

XXIV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

A CONTRIBUIÇÃO DA ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE PERNAMBUCO NO MANEJO DAS ÁGUAS PLUVIAIS URBANAS DO RECIFE

Marcos Antonio Barbosa da Silva Junior¹; Alisson Caetano da Silva²; Moacyr Magalhães Cavalcanti Neto³; Wrias Elmon Firmino Lino⁴; Simone Rosa da Silva⁵; Jaime Joaquim da Silva Pereira Cabral⁶ & Willames de Albuquerque Soares⁷

Resumo – Nos últimos anos, a comunidade acadêmica tem contribuído bastante com importantes pesquisas científicas na busca por soluções alternativas e sustentáveis para os alagamentos no Recife. Neste sentido, a Escola Politécnica da Universidade de Pernambuco – POLI/UPE, através do grupo de pesquisa “AquaPOLI”, vem desenvolvendo trabalhos acadêmicos que avaliam os impactos da urbanização sobre o ciclo hidrológico e propõem soluções viáveis para a redução dos alagamentos em áreas críticas da cidade. Como forma de divulgar a contribuição da POLI/UPE nesse quesito, este artigo apresenta oito estudos de caso desenvolvidos em pesquisas de dissertações, entre os anos de 2014 e 2020, abordando três temáticas: técnicas compensatórias, modelagem matemática e manutenção. Espera-se que os estudos realizados possam orientar as tomadas de decisões sobre a melhoria e modernização do sistema de drenagem do Recife, com base nos novos paradigmas da drenagem urbana sustentável.

Palavras-Chave – Técnicas compensatórias, Modelagem matemática, Manutenção.

THE CONTRIBUTION OF POLYTECHNIC SCHOOL OF PERNAMBUCO UNIVERSITY IN THE MANAGEMENT OF URBAN RAINWATER IN RECIFE

Abstract – In recent years, the academic community has contributed a lot with important scientific research in the search for alternative and sustainable solutions for flooding in Recife. In this sense, the Polytechnic School of Pernambuco University – POLI/UPE, through the “AquaPOLI” research group, has been developing academic papers that assess the impacts of urbanization on the hydrological cycle and propose viable solutions to reduce flooding in critical areas of the city. As a way to publicize the contribution of POLI/UPE in this regard, this article presents eight case studies developed in dissertation research, between the years 2014 and 2020, addressing three themes: compensatory techniques, mathematical modeling and maintenance. It is hoped that the studies carried out can guide decisions on the improvement and modernization of Recife's drainage system, based on the new paradigms of sustainable urban drainage.

Keywords – Compensatory techniques, Mathematical modeling, Maintenance.

INTRODUÇÃO

O manejo das águas pluviais urbanas promove, em uma área urbanizada, um comportamento aproximado às condições hidrológicas de pré-desenvolvimento, através do uso de novas alternativas integradas ao sistema de drenagem urbana existente. Essas alternativas são conhecidas como técnicas

1) Doutorando em Engenharia Civil (Recursos Hídricos) pela Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, marcos15barbosa@hotmail.com.

2) Doutorando em Engenharia Civil (Recursos Hídricos) pela Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, alissoncaetadodasilva@hotmail.com

3) Doutorando em Engenharia Civil (Recursos Hídricos) pela Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, moacyr_al@hotmail.com

4) Mestre em Engenharia Civil pela Universidade de Pernambuco – UPE, wrias.lino@hotmail.com

5) Professora Associada da Universidade de Pernambuco – UPE, simonerosa@poli.br

6) Professor Titular da Universidade Federal de Pernambuco – UFPE e Associado da Universidade de Pernambuco – UPE, jcabral@ufpe.br

7) Professor Associado da Universidade de Pernambuco – UPE, was@poli.br

compensatórias, ambientais ou sistemas não convencionais para a drenagem urbana, e estão inseridas no conceito de Desenvolvimento de Baixo Impacto (*Low Impact Development* - LID) e Boas Práticas de Manejo (*Best Management Practices* - BMP's) (BAPTISTA *et al.*, 2011; MELO *et al.*, 2013).

O uso de técnicas compensatórias minimiza os efeitos da urbanização, diminui os volumes de escoamento e vazões a jusante, maximiza o controle na fonte, resgata os processos envolvidos no ciclo hidrológico e potencializa o controle da qualidade das águas e a recarga de aquíferos (MELO *et al.*, 2013). Em linhas gerais, para avaliar o funcionamento dessas técnicas integradas à infraestrutura de drenagem existente, recorre-se a simulações em modelos hidrológicos e hidráulicos. A partir deles, é possível criar cenários e simular eventos hidrológicos para avaliar as consequências da implantação das medidas de controle (DECINA e BRANDÃO, 2016).

Essas novas abordagens, que promoveram uma mudança de paradigmas no setor da drenagem urbana, foram bastante impulsionadas por universidades, que têm tido papel relevante na divulgação científica dessas técnicas/soluções para atores importantes da sociedade: população, administradores públicos, técnicos e empreiteiras do setor de saneamento.

