

**MAPEAMENTO E PROBABILIDADE DE INUNDAÇÕES/ALAGAMENTOS EM
BELÉM-PA ATRAVÉS DO EFEITO COMBINADO CHUVA-MARÉ**

**MAPPING AND PROBABILITY OF FLOODING IN BELÉM-PA THROUGH THE
COMBINED RAINFALL-TIDE EFFECT**

**CARTOGRAPHIE ET PROBABILITÉ D'INONDATIONS À BELÉM-PA PAR
L'EFFET COMBINÉ PLUIE-MARÉE**

Adriana Almeida Vieira

Universidade Federal do Pará
Brasil
adriana.vieira@itec.ufpa.br
0009-0009-7548-4437

Leonardo Melo de Mendonça

Universidade Federal do Pará
Brasil
leonardo.mendonca@itec.ufpa.br
0000-0002-1698-0838

Josias da Silva Cruz

Universidade Federal do Pará
Brasil
josias.cruz75@gmail.com
0000-0001-6885-7471

Claudio Blanco

Universidade Federal do Pará
Brasil
blancoecj@outlook.com
0000-0001-8022-2647

RESUMO

O objetivo foi mapear e estimar a probabilidade diária de inundação/alagamento em Belém-PA, sede da COP30, considerando o efeito combinado chuva-maré. As séries de dados de maré e chuva são de 2003 a 2024. A probabilidade diária foi calculada através da divisão do número de eventos ocorridos em determinado dia do ano pelo total de anos. O mapeamento foi elaborado via software QGIS, que foi alimentado com dados de geográficos, imagens de satélite, *shapefile* dos bairros e hidrografia de Belém. As ocorrências de alagamentos/inundações foram validadas por fotografias e imagens da internet. Analisando-se os resultados, 352 dias apresentaram probabilidades de ocorrências de inundações/alagamentos entre 10% e 100% distribuídas em 18 bairros de Belém. Nesse caso, bairros com áreas de baixada foram os mais atingidos, pois possuem um sistema de drenagem deficiente. Logo, a instalação de comportas com um sistema inteligente de acionamento, poderia evitar a entrada das águas da maré durante os eventos de chuva, conservando o sistema de drenagem para conter as

águas da chuva. Assim, a construção de sistemas de comportas inteligentes nos canais que cortam a cidade é uma necessidade urgente para aliviar o sofrimento das populações menos favorecidas, que moram nas baixadas/periferias de Belém do Pará.

Palavras-chave: COP30; Pará; Amazônia; Brasil.

ABSTRACT

The objective was to map and estimate the daily probability of flooding in Belém, Pará, host city of COP30, considering the combined effect of rainfall and tides. The tide and precipitation data series correspond to the period from 2003 to 2024. The daily probability was calculated by dividing the number of events occurring on a given day of the year by the total number of years. The mapping was created using QGIS software. The input data were geographic data, satellite imagery, a shapefile of the neighborhoods, and Belém's hydrography. Flooding occurrences were validated using photographs and online images. Analyzing the results, 352 days presented flooding probabilities between 10% and 100%, distributed across 18 neighborhoods in Belém. In this case, low-lying neighborhoods were the most affected, as they have deficient drainage systems. Therefore, installing floodgates with an intelligent actuation system could prevent the inflow of tidal waters during rainy events, preserving the drainage system to contain rainwater. Thus, the construction of intelligent floodgate systems in the canals that run through the city is urgently needed to alleviate the suffering of the disadvantaged populations living in the lowlands and peripheries of Belém do Pará.

Keywords: COP30; Pará; Amazônia; Brasil.

RÉSUMÉ

L'objectif était de cartographier et d'estimer la probabilité journalière d'inondations à Belém, dans l'État du Pará, ville hôte de la COP30, en tenant compte de l'effet combiné des précipitations et des marées. Les séries de données sur les marées et les précipitations correspondent à la période de 2003 à 2024. La probabilité journalière a été calculée en divisant le nombre d'événements survenant un jour de l'année par le nombre total d'années. La cartographie a été réalisée à l'aide du logiciel QGIS. Les données d'entrée étaient des données géographiques, des images satellite, un fichier de formes des quartiers et l'hydrographie de Belém. Les occurrences d'inondations ont été validées à l'aide de photographies et d'images en ligne. L'analyse des résultats a révélé que 352 jours présentaient des probabilités d'inondations comprises entre 10 % et 100 %, réparties sur 18 quartiers de Belém. Dans ce cas, les quartiers de basse altitude ont été les plus touchés, car leurs systèmes de drainage étaient déficients. Par conséquent, l'installation de vannes dotées d'un système d'actionnement intelligent pourrait empêcher l'afflux des eaux de marée lors des épisodes pluvieux, préservant ainsi le système de drainage pour contenir les eaux de pluie. Il est donc urgent de construire des systèmes de vannes intelligentes dans les canaux qui traversent la ville pour soulager les dommages des populations défavorisées vivant dans la périphérie de Belém do Pará.

Mots-clés: COP30; Pará; Amazônia; Brasil.

Introdução

A vulnerabilidade a inundações das cidades e das comunidades da Amazônia está aumentando devido à crescente frequência de eventos extremos, como o ocorrido em 2009, o qual foi associado ao fenômeno La Niña (MARENGO et al., 2012, p.75; ANDRADE e SZLAFSZTEIN, 2018, p.904). De todos os desastres naturais, as inundações afetam o maior número de pessoas em todo o mundo (MOORE et al., 2005, p.204). Nos últimos anos vem ocorrendo uma intensificação dos prejuízos causados por esses fenômenos devido a um planejamento urbano ineficiente (KOBIYAMA et al., 2006, p.188). A intensificação do

processo de urbanização, a partir das transformações do uso e ocupação da terra, podem causar prejuízos humanos e econômicos à sociedade quando não se tem um planejamento adequado (SOUZA DIAS et al., 2021, p.39). As inundações ocorrem em áreas de bacias hidrográficas urbanizadas com cotas mais baixas (NYLANDER et al., 2021, p.49336). De acordo com Silva e Lima (2021, p.115), as cidades amazônicas localizam-se e crescem às margens dos rios, assim o município de Belém apresenta uma localização bastante singular na região desde suas origens. Segundo Gonçalves et al. (2021, p.58), Belém passa por forte crescimento populacional desde a década de 1960, e isto acarreta a modificação do ciclo hidrológico local a partir da construção de um espaço urbano impermeabilizado e desordenado. Belém apresenta uma alta desigualdade social destacada pela segregação socioespacial existente, sendo que nas áreas periféricas há uma forte concentração de assentamentos precários e irregulares, infraestrutura urbana insuficiente ou até mesmo inexistente (LOPES et al., 2017, p.338).

O aumento do escoamento superficial e o aumento da ocorrência de inundações são as principais alterações no ciclo hidrológico das bacias hidrográficas causadas pelo processo de urbanização (FREITAS et al., 2012, p.420). Os processos de industrialização e urbanização têm provocado diversas alterações sobre o ambiente natural. Esta drástica mudança compromete diretamente a qualidade de vida das pessoas nas cidades, deixando o ambiente urbano propício a enchentes entre outros problemas ambientais (GONÇALVES et al., 2021, p.58). O aumento de atividades sem planejamento, sejam elas em relação a moradias ou a atividades econômicas, causa a diminuição da cobertura vegetal e o aumento da impermeabilização de áreas naturais (CORRÊA et al., 2012, p.715). A impermeabilização proveniente da urbanização desordenada interfere diretamente no ciclo hidrológico, modificando o comportamento do escoamento superficial, da infiltração e o desabastecimento das águas subterrâneas, além de diminuir a evapotranspiração (TARGA et al., 2012, p.122).

