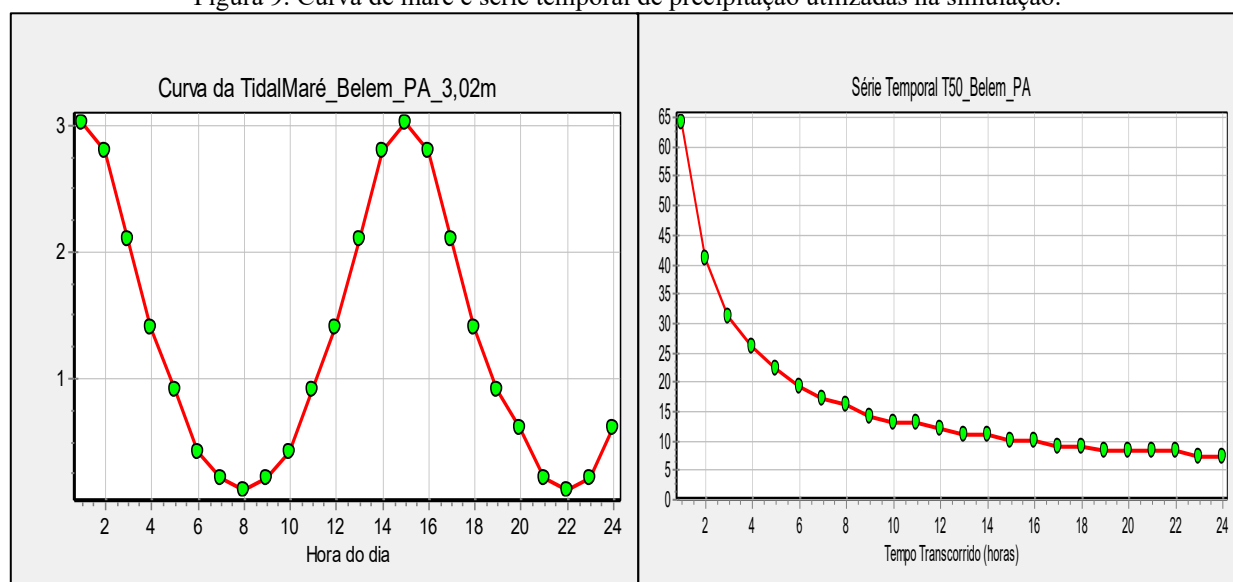


máxima preamar anual de 3,02 m como condição de referência. Dessa forma, áreas com cotas altimétricas inferiores a esse valor são consideradas suscetíveis a alagamentos decorrentes da influência direta da maré.

No que se refere à série temporal de precipitação com período de retorno de 50 anos para o município de Belém-PA, utilizada no dimensionamento de obras de macrodrenagem urbana, esta foi definida a partir de Souza *et al.* (2012). O evento pluviométrico adotado apresenta precipitação total de 172 mm, com duração de 24 horas, sendo a distribuição temporal da chuva obtida por meio da metodologia de desagregação horária aplicada ao evento de 24 h analisado.

A Figura 8 ilustra a curva de maré correspondente à preamar de 3,02 m e a série temporal de precipitação, ambas empregadas como dados de entrada na modelagem hidrológico-hidrodinâmica.

Figura 9. Curva de maré e série temporal de precipitação utilizadas na simulação.



Fonte: Autores com dados do CHN/SGB, 2025.

A Figura 9 mostra a curva de maré de máxima preamar de 3,02m e a série temporal de chuva com período de retorno de cinquenta anos (T50) utilizados no modelo computacional.