Nesse sentido, este trabalho tem por objetivo apresentar a contribuição da Escola Politécnica da Universidade de Pernambuco – POLI/UPE, através do grupo de pesquisa “AquaPOLI”, para o manejo das águas pluviais urbanas do Recife, desenvolvendo trabalhos acadêmicos que avaliam os impactos da urbanização sobre o ciclo hidrológico e propõem soluções viáveis para a redução dos alagamentos em áreas críticas da cidade.

O RECIFE E O MANEJO DAS ÁGUAS PLUVIAIS URBANAS

O Recife é uma cidade costeira e estuarina, localizada na Região Nordeste do Brasil, capital de Pernambuco, com território plano, de baixas cotas, bastante urbanizado e frequentemente afetado por alagamentos nos períodos de chuva intensa e por oscilações diárias de marés. Tem área territorial de 218,84 km² e população estimada, em 2020, de 1.653.461 hab. O clima é predominantemente quente, com temperatura média de 25°C, precipitação média anual de 2.447 mm e umidade relativa média anual de 80% (PERNAMBUCO, 2011; RECIFE, 2017; IBGE, 2020).

Essas características geográficas e urbanísticas colocam o Recife como a 16ª cidade do mundo mais vulnerável às mudanças climáticas (PBMC, 2016), em especial, à elevação do nível do mar (COSTA *et al.*, 2010) e ao aumento na ocorrência de chuvas intensas (SILVA JUNIOR *et al.*, 2020a). Tal situação acende um sinal de alerta, uma vez que com o cenário climático atual, a gestão municipal já tem dificuldade em lidar com os problemas de drenagem existentes (SILVA JUNIOR *et al.*, 2020b).

O gerenciamento das águas pluviais urbanas do Recife é feito pela EMLURB (Autarquia de Manutenção e Limpeza Urbana) e tal órgão está vinculado, atualmente, a Secretaria de Infraestrutura e Serviços Urbanos da Prefeitura do Recife. Como principal atribuição do órgão, tem-se os serviços de manutenção e limpeza da macro e microdrenagem da cidade. O Plano Diretor de Drenagem e Manejo das Águas Urbanas da Cidade do Recife - PDDR (EMLURB, 2016), concluído em 2016, mapeou 159 pontos de alagamentos (a maior parte situado no eixo viário), catalogados pela EMLURB como os mais críticos. Desse total, Lafayette *et al.* (2018) relatam que em 4 anos (2013-2017) foram solucionados 71 pontos críticos de alagamento, realizando, apenas, serviços de limpeza e pequenas obras de reparo e substituição das redes de drenagem (manutenção corretiva), custando aos cofres públicos R\$ 17,14 milhões. Ainda de acordo com os autores, para efetuar a limpeza de toda a microdrenagem no período de 4 anos, seria necessário aumentar em 4 vezes a mobilização atual das equipes de limpeza, resultando num aporte de R\$ 125,6 milhões.

Além dos serviços de manutenção e reparo da infraestrutura de drenagem urbana da cidade, relacionados às medidas estruturais, intervenções importantes já foram executadas pela EMLURB, a saber: o sistema de bombeamento e de comportas no canal Derby-Tacaruna; a drenagem forçada na Av. Dom Hélder, no bairro do IPSEP; e o reservatório de retenção sob logradouro de 200 m³ entre as Ruas Santo Elias e Conselheiro Portela, no bairro do Espinheiro (SILVA JUNIOR *et al.*, 2020c).

Somada a importância do PDDR, como medidas não-estruturais, ressalta-se a Lei Municipal Nº 18.112 (RECIFE, 2015), em vigência desde 2015, que obriga a instalação de "telhado verde" e/ou a

construção de reservatórios para controle do escoamento em novas edificações com áreas de lotes $\geq 500 \text{ m}^2$. Além destes instrumentos de gestão, a comunidade acadêmica tem contribuído bastante com importantes pesquisas científicas na busca por viáveis soluções alternativas e sustentáveis para os problemas de alagamentos no Recife (SILVA JUNIOR *et al.*, 2020b).

O GRUPO AQUAPOLI

O AquaPOLI é um grupo de pesquisa e extensão em recursos hídricos, composto por docentes e discentes de graduação e pós-graduação da Escola Politécnica da Universidade de Pernambuco (POLI/UPE), além de diversos colaboradores externos à UPE. Está vinculado ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da UPE (PEC-UPE) e conta com a parceria da EMLURB, APAC e COMPESA. Foi idealizado em 2013 com o propósito de desenvolver pesquisas na área dos recursos hídricos, dedicando-se, a priori, à linha de “conservação da água”. Em 2014 incorporou a linha de pesquisa em “drenagem urbana” e, desde então, vem desenvolvendo trabalhos acadêmicos que apontam soluções para o manejo eficiente das águas urbanas no Recife. Em 2016, o grupo de pesquisa foi cadastrado no Diretório de Grupos de Pesquisa do CNPq como “AquaPOLI – Águas nas Cidades” e, atualmente, conta com 37 membros (entre docentes, discentes de graduação e pós-graduação, e colaboradores externos). Os trabalhos desenvolvidos pelo grupo (artigos científicos, livros, capítulos de livros, monografias de graduação e dissertações de mestrado) estão disponíveis via website, pelo endereço eletrônico: <http://aquapoli.poli.br/>.

