

Proposta de técnica compensatória para manejo sustentável de águas pluviais urbanas: Estudo de caso no município de Jaboatão dos Guararapes/PE

Proposal of compensatory technique for sustainable urban stormwater management: A case study in the municipality of Jaboatão dos Guararapes/PE

Amaury Gouveia Pessoa Neto *, Marcus Metri Corrêa **, Simone Rosa da Silva ***, Ioná Maria Beltrão Rameh Barbosa ****, Henrique dos Santos Felipetto *****, Vicente de Paulo Silva *****

* Departamento de Tecnologia Rural, Universidade Federal Rural de Pernambuco, agpn@poli.br

** Departamento de Tecnologia Rural, Universidade Federal Rural de Pernambuco, marcus.mcorrea@ufrpe.br

*** Escola Politécnica de Pernambuco, Universidade de Pernambuco, simonerosa@poli.br

**** Departamento de Infraestrutura e Construção Civil, Instituto Federal de Pernambuco, ionarameh@recife.ifpe.edu.br

***** Departamento de Agrimensura, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, felipetto@utfpr.edu.br

***** Departamento de Tecnologia Rural, Universidade Federal Rural de Pernambuco, vicenteufrpe@yahoo.com.br

<http://dx.doi.org/10.5380/raega.v65i1.103118>

Resumo

A acelerada expansão urbana das cidades brasileiras, ocorrida a partir da segunda metade do século XX sem o devido acompanhamento do Poder Público, resultou em significativas modificações no ciclo hidrológico urbano. Esse tipo de transformação intensifica e potencializa episódios de inundações e alagamentos. Diante do exposto, este estudo teve como objetivo propor o manejo sustentável das águas pluviais urbanas em uma área vulnerável a inundações e alagamentos no município de Jaboatão dos Guararapes, em Pernambuco, a partir da implantação de um reservatório de retenção como técnica compensatória. O dimensionamento do sistema proposto foi realizado com base no volume excedente de escoamento superficial causado pelo efeito da urbanização, considerando a diferença entre os volumes totais gerados pelos cenários pós e pré-urbanização. Os resultados indicaram que, em um evento chuvoso de 15 minutos de duração e com tempo de retorno de cinco anos, serão retidos 196,86 m³ de águas precipitadas na microbacia. Essa constatação demonstra que a técnica proposta pode mitigar os impactos de desastres hidrológicos na região, e a implementação desse sistema pode fundamentar políticas públicas que incentivem a adoção de técnicas compensatórias, principalmente em áreas de intenso adensamento urbano.

Palavras-chave:

Desastres Hidrológicos, Expansão Urbana, Reservatório de Retenção.

Abstract

The accelerated urban expansion of Brazilian cities, which occurred from the second half of the 20th century onward without proper oversight by public authorities, resulted in significant changes in the urban hydrological cycle. This type of transformation intensifies and exacerbates episodes of flooding and inundation events. In light of the above, this study aimed to propose a sustainable approach to urban stormwater management in an area vulnerable to flooding and waterlogging in the municipality of Jabotão dos Guararapes, Pernambuco, through the implementation of a detention reservoirs as a compensatory technique. The sizing of the proposed system was carried out based on the excess surface runoff volume generated by the effect of urbanization, considering the difference between the total volumes produced under post- and pre-urbanization scenarios. The results indicated that, for a rainfall event lasting 15 minutes with a five years return period, 196.86 m³ of precipitation will be retained in the microbasin. This finding demonstrates that the proposed technique can mitigate the impacts of hydrological disasters in the region. The implementation of this system could support public policies that encourage the adoption of compensatory techniques, particularly in areas characterized by intense urban densification.

Keywords:

Hydrological Disasters, Urban Expansion, Detention Reservoir.

I. INTRODUÇÃO

O processo de urbanização no Brasil ocorreu de maneira acelerada nos grandes centros urbanos, caracterizando-se, em sua maioria, por uma expansão sem o devido acompanhamento do Poder Público, sendo uma consequência direta do capitalismo industrial (Bezerra, 2022). Esse fenômeno tem gerado problemas de ordem urbanística, econômica, ambiental e social, comprometendo o planejamento e a qualidade de vida nas áreas urbanas (Nicolodelli; Ribeiro, 2023; Tsuji et al., 2023).

Nesse contexto, com a expansão da malha urbana, as superfícies naturais passaram por transformações significativas, sobretudo devido à diminuição da cobertura vegetal original e ao aumento das superfícies impermeáveis, reduzindo a infiltração das águas precipitadas no solo e aumentando significativamente o escoamento superficial (Tang et al., 2024). Esse tipo de intervenção nos elementos do ciclo hidrológico aumenta a vulnerabilidade a inundações e alagamentos, principalmente nas áreas com sistemas de drenagem obsoletos e/ou obstruídos (Schorn; Vieira, 2023; Silva et al., 2023).

Inundações ocorrem, principalmente, pelo transbordamento de águas de corpos hídricos, geralmente resultante da combinação de eventos meteorológicos e hidrológicos (Alves et al., 2024). Alagamentos referem-se ao acúmulo de água em ruas e calçadas devido à insuficiência dos sistemas de drenagem urbana (Pereira; Miranda, 2023). Esses tipos de desastres hidrológicos causam danos significativos à população, ao patrimônio e ao meio ambiente, forçando milhares de famílias a deixarem suas residências e exporem a saúde física e mental a diversos riscos (Veenema et al., 2017; Paterson et al., 2018; Sholihah et al., 2020).

As técnicas compensatórias para o manejo das águas pluviais são cada vez mais reconhecidas como soluções ambientalmente sustentáveis em áreas urbanizadas. Esses métodos, que integram processos naturais ao planejamento urbano, promovem a infiltração e a retenção da água precipitada. Técnicas como pavimentos permeáveis, telhados verdes, jardins de chuva e reservatórios de retenção contribuem na redução do volume do escoamento superficial, diminuindo o risco de inundações e alagamentos em áreas urbanas (Quin, 2020; Kim et al., 2024; Noletto; Rodrigues, 2024).

A implantação de técnicas compensatórias para o manejo das águas pluviais urbanas é uma temática amplamente estudada em diversos países, como pavimentos permeáveis na Itália (Ciriminna et al., 2022), telhados verdes em Cingapura (Lim et al., 2021), jardins de chuva na Ucrânia (Kravchenko et al., 2024), valas de infiltração na Jordânia (Abu-Zreig et al., 2020) e reservatório de retenção na Eslovênia (Glavan et al., 2020). Em cenário nacional, é comum a realização de estudos que analisam essa prática em diversas regiões do Brasil (Ribeiro; Nunes, 2020; Mendes; Andrade, 2021; Parra et al., 2021; Nunes et al., 2023; Vicente et al., 2023; Souza; Ohnuma Júnior, 2024).

Dentre as diversas técnicas compensatórias, os reservatórios de retenção são sistemas eficazes para minimizar os picos de vazão das águas pluviais em áreas urbanas. Eles funcionam armazenando temporariamente a água da chuva, liberando-a gradualmente e, assim, reduzindo o impacto dos alagamentos e inundações (Kempka et al., 2024). Além de mitigar impactos causados por alagamentos e inundações, esses sistemas permitem a sedimentação de impurezas, melhorando a qualidade da água (Souza et al., 2019).

Ao final do século XX diversos municípios brasileiros, como Jaboatão dos Guararapes, vivenciaram um processo de expansão urbana desordenada, sem o devido suporte do Poder Público, gerando áreas densamente povoadas (Pessoa Neto et al., 2023a). O considerável processo de ocupação urbana no município, tanto por meio de ocupações regulares quanto irregulares acarretou na remoção da vegetação, sobretudo matas ciliares, contribuindo para modificações significativas no ambiente físico-natural, agravando o risco de inundações e alagamentos, sobretudo na ocorrência de chuvas intensas.

Esse fato pôde ser comprovado pela precipitação pluviométrica verificada no município de Jaboatão dos Guararapes no dia 28 de maio de 2022, quando ocorreu uma das maiores catástrofes climáticas já registradas, com um índice acumulado de 252,40 mm, o que corresponde a 90,54% da média mensal (Agência Pernambucana de Águas e Clima [APAC], 2022). Além de inundações e alagamentos, esse evento extremo provocou movimentos de massa, resultando em mais de 127 mortes, cerca de 4.000 pessoas deslocadas e inúmeras perdas materiais (Coutinho et al., 2024).

A implantação de reservatórios de retenção, quando adequadamente dimensionados, pode reduzir significativamente os picos de vazão e os impactos associados a alagamentos e inundações em áreas urbanas densamente ocupadas, como ocorre em Jaboatão dos Guararapes. Assim, o presente estudo teve como objetivo propor o manejo sustentável das águas pluviais urbanas em uma área vulnerável a inundações e alagamentos no município de Jaboatão dos Guararapes, em Pernambuco, por meio da implantação de um reservatório de retenção como técnica compensatória, considerando as características físico-naturais e o padrão de urbanização local, a identificação das áreas mais suscetíveis a esses processos, bem como o dimensionamento do reservatório proposto.

II. LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA REGIÃO DO ESTUDO

O município de Jaboatão dos Guararapes, região objeto do estudo, está situado na área litorânea do estado de Pernambuco, integrando a Região Metropolitana do Recife (RMR). Está localizado entre as coordenadas geográficas 8° 2' 48" e 8° 14' 31" de latitude sul e 34° 54' 23" e 35° 6' 54" de longitude oeste, conforme apresentado na Figura 1.