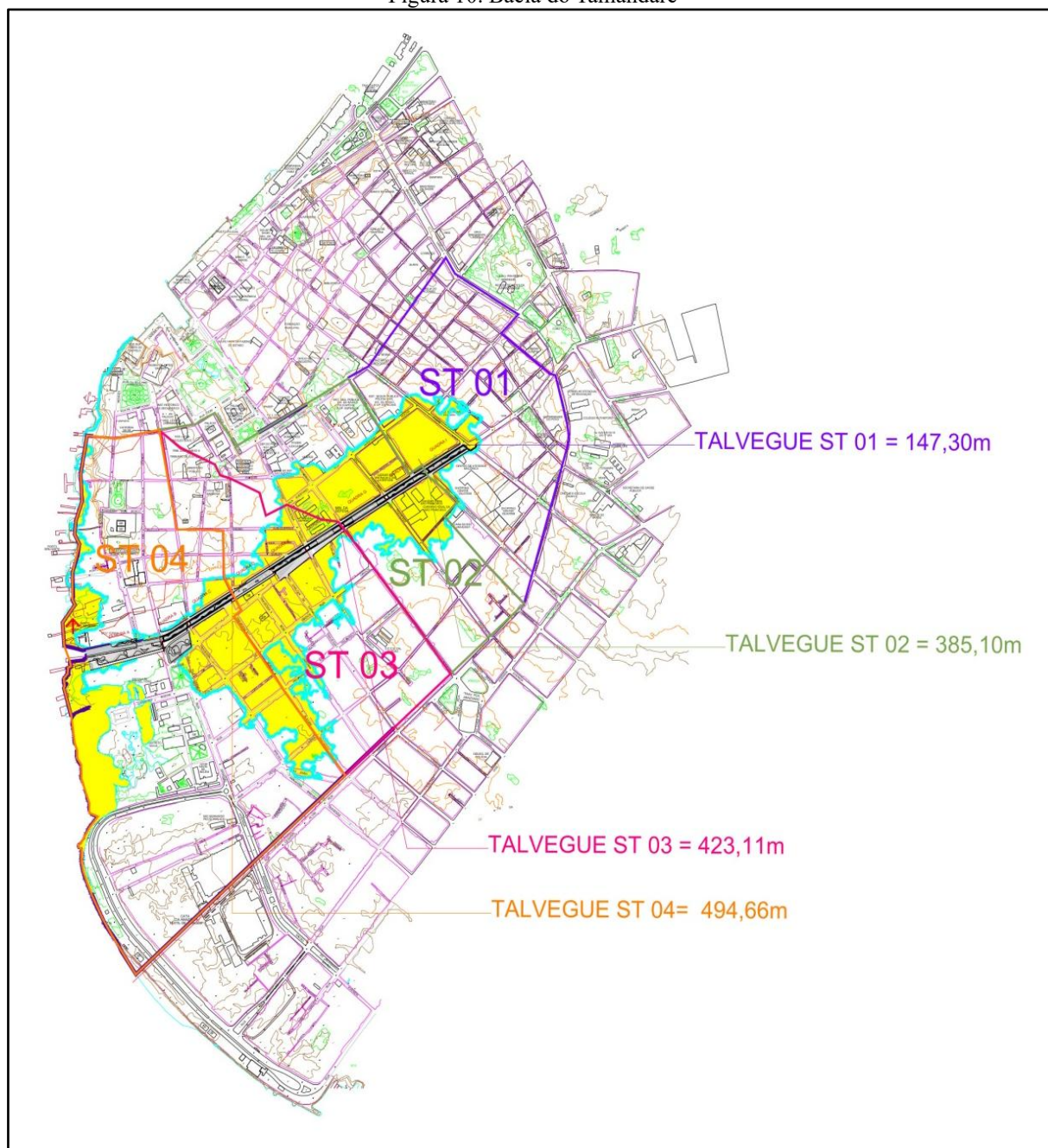
4.1.2 Bacia do Tamandaré

A bacia do Tamandaré tem área de 2,8km² com grande impermeabilização, baixa altitude (de 0 e 8 m), alta pluviosidade, influência de marés e por esses motivos apresenta frequentes alagamentos urbanos. Ela inclui duas sub-bacias, Tamandaré (área de 1,7 km²) e Reduto (área de 1,1 km²), que são interligadas por uma galeria pluvial existente na Rua da Municipalidade. O Canal da Tamandaré, com extensão de 1,1 km, situa-se na Av. Tamandaré, é revestido em concreto e dotado de comportas implantadas na década de 1960 (PMSB, 2020).



A Figura 10 mostra a Bacia do Tamararé com seu canal.

Figura 10. Bacia do Tamararé



Fonte: Autores (elaborada com uso do software livre QGIS).

Observa-se na Figura 10 a Bacia do Tamararé, com suas quatro sub-bacias.



A Tabela 1 relaciona sub-bacias, áreas, nós e condutos da bacia do Tamandaré.

Tabela 1. Dados da bacia da Tamandaré.