Na linha de “drenagem urbana”, o grupo já possui oito estudos concluídos (até junho de 2021) que avaliaram os impactos da urbanização sobre o ciclo hidrológico e propuseram soluções viáveis para atenuação de alagamentos em áreas críticas do Recife. Os estudos, realizados por pesquisadores do AquaPOLI e vinculados ao PEC-UPE, resultaram em dissertações de mestrado, que se desdobraram, posteriormente, em capítulos de livros e/ou artigos científicos. No âmbito da graduação, pesquisas na temática de “drenagem urbana” vêm sendo desenvolvidas em Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) ou Iniciação Científica (IC) e, geralmente, versam sobre o impacto hidrológico da impermeabilização do solo e/ou adoção de técnicas compensatórias.

Nos últimos anos, pesquisas experimentais que avaliam a eficiência de técnicas compensatórias no controle de alagamentos têm ganhado força no AquaPOLI, que passou a contar, também, com a parceria de outros grupos de pesquisas vinculados à POLI/UPE (DESS - Desenvolvimento Seguro e Sustentável e AMBITEC - Grupo de Pesquisa de Engenharia Aplicada ao Meio Ambiente). Inclusive, a própria instituição de ensino, a POLI/UPE, que se encontra situada em área sujeita a alagamentos, tem servido de campo experimental para pesquisas (que estão em andamento) sobre jardim de chuva e pavimento permeável (Figura 1). Essas pesquisas, além de avaliarem a diminuição do escoamento superficial para atenuar alagamentos (dispondo de monitoramento contínuo de chuva e nível d'água em piezômetros), testam a reutilização de materiais alternativos na construção de suas técnicas, como o Resíduo da Construção e Demolição (RCD).

Figura 1 – Jardim de chuva: 2,00 x 3,00 m (a); e pavimento intertravado permeável em 2 vagas de estacionamento (b).



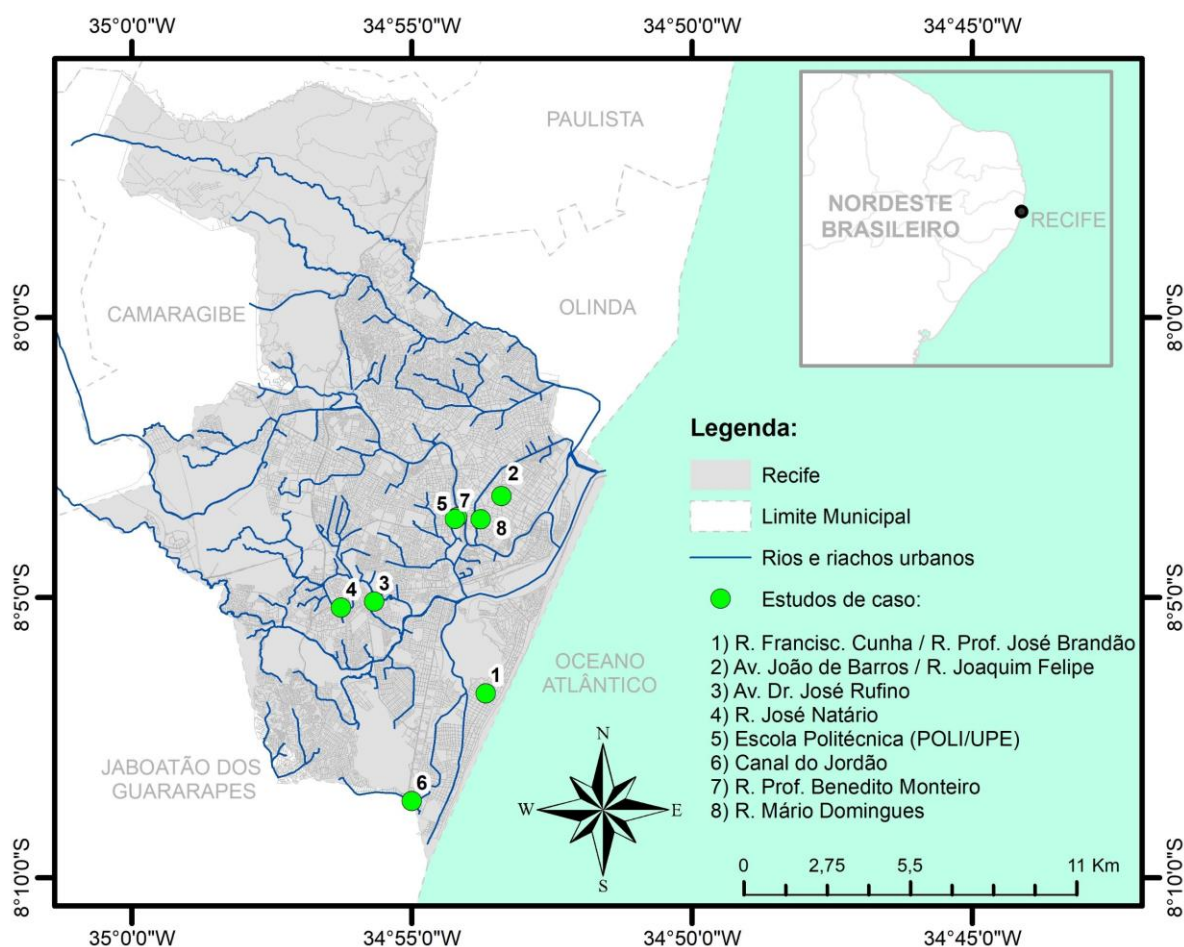
Créditos: Edenia Nascimento Barros e Ana Karla Batista da Silva.