Soares e Carvalho (2018, p.111) afirmam que principalmente no período mais chuvoso, Belém é impactada pela ocorrência periódica de inundações. A erosão hídrica através da produção de sedimentos é preocupante, pois o carreamento e a deposição dos sedimentos provocam assoreamento na bacia hidrográfica, diminuindo a seção de vazão dos canais de macrodrenagem, aumentando os riscos de inundações (COSTA e BLANCO, 2018, p.510). Segundo Tavares (2009, p.2), em Belém não há um sistema de drenagem eficiente,

fato que intensifica as inundações durante os eventos de chuvas fortes e associados à maré alta. O conhecimento do efeito combinado chuva-maré é necessário em áreas costeiras, visando uma melhor gestão urbana e contribuindo para a formação de cidades sustentáveis. Logo, o objetivo do trabalho é mapear os locais com probabilidades de inundação/alagamento em função do efeito combinado chuva-maré, disponibilizando as probabilidades em um aplicativo de livre acesso (<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.program.belem>) para auxiliar a população de Belém-PA em suas atividades do dia-a-dia. O contexto do trabalho, também, atende os objetivos 6, 10 e 11 do desenvolvimento sustentável da ONU (ONU, 2015).

Material e métodos

Área de estudo

A área de estudo compreende a cidade de Belém, capital do Estado do Pará (Figura 1). O município é cercado por corpos hídricos, destacando-se o rio Guamá, que desagua na baía do Guajará, interligando a bacia hidrográfica dos rios Guamá-Capim e o estuário do rio Pará (SANTOS et al., 2012, p.249). O clima da cidade é do tipo tropical úmido, tipologia climática Af, segundo a classificação de Köppen (ALVARES et al., 2013, p.713), ou seja, um clima equatorial chuvoso ou de floresta equatorial, caracterizado por sua grande precipitação anual acumulada (2.000 a 3.000 mm). A sazonalidade é marcante, tendo um período chuvoso (janeiro a junho) e outro de estiagem (julho a dezembro) (dos SANTOS SILVA et al., 2020, p.515). A cidade está localizada ao nordeste do Estado, com população estimada de 1.303.403 pessoas (IBGE, 2022), tendo uma área territorial correspondente a 1.059,466 km², que é composta por 8 distritos e 71 bairros (CODEM, 2022) em sua porção continental, e 39 ilhas em sua porção insular. A maré em Belém é semidiurna, formada por duas marés altas e duas marés baixas durante o período de 24 horas.

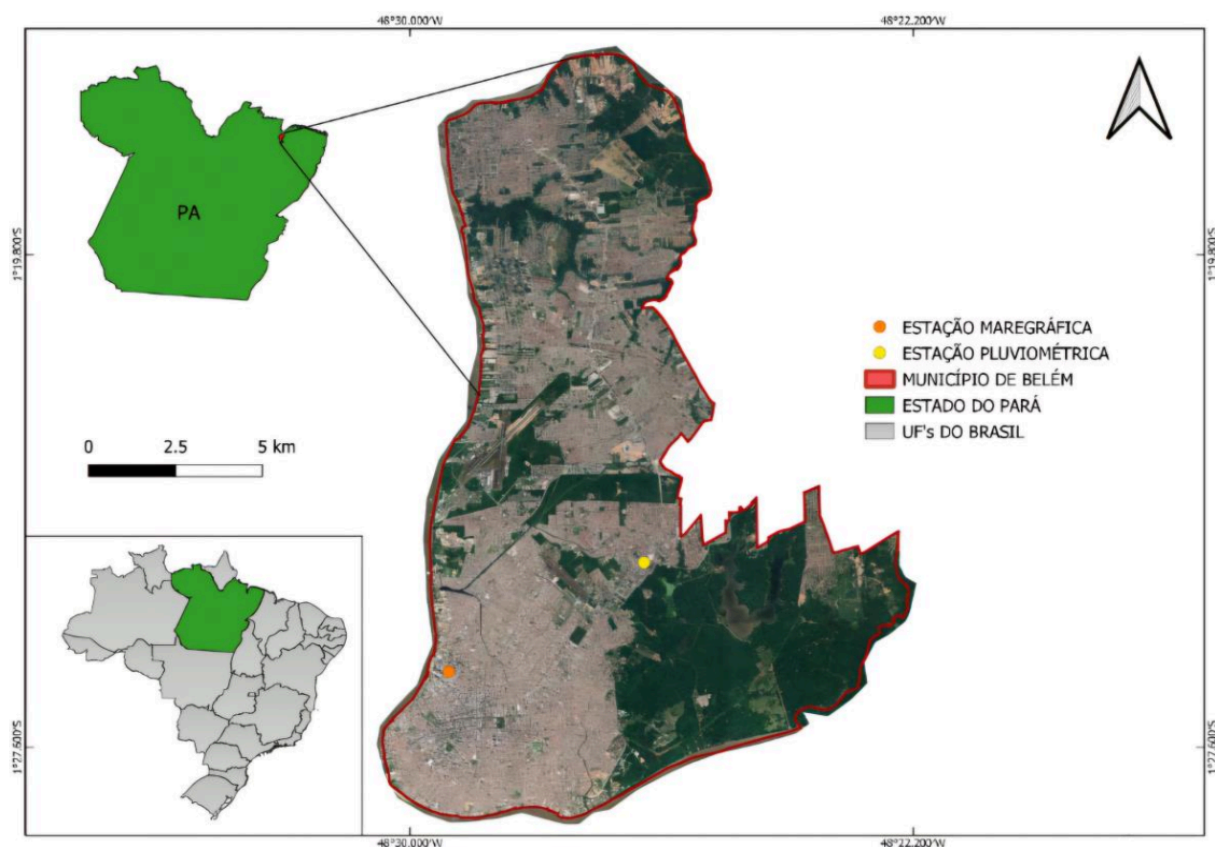


Fig. 1. Localizações da área de estudo e das estações maregráfica e pluviométrica.

Dados utilizados

Foram utilizados dados de duas estações: uma maregráfica e outra pluviométrica. A série de dados maregráficos horários de altura de maré são provenientes da estação denominada Porto de Belém, latitude $1^{\circ} 26' 24''$ S e longitude $48^{\circ} 29' 24''$ W (Figura 1). Esses dados são oriundos do Banco Nacional de Dados Oceanográficos (BNDO), da Diretoria de hidrografia e Navegação (DHN) da Marinha do Brasil. O conjunto de dados pluviométricos horários são oriundos do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Esses dados são provenientes da estação automática Belém, de código A201, e de latitude $-1,411228$ e longitude $-48,439512$ (Figura 1). O período da série histórica é de 22 anos (2003 a 2024). Na

Figura 2 é mostrado o pluviograma mensal médio de Belém do período supramencionado.

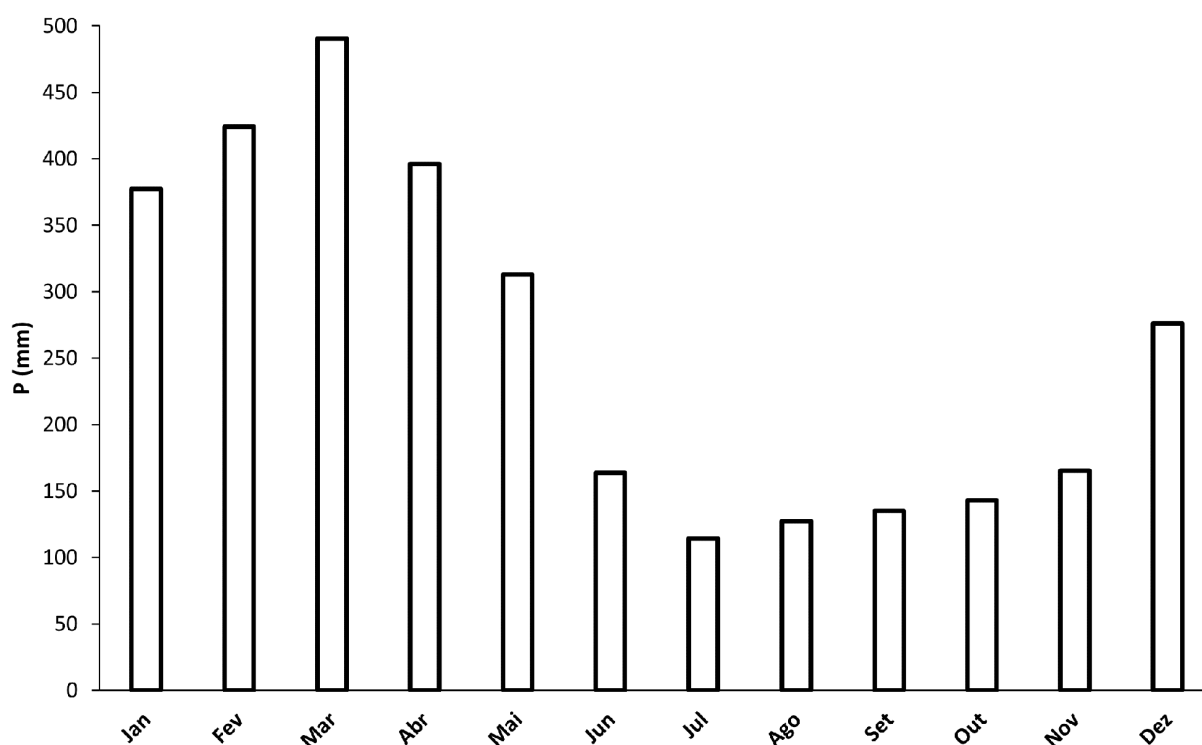


Fig. 2. Precipitação média mensal em Belém no período de 2003 a 2024.