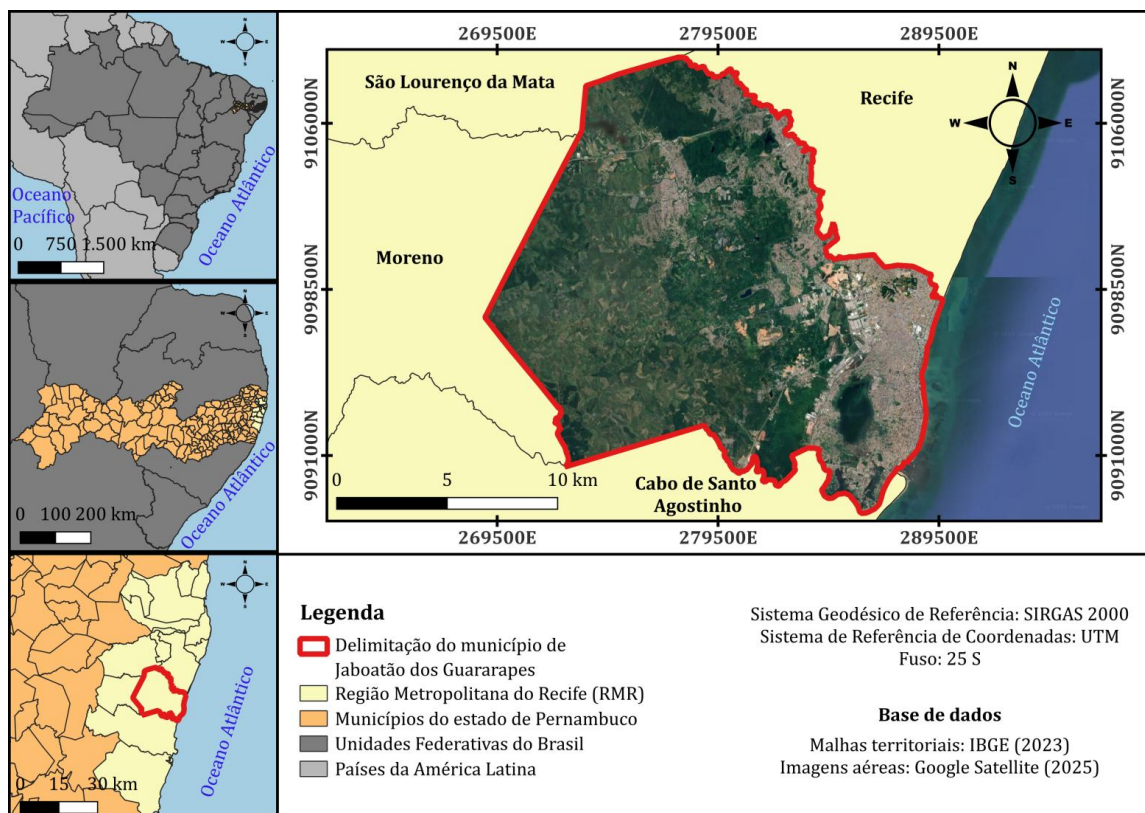


Figura 1 – Localização do município de Jaboatão dos Guararapes. (Elaborado pelos autores, 2025).

Conforme o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Jaboatão dos Guararapes detém uma área de 258,70 km² (IBGE, 2025). O município está localizado a 16,10 km da capital pernambucana, Recife, e é acessado principalmente pelas rodovias BR-101, BR-232, BR-408, PE-007 e PE-008. Jaboatão é o segundo município mais populoso de Pernambuco, com uma população estimada em 644.037 habitantes, dos quais 99,28% residem em área urbana, o que resulta em uma densidade demográfica de 2.489,28 hab/km² (IBGE, 2025).

O relevo da área de estudo é composto por três unidades distintas: o planalto litorâneo rebaixado, formado sobre rochas cristalinas e pela Formação Cabo, que apresenta morros e colinas; a planície costeira, composta por terraços marinhos das eras Pleistocênica e Holocênica, além de terraços fluviais e baixios de maré; e os tabuleiros costeiros, com trechos sedimentares da Formação Barreira e áreas de algodoais (Ramos, 2019). As características geológicas do município revelam a presença de quatro conjuntos geológicos distintos: as rochas cristalinas do Maciço Pernambuco-Alagoas; as rochas vulcano-sedimentares da bacia sedimentar Cabo (Formação Cabo); os sedimentos terciários das formações Barreira e Algadoais; e os sedimentos quaternários das planícies aluviais e costeira (Ramos, 2019).

Em relação à pedologia, de acordo com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), Jaboatão dos Guararapes apresenta seis tipos de solos: Argissolo Vermelho-Amarelo, Espodosolo Ferrihumilúvico Hidromórfico, Gleissolo Háptico, Latossolo Amarelo, Neossolo Quartzarênico, Solos de Mangue e a área urbana (EMBRAPA, 2018). A vegetação original da região era formada por espécies típicas de ambientes tropicais úmidos, incluindo a Floresta Tropical, a Floresta Ombrófila de Restinga e a vegetação de Manguezal (Coutinho et al., 2024). No contexto do uso da terra, as áreas rurais são predominantemente ocupadas pela agricultura familiar e pela monocultura de cana-de-açúcar, enquanto nas áreas urbanas prevalecem as atividades industriais e de serviços.

Quanto à climatologia, segundo a classificação de Köppen-Geiger, o município apresenta o clima do tipo As' (Clima Tropical com chuvas no inverno), destacando-se os Distúrbios Ondulatórios de Leste, que, em conjunto com a brisa marítima, influenciam significativamente o volume de precipitação da estação chuvosa, ocorrendo entre os meses de maio e agosto (Wanderley et al., 2021). O período seco é caracterizado pela redução do volume pluviométrico mensal, ocorrendo entre setembro e novembro, enquanto os meses de dezembro a abril são marcados como uma fase de transição entre os dois períodos climáticos distintos (Silva; Duarte, 2023). A região apresenta valores médios de precipitação mensal que variam entre 312 mm (máximo) e 29 mm (mínimo) (Figura 2), com uma média anual de 1.754,84 mm (Pessoa Neto et al., 2022). A precipitação

máxima mensal ocorre normalmente durante o mês de junho, no período de inverno, podendo ser superada em outros períodos do ano em função da ocorrência de eventos extremos de precipitação.

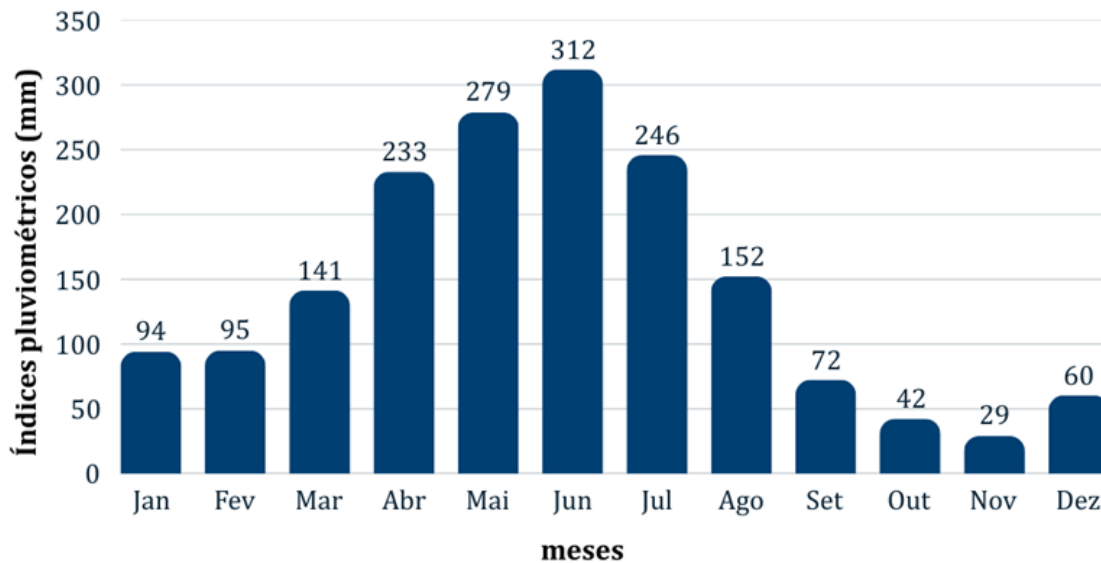


Figura 2 – Médias pluviométricas mensais do município de Jaboatão dos Guararapes correspondentes ao período compreendido de 2004 a 2021. (Adaptado de Pessoa Neto et al., 2022).

Acerca da hidrografia, o município está inserido nas bacias hidrográficas dos rios Jaboatão, Pirapama e Tejiptó, que compõem a Unidade de Planejamento 04 (UP04), denominada Metropolitana Sul (Secretaria de Infraestrutura e Recursos Hídricos de Pernambuco [SEINFRA], 2022). A bacia do rio Jaboatão, que é a mais relevante para a região do estudo, abrange dois importantes rios pernambucanos: o Jaboatão e o Duas Unas. Nessa bacia, destaca-se a presença da barragem Duas Unas, cuja principal finalidade é abastecer parte da RMR, por meio de uma das maiores vazões de água conduzidas para a região, correspondente a 1.000 L/s (Pessoa Neto et al., 2023b).

As características físico-naturais do município, aliadas ao elevado índice de urbanização, tornam Jaboatão dos Guararapes altamente suscetível a inundações e alagamentos em grande parte de seu território. Entre as áreas mais propensas, destaca-se o bairro Barra de Jangada, como evidenciam os registros apresentados na Figura 3. Conforme dados do Cadastro Nacional de Endereços para Fins Estatísticos (CNEFE), dos 338.688 imóveis cadastrados no município de Jaboatão dos Guararapes, 82.785 apresentam propensão à inundação (CNEFE, 2022). No bairro Barra de Jangada, essa condição se mostra particularmente crítica, em

função de sua localização em área predominantemente plana, adjacente ao exutório do rio Jaboatão e à lagoa Olho D'água, além de ser interceptado pelo canal Olho D'água.