DADOS	SUB-BACIAS	CONDUTO	Extensão (m)	NÓ Entrada	Cota radier NE (m)	NÓ Saída
Denominação	ST01	C1 ST01	68,60	N1 ST01	0,90	N2 ST01
Canal		C2 ST01	96,50	N2 ST01	0,90	N1 ST02
Área(ha)	36,01					
Perímetro(m)	2.725,45					
Talvegue(m)	147,30					
Largura (m)	2.444,67					
Uso solo	90% urb					
Exutório	N1 ST01					
			165,10			
Denominação	ST02	C1 ST02	98,00	N1 ST02	0,21	N2 ST02
Canal		C2 ST02	14,50	N2 ST02	0,05	N3 ST02
Área(ha)	32,23	C3 ST02	90,00	N3 ST02	0,46	N4 ST02
Perímetro(m)	3.241,43	C4 ST02	30,00	N4 ST02	0,21	N5 ST02
Talvegue(m)	385,10	C5 ST02	29,00	N5 ST02	0,20	N6 ST02
Largura (m)	836,93	C6 ST02	15,00	N6 ST02	0,46	N1 ST03
Uso solo	90% urb					
Exutório	N1 ST02					
			276,50			
Denominação	ST03	C1 ST03	25,00	N1 ST03	0,46	N2 ST03
Canal		C2 ST03	60,00	N2 ST03	0,46	N3 ST03
Área(ha)	36,33	C3 ST03	24,00	N3 ST03	0,23	N4 ST03
Perímetro(m)	3.002,73	C4 ST03	16,00	N4 ST03	0,10	N5 ST03
Talvegue(m)	423,11	C5 ST03	58,00	N5 ST03	0,10	N6 ST03
Largura (m)	858,64	C6 ST03	3,00	N6 ST03	0,09	N7 ST03
Uso solo	90% urb	C7 ST03	60,00	N7 ST03	0,10	N8 ST03
Exutório	N1 ST03	C8 ST03	130,00	N8 ST03	0,10	N1 ST04
			376,00			
Denominação	ST04	C1 ST04	80,00	N1 ST04	0,18	N2 ST04
Canal		C2 ST04	3,00	N2 ST04	0,18	N3 ST04
Área(ha)	78,92	C3 ST04	85,00	N3 ST04	0,39	N4 ST04
Perímetro(m)	4.159,88	C4 ST04	13,50	N4 ST04	0,78	N5 ST04
Talvegue(m)	494,66	C5 ST04	82,50	N5 ST04	0,78	N6 ST04
Largura (m)	1.595,44	C6 ST04	13,50	N6 ST04	0,17	N7 ST04
Uso solo	90% urb	C7 ST04	49,50	N7 ST04	0,17	N8 ST04
Exutório	N1 ST04	C8 ST04	6,00	N8 ST04	0,17	N9 ST04
		C9 ST04	6,00	N9 ST04	-1,48	EXUTÓRIO
			339,00			
Área (ha)	183,49		1156,60			

Fonte: Autores, 2025

A Tabela 1 mostra dados da bacia da Tamandaré.

4.1.3 Alimentação do Modelo Computacional no Swmm

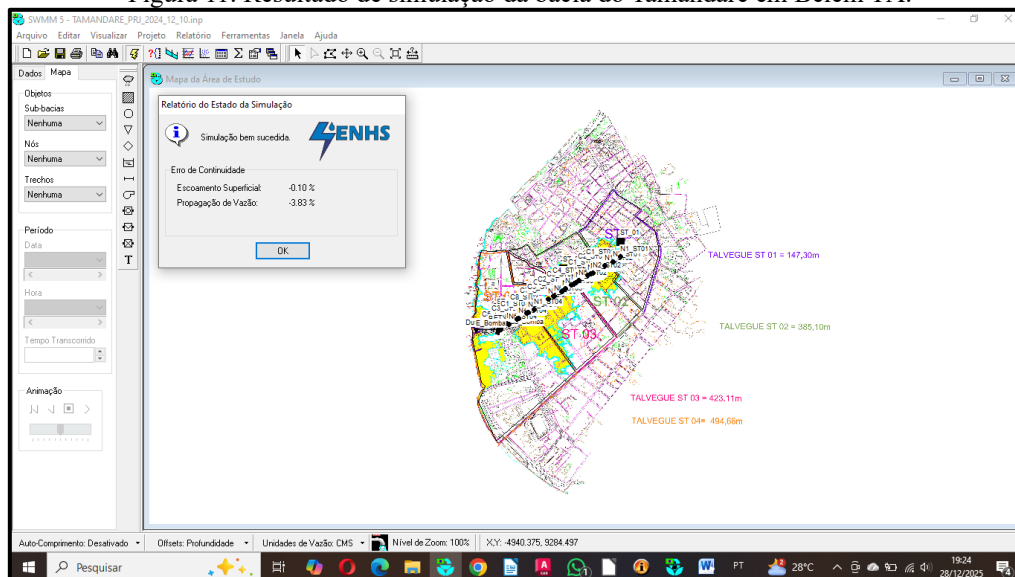
As informações coletadas foram inseridas no modelo hidrológico-hidrodinâmico da bacia do Tamandaré, possibilitando a execução da simulação.