Valor mínimo da lâmina chuva+maré para inundação/alagamento

A definição da lâmina de água mínima (chuva+maré), que causa inundação/alagamento na cidade de Belém, levou em consideração a intensidade e a duração da chuva (CHOO et al., 2019, p.2). A determinação da lâmina mínima, em relação à intensidade, foi baseada no trabalho de Campos et al. (2015, p.184) e Moreira et al. (2020, p.2725), com as seguintes condições:

- 1- Intensidade ≥ 30 mm/h e altura de maré ≤ 1.200 mm;
- 2- Intensidade ≥ 20 mm/h e 1.200 mm $<$ altura de maré ≤ 3.000 mm;
- 3- Intensidade ≥ 10 mm/h e 3.000 mm $<$ altura de maré < 3.400 mm.

Em relação à duração da chuva, foi observado que uma duração de duas horas e uma lâmina mínima (chuva + maré) de 1.398 mm (COSTA et al., 2024, p.7) causam inundação/alagamento. Assim, tem-se três condições de intensidade e uma condição de duração da chuva, para as quais certas áreas da cidade são inundadas/alagadas. Entretanto, há

também casos, para os quais, somente a altura da maré causa inundação/alagamento em Belém-PA. Segundo Da Silva e Fernandes (2023, p.45), independentemente de chuvas, se ocorrer altura de maré ≥ 3.500 mm, há inundação em locais da cidade com baixa cota altimétrica. Entretanto, visando aumentar o domínio de observação do estudo, foi adotada uma altura de maré ≥ 3.400 mm (COSTA et al., 2024, p.3). Essas condições de intensidade ou duração de chuva e também de maré alta foram aplicadas aos dados de chuva e de altura de maré do período de 2003 a 2024 através de planilha eletrônica. A ocorrência de inundação/alagamento foi validada através de registros fotográficos e de imagens de sites de internet.

Probabilidade diária de inundação/alagamento em Belém-PA

Observando-se uma das condições analisadas anteriormente, um evento de inundação/alagamento é contabilizado para o dia do mês analisado. O número de eventos possíveis é igual a 22, pois foram analisados 22 anos de dados, havendo na amostra 22 dias do mês, que se repetem ao longo de 22 anos, excetuando-se os anos bissextos. Nesse caso, para o dia 29/02, o número de eventos possíveis é igual a 6 (2004, 2008, 2012, 2016, 2020 e 2024). As probabilidades (%) de inundação/alagamento diária foram determinadas via Equação 1, que é baseada no estudo de probabilidade a priori (CAI et al., 2019, p.5; SEN et al., 2021, p.8; UEMURA et al., 2024, p.70).

$$P = \frac{\text{número de eventos de inundação/alagamento}}{\text{número de eventos possíveis}} \cdot 100 \quad (1)$$

Mapeamento

O mapeamento dos locais onde ocorre inundação/alagamento em Belém, foi realizado a partir da coleta de imagens de sites da internet e de registros fotográficos. Para cada imagem caracterizando inundação/alagamento, foram registrados horário e localização, que primeiramente, foi baseada nos endereços de ocorrência dos eventos. Posteriormente, os “endereços das inundações/alagamentos” foram transferidos para plataforma Google Earth (versão 7.3), visando à obtenção das coordenadas geográficas. Assim, o conjunto de dados obtidos foram registrados em uma planilha eletrônica. A planilha contém a identificação dos locais onde as inundações ocorrem, endereço com bairro e coordenadas geográficas (latitude

e longitude); e horário da inundação/alagamento. Essa planilha foi integrada à planilha contendo os dados de chuva, altura da maré e probabilidade diária de ocorrência de inundação/alagamento através do efeito combinado chuva+maré, gerando uma planilha final. Assim, os dados de chuva e maré; imagens de satélite do Google Earth, shapefile dos bairros e hidrografia de Belém, foram analisados para elaboração dos mapas com os locais de inundação/alagamento em função da probabilidade diária de ocorrência. O mapeamento foi elaborado via QGIS (versão 3.18), que é um software de análise de dados georreferenciados. Na Figura 3 é mostrado o esquema metodológico da pesquisa.

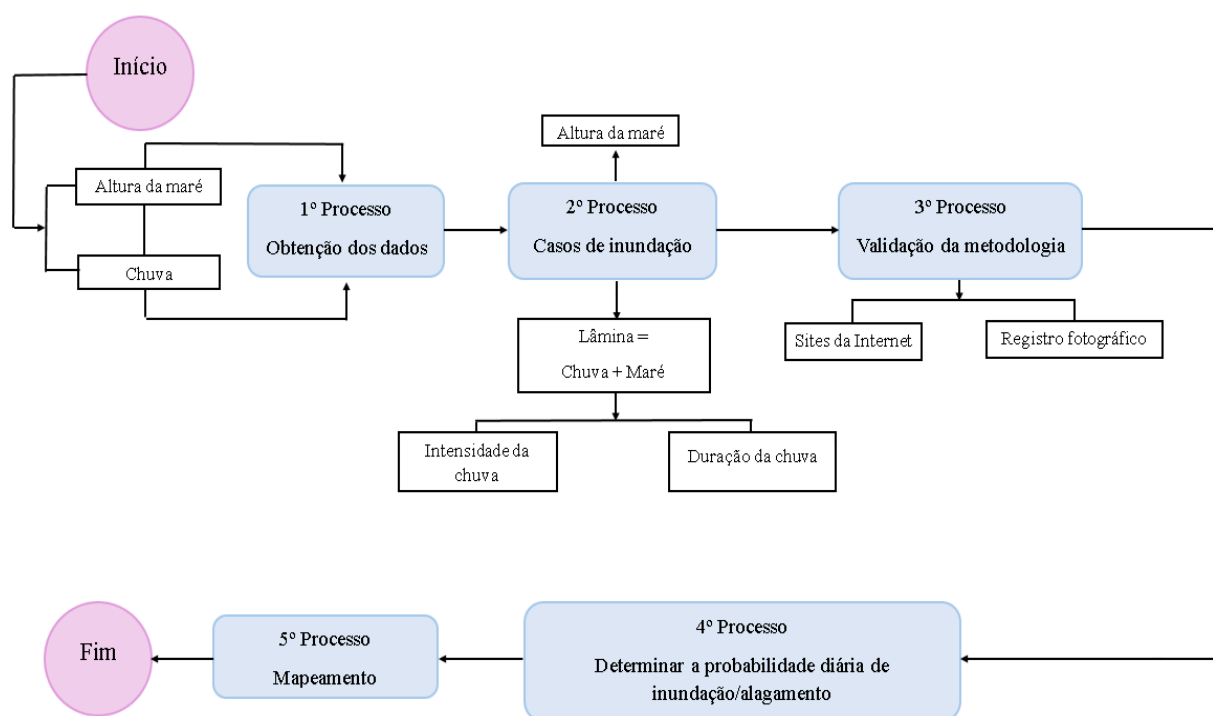


Fig. 3. Esquema metodológico da pesquisa.