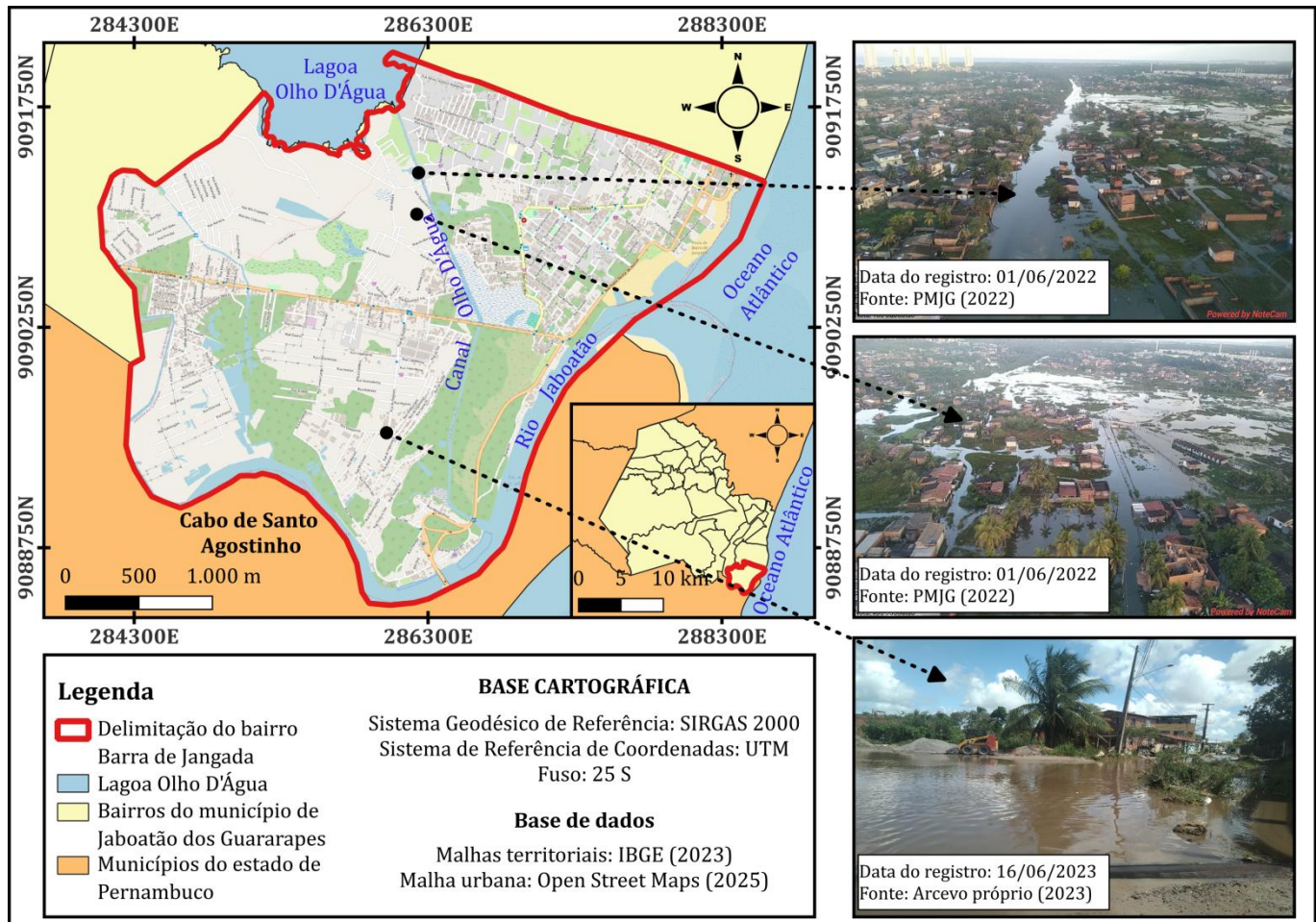


Figura 3 – Localização do bairro Barra de Jangada, no município de Jaboatão dos Guararapes, e registros fotográficos de inundações e alagamentos ocorridos no local. (Elaborado pelos autores, 2025).

Além das referidas características físico-naturais, durante o período compreendido entre os anos de 2002 a 2014, o bairro Barra de Jangada vivenciou uma significativa expansão urbana, impulsionada por uma nova fase de crescimento do Complexo Industrial e Portuário de Suape, resultando na instalação de diversos empreendimentos imobiliários, comerciais e hoteleiros na região (Santos et al., 2024). Dessa forma, optou-se pela utilização de reservatórios de detenção, como técnica compensatória, em razão de sua eficácia no controle dos picos de vazão e de sua adequação às condições físico-naturais e ao padrão de urbanização da área de estudo.

III. MATERIAIS E MÉTODOS

Coleta, processamento e análise dos dados espaciais para delimitação de microbacia de contribuição e elaboração dos cenários pré e pós-urbanização

A partir da escolha do local de implantação do reservatório de detenção, técnica compensatória proposta para este trabalho, foi realizada a delimitação de uma microbacia de contribuição, determinando a área de estudo. Para isso, foram adquiridos pela Prefeitura Municipal de Jabotão dos Guararapes (PMJG) Modelos Digitais de Elevação (MDEs) em formato matricial (*raster*), com resolução espacial de 0,10 metros, provenientes de Perfilamento a *Laser* Aerotransportado (LiDAR).

Para delimitar a microbacia de contribuição, no QGIS (3.34.9), os MDEs foram mosaicos e seus *pixels* espúrios foram removidos, resultando em um Modelo Digital de Elevação Hidrologicamente Consistente (MDEHC). Em seguida, após a identificação da seção de controle, foi definida a bacia de contribuição.

Após essa etapa, o dimensionamento do reservatório de detenção levou em consideração os cenários anteriores e posteriores à ocupação urbana, com o propósito de comparar o aumento do volume de chuva escoado na bacia em decorrência da impermeabilização do solo. Para a espacialização desses cenários, inicialmente, foram adquiridos elementos da cartografia básica municipal, como delimitação de bairros, eixo viário, lotes e quadras, disponibilizados pela PMJG em formato vetorial *shapefile*.

Adicionalmente, para composição do cenário pré-urbanização, foram fornecidas pela Agência Estadual de Planejamento e Pesquisas de Pernambuco (CONDEPE/FIDEM) imagens aéreas datadas de 1974, oriundas de um serviço de aerofotogrametria, em formato JPG. Essas imagens foram georreferenciadas com base nas coordenadas indicadas e mosaicadas para criar uma única imagem. Para o cenário de 2025 (pós-urbanização), foram utilizadas imagens aéreas obtidas do Google *Satellite*, já disponíveis no *QuickMapServices*, *plugin* do QGIS.

Análises comparativas e interpretações visuais foram realizadas a partir da observação das transformações ocorridas devido à evolução da urbanização na área de estudo. A partir dessas observações, foram elaborados mapas temáticos de uso e cobertura da terra para os anos de 1974 e 2025. Para a delimitação dos alvos em estudo, foi criada uma camada vetorial, no formato *shapefile*, com polígonos representando cada classe de uso e cobertura identificada. Após a definição dos polígonos, foi possível calcular as áreas correspondentes e analisar as mudanças ocorridas em cada categoria na região de estudo. Todos os dados espaciais utilizados neste estudo foram manipulados no *software* QGIS (Versão 3.34.9) em coordenadas UTM (Fuso 25 S), no Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS 2000).

Dimensionamento do reservatório de detenção

Para realizar o dimensionamento da técnica compensatória, foi necessário elaborar os hidrogramas, que representam a função $Q(t)$ que descreve o escoamento de água (vazão) “ Q ” em função do tempo “ t ”, para os cenários pré e pós-urbanização. Uma vez que, o volume total de água escoada em um intervalo de tempo $[t_0, t_1]$ pode ser obtido por meio da integral da função do hidrograma, conforme apresentado na Equação 1.

$$V = \int_{t_0}^{t_1} Q(t) dt \quad (1)$$

Onde:

- V é o volume total de água escoada em um intervalo de tempo $[t_0, t_1]$,
- t_0 é o tempo inicial do intervalo considerado,
- t_1 é o tempo final do intervalo considerado,
- $Q(t)$ é a função do hidrograma, que descreve o fluxo de água em função do tempo,
- dt é o elemento infinitesimal de tempo.

Assim, o volume de água excedente devido à urbanização foi determinado pela diferença entre os volumes totais dos cenários pós-urbanização e pré-urbanização, como expresso pela Equação 2.

$$V_{excedente} = \int_{t_0}^{t_1} (Q_{pós}(t) - Q_{pré}(t)) dt \quad (2)$$

Onde:

- $V_{excedente}$ é o volume total de água escoada excedente em um intervalo de tempo $[t_0, t_1]$,
- t_0 é o tempo inicial do intervalo considerado,
- t_1 é o tempo final do intervalo considerado,
- $Q_{pós}(t)$ é a função do hidrograma, que descreve o fluxo de água em função do tempo no cenário pós-urbanização,
- $Q_{pré}(t)$ é a função do hidrograma, que descreve o fluxo de água em função do tempo no cenário pré-urbanização,
- dt é o elemento infinitesimal de tempo.

Portanto, a diferença entre os dois hidrogramas, $Q_{\text{pós}}(t)$ e $Q_{\text{pré}}(t)$, quando integrada ao longo do tempo, fornece o volume de água da chuva excedente, refletindo o impacto da urbanização sobre o escoamento das águas pluviais na região. O procedimento descrito pode ser sintetizado na Figura 4.

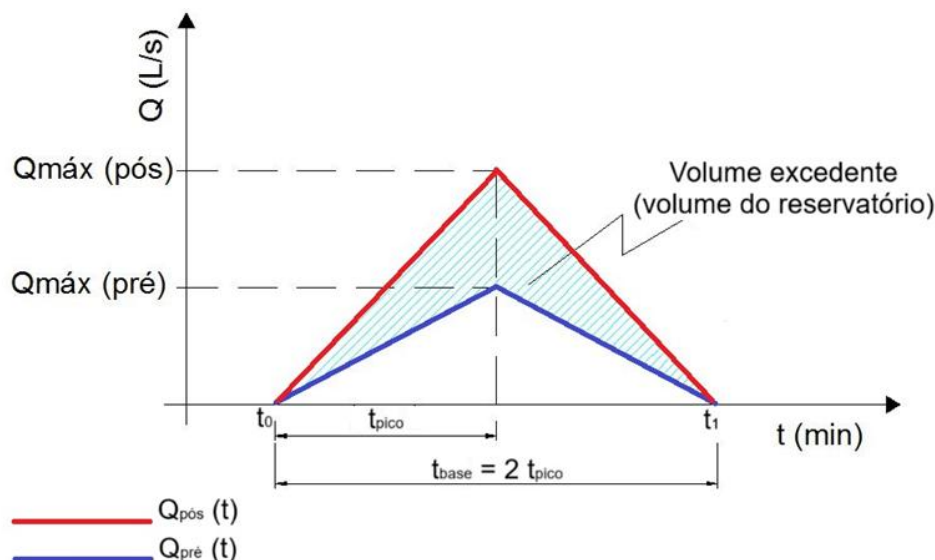


Figura 4 – Modelo gráfico das funções dos hidrogramas, que descrevem os fluxos de água em função do tempo nos cenários pré e pós-urbanização, evidenciando o volume de água excedente devido à urbanização. (Elaborado pelos autores, 2025).