ESTUDOS COM ALTERNATIVAS PARA AS ÁGUAS PLUVIAIS URBANAS DO RECIFE

Os oito estudos foram desenvolvidos entre os anos de 2014 e 2020. É importante frisar que tais estudos, apresentados neste artigo, foram desenvolvidos durante pesquisas com fins acadêmicos para dissertações. Os estudos modelaram macro e microdrenagem, além de avaliarem técnicas específicas de drenagem para a solução de alagamentos. De maneira complementar a tais estudos, menciona-se o trabalho de Souza (2019) e Souza *et al.* (2019) que, apesar de não ter estudado uma técnica de drenagem em específico, avaliou a capacidade de infiltração em nove praças próximas a pontos críticos de drenagem do Recife, verificando o quanto poderiam reduzir os alagamentos. O mapa da Figura 2 espacializa, no território recifense, os locais dos estudos de caso elaborados pelo AquaPOLI. Em linhas gerais, as pesquisas contemplam três temáticas principais na linha de “drenagem urbana”, a saber:

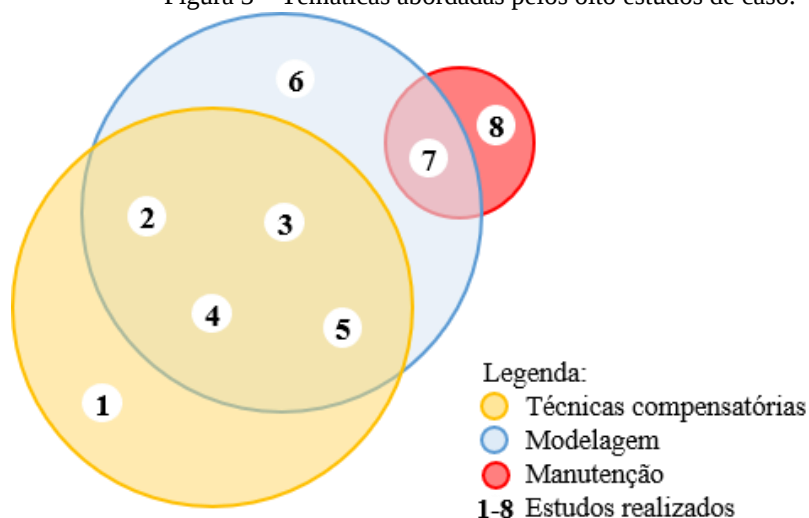
- Técnicas compensatórias – uso de medidas para controle de alagamentos em áreas urbanizadas, como: reservatório de detenção sob logradouros, telhado verde, bacia de detenção/infiltração;
- Modelagem matemática – modelagem de redes de macro e microdrenagem e simulação de medidas compensatórias utilizando softwares como: SWMM ou PCSWMM (1D), Hydrus (1D), HEC-RAS (2D); e
- Manutenção – reabilitação do sistema de drenagem a partir da desobstrução da rede e da adequação de infraestrutura de microdrenagem.

Figura 2 – Mapeamento dos oito estudos de caso elaborados pelo grupo AquaPOLI.



Na maioria das pesquisas desenvolvidas, as temáticas foram combinadas conforme a Figura 3 e os estudos, listados nos próximos tópicos em ordem cronológica de elaboração, foram categorizados da seguinte forma: 1 “técnicas compensatórias”; 2, 3, 4 e 5 “técnicas compensatórias e modelagem”; 6 “modelagem”; 7 “modelagem e manutenção”; e 8 “manutenção”.

Figura 3 – Temáticas abordadas pelos oito estudos de caso.



1) Moura (2014); Moura e Silva (2015); Moura e Silva (2018):

Moura (2014) avaliou o processo de impermeabilização de solo urbano com área de 78,54 ha, susceptível a alagamentos no bairro de Boa Viagem, zona Sul do Recife. Para isso, foram comparadas imagens de satélite datadas de 1975 e 2007, e a partir de software GIS e AutoCAD Map 3D foi feita a classificação de imagem considerando 4 categorias: solo permeável, solo impermeável (lotes), solo impermeável (vias) e água. Após isso, a área impermeabilizada calculada para cada ano (1975 e 2007) foi convertida em coeficiente de escoamento superficial (C). Como resultados, a autora verificou que para o ano de 1975, o C era de 0,37, e para o ano de 2007, o C era de 0,73. Esses valores demonstram um aumento de quase 100% no escoamento superficial comparando os anos analisados, impactando bastante a drenagem das águas pluviais no local. Para atenuar os efeitos dessa impermeabilização excessiva, a autora avaliou a implantação de técnicas de drenagem urbana sustentáveis utilizadas na Europa e na Austrália, descritas em seus manuais WSUD (*Water Sensitive Urban Design*) e SUDS (*Sustainable Urban Drainage Systems*), respectivamente.