Resultados e Discussão

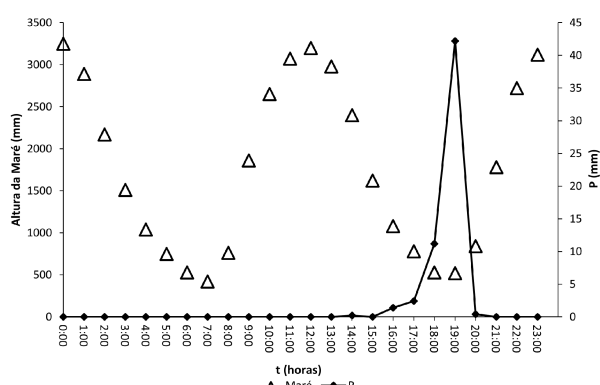
Inundação/alagamento por intensidade de chuva+maré

Condição 1

Na Figura 4 é apresentada uma inundação/alagamento que ocorreu em 21/10/2021.



(a)



(b)

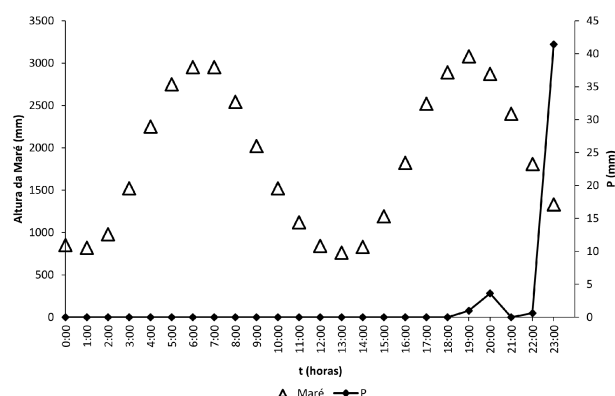
Fonte: O Liberal (2021)

Fig. 4. Condição 1 para inundação/alagamento em Belém no dia 21/10/2021 (Avenida Pedro Miranda com Travessa Curuzú) (a) e variação horária da maré e chuva no mesmo dia (b).

A Figura 4(a) corresponde a imagem do evento. Na Figura 4(b) é mostrado o gráfico de variação da chuva e da altura da maré ao longo do dia 21/10/2021. Analisando-se a Figura 4(b), a intensidade de 42,2 mm/h às 19 h, somada à maré baixa de 520mm, foi suficiente para alagar algumas áreas de Belém. Campos et al. (2015, p.184) considera que uma precipitação acima de 20 mm pode causar impactos na cidade. Logo, a condição 1 de inundação/alagamento foi validada.

Condição 2

Na Figura 5 é analisada a condição 2 para inundação/alagamento ocorrida no dia 10/12/2024. Na Figura 5(a) é mostrado o ponto de inundação/alagamento na mesma data e no período noturno, conforme pode ser observado na Figura 5(b), é nesse período que o efeito combinado chuva+maré é intensificado.



(a)

(b)

Fonte: Diário Online (2024)

Fig. 5. Condição 2 para inundação/alagamento em Belém no dia 10/12/2024 (Rua dos Caripunas, entre Travessa dos Tupinambás e Travessa dos Apinagés) (a) e variação horária da maré e chuva (b).

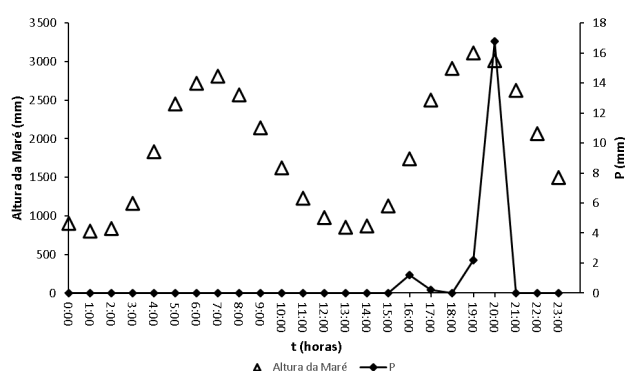
Analisando-se a Figura 5 (b), é possível observar que a intensidade de 41,4 mm/h às 23 h, apesar da altura de maré ser de 1.330 mm, foi suficiente para alagar algumas áreas de Belém, validando a condição 2 para inundação/alagamento. De acordo com Pegado et al. (2012, p.44) e Costa et al. (2024, p.12), precipitações acima de 30 mm, combinadas com alturas de maré médias são suficientes para ocasionar alagamentos na cidade.

Condição 3

Na Figura 6 é mostrado um evento de inundação/alagamento ocorrido no dia 07/01/2013. A Figura 6(a) corresponde à área onde ocorreu o evento. A Figura 6(b) mostra a variação da chuva e da altura da maré ao longo do dia 07/01/2013.



(a)



(b)

Fonte: R7 (2013)

Fig. 6. Condição 3 para inundação/alagamento em Belém no dia 07/01/2013 (Av. João Paulo II – bairro do Curió-Utinga) (a) e variação diária da maré e chuva (b).

Analisando-se a Figura 6(b), observa-se uma chuva com intensidade de 16 mm/h às 20h, a qual associada à maré alta de 3.010 mm, foi suficiente para manter algumas áreas de Belém alagadas (Figura 6a). Segundo Moreira et al. (2020, p.2725), para a cidade inundar bastam 10 mm de chuva, coincidindo com a maré alta, ou 35 mm de chuva, coincidindo com a maré baixa.

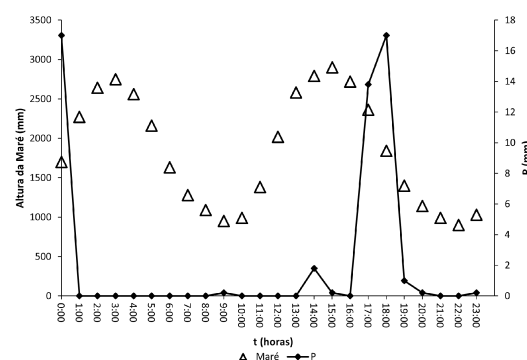
Inundação/alagamento por duração de chuva e maré

Na Figura 7(a) é mostrado um ponto de inundação/alagamento, localizado na Travessa 9 de Janeiro, no perímetro entre as Avenidas Governador Magalhães Barata e Governador José Malcher, no dia 18/04/2021. Na Figura 7(b) é mostrada a variação da altura de maré e chuva durante a mesma data.



(a)

Fonte: O Liberal (2021)



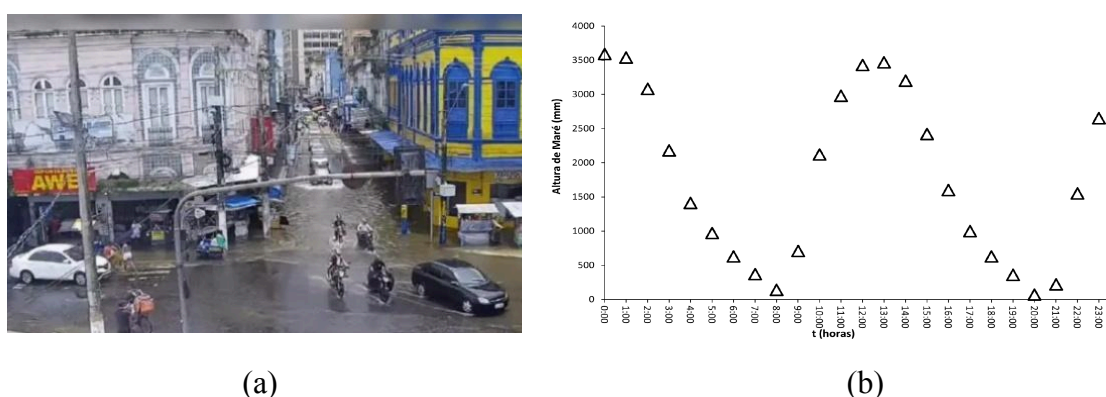
(b)

Fig. 7. Alagamento por duração de precipitação em Belém em 18/04/2021 (Travessa 9 de Janeiro entre as Avenidas Governador Magalhães Barata e Governador José Malcher) (a) e variação da maré e chuva em 18/04/2021 (b).