Foram definidos o tempo de pico (t_{pico}) e o tempo de base (t_{base}) como, respectivamente, o instante em que o fluxo de água atinge seu valor máximo (vazão máxima) após um evento de precipitação e o intervalo de tempo entre o início da precipitação e o retorno da vazão ao seu valor pré-evento, após o escoamento ter atingido o pico.

Embora a urbanização, como efeito, modifique o comportamento do escoamento, resultando em diferenças nos tempos de pico e de base entre os cenários pré e pós-urbanização, para este estudo esses parâmetros foram considerados como coincidentes em ambas as ocasiões. Essa forma de convenção é realizada para efeitos de cálculo em microbacias, sobretudo quando se adota uma abordagem prática. A adoção de simplificações é uma prática bastante útil em modelos de drenagem reduzidos ou quando se necessita de aproximações para o dimensionamento de sistemas de controle de escoamento, como reservatórios de detenção (Guerzoni Filho, 2014; Benini; Mendiondo, 2015; Souza, 2018; Lemos, 2021; Penner et al., 2021).

A vazão máxima foi determinada pelo Método Racional, conforme apresentado na Equação 3. Esse modelo, amplamente utilizado em pequenas bacias hidrográficas, estabelece uma relação entre o coeficiente de escoamento, a intensidade de precipitação e a área da bacia (Diogo; Carmo, 2019).

$$Q_{m\acute{a}x} = 2,78 \times C \times I \times A \quad (3)$$

Onde:

- $Q_{m\acute{a}x}$ é a vazão máxima de projeto (L/s),
- C é o coeficiente de escoamento (adimensional),
- I é a intensidade de precipitação (mm/h),
- A é a área de contribuição (ha).

A área da microbacia foi calculada automaticamente no QGIS, resultando em uma área total de 2,62 hectares. Para a definição da intensidade de precipitação, foi empregada a equação de intensidade-duração-frequência (IDF) para o município de Jaboatão dos Guararapes (Equação 4), elaborada pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM) e apresentada no Atlas Pluviométrico do Brasil (CPRM, 2014). Essa equação foi desenvolvida com base em dados históricos de precipitação coletados no período de 1968 a 2007, totalizando 40 anos de série histórica.

$$I = \frac{1423,97 \times Tr^{0,1124}}{(t + 21)^{0,7721}} \quad (4)$$

Onde:

- I é a intensidade de precipitação (mm/h),
- Tr é o tempo de retorno (anos),
- t é o tempo de duração do evento (minutos).

Como o sistema proposto se trata de uma intervenção de microdrenagem e o local de implantação está situado em uma zona de uso majoritariamente residencial, foi adotado um tempo de retorno de cinco anos e uma duração de evento chuvoso de 15 minutos, valores comumente utilizados para esse tipo de situação (Melo et al., 2014).

O coeficiente de escoamento, um valor adimensional representando parcela da precipitação que se transforma em escoamento superficial, foi calculado pela relação entre a precipitação efetiva e a precipitação total acumulada (Equação 5).

$$C = \frac{P_{ef}}{P} \quad (5)$$

Onde:

- C é o coeficiente de escoamento (adimensional),
- P_{ef} é a precipitação efetiva (mm), na duração do evento,
- P é a precipitação total acumulada (mm), na duração do evento.

A precipitação total acumulada foi definida pelo produto entre a intensidade de precipitação e o tempo de duração do evento (Equação 6). Para este estudo, a precipitação efetiva foi considerada utilizando o método SCS (Soil Conservation Service) (Equação 7). Esse modelo baseia-se no parâmetro CN (Curve Number), que representa o índice de deflúvio e é influenciado pela classificação hidrológica do solo, pelas condições antecedentes de umidade e pela cobertura da terra (Schwab et al., 1993; Porto, 1995).

$$P = \frac{I \times t}{60} \quad (6)$$

Onde:

- P é a precipitação total acumulada (mm),
- I é a intensidade de precipitação (mm/h),
- t é o tempo de duração do evento (minutos).

$$P_{ef} = \begin{cases} \frac{(P - 0,2 \times S)^2}{P + 0,8 \times S}, & \text{se } P > 0,2 \times S \\ 0, & \text{se } P < 0,2 \times S \end{cases} \quad (7)$$

Onde:

- P_{ef} é a precipitação efetiva (mm), na duração do evento,
- P é a precipitação total acumulada (mm), na duração do evento,
- S é a retenção potencial do solo (adimensional).

A retenção potencial do solo refere-se à sua capacidade de armazenar água e foi estabelecida pelo modelo representado pela Equação 8. O cálculo do CN foi iniciado pela identificação do tipo de solo da região e sua respectiva classificação hidrológica (Tabela 01). Para isso, foi necessário espacializar a classificação

hidrológica dos tipos de solo da região de estudo, utilizando um arquivo vetorial (shapefile) obtido no Catálogo de Metadados da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), na escala 1:100.000 (ANA, 2017).

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (8)$$

Onde:

- S é a retenção potencial do solo (adimensional),
- CN é o *Curve Number* (adimensional).

Tabela 1 – Classificação hidrológica do solo.

Grupo	Descrição
A	Solos com baixo escoamento superficial e alta infiltração, como os arenosos e profundos, com menos de 8% de argila. Não há rochas ou camadas argilosas até 1 metro de profundidade.
B	Solos com infiltração moderada, como os arenosos e rasos, com menos de 15% de argila. Não há rochas ou camadas argilosas até 1,5 metros de profundidade, onde pode haver uma camada mais densa. Esses solos têm alta permeabilidade.
C	Solos com baixa infiltração, principalmente devido a camadas que impedem o movimento da água. São solos barrentos, com 20% a 30% de argila, sem camadas impermeáveis ou rochas até 1,2 metros de profundidade. Esses solos geram escoamento superficial acima da média.
D	Solos que geram alto escoamento superficial e têm baixa infiltração, como argilas expansivas ou solos rasos com camadas impermeáveis perto da superfície. Têm 30% a 40% de argila e uma camada densa a cerca de 50 cm de profundidade.

Adaptado de Schwab et al. (1993), Porto (1995) e Calzavara e Fernandez (2015).

Em seguida, quanto às condições antecedentes de umidade (Tabela 02), foi adotada a condição II por representar a situação média de umidade no período de cheia. Por fim, o CN foi determinado em função da classificação hidrológica do solo e das características de uso e cobertura da terra (Tabela 03).

Tabela 2 – Condição do solo em relação a umidade antecedente.

Condição	Descrição
I	Solos secos: as chuvas, nos últimos cinco dias, não ultrapassaram 15 mm.
II	Situação média na época de cheias: as chuvas, nos últimos cinco dias, totalizaram de 15 a 40 mm.
III	Solo úmido (próximo da saturação): as chuvas, nos últimos cinco dias, foram superiores a 40 mm, e as condições meteorológicas foram desfavoráveis a altas taxas de evaporação.

Adaptado de Schwab et al. (1993) e Porto (1995).

Tabela 3 – Valores de CN em função de cobertura e do tipo hidrológico de solo (condição II de umidade).

Tipo de uso do solo / tratamento / condições hidrológicas			Grupo hidrológico			
			A	B	C	D
Uso residencial						
	Tamanho médio do lote	% Impermeável				
	Até 500m ²	65	77	85	90	92
	1.000m ²	38	61	75	83	87
	1.500m ²	30	57	72	81	86
Estacionamentos, pavimentos, telhados			98	98	98	98
Ruas e estradas:						
	Pavimentadas, com guias e drenagem		98	98	98	98
	Com cascalho		76	85	89	91
	De terra		72	82	87	89
Áreas comerciais (85% de impermeabilização)			89	92	94	93
Distritos industriais (72% de impermeabilização)			81	88	91	93
Espaços abertos, parques, jardins:						
Boas condições, cobertura de grama > 75%			39	61	74	80
Condições médias, cobertura de grama > 50%			49	69	79	84
Terreno preparado para plantio, descoberto:						
Plantio em linha reta			77	86	91	94
Culturas em fileira:						
	Linha reta	Condições ruins	72	81	88	91
		Condições boas	67	78	85	89
	Curva de nível	Condições ruins	70	79	84	88
		Condições boas	65	75	82	86
Cultura de grãos:						
	Linha reta	Condições ruins	65	76	84	88
		Condições boas	63	75	83	87
	Curva de nível	Condições ruins	63	74	82	85
		Condições boas	61	73	81	84
Tipo de uso do solo / tratamento / condições hidrológicas			Grupo hidrológico			
			A	B	C	D
Pasto:						
	Linha reta	Condições ruins	68	79	86	89
		Condições médias	49	69	79	84
	Curva de nível	Condições boas	39	61	74	80
		Condições ruins	47	67	81	88
		Condições médias	25	59	75	83
		Condições boas	06	35	70	79

Campos:	Condições boas	30	58	71	78
	Condições ruins	45	66	77	83
Florestas:	Condições médias	25	55	70	77
	Condições boas	36	60	73	79

Adaptado de Schwab et al. (1993) e Porto (1995).

Assim, foram considerados os mapas temáticos correspondentes aos cenários pré e pós-urbanização. No caso do cenário pós-urbanização, em que foram identificados múltiplos tipos de uso e cobertura da terra, utilizou-se um CN ponderado, obtido por meio do somatório do produto entre o CN de cada classe e a respectiva taxa unitária da área.

IV. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir da delimitação da área de estudo sobre as imagens aéreas, foi elaborado um mapa temático, conforme apresentado na Figura 5, evidenciando a comparação entre a região analisada nos cenários de pré-urbanização, para o ano de 1974, e pós-urbanização, para 2025. Essa área, escolhida para implantação da técnica compensatória do reservatório de detenção, se constitui por uma microbacia localizada no bairro Barra de Jangada e apresenta sua seção de controle no canal Olho D'Água.

Conforme verificado no cenário de pré-urbanização, em 1974 a região em estudo não apresentava intervenções antrópicas. Isso é evidenciado pela presença predominante da vegetação natural e pela quantidade de água associada às redes de drenagem naturais nas proximidades do canal. Essa caracterização sugere que, durante esse período, a área fosse considerada como preservada (Silva, 2010).