4.1.4 Execução e Análise Dos Resultados Obtidos

A Figura 11 a seguir apresenta o resultado da simulação da bacia do Tamandaré sob efeito da precipitação pluvial de período de recorrência de 50 anos e preamar de 3,02m.

Figura 11. Resultado de simulação da bacia do Tamandaré em Belém-PA.

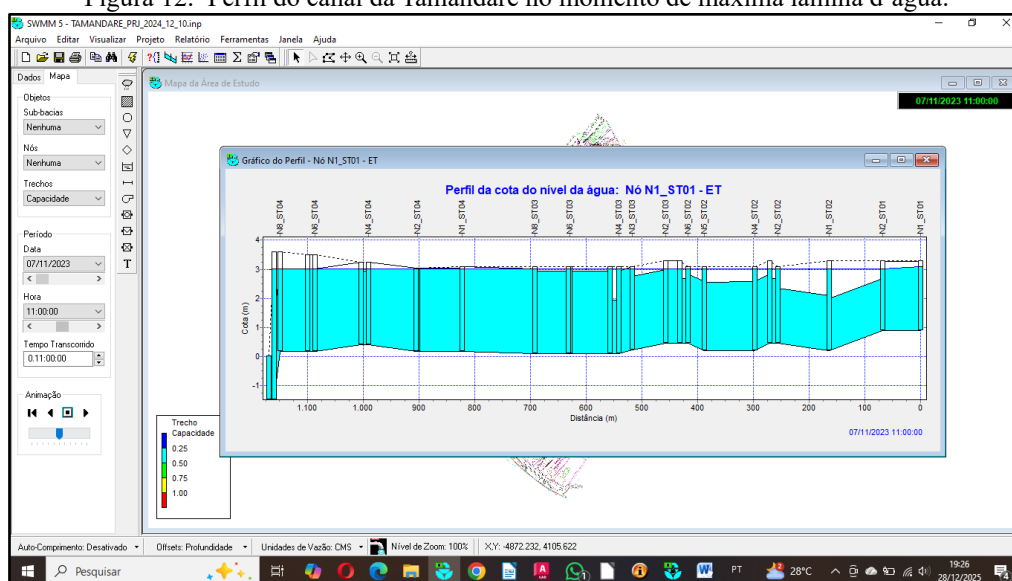


Fonte: Autores, 2025.

A Figura 12 mostra o resultado bem-sucedido da simulação da bacia do Tamandaré com o SWMM, com erros muito pequenos, de -0,10% para escoamento superficial e de -3,83% para propagação de vazão.

A Figura 12 apresenta o Canal da Tamandaré no momento de máxima lâmina d'água.

Figura 12. Perfil do canal da Tamandaré no momento de máxima lâmina d'água.