Analisando-se a Figura 7(b), é possível observar que o evento de chuva mais intenso teve início às 16h, quando a maré estava na vazante com uma altura de aproximadamente 2.500 mm. A maré continuou na vazante, enquanto a intensidade da chuva aumentou até atingir a máxima de 17 mm/h às 18h. A chuva total em quatro horas foi de 32 mm e após a segunda hora inicial a soma “chuva + altura da maré” encontrava-se igual a 1.857 mm. Segundo Costa et al. (2024, p.7) em relação à duração da precipitação, o valor mínimo de “chuva + altura da maré” é de 1.398 mm para que ocorra inundação/alagamento se a chuva durar pelo menos duas horas. Assim, o valor encontrado de 1.857 mm, para duas horas de chuva, bem acima do valor mínimo, condiz com o colocado pelos autores, confirmando a inundação/alagamento por conta da duração da precipitação associada à altura da maré. Santana et al. (2022, p.42), na cidade do Recife, Brasil, citaram que um nível de maré de 2.000 mm e uma chuva com duração de 5,5 h foram suficientes para alagar partes da cidade.

Inundação/alagamento somente com o efeito da maré

Na Figura 8(a) é mostrada uma inundação/alagamento na esquina da Rua 15 de Novembro com Avenida Portugal, localizada próxima ao mercado do Ver-o-Peso. Na Figura 8(b) é mostrada a variação da maré com registro de preamar às 13h do dia 23/03/2023, que atingiu 3.470 mm. Esse valor é maior que o adotado (3.400 mm) para a condição inundação/alagamento por altura de maré. De acordo com Soares e Carvalho (2018, p.122), o mercado do Ver-o-Peso é periodicamente inundado por marés altas, pois está localizado às margens da Baía de Guajará, região com cotas altimétricas menores que as maiores alturas de marés de sizígia, as quais ocorrem entre os meses de março e abril; e setembro e novembro na região de Belém-PA.



Fonte: Diário Online (2023)

Fig. 8. Inundação/alagamento pela altura da maré em Belém em 23/03/2023 na Avenida Portugal esquina com a rua 15 de novembro (a) e variação horária da maré em 23/03/2023 (b).

Probabilidade diária de inundação/alagamento pelo efeito combinado chuva+maré

Na Figura 9 é mostrada a probabilidade diária de inundação/alagamento em Belém/PA através do efeito combinado “chuva+maré”.

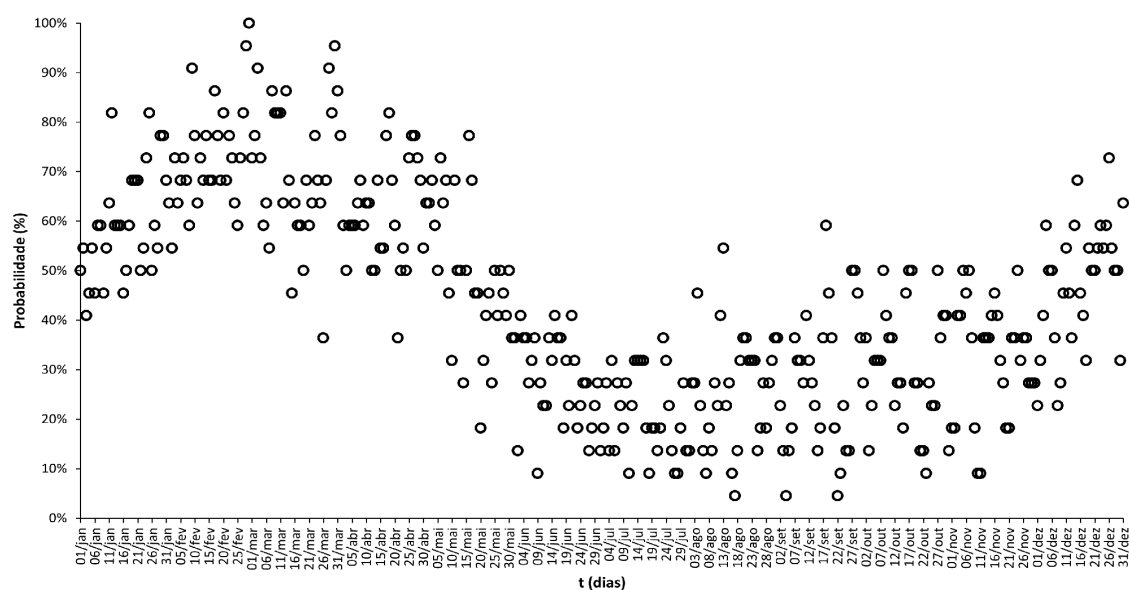


Fig. 9. Probabilidade diária de inundação/alagamento em Belém-PA pela influência do efeito combinado chuva+ maré entre 01/01/2003 e 31/12/2024.

Analisando-se a Figura 9, pode-se observar que a maior probabilidade de inundação atingiu 100% no dia 29/02, seguida de 95,45% nos dias 02/02 e 30 e 31/03. Além disso, em todos os dias do ano houve probabilidade de inundação/alagamento. O menor valor de probabilidade ocorreu nos dias 16/08, 04 e 22/09 com 4,55%. Também, pode-se observar que no primeiro semestre (na maioria dos dias) a probabilidade diária de inundação está entre 50% e 100%. Já no segundo semestre (na maioria dos dias), a probabilidade diária de inundação está entre 10% e 50%. Esse resultado reflete o regime de chuvas sazonal da região amazônica. A maior probabilidade de inundação/alagamento, durante o primeiro semestre, é agravada pela deficiência do sistema de drenagem de águas pluviais de Belém do Pará (SANTOS e ROCHA, 2013, p.42). Na Tabela 1 é mostrado o número de dias com probabilidade de inundação/alagamento, considerando o efeito combinado “chuva+maré” em função dos intervalos supramencionados. A Análise da Tabela 1 reflete bem o contexto das inundações/alagamentos em Belém, ou seja, maiores probabilidade em 159 dias concentrados no primeiro semestre (Figura 9) e menores probabilidades em 193 dias concentrados no segundo semestre (Figura 9), totalizando 352 dias, dentre os quais podem ocorrer dias com probabilidade de inundação/alagamento de no mínimo 10%. Entretanto, Segundo Costa et al. (2024, p.7), mesmo com uma probabilidade de inundação abaixo de 10%, pode haver

inundação/alagamento em Belém/PA, independentemente do período (mais ou menos chuvoso).

Tabela 1. Probabilidades de inundação/alagamento através do efeito combinado “chuva+maré” em função do número de dias.

Probabilidade	Dias
$10\% \leq p < 50\%$	193
$50\% \leq p \leq 100\%$	159
$10\% \leq p \leq 100\%$	352

As probabilidades (Figura 9) e a frequência quase que diária (Tabela 1) de inundações/alagamentos em Belém fortalecem a proposta de instalação de comportas com um sistema inteligente de acionamento, que usasse a previsão horaria de chuvas e alturas de marés. Nesse caso, as comportas seriam usadas para evitar a entrada das águas da maré durante os eventos de chuvas, conservando as estruturas de micro e macrodrenagem (canais espalhados por toda a cidade) para conter somente as águas da chuva. Já no momento de baixa-mar, as águas das chuvas seriam escoadas para o rio Guamá e baía do Guajará, ou seja, corpos de água que circundam Belém. O sistema inteligente de comportas mitigaria os impactos devidos às inundações/alagamentos em Belém, principalmente, os impactos causados às populações de baixa renda que vivem em áreas de baixada. Entretanto, toda a população da cidade sofre com os impactos das inundações/alagamentos, pois esses eventos causam engarrafamentos quilométricos, prejudicando serviços de transporte, saúde, segurança etc. Segundo Costa et al. (2024, p.12), os moradores de áreas de baixada de Belém são os mais afetados, principalmente, em relação a danos materiais (móveis e eletrodomésticos). Pegado et al. (2012, p.45) relataram que os impactos socioeconômicos das inundações em Belém são mais sentidos pela população de baixa renda. Essa população ocupa as várzeas da cidade de forma desordenada, pois os terrenos para construção de casas e o aluguel são mais baratos do que em outras áreas da cidade.