No cenário pós-urbanização, em 2025, as áreas antrópicas aumentaram consideravelmente na região. Esse processo está principalmente associado à construção da estrada de acesso à Ponte Wilson Campos, inaugurada em 2010, que facilita o acesso ao complexo de SUAPE, reduzindo em 40 km a distância entre a RMR (Silva, 2013). Além disso, nesse período, observou-se um intenso adensamento construtivo no bairro de Barra de Jangada, fruto do processo de espraiamento da dinâmica construtiva litorânea, que já havia se consolidado no Recife e em outros bairros costeiros de Jaboatão dos Guararapes (Costa, 2019).

Para o dimensionamento do reservatório de detenção, foi inicialmente necessário determinar um CN para cada cenário. Assim, foi realizada a identificação das respectivas classes de uso e cobertura da terra da região, como mostra a Figura 6.

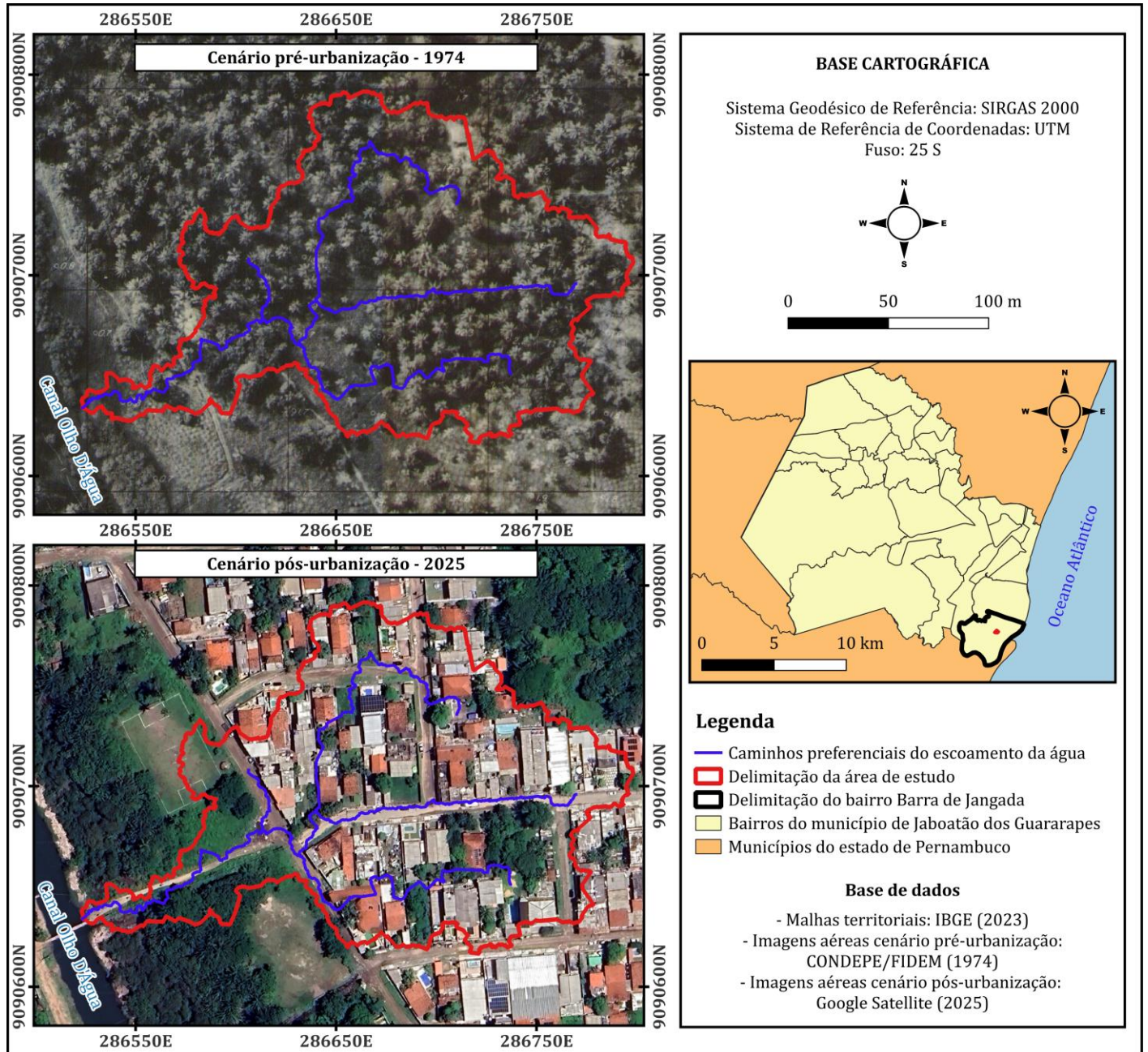


Figura 5 – Evolução espaço-temporal da dinâmica da urbanização entre os anos de 1974 e 2025 na área do estudo. (Elaborado pelos autores, 2025).

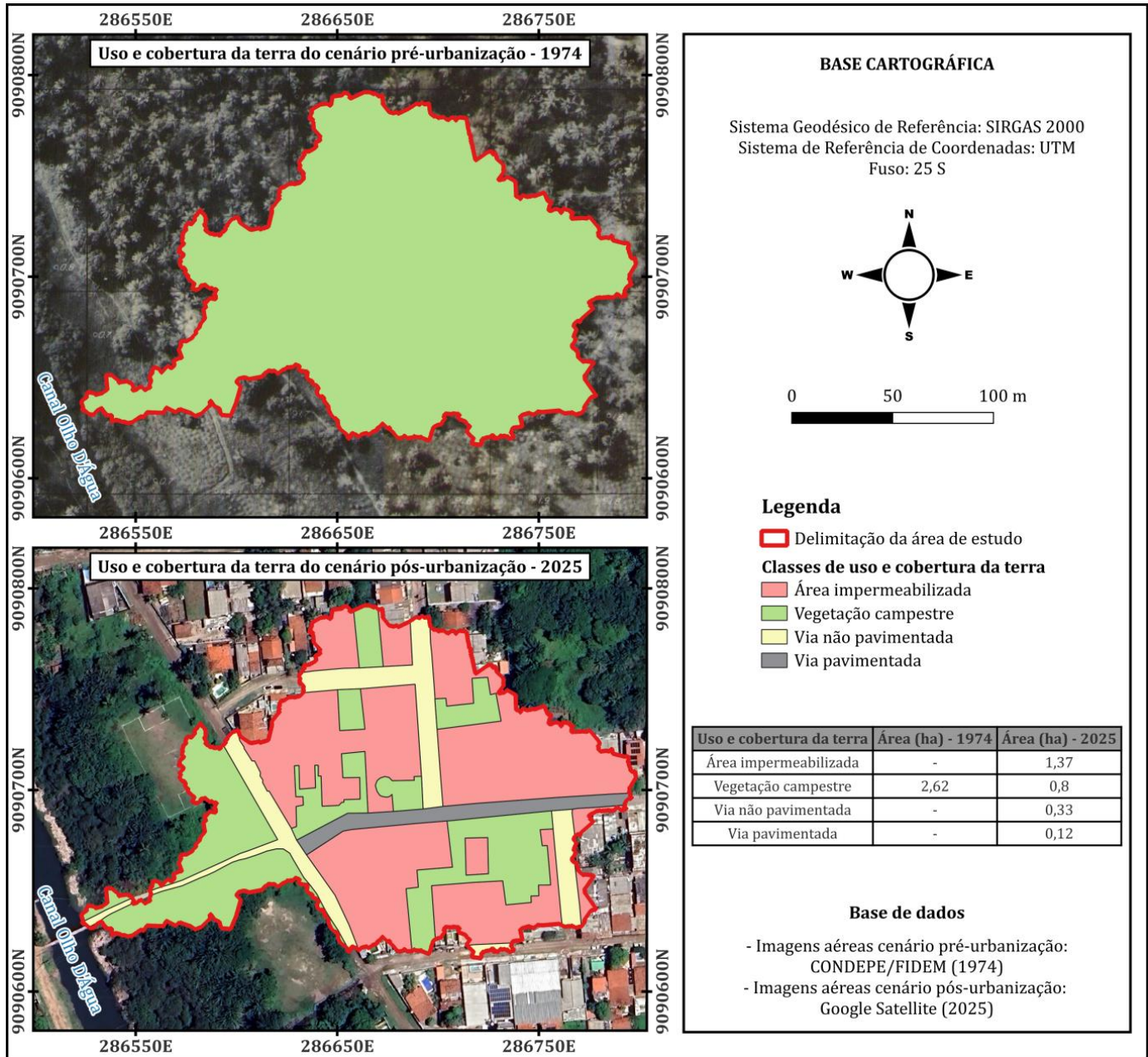


Figura 6 – Uso e cobertura da terra da área do estudo nos cenários pré e pós-urbanização. (Elaborado pelos autores, 2025).

Quanto à variação das classes de uso e cobertura da terra na região estudada, foi verificado que, no período pré-urbanização, predominavam as áreas de vegetação campestre, com destaque para mata ciliar e vegetação rasteira, perfazendo uma área de 2,62 ha e representando a região em sua totalidade.

No cenário pós-urbanização, verificou-se uma redução significativa da área vegetada, configurando 0,80 ha, enquanto as classes relacionadas à intervenção antrópica passaram a ser predominantes. Essa classe foi

representada por áreas impermeabilizadas, representadas pelas edificações, (1,37 ha) e vias de acesso, tanto pavimentadas (0,12 ha) quanto não pavimentadas (0,33 ha), resultantes de aterros e desmatamentos na região.

Em continuidade ao cálculo do CN, foi necessário também identificar o tipo de solo presente na área de estudo, que, conforme o mapeamento apresentado na Figura 7, corresponde ao Espodossolo Ferrihumilúvico. Esse tipo de solo pertence ao grupo “C” na classificação hidrológica de solos proposta pelo SCS (Almeida Neto, 2019). Com a definição das classes de uso e cobertura da terra e a classificação hidrológica do solo, foi possível determinar o CN de cada cenário, como mostra a Tabela 4.