2) Silva Junior (2015); Silva Junior et al. (2017):

Silva Junior (2015) estudou um ponto de alagamento num eixo viário do bairro da Soledade, mais especificamente no cruzamento da Av. João de Barros com a Rua Joaquim Felipe. Segundo o autor, em períodos de chuva intensa combinados com maré alta, os alagamentos locais chegavam a 30 cm de altura (acima do nível da calçada), dificultando o tráfego de veículos e pedestres (Figura 4).

Figura 4 – Período seco (a) e período chuvoso (TR 2 anos; 107,60 mm – junho de 2014) (b).



Fonte: Silva Junior (2015).

Para a área estudada, foi simulada no modelo hidrológico-hidráulico SWMM (*Storm Water Management Model*), a implantação de um reservatório de retenção sob logradouro, com capacidade total de armazenamento de 560 m³, dotado de dispositivos de controle (orifício e vertedor). Essa

estrutura de drenagem foi idealizada para situar-se abaixo do pavimento e é caracterizada como reservatório de retenção online, ou seja, encontra-se localizada na linha principal da rede e restitui o escoamento de forma atenuada e retardada ao sistema de drenagem à jusante, de maneira contínua, por gravidade (SILVA JUNIOR *et al.*, 2017).

Na modelagem hidrológica, foram simulados dois eventos de chuva registrados em junho de 2014 (107,60 mm) e maio de 2013 (150,80 mm), com tempos de retorno (TR) calculados de 2 e 5 anos, respectivamente. Na modelagem hidráulica dos condutos, foi considerado o remanso das marés no exutório do sistema, situado no rio Capibaribe, com picos máximos de 2,20 m (sizígia) e 1,80 m (quadratura). Na simulação do reservatório on-line a rede existente, foi notada a redução do volume inundado, com decréscimo de 38%, e consequente redução da vazão de pico para chuvas com TR de 5 anos. Em chuvas com TR de 2 anos, o reservatório seria satisfatório, não apresentando alagamentos.

3) Oliveira (2017); Silva *et al.* (2020):

Oliveira (2017) estudou um ponto de alagamento na bacia do rio Jiquiá, situado na divisa entre os bairros do Jiquiá e Estância, mais especificamente no cruzamento entre a Av. Doutor José Rufino e a Rua João Teixeira. Para o local, a autora também simulou um reservatório de retenção sob logradouro (online em relação à rede existente) com volume de armazenamento de 740 m³, obtido pelo método das chuvas (BAPTISTA *et al.*, 2011) e ajustado às condições locais e limitações de área. Para avaliar o desempenho da estrutura de drenagem, foram feitas simulações no modelo hidrológico-hidráulico, o SWMM, considerando eventos de chuva com TR de 2 anos e pico de maré de 2,30 m. Comparando as situações sem reservatório de retenção e com controle de vazão, foi observada uma redução de 63,85% dos valores de pico de vazão na rede de drenagem à jusante do reservatório.

Analisando a relação entre vazão afluente e efluente ao reservatório, foi verificado que 43,7% do volume afluente ao reservatório é armazenado. Para os dias de chuva intensa analisados (TR de 2 anos), o reservatório apresentou uma capacidade percentual de acumulação de 45% da vazão de montante ao ponto crítico de alagamento, resultando em um amortecimento das vazões no sistema de drenagem à jusante.

4) Parisi (2019); Parisi *et al.* (2020):

Parisi (2019) analisou a capacidade de infiltração do solo de um terreno de 9.000 m² do bairro de Areias (Zona Oeste do Recife), numa área com problemas de alagamentos, visando a implantação de uma bacia de retenção. Para isso, a autora utilizou o Hydrus 1D para analisar a dinâmica da água no solo do terreno da bacia de retenção, sob condição de eventos de precipitação pluviométrica; e o SWMM para avaliar o impacto da implantação da bacia de retenção associada à rede de drenagem da área, que contribui para o alagamento no ponto crítico estudado. Os resultados dos ensaios em amostras de solo (coletadas *in loco*) e das simulações no Hydrus-1D mostraram que as propriedades físicas do solo do terreno destinado à implantação da bacia de retenção, possui uma boa capacidade de infiltração. As simulações hidrológica e hidráulica no SWMM mostraram consideráveis reduções de picos de vazão na rede, com a associação da bacia de retenção. Desse modo, a autora concluiu que o terreno estudado era viável, hidrologicamente, para a implantação de uma bacia de retenção.

5) Souza (2019):

Souza (2019) avaliou a redução do volume de água escoado superficialmente com o uso de Telhados Verdes. Para esta avaliação, foi implantado um protótipo de Telhado Verde (executado em balde de 60 cm de diâmetro) e um protótipo de pluviômetro (Figuras 5b e 5c) na cobertura do Bloco J da Escola Politécnica da Universidade de Pernambuco (POLI/UPE), coletando-se os dados de volume de água precipitado, escoado e absorvido. Para a configuração das camadas de substrato do protótipo de Telhado Verde, usou-se, como modelo, um Telhado Verde Real (Figura 5a) construído em edifício próximo a universidade. A partir da coleta dos dados, o estudo promoveu simulações no software Hydrus-1D a fim de determinar o perfil geotécnico ótimo em Telhados Verdes no Recife, focando na retenção do escoamento superficial. Como resultado, verificou-se que o telhado teve a

capacidade de retenção de 26,79% de toda água precipitada durante o período estudado. No entanto, as simulações mostraram que o perfil geotécnico do substrato orgânico que representa maior retenção, é muito diferente do solo utilizado em obra do Telhado Verde Real. Baseado nisso, o autor destaca que o modelo de perfil geotécnico, definido em pesquisa, pode servir de dado complementar para ser usado por construtoras na construção de telhados verdes em edificações, possibilitando reduzir os problemas de escoamento superficial no Recife.