Inundações/alagamentos recentes em Belém/PA

Como demonstração da continuidade do problema de inundações/alagamentos na cidade, visto que os dados analisados se encerram em 2024, a Figura 10 mostra uma

inundação ocorrida em 31/03/2025. Nesse caso, a probabilidade de inundação/alagamento devido ao efeito combinado “chuva+maré” atingiu 86,36%. O evento ilustrado na Figura 10 aconteceu, justamente, na Av. Visconde de Souza Franco, a qual passa por obras da COP30 para implantação de um parque linear ao longo de seu comprimento, incluindo a construção de comportas no exutório de seu canal de macrodrenagem para evitar a entrada das águas da maré. Entretanto, as comportas, pelo menos, até o dia 31/03/2025 ainda não deviam estar em funcionamento.



Fig. 10. Alagamento/inundação na Av. Visconde de Souza Franco no dia 31/03/2025.
Fonte: Diário Online (2025)

Mapeamento dos pontos de ocorrência de inundação/alagamento

Na Figura 11 são mostrados os mapas com os pontos de ocorrência de inundação/alagamento em Belém/PA em função do efeito combinado “chuva+maré” com probabilidades diárias entre 10% e 50% (Figura 11a) e entre 10% e 100% (Figura 12b). Analisando-se a Figura 11(a), podem ser contabilizados 26 pontos com a probabilidade entre 10% e 50% de ocorrência de inundação/alagamento, podendo acontecer em 193 dias do ano (Tabela 1). Já a análise da Figura 11(b), revela a existência de 82 pontos com a probabilidade entre 10% e 100% de ocorrência de cheias, podendo acontecer em 352 dias do ano (Tabela 1). Assim, durante 352 dias do ano, ou seja, quase o ano inteiro, tem-se a probabilidade maior ou menor de ocorrência de eventos de inundação/alagamento na cidade. É correto afirmar que o

número de pontos de inundação/alagamento seja maior que os 82 relatados, pois esta pesquisa limita-se a registros fotográficos dos autores e de informações da internet. Analisando, ainda, a Figura 11, os pontos mapeados evidenciam ocorrências espalhadas pela cidade, mas principalmente, em locais próximos a canais. Por exemplo, no bairro da Cremação foram localizados 15 pontos (Figura 12), sendo a maior parte dos pontos próximos ao canal situado na Rua Catorze de Março. No bairro do Reduto há 13 pontos de inundação/alagamento, os quais, em sua maioria, estão localizados próximos ao canal da Av. Visconde de Souza Franco (Figura 10).



(a)



(b)

Fig. 11. Pontos de inundação/alagamento em Belém-PA através do efeito combinado “chuva+maré” com probabilidade diária entre 10% e 50% (a) e entre 10% e 100% (b).

Na Figura 12 é mostrada a quantidade de pontos de inundação/alagamento distribuídos entre 18 bairros de Belém para o intervalo de probabilidade diária entre 10 e 100% (Figura 11-b).

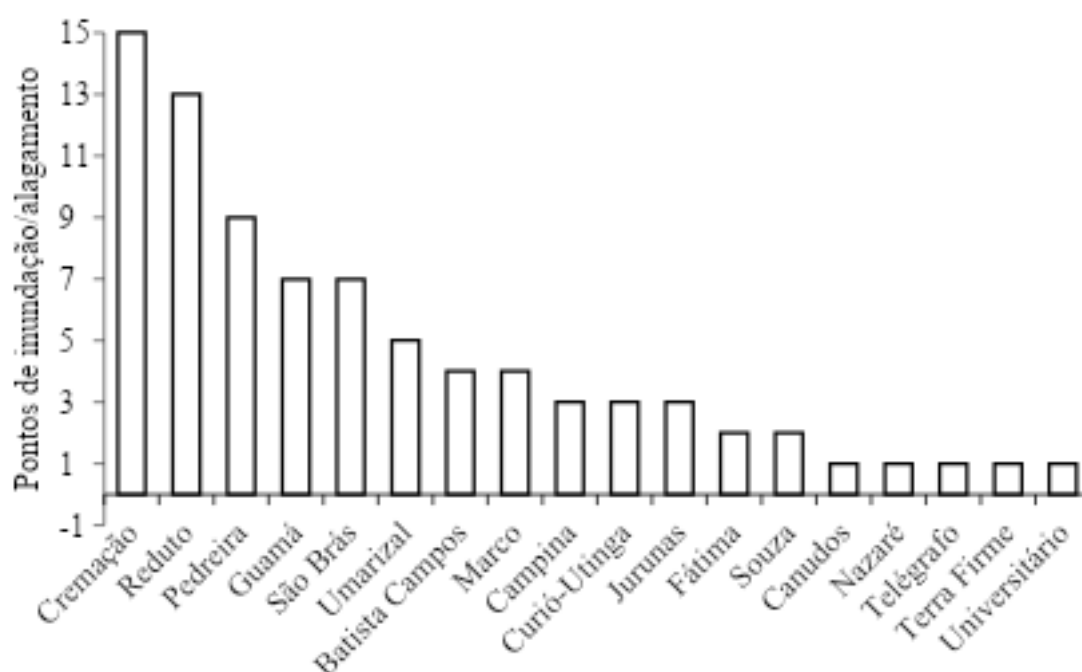


Fig. 12. Quantidade de pontos de inundação/alagamento distribuídos entre os bairros de Belém para o intervalo de probabilidade diária entre 10% e 100%.

Analisando-se a Figura 12, o bairro da Cremação destaca-se, infelizmente, com o maior número de pontos de inundação/alagamento, seguido dos bairros do Reduto, Pedreira, Guamá, São Brás, Umarizal, Batista Campos, Marco etc. A pesquisa conseguiu mapear pontos de alagamento/inundação em 18 bairros de Belém, que sofrem com probabilidades diárias de cheias. Outros bairros também devem ser atingidos, entretanto, a pesquisa limita-se aos dados disponíveis. Todavia, essa incidência maior em alguns bairros, pode ser explicada por áreas de baixadas, deficiência de macro e micro drenagem e, de maneira geral, a falta de comportas na maioria dos canais, que cortam a cidade. Em relação a danos materiais, Von Paumgartten et al. (2021, p.324) apresentaram pesquisa realizada com moradores de Belém, em relação aos impactos socioeconômicos sofridos pelas inundações/alagamentos. Os entrevistados relataram perdas de carros, motos, móveis e eletrodomésticos. O que também agrava esses problemas é que não há melhorias na rede de drenagem, como citam Campos et al. (2015, p.192). Esses autores afirmam que a cidade precisa de uma rede de drenagem eficaz para drenar a água das chuvas e marés; e uma rede separada para drenar os esgotos, rede que não existe em Belém. Realidade que não é exclusividade, pois na maioria das

cidades brasileiras, frequentemente esgotos e águas pluviais escoam pela mesma tubulação (HENRIQUES et al., 2021, p.941). Assim, quando ocorrem enchentes, as águas pluviais e das marés se misturam ao esgoto, poluindo uma área maior da cidade. Nesse caso, mais uma vez, a população das áreas de baixadas é a mais afetada, ficando exposta a doenças de veiculação hídrica, como diarreia e leptospirose (COSTA et al., 2024, p.12).

Conclusão

Os resultados mostraram que certas áreas de Belém-PA são inundadas/alagadas com um valor mínimo de lâmina de chuva mais altura da maré igual a 562,2mm, se a intensidade da chuva atingir pelo menos 42,2 mm/h. Em relação à duração da chuva, o valor mínimo de lâmina de chuva mais altura da maré é de 1.398 mm para que ocorra inundação/alagamento, se a chuva durar pelo menos 2 h. Vale ressaltar, também, que existem áreas na cidade que são inundadas/alagadas apenas pelo efeito das marés altas, ou seja, maiores que 3.400 mm. Inundações/alagamentos devido apenas às marés são observados na cidade, principalmente, porque algumas áreas da cidade apresentam cotas topográficas mais baixas do que as maiores alturas de maré, como o Mercado do Ver-o-Peso e a Universidade Federal do Pará. Os dias com probabilidades, de efeito combinado “chuva+maré”, com valores mais elevados encontram-se em maior quantidade durante o primeiro semestre do ano, quando ocorrem as marés de sizígia. Nesse caso, a máxima probabilidade para o efeito combinado foi de 100%, no dia vinte e nove de fevereiro. No segundo semestre, a probabilidade mais alta foi igual a 72,73%, no dia vinte e seis de dezembro. A probabilidade resultante do efeito “chuva+maré” não apresentou valores nulos. A menor probabilidade registrada foi igual a 4,55%, nos dias dezessete de agosto, quatro de setembro e vinte e dois de setembro.