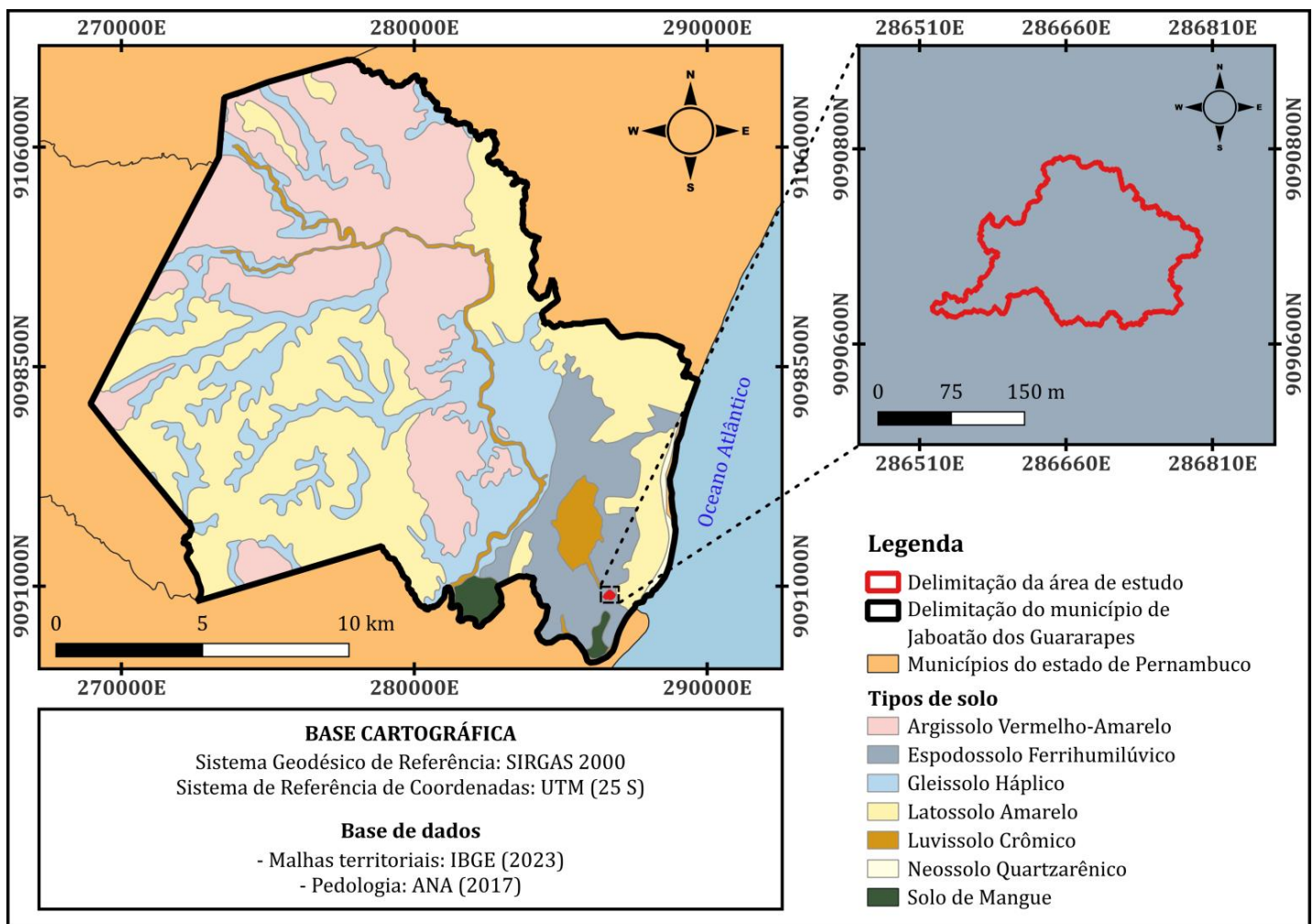


Figura 7 – Mapa pedológico do município de Jaboatão dos Guararapes, com destaque à identificação do tipo de solo da área do estudo. (Elaborado pelos autores, 2025).

Tabela 4 – Cálculo do CN da área do estudo para os cenários pré e pós-urbanização.

Classe de uso e cobertura da terra	Cenário pré-urbanização			Cenário pós-urbanização		
	CN	Área (ha)	Taxa unitária	CN	Área (ha)	Taxa unitária
Estacionamentos pavimentados, telhados	-	-	-	98	1,37	0,52
Ruas e estradas pavimentadas	-	-	-	98	0,12	0,05
Ruas e estradas de terra	-	-	-	87	0,33	0,13
Campos em condições boas	71	2,62	1	71	0,80	0,30
CN ponderado		71			88,47	

Elaborado pelos autores, a partir de Schwab et al. (1993) e Porto (1995).

A análise dos dados apresentados na Tabela 5 revela um impacto significativo da urbanização sobre o escoamento superficial das águas pluviais na região do estudo. Comparando os cenários pré e pós-urbanização, observa-se um considerável aumento no volume de água escoada na ocorrência de um evento chuvoso de 15 minutos com tempo de retorno de cinco anos. Enquanto no cenário pré-urbanização foi verificado um volume de escoamento de 7.029 L, no cenário pós-urbanização esse valor passa a ser 203.886 L, resultando em um volume excedente de 196.857 L (ou 196,86 m³), representando um incremento de 2.813%. Diante desse aumento significativo, e em consonância com os objetivos deste estudo, propõe-se o armazenamento desse volume excedente em um reservatório de retenção com dimensões de 30 metros de comprimento, 15 metros de largura e 0,44 metros de altura, conforme ilustrado na Figura 8. A escolha de sua localização nas proximidades do exutório da microbacia visa maximizar a captação do escoamento superficial gerado.

Tabela 5 – Parâmetros considerados para o dimensionamento do reservatório.

Parâmetros	Valores	
	Cenário pré-urbanização	Cenário pós-urbanização
Duração do evento (t)	15 minutos	15 minutos
Tempo de retorno (Tr)	5 anos	5 anos
Intensidade de precipitação (I)	107,25 mm/h	107,25 mm/h
Precipitação acumulada na duração do evento (P)	26,81 mm	26,81 mm
Curve Number (CN)	71	88,47
Retenção potencial do solo (S)	103,75	33,10
Precipitação efetiva (Pef)	0,33 mm	7,65 mm
Coeficiente de escoamento (C)	0,01	0,29
Área de contribuição (A)	2,62 ha	2,62 ha
Vazão máxima (Qmáx)	7,81 L/s	226,54 L/s
Volume escoado (V)	7.029 L	203.886 L

Elaborado pelos autores (2025).

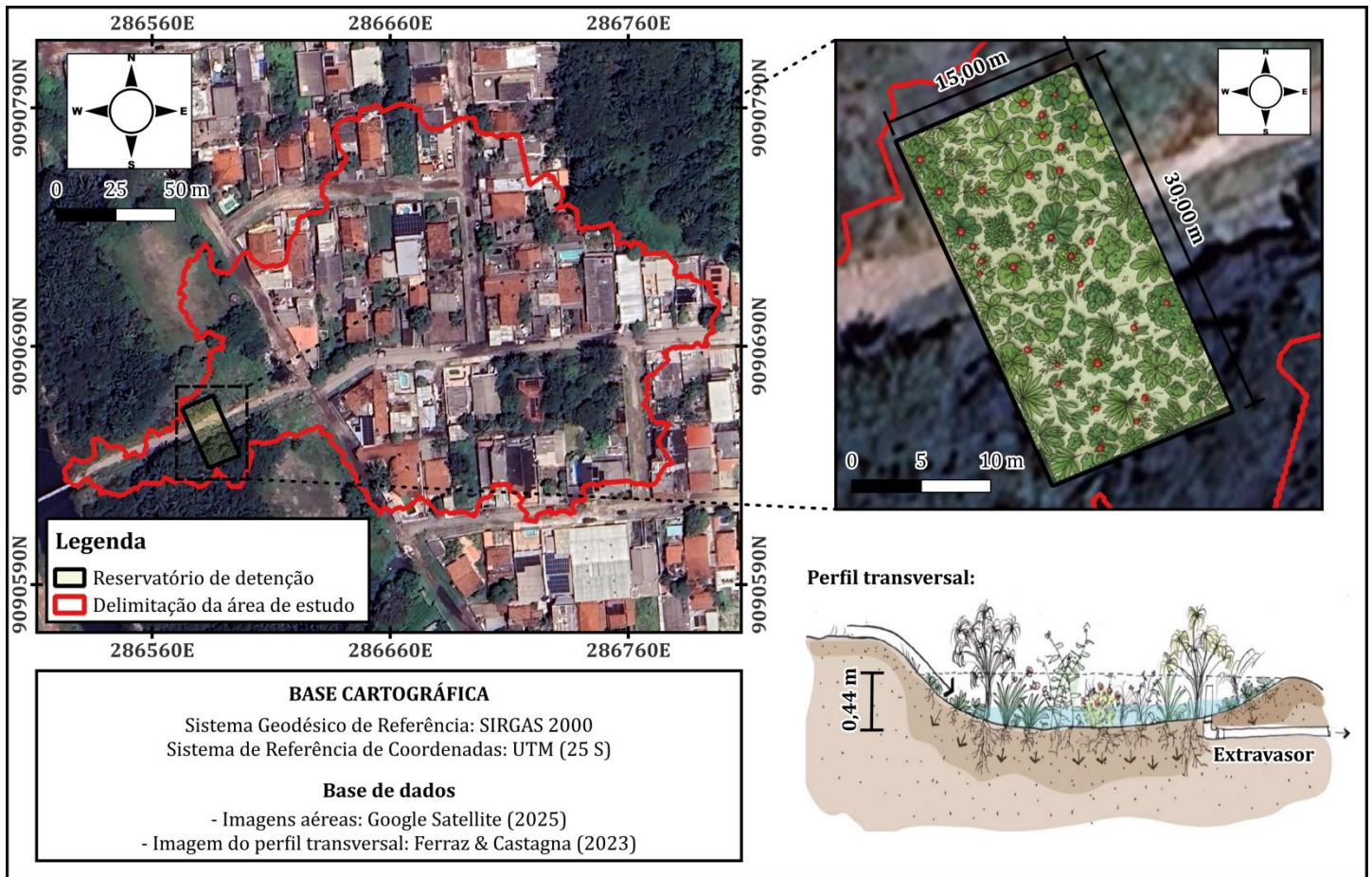


Figura 8 – Características e localização do reservatório de detenção proposto para este estudo. (Elaborado pelos autores, 2025).