Figura 5 – Telhado Verde Real (a), Telhado Verde Protótipo (b) e Pluviômetro Protótipo (c).



Fonte: Souza (2019).

6) Cavalcanti Neto (2020):

Cavalcanti Neto (2020) estudou as consequências na macrodrenagem do canal do rio Jordão, em virtude de eventos de chuvas intensas e impactos das marés de sizígia. Com a implementação de um modelo hidráulico-hidrológico 1D (PCSWMM), foi simulado um evento chuvoso com TR de 2 anos e uma maré de sizígia (2,70 m) como condição de contorno, onde foi possível avaliar a influência da maré no desempenho hidrodinâmico do canal. O autor verificou que mesmo em dia sem chuva, no horário da maré mais alta, sua seção é completamente preenchida afogando as galerias pluviais que ali deságuam, onde cerca de 3.900 m de extensão do canal, aproximadamente 50% dele, sofre com a influência da maré.

Para a calibração e validação do modelo hidráulico-hidrológico 1D, foi utilizado um sistema de Circuito Fechado de TV (CFTV) para a coleta dos dados, que registrou em vídeo (variabilidade temporal) a variação do nível d'água (variabilidade espacial) durante um evento chuvoso. Para isso, uma régua foi pintada na parede do canal, com marcações a cada 5 cm, para que durante a ocorrência do evento chuvoso, fosse possível verificar a altura d'água atingida (Figura 6).

Figura 6 – Registro da altura d'água máxima no canal do Jordão, através de CFTV, para a chuva de 14/08/2019.



Fonte: Cavalcanti Neto (2020).

Um modelo hidráulico 2D (HEC-RAS) também foi utilizado para elaborar mapas de áreas de inundação e de perigo para TRs de 2, 25 e 50 anos. A modelagem e o desenvolvimento dos mapas permitiram identificar as áreas sujeitas à ocorrência de inundação e os seus perigos inerentes. Desse modo, pôde-se observar a ocorrência de transbordamento da calha em vários pontos do canal, para todos os cenários dos tempos de retorno simulados, causando inundações em edificações, ruas e avenidas às margens do canal, tendo como maior ocorrência, os perigos de danos às propriedades e insegurança para os veículos. Por fim, o autor destaca que os bairros de Boa Viagem, Imbiribeira e Piedade, que aparecem como regiões de grande concentração de renda, foram os que apresentaram as maiores áreas de ocorrência de inundação.

7) Silva (2018); Silva *et al.* (2020):

A ausência de manutenção periódica, sobretudo nos sistemas de microdrenagem, tem sido um dos fatores causadores dos alagamentos nos centros urbanos. Medidas que visem à reabilitação desses sistemas são necessárias e garantem a eficiência hidráulica de toda a rede. Neste sentido, Silva (2018) avaliou o efeito da manutenção preventiva no desempenho hidráulico da rede de microdrenagem da Rua Prof. Benedito Monteiro, no bairro da Madalena, que apresenta pontos de alagamento. Tal análise foi subsidiada pelas simulações hidrológico-hidráulicas de dois eventos de chuva com TRs de 2 e 10 anos, usando o SWMM e comparando os cenários de pré e pós-manutenção. Os resultados mostraram que para o evento chuvoso de 2 anos, a redução do volume de alagamento seria de 80,65%, enquanto que para o evento de 10 anos, a redução seria de 61,93%.

Em linhas gerais, o autor constatou que medidas simples de manutenção já seriam suficientes para evitar os alagamentos críticos. Desse modo, foram realizados, em parceria com a EMLURB, os serviços de inspeção, limpeza, desobstrução e obras de reparo nas galerias, canaletas, poços de visita e bocas de lobo, numa extensão aproximada de 0,50 km de rede de microdrenagem (Figura 7).

Figura 7 – Limpeza e desobstrução da rede (a) e construção de poço de visita (b).



Fonte: Silva (2018).

8) Lino (2020):

Visando reduzir obstruções no sistema de drenagem e diminuir pontos de alagamentos, Lino (2020) avaliou a padronização, dimensões, resistência e capacidade de captação hídrica das bocas de lobo no Recife. Em campo, o autor levantou condições atuais, dimensões e manifestações patológicas de 173 bocas de lobo em diferentes localidades. Para a padronização, um modelo do tipo guia chapéu (Figura 8) com pilaretes alongados foi sugerido, utilizado e avaliado em algumas unidades de bocas de lobo construídas na Rua Mário Domingues (Figura 2), no bairro da Boa Vista, em Recife.