Em relação ao mapeamento dos eventos de cheia, 18 bairros de Belém sofrem com probabilidades diárias de inundação/alagamento. O bairro da Cremação destaca-se, infelizmente, com o maior número de eventos de cheia, seguido dos bairros do Reduto, Pedreira, Guamá, São Brás, Umarizal, Batista Campos, Marco etc. Essa incidência maior desses eventos em alguns bairros, pode ser explicada por áreas de baixadas, deficiência de macro e micro drenagem e, de maneira geral, a falta de comportas na maioria dos canais, que cortam a cidade. Os moradores da várzea de Belém são os mais afetados, os impactos ambientais também afetam mais diretamente esta população, visto que a taxa de tratamento de esgoto da cidade é baixa, ou seja, quando ocorrem enchentes, as águas se misturam com o

esgoto. Nesse caso, as pessoas afetadas, 653.000 (população das baixadas), estão expostas a doenças de veiculação hídrica e representam mais de 50% da população da cidade, que é de 1.303.403 habitantes. Esses números agravam ainda mais os problemas decorrentes de enchentes em Belém. Por outro lado, toda a população de Belém é afetada pelo fechamento de vias públicas, com perda de acesso às suas casas e engarrafamentos no trânsito de veículos. Em uma análise de longo prazo, os problemas se repetem ano após ano, agravando a situação da população, já que as enchentes na cidade apenas diminuem no segundo semestre, aumentando no primeiro semestre. A construção de sistemas de comportas inteligentes em todos os canais que cortam a cidade é uma necessidade urgente para aliviar o sofrimento das populações menos favorecidas que moram nas baixadas/periferias de Belém do Pará. Esse seria um legado, realmente interessante a ser deixado pela COP30, mas, infelizmente, somente os parques lineares da Av. Almirante Tamandaré e Visconde de Souza Franco (antigos canais de áreas nobres da cidade) estão sendo contemplados com a implantação de comportas. Um fator limitante do trabalho, é a quantidade de imagens, registrando as inundações/alagamentos. Essas informações dependem da disponibilidade em sites da internet e dos registros fotográficos, os quais, são, principalmente, dos autores do trabalho.

Agradecimentos

Os autores agradecem à CAPES – Cógido de financiamento 001, ao INMET pelos dados de chuva e à Marinha do Brasil pelos dados de maré. A primeira autora agradece ao CNPq e a UFPA por uma bolsa PIBIC e o último autor agradece ao CNPq por uma bolsa de produtividade em pesquisa (Processo 301049/2025-4).

REFERÊNCIAS

ALVARES, Clayton Alcarde; STAPE, José Luiz; SENTELHAS, Paulo Cesar; DE MORAES GONÇALVES, José Leonardo; SPAROVEK, Gerd. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, [s. l.], v. 22, n. 6, p. 711–728, 1 dez. 2013.

ANDRADE, Milena Marília Nogueira de; SZLAFSZTEIN, Claudio Fabían. Vulnerability assessment including tangible and intangible components in the index composition: An Amazon case study of flooding and flash flooding. **Science of The Total Environment**, [s. l.], v. 630, p. 903–912, jul. 2018.

CAI, Wenjun; ZHU, Xeuping; PENG, Anbang; WANG, Xueni; FAN, Zhe. Flood Risk Analysis for Cascade Dam Systems: A Case Study in the Dadu River Basin in China. **Water**, [s. l.], v. 11, n. 7, p. 1365, 30 jun. 2019.

CAMPOS, Thamiris Luisa de Oliveira Brandão; MOTA, Maria Aurora Santos da; SANTOS, Sergio Rodrigo Quadros dos. Eventos extremos de precipitação em Belém-PA: uma revisão de notícias históricas de jornais. **Ambiente e Agua - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, [s. l.], v. 10, n. 1, p. 182–194, 1 jan. 2015.

CHOO, Yeon Moon; JO, Deok Jun; YUN, Gwan Seon; LEE, Eui Hoon. A Study on the Improvement of Flood Forecasting Techniques in Urban Areas by Considering Rainfall Intensity and Duration. **Water**, [s. l.], v. 11, n. 9, p. 1883, 10 set. 2019.

COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO DA ÁREA METROPOLITANA DE BELÉM (CODEM). **Distritos administrativos**. Disponível em: <https://codem.belem.pa.gov.br/mapas/distritos-administrativos/>. Acesso em: 8 abr. 2025.

CORRÊA, Polari B.; CORRÊA, Jéssica A. de J.; ANDRADE, Silvia C. de P. Análise da temperatura de superfície da área urbana de Santarém através de imagens termais do Landsat 5. **Revista Geonorte**, v. 3, n. 5, p. 714-722, 2012.

COSTA, Carlos Eduardo Aguiar de Souza; BLANCO, Claudio José Cavalcante. Influência da Variabilidade Climática sobre a Erosividade em Belém (PA). **Revista Brasileira de Meteorologia**, [s. l.], v. 33, n. 3, p. 509–520, set. 2018.

COSTA, Glênea Rafaela de Souza; BLANCO, Claudio José Cavalcante; CRUZ, Josias da Silva; MENDONÇA, Leonardo Melo de. Estimating the daily flooding probability by the compound effect of rainfall and tides in an Amazonian metropolis. **Urban Climate**, [s. l.], v. 57, p. 102121, set. 2024.

DA SILVA, Marcus Vinicius Silva; FERNANDES, Ana Paula Silva. A dinâmica das águas na bacia do Piry, em Belém (PA). **Geoinformação E Análises Socioambientais**, p. 43-70, 2023.

DIRETORIA DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO DA MARINHA DO BRASIL (DNH). **Tábuas de maré**. Disponível em: <https://www.marinha.mil.br/chm/tabuas-de-mare>. Acesso em: 4 set. 2024.

DIÁRIO ONLINE. **Maré alta invade as ruas do centro de Belém.** Disponível em: <https://dol.com.br/noticias/para/801061/mare-alta-invade-as-ruas-do-centro-de-belem-veja-imagens?d=1>. Acesso em: 9 jun. 2025.

DIÁRIO ONLINE. **Belém registra alagamentos e trânsito lento após temporal.** Disponível em: <https://dol.com.br/noticias/transito/886232/belem-registra-alagamentos-e-transito-lento-apos-temporal?d=1>. Acesso em: 11 dez. 2024.

DIÁRIO ONLINE. **Belém é afetada pela maré alta.** Disponível em: <https://dol.com.br/noticias/para/900426/belem-e-afetada-pela-mare-alta-veja-os-pontos-de-alagamento?d=1>. Acesso em: 1 abr. 2025.

DOS SANTOS SILVA, Danielle Sebastiana; BLANCO, Claudio José Cavalcante; DOS SANTOS JUNIOR, Cláudio Sebastião; MARTINS, Wanleysson Larry Dias. Modeling of the spatial and temporal dynamics of erosivity in the Amazon. **Modeling Earth Systems and Environment**, [s. l.], v. 6, n. 1, p. 513–523, mar. 2020.

FREITAS, Leonardo Figueiredo; GUIMARÃES, Renato Fontes; CARVALHO JUNIOR, Osmar Abílio de; GOMES, Roberto Arnaldo Trancoso. Relacionamento entre a mudança da rede de drenagem devido à construção de estruturas urbanas e o surgimento de voçorocas e ravinas no bairro do Jardim Botânico no Distrito Federal. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 13, n. 4, p. 419-433, 2012.

GONÇALVES, E. D.; BLANCO, C.; WATRIN, V. D. R.; AGUIAR DE SOUZA COSTA, C. E. ANÁLISE EXPERIMENTAL E CUSTOS DE TELHADOS VERDES COMERCIAIS E FABRICADOS COM GARRAFAS PET PARA REDUÇÃO DE CHEIAS URBANAS NA AMAZÔNIA. **MIX Sustentável**, [s. l.], v. 7, n. 2, p. 57–66, 19 abr. 2021.