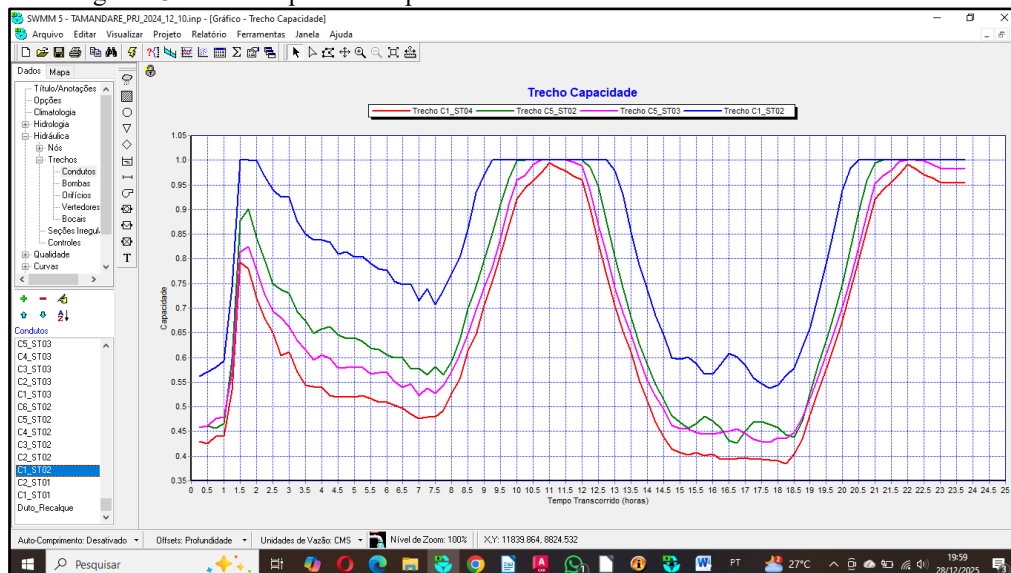
Fonte: Autores, 2025.



A Figura 13 mostra que os trechos intermediários do canal, que apresentam menor cota altimétrica do terreno, apresentam maior risco de alagamento do que o exutório e a nascente.

Desta forma, a análise do escoamento com auxílio do modelo computacional elaborado no SWMM resulta em que os trechos intermediários são mais suscetíveis a transbordos e alagamentos, conforme Figura 12.

Figura 13. Série temporal da capacidade e vazão de trechos do canal da Tamandaré.



Fonte: Autor (2025)

Figura 14. Série temporal da capacidade e vazão de trechos do canal da Tamandaré.



Fonte: Autor (2025)

A Figura 12 mostra que dentre os trechos que atingem 100% da capacidade e transbordam, C1_ST04 é o de maior vazão, e assim torna-se o mais crítico para esse transbordo. Ele ultrapassa 85% da capacidade no intervalo entre 9,5 e 12,5 horas após o início do evento, com vazão de $8\text{ m}^3/\text{s}$. Visando reduzir a capacidade utilizada desses trechos para até 85%, nesse intervalo de maior risco de



transbordamento, indica-se a inserção de duas unidades de eletrobombas, para alturas de recalque de 7,2mca e vazões individuais de $1,0\text{m}^3/\text{s}$. Como regra de operação, devem ser acionadas quando a lâmina d'água no trecho da elevatória atingir 85% da capacidade do trecho e desligadas quando atingir 60%, prevenindo transbordos.

4.2 DISCUSSÃO

A modelagem computacional de eventos hidrológico-hidrodinâmicos em bacias de drenagem urbanas é de extrema utilidade para a gestão urbana, em especial para prevenção e combate a alagamentos, ao demonstrar de modo quantitativo que a associação de altos índices pluviométricos, topografia, elevação das marés e intensa impermeabilização podem resultar na ocorrência de transbordos e alagamentos.

A preamar anual do ano de 2010 atingiu a cota altimétrica de 3,02m, mostrando a importância e utilidade das comportas do canal da Tamandaré, que se constituem em mecanismo de controle necessário ao impedimento da entrada de água da baía nos momentos de maré elevada, evitando o transbordo do canal nos pontos de níveis topográficos inferiores aos níveis de maré, em especial nos pontos de menores cotas altimétricas, da ordem de 2,6 a 2,8m, nas cercanias das Quadras D, E e F (próximo da Tv. Ângelo Custódio), onde atualmente ocorre alagamento por maré elevada, e ainda mais, com isso disponibilizando volume útil no canal para recepção de águas pluviais.

5 CONCLUSÃO

Desta forma, para obtenção da funcionalidade do Canal da Av. Tamandaré com base no Modelo Hidráulico-Hidrológico da bacia do Tamandaré aqui estudado, recomenda-se que se utilizem em toda a extensão do Parque, cotas altimétricas iguais ou superiores à máxima preamar anual de 3,02m, onde possível 3,02m+0,20m.