Os resultados indicaram divergências nas dimensões, demonstrando falta de padronização dos equipamentos e, pelo menos, 13 tipos de manifestações patológicas foram identificados, sendo as mais comuns: o acúmulo de sedimentos e de vegetação ao acesso da boca coletora, degradação das tampas, obstrução por resíduos e desmoronamento da soleira ou apoios. O autor verificou que o uso de uma guia bem projetada e padronizada eliminou o risco da patologia do tipo “esmagamento da boca de lobo” para carros de passeio, utilitários e caminhões leves. Os ensaios de captação mostraram que, mesmo utilizando um modelo de guia padronizado, variações na altura em passeios, ocasionam

mudanças nas dimensões de entrada destas estruturas hídricas, alterando a vazão captada entre bocas de lobo padronizadas e assentadas no mesmo logradouro. Ainda segundo o autor, essas divergências na captação podem comprometer a eficiência dos projetos de drenagem.

Figura 8 – Modelo encontrado nas ruas de Recife (a) e modelo proposto de guia chapéu (b).



Fonte: Lino (2020).

CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS

As problemáticas enfrentadas pelo Recife em épocas de chuvas intensas tem motivado, cada vez mais, pesquisas científicas voltadas à temática de drenagem urbana, buscando soluções viáveis e sustentáveis para os pontos de alagamentos da cidade. Nesse contexto, a POLI/UPE, tradicionalmente fortalecida na área de “construção civil”, nos últimos anos tem ganhado espaço na área dos “recursos hídricos e drenagem urbana”, produzindo trabalhos acadêmicos que esclarecem questões técnicas e básicas de hidrologia e hidráulica urbana para a população e servem de subsídios aos setores/órgãos importantes do município para a implementação de soluções em pontos críticos.

Espera-se a continuidade das pesquisas no intuito de disseminar os conhecimentos adquiridos, para que a sociedade se engaje e participe das decisões sobre as intervenções na cidade, na busca pela melhoria e modernização da rede de drenagem do Recife focando nas novas abordagens da drenagem urbana sustentável. Dessa forma, a POLI/UPE além de cumprir com o seu papel na formação de profissionais de engenharia civil na área de drenagem, contribui também com propostas de soluções viáveis para a atenuação dos alagamentos na cidade.

AGRADECIMENTOS

À Autarquia de Manutenção e Limpeza Urbana - Emlurb. À Fundação de Amparo à Ciência do Estado de Pernambuco (FACEPE) pela concessão da bolsa de doutorado do primeiro autor.

REFERÊNCIAS

- BAPTISTA, M.B.; NASCIMENTO, N.O.; BARRAUD, S. (2011). *“Técnicas Compensatórias em Drenagem Urbana”*. 2º ed. Porto Alegre: ABRH. 318 p.
- CAVALCANTI NETO, M.M. (2020). *“Modelagem hidráulica-hidrológica do canal do rio Jordão em Recife levando em conta a urbanização e o efeito da maré”*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola Politécnica, Universidade de Pernambuco, Recife, 126 f.
- COSTA, M.B.S.F.; MALLMANN, D.L.B.; PONTES, P.M.; ARAÚJO, M. (2010). *“Vulnerability and impacts related to the rising sea level in the Metropolitan Center of Recife, Northeast Brazil”*. Pan-American Journal of Aquatic Sciences 5 (2), pp. 341-349.
- DECINA, T.G.T.; BRANDÃO, J.L.B. (2016). *“Análise de desempenho de medidas estruturais e não estruturais de controle de inundações em uma bacia urbana”*. Revista Engenharia Sanitária e Ambiental 21 (1), pp. 207-217.
- EMLURB (2016). Empresa de Manutenção e Limpeza Urbana. *“Plano Diretor de Drenagem e Manejo das Águas Urbanas do Recife”* (Relatório do diagnóstico do sistema de drenagem existente). Recife. 333p.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2020). *“Estimativa populacional do Recife em 2020”*. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/pe/caruaru.html>>. Acesso em: 20 de maio de 2021.