O excedente de volume de escoamento, gerado pela urbanização, tem implicações diretas no manejo das águas pluviais (Baltaci; Kalin, 2024). Assim, é fundamental considerar esse volume adicional no dimensionamento de reservatórios de detenção, que têm como função armazenar temporariamente o excesso de água, reduzindo os picos de vazão e mitigando os transtornos trazidos por inundações e alagamentos. Adicionalmente, destaca-se a possibilidade de implantação de um reservatório vegetado, o qual pode proporcionar benefícios complementares, como o aumento da infiltração da água no solo, a melhoria da qualidade da água por meio da retenção de sedimentos e poluentes, a redução da velocidade do escoamento superficial e a integração paisagística da estrutura ao ambiente urbano, contribuindo também para ganhos ambientais e ecológicos.

Considerando a mesma área de estudo, Pessoa Neto et al. (2023a) propuseram a utilização de reservatórios de detenção em cada lote da microbacia e constataram que, para um evento chuvoso com as mesmas características de duração e período de retorno abordados neste estudo, seria necessária a

implantação de 45 reservatórios, totalizando 87,06 m³. Essa prática está prevista no Código de Obras do município de Jaboatão dos Guararapes, instituído pela Lei nº 973/2013, que estabelece, para o dimensionamento, a adoção do coeficiente de abatimento, da área impermeabilizada do lote e do índice pluviométrico da região (Jaboatão dos Guararapes, 2013). Entretanto, esse modelo de dimensionamento não leva em conta a parcela de água proveniente do escoamento superficial de calçadas, ruas internas e outras superfícies impermeáveis da bacia de contribuição, o que compromete a eficiência do sistema.

De maneira análoga, Ferreira e Cabral (2025) desenvolveram um modelo de otimização para o dimensionamento de reservatórios de retenção em uma bacia hidrográfica urbana situada em Recife, Pernambuco, com o objetivo de reduzir os custos de implantação, bem como os riscos de inundações. Os autores definiram as características ideais para seis reservatórios de retenção, que foram estrategicamente distribuídos na bacia, visando maximizar a retenção e o controle das vazões. A área total inundada foi de aproximadamente 270.989 m² e as profundidades máximas de até 1,914 metros.

Em estudo similar, Kempka et al. (2024) avaliaram o impacto da instalação de microrreservatórios em um loteamento de um município do interior do estado do Paraná. Os autores realizaram simulações para tempos de retorno de um, cinco e dez anos, identificando potenciais falhas no sistema de drenagem tradicional. Para mitigar o risco de alagamentos na região, foi proposta a adoção da referida técnica compensatória, a qual possibilitou a redução do pico de vazão em até 47%.

Essas verificações comprovam a eficácia das técnicas compensatórias na redução dos impactos causados por desastres hidrológicos, estimulando gestores e tomadores de decisão a desenvolver políticas públicas que incentivem a implementação desses sistemas, especialmente em áreas decorrentes de expansão urbana. Vale ressaltar que a escolha da técnica mais adequada para implantação pode variar conforme o regime de urbanização da região, a extensão da bacia, o tempo de retorno, além outros parâmetros que podem ser considerados relevantes ao estudo (Rodrigues; Santini Júnior, 2021).

V. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo teve como objetivo propor a implantação da técnica compensatória do reservatório de retenção em uma área propensa a inundações e alagamentos no município de Jaboatão dos Guararapes, em Pernambuco. A técnica compensatória proposta foi fundamentada no volume excedente de escoamento superficial produzido pelo efeito da urbanização na área de estudo, que considerou a diferença entre os volumes totais gerados pelos cenários pós-urbanização e pré-urbanização.

Os resultados obtidos indicaram que, com a implantação do sistema, para um evento chuvoso de 15 minutos de duração e um período de retorno de cinco anos, serão retidos 196,86 m³ de águas precipitadas na microbacia considerada. Esses resultados demonstram que a aplicação dos reservatórios de retenção é eficaz não apenas na redução do escoamento superficial, mas também na minimização dos transtornos causados por desastres hidrológicos na região.

Como sugestão para trabalhos futuros, é importante considerar a implementação de outras técnicas compensatórias de forma concomitante, como jardins de chuva, parques lineares, entre outras. Essas alternativas poderiam potencializar os efeitos positivos do sistema proposto e contribuir ainda mais para a gestão sustentável das águas pluviais.

Ressalta-se que os resultados estão condicionados às limitações dos dados disponíveis e às simplificações metodológicas adotadas, bem como à escala de análise restrita à microbacia, o que reforça a necessidade de estudos complementares que considerem a integração com o sistema de drenagem urbano e a validação empírica dos resultados.

Por fim, destaca-se a importância da realização de estudos como este, que subsidiam o planejamento urbano adequado e proporcionam soluções inovadoras para o desenvolvimento de cidades sustentáveis, promovendo a restauração dos ecossistemas urbanos e a mitigação de impactos ambientais.

VI. REFERÊNCIAS

- ABU-ZREIG, M.; FUJIMAKI, H.; ABD ELBASIT, M. A. Enhancing water infiltration through heavy soils with sand-ditch technique. *Water*, v. 12, n. 5, p. 1312, 2020. DOI: 10.3390/w12051312.
- ALMEIDA NETO, J. B. Determinação do potencial de acumulação de água nos solos do estado de Pernambuco. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru, 2019.
- ALVES, P. B. R.; AMANGUAH, E.; MCNALLY, D.; ESPINOZA, M.; GHAEDI, H.; REILLY, A. C.; HENDRICKS, M. D. Navigating the definition of urban flooding: a conceptual and systematic review of the literature. *Water Science & Technology*, v. 90, n. 10, p. 2796-2812, 2024. DOI: 10.2166/wst.2024.351.
- ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. Catálogo de Metadados ANA: Pedologia. Brasília, 2017. Disponível em: <https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/ffeb6007-b741-4099-9889-5d50b3cd4168>.
- APAC – AGÊNCIA PERNAMBUCANA DE ÁGUAS E CLIMA. Monitoramento pluviométrico. Recife, 2022. Disponível em: <http://old.apac.pe.gov.br/meteorologia/monitoramento-pluvio.php>.
- BALTACI, E.; KALIN, L. A low-impact development-based modeling framework for flood mitigation in a coastal community. *Water*, v. 16, p. 2772, 2024. DOI: 10.3390/w16192772.

BENINI, R. M.; MENDIONDO, E. M. Urbanização e impactos no ciclo hidrológico na bacia do Mineirinho. *Floresta e Ambiente*, v. 22, n. 2, p. 211-222, 2015. DOI: 10.1590/2179-8087.103114.

BEZERRA, J. M. V. O processo de urbanização e adensamento populacional no Recife-PE e o direito à moradia na Ilha de Deus. *Revista Brasileira de Estudos Organizacionais*, v. 9, n. 2, p. 351-368, 2022. DOI: 10.21583/2447-4851.rbeo.2022.v9n2.494.

CALZAVARA, S. F.; FERNANDEZ, O. V. Q. Uso e ocupação do solo e número de curva (CN) na bacia hidrográfica do córrego Matilde Cuê. *Geoingá*, v. 7, n. 1, p. 185-209, 2015. DOI: 10.4025/geoinga.v7i1.49290.

CIRIMINNA, D. et al. Numerical comparison of the hydrological response of different permeable pavements in urban area. *Sustainability*, v. 14, n. 9, p. 5704, 2022. DOI: 10.3390/su14095704.

COSTA, H. B. Perspectivas de rearranjo socioespacial a partir da produção imobiliária de alto padrão no bairro de Barra de Jangada – Jaboatão dos Guararapes – PE. 2019. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2019.

COUTINHO, R. Q.; SILVA, C. B. D.; GOMES, E. C.; ARAÚJO FILHO, J. C.; SILVA, B. Q. D. A semi-detailed survey of soils in the city of Jaboatão dos Guararapes – PE. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 17, n. 6, p. 4328-4355, 2024. DOI: 10.26848/rbgf.v17.6.p4325-4352.

CPRM – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. Atlas pluviométrico do Brasil. 1. ed. Porto Alegre: CPRM, 2014.

DIOGO, A. F.; CARMO, J. A. Peak flows and stormwater networks design. *Water*, v. 11, n. 4, p. 759, 2019. DOI: 10.3390/w11040759.

FERRAZ, C.; CASTAGNA, G. Guia prático de jardins de chuva para cidades. 1. ed. São Paulo: SOS Mata Atlântica, 2023.

FERREIRA, E. C.; CABRAL, J. J. S. P. Modeling and optimization of detention basins for cost minimization and flood mitigation. *Revista de Gestão Social e Ambiental*, v. 19, n. 1, e010683, 2025. DOI: 10.24857/rgsa.v19n1-016.

GUERZONI FILHO, J. Metodologia para determinação de volume de detenção em pequenas bacias urbanas. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2014.

GLAVAN, M.; CVEJIĆ, R.; ZUPANC, V.; KNAPIČ, M.; PINTAR, M. Agricultural production and flood control dry detention reservoirs. *Environmental Science & Policy*, v. 114, p. 394-402, 2020. DOI: 10.1016/j.envsci.2020.09.012.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Cadastro Nacional de Endereços para Fins Estatísticos (CNEFE): base de dados. Rio de Janeiro: IBGE, 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/38734-cadastro-nacional-de-enderecos-para-finsestatisticos.html>

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. IBGE Cidades: Jaboatão dos Guararapes. Rio de Janeiro, 2025. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br>.

JABOATÃO DOS GUARARAPES. Lei nº 973, de 16 de novembro de 2013. Diário Oficial do Município, Jaboatão dos Guararapes, 2013.

KEMPKA, M.; RIBEIRO, R. S.; BOSSE, R. M.; MARTINS, M. S. R.; RUBIO, M. R. B. Implementation of parcels of land micro-reservoirs. *Revista Brasileira de Ciência, Tecnologia e Inovação*, v. 9, n. 3, p. 252-266, 2024. DOI:

10.18554/rbcti.v9i3.8178.

KIM, J.; PARK, J.; CHA, S.; KWON, S. Applying low-impact development techniques. *Water*, v. 16, n. 19, p. 2837, 2024. DOI: 10.3390/w16192837.

KRAVCHENKO, M.; TRACH, Y.; TRACH, R.; TKACHENKO, T.; MILEIKOVSKIY, V. Improving the efficiency and environmental friendliness of urban stormwater management by enhancing the water filtration model in rain gardens. *Water*, v. 16, n. 10, p. 1316, 2024. DOI: 10.3390/w16101316.