A implantação bem-sucedida do Parque Linear Nova Tamandaré, em Belém-PA, como intervenção de melhoria da infraestrutura urbana no período preparatório para a COP30, teve como fundamento o estudo hidrológico-hidrodinâmico desenvolvido por meio de modelagem computacional no software SWMM, conforme descrito neste trabalho.

As principais condicionantes associadas aos alagamentos urbanos na área de estudo consistem nas baixas cotas altimétricas do terreno, no elevado grau de impermeabilização superficial e nos altos níveis de maré, fatores que evidenciam a necessidade da adoção de dispositivos de controle hidráulico, como comportas, bem como da utilização de sistemas de bombeamento para o recalque das águas pluviais, visando à prevenção de transbordamentos e inundações.

Os resultados do estudo demonstraram a elevada utilidade da modelagem proposta, ao reproduzir de forma realista o comportamento hidráulico da bacia do Tamandaré quando submetida a



um evento pluviométrico com período de retorno de 50 anos, caracterizado por precipitação total de 172 mm em 24 horas, concomitantemente à ocorrência da máxima preamar registrada, observada no ano de 2010. Uma das conclusões relevantes refere-se à identificação da suscetibilidade a alagamentos induzidos pela maré em áreas com cotas altimétricas inferiores a 3,02 m, valor correspondente ao nível da máxima preamar considerada.

As simulações indicaram o atingimento de 100% da capacidade hidráulica do Canal da Tamandaré, resultado que reforça a necessidade da utilização de eletrobombas como medida essencial para a prevenção de transbordamentos. Do ponto de vista operacional, recomenda-se que a capacidade ocupada do canal seja mantida em níveis inferiores a 85%, como critério de segurança hidráulica.

Nesse contexto, a implantação da Estação Elevatória de Águas Pluviais do Tamandaré configura-se como um equipamento estratégico para a mitigação de transbordamentos e alagamentos no Canal da Tamandaré — e, por extensão, nessa bacia — atuando nos períodos de elevação dos níveis d'água, em conjunto com o controle altimétrico e a adequada operação das comportas. Dessa forma, a bacia do Tamandaré passa a dispor de mecanismos eficazes para a prevenção e o controle de alagamentos urbanos.

Para a implantação da estação elevatória, com o objetivo de reduzir a ocupação hidráulica do canal para valores inferiores a 85%, prevenindo transbordamentos, recomendou-se a instalação de duas eletrobombas operando em paralelo, cada uma com capacidade de bombeamento de 1,0 m³/s, para altura manométrica de recalque de 7,2 mca. O sistema deve ser operado de forma automática, com acionamento das bombas quando a ocupação hidráulica do canal atingir 85% e desligamento ao atingir 60%.

Assim, a modelagem computacional realizada com o SWMM mostrou-se uma ferramenta eficaz para a análise de um problema de elevada relevância urbana em Belém-PA, permitindo a avaliação de cenários críticos e a proposição de soluções de engenharia tecnicamente adequadas para a prevenção e o controle de alagamentos.

AGRADECIMENTOS

Os autores expressam seu reconhecimento à Universidade da Amazônia (UNAMA), à Secretaria de Estado de Obras Públicas do Pará (SEOP) e à Secretaria Municipal de Zeladoria Urbana de Belém (SEZURB) pelo suporte institucional e técnico concedido.

Estendemos os agradecimentos ao grupo de pesquisa Modelagem Urbana e Ambiental (MURBA) pela colaboração acadêmica. Por fim, agradecemos à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo fomento concedido por meio de bolsa de estudos, recurso fundamental para o desenvolvimento e a viabilização desta pesquisa.



REFERÊNCIAS

<https://www.agenciapara.com.br/noticia/72110/parque-linear-da-nova-tamandare-sera-entregue-com-terminal-hidroviario-e-se-consolida-como-novo-espaco-de-lazer-e-mobilidade-em-belem>

ALENCAR, J. C. M. (1990). Datum Altimétrico Brasileiro. Cadernos de Geociências, Rio de Janeiro, v. 5, p. 69-73. Disponível: <http://www.ibge.gov.br/canal_artigos/a1990_1.php>, acesso: 21/10/2010.

CHN (2025) Tábua de Marés. Disponível em: <<http://www.chn.mar.mil.br>>.