- LAFAYETTE, F.B.; SILVA, M.D.; MONTENEGRO, S.M.G.L.; SILVA, P.O.; GUSMÃO, R.D. (2018). “Plano de gestão da manutenção da rede de drenagem da cidade do Recife” in Anais do XIV Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, Maceió, Nov. 2018, pp. 1-10.
- LINO, W.E.F. (2020). “Avaliação hidráulica e estrutural de bocas de lobo na cidade do Recife-PE”. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola Politécnica, Universidade de Pernambuco, Recife, 87 f.
- MELO, T.A.T.; COUTINHO, A.P.; CABRAL, J.J.S.P.; CIRILO, J.A.; ANTONINO, A.C.D. (2013). “Desafios para o manejo das águas pluviais na cidade do Recife – contribuição da UFPE” in Anais do XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Bento Gonçalves, Nov. 2013, pp. 1-8.
- MOURA, E.F.S. (2014). “Estudo do grau de impermeabilização do solo e propostas de técnicas de drenagem urbana em área do Recife-PE”. Dissertação (Mestrado Profissional em Tecnologia Ambiental) - Associação Instituto de Tecnologia de Pernambuco – ITEP, Recife, 92 f.
- MOURA, E.F.S.; SILVA, S.R. (2015). “Estudo do grau de impermeabilização do solo e propostas de técnicas de drenagem urbana sustentável em área do Recife – PE”. Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades 3 (15), pp. 78-93.
- MOURA, E.F.S.; SILVA, S.R. (2018). “Estudo do grau de impermeabilização do solo e propostas de técnicas de drenagem urbana sustentável em área do Recife”, in *Drenagem urbana: soluções alternativas sustentáveis*. Org. por Ottoni, A.B.; Rosin, J.A.R.G. e Foloni, F.M., Editora ANAP, Tupã-SP, pp. 31-42.
- OLIVEIRA, R.L.M. (2017). “Alternativas compensatórias para drenagem urbana em ponto crítico da Cidade do Recife-PE”. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola Politécnica, Universidade de Pernambuco, Recife, 101 f.
- PARISI, S.A. (2019). “Análise da capacidade de infiltração para atenuação de alagamento em um ponto na cidade do Recife”. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola Politécnica, Universidade de Pernambuco, Recife, 151 f.
- PARISI, S.A.; SOARES, W.A.; ROSA FILHO, C.D. (2020). “Análise da capacidade de infiltração para atenuação de alagamento em um ponto crítico na cidade do Recife”. Águas Subterrâneas 34 (2), pp. 236-249.
- PBMC (2016). “Impacto, vulnerabilidade e adaptação das cidades costeiras brasileiras às mudanças climáticas: Relatório Especial do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas”. Rio de Janeiro-RJ, 184 p.
- PERNAMBUCO (2011). Secretaria de Meio Ambiente e Sustentabilidade. “Plano Estadual de Mudanças Climáticas”. Recife, 2011. 94 p.
- RECIFE (2015). “Lei Nº 18.112, de 12 de janeiro de 2015”. Institui sobre a obrigatoriedade de instalação do telhado verde e construção de reservatórios de acúmulo ou de retardo do escoamento das águas pluviais em novas edificações no Recife. Disponível em: <<http://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=280138>>. Acesso em: 15 de abr. 2020.
- RECIFE (2017). Secretaria de Meio Ambiente e Sustentabilidade. “Projeto Pegada de Cidades: Inventário de Emissão de Gases de Efeito Estufa (2012-2015) e Pegada Hídrica (2015) do Recife”. Recife, 2017.
- SILVA, A.C. (2018). “Modelagem hidrológica-hidráulica para atenuação de alagamentos no entorno da Escola Politécnica de Pernambuco”. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola Politécnica, Universidade de Pernambuco, Recife, 101f.
- SILVA, A.C.; SILVA JUNIOR, M.A.B.; SILVA, S.R.; CABRAL, J.J.S.P. (2020). “Os efeitos da manutenção preventiva no desempenho hidráulico de um sistema de drenagem urbana do Recife – PE”. Revista DAE 68 (225), pp. 149-166.
- SILVA, S.R.; SILVA JUNIOR, M.A.B.; OLIVEIRA, R.L.M. (2020). “Modelagem computacional de reservatório de retenção sob logradouro: uma alternativa para controle de alagamentos em área densamente urbanizada do Recife/PE”. Revista DAE 68 (226), pp. 196-212.
- SILVA JUNIOR, M.A.B. (2015). “Alternativas compensatórias para controle de alagamentos em localidade do Recife-PE”. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola Politécnica, Universidade de Pernambuco, Recife, 154 f.
- SILVA JUNIOR, M.A.B.; SILVA, S.R.; CABRAL, J.J.S.P. (2017). “Compensatory alternatives for flooding control in urban areas with tidal influence in Recife – PE”. Revista Brasileira de Recursos Hídricos 22 (19), pp. 1 – 12.
- SILVA JUNIOR, M.A.B.; FONSECA NETO, G.C.; CABRAL, J.J.S.P. (2020a). “Análise estatística para detecção de tendências em séries temporais de temperatura e precipitação no Recife-PE”. Revista de Geografia 37 (1), pp. 222-240.
- SILVA JUNIOR, M.A.B.; CABRAL, J.J.S.P.; FONSECA NETO, G.C.; SILVA, P.O.; GUERRA, C. M. F.; SILVA, S. R. (2020b). “Desafios para a adaptação da infraestrutura de drenagem urbana em cenário de mudança do clima no Recife-PE”. Journal of Environmental Analysis and Progress 5 (3), pp. 302-318.
- SILVA JUNIOR, M.A.B.; FONSECA NETO, G.C.; RODRIGUES, A.B.; CABRAL, J.J.S.P.; SILVA, S. R. (2020c). “Instrumentos de gestão das águas pluviais urbanas do Recife (PE) sob a ótica das metas dos ODS” in Anais do XV Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, Caruaru, Nov. 2020, 1, pp. 1-10.
- SOUSA, N.M. (2019). “Importância das praças na gestão dos recursos hídricos”. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola Politécnica, Universidade de Pernambuco, Recife, 85 f.
- SOUSA, N.M.; SOARES, W.A.; SILVA, S.R.; NASCIMENTO, E.C. (2019). “Contribution of public squares to the reduction of urban flooding risk”. Revista Ambiente & Água 14 (6), pp. 1-10.
- SOUZA, A.C.L.A. (2019). “Avaliação do escoamento superficial após a implementação de telhados verdes em Recife-PE”. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola Politécnica, Universidade de Pernambuco, Recife, 71 f.