LEMOS, T. D. P. Simulações temporais e estruturantes para o desempenho da drenagem urbana em microbacia de município de grande porte. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2021.

LIM, H. S.; SEGOVIA, E.; ZIEGLER, A. D. Water quality impacts of young green roofs in a tropical city: a case study from Singapore. *Blue-Green Systems*, v. 3, n. 1, p. 145-163, 2021. DOI: 10.2166/bgs.2021.007.

MELO, T. A. T.; COUTINHO, A. P.; CABRAL, J. J. S. P.; ANTONINO, A. C. D.; CIRILO, J. A. Jardim de chuva: sistema de biorretenção para o manejo das águas pluviais urbanas. *Ambiente Construído*, v. 14, n. 4, p. 147-165, 2014. DOI: 10.1590/S1678-86212014000400011.

MENDES, F. C.; ANDRADE, R. S. Scenarios for urban drainage on a Legal Amazon planned city: a case study in Palmas, Brazil. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 26, n. 3, p. 461-470, 2021. DOI: 10.1590/s1413-415220190019.

NICOLODELLI, P.; RIBEIRO, R. J. C. Processos geradores da ocupação informal: estudo de caso no município de Rio dos Cedros/SC. *Paranoá*, v. 16, n. 36, p. 1-24, 2023. DOI: 10.18830/issn.1679-0944.n36.2023.09.

NOLETO, R.; RODRIGUES, C. Análise crítica das técnicas compensatórias de drenagem urbana. *Revista Científica Semana Acadêmica*, v. 12, n. 242, p. 1-14, 2024. DOI: 10.35265/2236-6717-242-12889.

NUNES, A. A.; BAPTISTA, M. B.; PINTO, E. J. A.; ANJOS, J. M. M.; PEREIRA, J. A.; MARCIAL, V. J. Adaptability of the city of Belo Horizonte to changes in rainfall patterns: a case study of the Ressaca Stream Basin. *RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 28, e39, 2023. DOI: 10.1590/2318-0331.282320230053.

PARRA, G. G.; TEIXEIRA, B. A. N.; MASIERO, E.; RODRIGUES, T. B. M. Possibility of using compensatory urban drainage techniques as leisure units to explain public areas into subdivisions. *urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana*, v. 13, e20200208, 2021. DOI: 10.1590/2175-3369.013.e20200208.

PATERSON, D.; WRIGHT, H.; HARRIS, P. Health risks of flood disasters. *Clinical Infectious Diseases*, v. 67, p. 1450-1454, 2018. DOI: 10.1093/cid/ciy227.

PENNER, G. C.; MATOS, T. R.; ALMEIDA, H. S.; GONÇALVES, J. C. S. I.; GONÇALVES, M. M. Experimental determination of the time of concentration: Sapucajuba creek small watershed study. *Research, Society and Development*, v. 10, n. 6, e35210612757, 2021. DOI: 10.33448/rsd-v10i6.12757.

PEREIRA, M. T.; MIRANDA, Y. C. Análise de riscos de desastres hidrometeorológicos: abordagem metodológica aplicada a municípios de médio porte. *urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana*, v. 15, e20220150, 2023. DOI: 10.1590/2175-3369.015.e20220150.

PESSOA NETO, A. G.; SILVA, S. R.; BARBOSA, I. M. B. R. Mapeamento das áreas suscetíveis às inundações e aos alagamentos no município de Jaboatão dos Guararapes, Pernambuco. *Boletim de Geografia*, v. 40, p. 277-296, e63948, 2022. DOI: 10.4025/bolgeogr.v40.a2022.e63948.

PESSOA NETO, A. G.; SILVA, S. R.; BARBOSA, I. M. B. R. Proposição de implantação de técnica compensatória para manejo sustentável de águas pluviais urbanas no município de Jaboatão dos Guararapes, em Pernambuco. *Revista Geográfica Acadêmica*, v. 17, n. 2, p. 73-90, 2023a. Disponível em: <https://revista.ufrr.br/rga/article/view/7842>.

PESSOA NETO, A. G.; SILVA, S. R.; BARBOSA, I. M. B. R. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Duas Unas, em Pernambuco. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 16, n. 6, p. 3149-3167, 2023b. DOI: 10.26848/rbgf.v16.6.p3149-3167.

PORTO, R. L. L. escoamento superficial direto. In: TUCCI, C. E. M. (org.). *Drenagem urbana*. Porto Alegre: ABRH, 1995. p. 107-162.

QIN, Y. Urban flooding mitigation techniques: a systematic review and future studies. *Water*, v. 12, n. 12, p. 3579, 2020. DOI: 10.3390/w12123579.

RAMOS, M. C. L. S. Estudo geológico-geotécnico e análise da estabilidade de uma encosta localizada no bairro do Curado II no município de Jaboatão dos Guararapes – PE. 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2019.

RIBEIRO, L. C.; NUNES, A. A. Controle de escoamento superficial em uma bacia urbana com a utilização de telhado verde. *Brazilian Journal of Development*, v. 6, n. 10, p. 77297-77306, 2020. DOI: 10.34117/bjdv6n10-234.

RODRIGUES, G. C.; SANTINI JÚNIOR, M. A. Avaliação do emprego de técnicas compensatórias na sub-bacia urbana Ribeirão do Santa Rita do município de Fernandópolis, São Paulo. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 26, n. 2, p. 231-237, 2021. DOI: 10.1590/s1413-415220180251.

SANTOS, T. C. P.; SILVA, S. R.; LAFAYETTE, K. P. V. Avaliação de imóveis urbanos para desapropriação de área de preservação permanente em Barra de Jangada, Jaboatão dos Guararapes-PE. *Revista Políticas Públicas & Cidades*, v. 13, n. 2, e1385, 2024. DOI: 10.23900/2359-1552v13n2-354-2024.

SCHORN, F. A.; VIEIRA, R. Análises sobre a ocupação do solo em áreas urbanas de preservação permanente e suscetíveis à inundação: estudo de caso no Vale do Itajaí, SC. urbe. *Revista Brasileira de Gestão Urbana*, v. 15, e20220110, 2023. DOI: 10.1590/2175-3369.015.e20220110.

SCHWAB, G. O.; FANGMEIER, D. D.; ELLIOT, W. J.; FREVERT, R. K. *Soil and water conservation engineering*. 4. ed. New York: John Wiley & Sons, 1993.

SEINFRA – SECRETARIA DE INFRAESTRUTURA E RECURSOS HÍDRICOS DE PERNAMBUCO. *Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado de Pernambuco – PERH/PE*. Recife, 2022. Disponível em: <https://www.apac.pe.gov.br/bacias-hidrograficas>.

SILVA, G. C. G.; CAMPOS, P. C. O.; REIS, M. M.; PAZ, I. Spatiotemporal land use and land cover changes and associated runoff impact in Itaperuna, Brazil. *Sustainability*, v. 16, n. 1, p. 325, 2024. DOI: 10.3390/su16010325.

SILVA, J. S. *Desenvolvimento territorial e gestão de bacia hidrográfica: o caso da bacia do rio Jaboatão, Pernambuco*. 2013. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2013.

SILVA, L. G. *Tipologia das dinâmicas de urbanização na franja rural-urbana em Jaboatão dos Guararapes – Região Metropolitana do Recife*. 2010. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2010.

SILVA, M. L. A.; DUARTE, C. C. *Dinâmica climática, eventos extremos e impactos associados no município do*

Jaboatão dos Guararapes, Pernambuco, Brasil. Revista Brasileira de Geografia Física, v. 16, n. 2, p. 818-836, 2023. DOI: 10.26848/rbgf.v16.2.p818-836.

SHOLIAH, Q.; KUNCORO, W.; WAHYUNI, S.; SUWANDI, S.; FEDITASARI, E. The analysis of the causes of flood disasters and their impacts in the perspective of environmental law. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, v. 437, p. 012056, 2020. DOI: 10.1088/1755-1315/437/1/012056.

SOUZA, C. L. S. Análise do escoamento superficial de microbacia urbana no município de Campina Grande-PB. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2018.

SOUZA, F.; COSTA, M.; KOIDE, S. Hydrological modelling and evaluation of detention ponds to improve urban drainage system and water quality. Water, v. 11, n. 8, p. 1547, 2019. DOI: 10.3390/w11081547.

SOUZA, W. H. S.; OHNUMA JÚNIOR, A. A. Sustainable rainwater management with the use of compensatory urban drainage techniques: case study on the Maracanã Campus of the University of the State of Rio de Janeiro (UERJ). Revista de Gestão Social e Ambiental, v. 18, n. 3, e06774, 2024. DOI: 10.24857/rgsa.v18n3-139.

TANG, J.; LIU, D.; SHANG, C.; NIU, J. Impacts of land use change on surface infiltration capacity and urban flood risk in a representative karst mountain city over the last two decades. Journal of Cleaner Production, v. 454, p. 142196, 2024. DOI: 10.1016/j.jclepro.2024.142196.

TSUJI, T. M.; FREITAS, T. F. C.; PEREIRA, A. R.; UDA, P. K.; FINOTTI, A. R. Panorama dos instrumentos de planejamento e gestão da drenagem urbana no Brasil. Paranoá, v. 16, n. 34, p. 1-23, 2023. DOI: 10.18830/issn.1679-0944.n34.2023.14.

VEENEMA, T. G.; THORNTON, C. P.; LAVIN, R. P.; BENDER, A. K.; SEAL, S.; CORLEY, A. Climate change-related water disasters' impact on population health. Journal of Nursing Scholarship, v. 49, n. 6, p. 625-634, 2017. DOI: 10.1111/jnu.12328.

VICENTE, A.; FARIA, K.; FORMIGA, K. Sustainable drainage technologies under the sustainability tripod perspective. Sociedade & Natureza, v. 35, n. 1, e66919, 2023. DOI: 10.14393/sn-v35-2023-66919.

WANDERLEY, L. S. de A.; NÓBREGA, R. S.; DUARTE, C. C.; MOREIRA, A. B.; ANJOS, R. S. Weather types associated with daily intense rainfall events in the city of Recife – PE, Brazil. Sociedade & Natureza, v. 33, e60520, 2021. DOI: 10.14393/SN-v33-2021-60520.