BELÉM. Lei Municipal nº 9.656, de 30 de dezembro de 2020. Plano Municipal de Saneamento Básico. (2020). Disponível em: <https://cmb.pa.gov.br/wp-content/uploads/2022/06/Proc.-1468-2020-PMB-Mensagem.-12.pdf>; <https://arbel.belem.pa.gov.br/wp-content/uploads/2022/05/VOLUME-IV-DRENAGEM.pdf>. Acesso em 26/11/2025.

BELING, F.A. (2013). Análise do desempenho do Modelo SWMM 5.0 acoplado ao calibrador PERT na bacia do Arroio Cancela/RS (Dissertação de mestrado). Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria-RS.

CHN. Centro de Hidrografia e Navegação da Marinha do Brasil. 10520_- _porto_de_belem_f-41_padrao_v1-2020_0.pdf. Disponível em https://www.marinha.mil.br/chm/sites/www.marinha.mil.br.chm/files/dados_de_mare/10520_- _porto_de_belem_f-41_padrao_v1-2020_0.pdf. Acesso em: 25/12/2025.

EPA – ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Storm Water Management Model –SWMM- User’s Manual. National Risk Management Research Laboratory. U.S. Environmental Protection Agency. Cincinnati, U.S.A, 2010.

EPA – ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Environmental Protection Agency Network Evaluation Tool – EPANET – User’s Manual. National Risk Management Research Laboratory. U.S. Environmental Protection Agency. Cincinnati, U.S.A, 2000.

FEMAR (2000). Catálogo de Estações Maregráficas Brasileiras. Fundação de Estudos do Mar, Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://www.femar.com.br>>. Acesso: 23/09/2024.

GARCIA, J.I.B. (2005). Monitoramento Hidrológico e Modelagem da Drenagem Urbana da Bacia Hidrográfica do Arroio Cancela. (Dissertação de mestrado). Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2009). Esclarecimento-sobre-a-relacao-entre-o-datum-vertical-do-sgb-imbituba-e-santana-e-os-niveis-de-reducao-e-zeros-hidrograficos-no-litoral-brasileiro. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/geociencias/metodos-e-outros-documentos-de-referencia/outros-documentos-tecnicos-geo/16393-esclarecimento-sobre-a-relacao-entre-o-datum-vertical-do-sgb-imbituba-e-santana-e-os-niveis-de-reducao-e-zeros-hidrograficos-no-litoral-brasileiro.html02_Rela_347_343o-DVSGB-NR-ZH_5.doc. Acesso em: 02/12/2025.

LUZ, R. T.; GUIMARÃES, V. M. (2003) Dez Anos de Monitoramento do Nível do Mar no IBGE. In: COLÓQUIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS, 3., 2003, Curitiba. Anais... Curitiba: UFPR. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/canal_artigos/pdf/2003-Dez_anos_de_MNM_no_IBGE_3.pdf>, acesso em: 20/09/2024.



QGIS Development Team, <2025>. QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. <http://qgis.org>, Acesso em 25/12/2025.

SOUZA, Rodrigo O. R. de M.; SCARAMUSSA, Paulo H. M.; AMARAL, Marcos A. C. M. do; PEREIRA NETO, J. A.; PANTOJA, Alexandre V. & SADECK, Luis W. R. Equações de chuvas intensas para o Estado do Pará. Bras. Eng. Agríc. Ambiental, v.16, n.9, p.999–1005, 2012.

Storm Water Management Model – SWMM. (2012). EPA SWMM 5.0 – Modelo de Gestão de Drenagem Urbana. Tradução de Laboratório de Eficiência Energética e Hidráulica em Saneamento. Campina Grande: UFPB. Recuperado em 25/03/2014, de www.lenhs.ct.ufpb.br/html/downloads/swmm/SWMM_2012.pdf.

SHINMA, T. P. (2011). Calibração multiobjectivo do SWMM aplicada à transformação chuva-vazão. (Dissertação de mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. São Paulo

VINAGRE, M. V. A.; LIMA, A. C. M. ; LIMA, A. M. ; MACEDO, A. L. ; MORAES, A. R. S. . Simulação hidráulica de rede de macrodrenagem na orla fluvial de Belém do Pará com o uso do programa SWMM. In: Maísa Gama Sales Tobias e Alberto Carlos de Melo Lima. (Org.). Urbanização e Meio Ambiente. 1ed.Belém: Editora UNAMA - EDUNAMA, 2013, v. 2, p. 27-50