HENRIQUES, Juscelino Alves; OLIVEIRA, Rui de; COURA, Monica de Amorim; LIBÂNIO, Marcelo; BAPTISTA, Márcio Benedito. Água de drenagem ou esgoto sanitário? Uma análise do sistema de macrodrenagem em cidade de médio porte na Região Nordeste. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, [s. l.], v. 26, n. 5, p. 935–943, out. 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Cidades e Estados**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/pa/belem.html>. Acesso em: 8 abr. 2025.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). **Dados Pluviométricos**. Disponível em: <https://bdmep.inmet.gov.br>. Acesso em: 2 set. 2024.

KOBIYAMA, Masato; SANTOS, Irani dos. Aplicação do TOPMODEL para zoneamento hidrológico da bacia do rio Pequeno, São José dos Pinhais – PR. In: **I SIMPÓSIO BRASILEIRO DE DESASTRES NATURAIS**, 5., Florianópolis, 2004. UFSC/GEDN, Anais, p.188-202.

LOPES, Yashmin Keiller Lisboa; NEU, Vania; FELIZZOLA, Juliana Feitosa; TEIXEIRA, Luiza Carla Girard Mendes; COSTA, Carlos Eduardo Aguiar de Souza. Variabilidade hidrogeoquímica em águas do Estuário Amazônico. **Ambiência**. v. 13, n. 2, p. 326 – 342, 2017.

MARENGO, Jose Antonio; TOMASELLA, Javier; SOARES, Wagner R.; ALVES, Lincoln M.; NOBRE, Carlos A. Extreme climatic events in the Amazon basin: Climatological and hydrological context of recent floods. **Theoretical and Applied Climatology**, [s. l.], v. 107, n. 1–2, p. 73–85, jan. 2012.

MOORE, Robert J.; BELL, Victoria A.; JONES, David A. Forecasting for flood warning. **Comptes Rendus. Géoscience**, [s. l.], v. 337, n. 1–2, p. 203–217, 8 dez. 2004.

MOREIRA, Fernanda da Silva de Andrade; DIAS, Gustavo Francesco de Moraes; VITORINO, Maria Isabel; SILVA, Jéssica Cristina Conte da. Efeitos da precipitação e topografia para o risco de inundações na cidade de Belém-PA. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [s. l.], v. 12, n. 7, p. 2716–2728, 29 fev. 2020.

NYLANDER, João Diego Alvarez; BARROS, Arthur Júlio Arrais; MESQUITA, Karina Ferreira Castro; BEZERRA, Gleiciane Costa Moraes; PEREIRA, José Almir Rodrigues. Análise das causas e consequências de inundações e alagamentos na bacia hidrográfica da tamandaré do município de Belém/PA. **Brazilian Journal of Development**, [S. l.], v. 7, n. 5, p. 49335–49348, 2021.

O LIBERAL. **Chuva forte e maré alta causam alagamento em diversos pontos de Belém.**

Disponível em:

<https://www.oliberal.com/belem/chuva-forte-e-mare-alta-causam-alagamento-em-diversos-pontos-de-belem-1.376858>. Acesso em: 9 jun. 2025.

O LIBERAL. **Forte chuva em Belém mostra problemas antigos de alagamentos.**

Disponível em:

<https://www.oliberal.com/belem/video-forte-chuva-em-belem-mostra-problemas-antigos-de-alagamentos-1.450081>. Acesso em: 27 jun. 2025.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). **Transformando Nosso Mundo: A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável.** Disponível em:

<https://www.undp.org/sustainable-development-goals>. Acesso em: 07 jul. 2025.

PEGADO, Rosielle Souza; BLANCO, Claudio José Cavalcante; ROEHRIG, Jackson; CAROÇA, Carla; COSTA, Francisco da Silva; TOSTES, Walenda Silva. The importance of physical indicators in areas of urban flood: the case of the metropolitan region of Belém. **International Journal of Civil & Environmental Engineering**, v. 12, n. 2, p. 42-48, 2012.

R7. **Forte chuva causa alagamentos em Belém.** Disponível em:

<https://noticias.r7.com/cidades/forte-chuva-causa-alagamentos-em-belem-08012013/>. Acesso em: 16 jul. 2025.

SANTANA, Douglas Wilson Silva; SANTOS, Maria Clara Lima; BARBOSA, João Marcellus Amorim; NASCIMENTO, Eustácio José Junior; DUARTE, Cristina Coutinho. Análise da relação entre a intensidade da chuva e ocorrências de alagamentos nos meses de abril e maio de 2016 na cidade do Recife, Pernambuco. **Paisagens & Geografias**, [S. l.], v. 3, n. Esp 2, 2022.

SANTOS, Flávio Augusto Altieri dos; ROCHA, Edson José Paulino da. Alagamento e inundação em áreas urbanas. Estudo de caso: cidade de Belém. **Revista GeoAmazônia**, v. 1, n. 02, p. 33-55, 2013.

SANTOS, Suziane Nascimento; LAFON, Jean Michel; CORRÊA, José Augusto Martins; BABINSKI, Marly; DIAS, Fabiana Ferrari; TADDEI, Maria Helena Tirolo. Distribuição e

assinatura isotópica de Pb em sedimentos de fundo da Foz do Rio Guamá e da Baía do Guajará (Belém - Pará). **Química Nova**, [s. l.], v. 35, n. 2, p. 249–256, 2012.

SEN, Mrinal Kanti; DUTTA, Subhrajit; KABIR, Golam. Flood Resilience of Housing Infrastructure Modeling and Quantification Using a Bayesian Belief Network. **Sustainability**, [s. l.], v. 13, n. 3, p. 1026, 20 jan. 2021.

SILVA, Marcus Vinícius Pereira da; LIMA, Aline Maria Meiguins de. Reconstituição espaço-temporal do Alagado do Piry de Jussara, Belém-PA: evolução e impacto na urbanização. **Cerrados**, v. 19, n. 1, p. 113-139, 2021.

SOARES, André Araujo Sombra; CUTRIM CARVALHO, André. Desafios Da Governança Do Espaço Urbano Na Era Do Antropoceno, E O Caso Das Inundações E Alagamentos Em Belém-Pa / Governance Of Urban Space In Anthropocene And The Case Of The Floods, And Drainage Problems In Belém-Pa. **Revista GeoAmazônia**, [s. l.], v. 6, n. 11, p. 105, 24 jul. 2018.

SOUZA DIAS, Deborah; BLANCO, Claudio José Cavalcante; AGUIAR DE SOUZA COSTA, Carlos Eduardo; OLIVEIRA ALBUQUERQUE, Roberta Luiza de. Uso De Pluviômetro Artesanal Como Instrumento Aplicado À Modelagem De Cheia Em Belém-Pa. **Geoambiente On-line**, [s. l.], n. 41, 8 dez. 2021.

TARGA, Marcelo dos Santos; BATISTA, Getulio Teixeira; DINIZ, Hélio Nóbile; DIAS, Nelson Wellausen; MATOS, Fernando Cardoso. Urbanizacao e escoamento superficial na bacia hidrografica do Igarape Tucunduba, Belem, PA, Brasil. **Ambiente e Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, [s. l.], v. 7, n. 2, p. 120–142, 31 ago. 2012.

TAVARES, João Paulo Nardin. Enchentes repentinas na cidade de Belém-PA: condições climáticas associadas e impactos sociais no ano de 1987. **Caminhos de Geografia**, v. 9, n. 28, p. 1-6, 2009.

UEMURA, Fumihiko; RONGEN, Guus; MASUYA, Shigekazu; YOSHIDA, Takatoshi; YAMADA, Tomohito J. Calculating flood probability in Obihiro using a probabilistic method: incorporating the probability of dike failure with uncertainty. **Proceedings of IAHS**, [s. l.], v. 386, p. 69–74, 19 abr. 2024.

VON-PAUMGARTTEN, João Vyctor do Vale; MAUÉS, Luiz Maurício Furtado; ROCHA, Cecília Alexandra Abreu Coelho. Flooding risk in Belém (PA) city: the technical and social perception of risk. **Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional**, v. 17, n. 1, p. 317-332, 2021.