Os efeitos da manutenção preventiva no desempenho hidráulico de um sistema de drenagem urbana do Recife – PE

The effects of preventive maintenance on the hydraulic performance of an urban drainage system in Recife - PE

• **Data de entrada:**
25/02/2018
• **Data de aprovação:**
18/03/2019

Alisson Caetano da Silva^{1*} | Marcos Antonio Barbosa da Silva Junior² | Simone Rosa da Silva² |
Jaime Joaquim da Silva Pereira Cabral¹

DOI: <https://doi.org/10.36659/dae.2020.059>

ORCID ID

Silva AC <https://orcid.org/0000-0002-8580-3886>
Junior MABS <https://orcid.org/0000-0002-2678-9420>

Silva SR <https://orcid.org/0000-0001-7138-7546>
Cabral JJSP <https://orcid.org/0000-0002-1348-8004>

Resumo

A ausência de manutenção periódica, sobretudo nos sistemas de microdrenagem, tem sido um dos fatores causadores dos alagamentos nos centros urbanos do Brasil. Diante desse fato, medidas que visem à reabilitação desses sistemas são necessárias e garantem a eficiência hidráulica de toda a rede. Neste sentido, o presente trabalho avalia os efeitos da manutenção preventiva no desempenho hidráulico de uma rede de microdrenagem num eixo viário do Recife/PE que apresenta pontos de alagamento. Tal análise foi subsidiada pelas simulações hidrológico-hidráulicas de dois eventos de chuva (TR: 2 anos e TR: 10 anos), utilizando o modelo SWMM (*Storm Water Management Model*) e comparando os cenários de pré e pós-manutenção. Os resultados mostraram que para o evento de 2 anos, a redução do volume de alagamento foi de 80,65%, enquanto o evento de 10 anos apresentou redução de 61,93%. Em linhas gerais, constatou-se que, para a rede em questão, medidas simples de manutenção já seriam suficientes para evitar os alagamentos críticos.

Palavras-chave: Alagamentos Urbanos. Manutenção Preventiva. Microdrenagem. Modelo SWMM.

Abstract

The lack of periodic maintenance, especially in microdrainage systems, has been one of the factors causing flooding in urban centers in Brazil. In view of this fact, measures aimed at the rehabilitation of these systems are necessary and guarantee the hydraulic efficiency of the whole network. In this sense, the present study evaluates the effects of preventive maintenance on the hydraulic performance of a microdrainage network in a road axis of Recife / PE, which presents flooding points. This analysis was subsidized by the hydrological-hydraulic simulations of two rain events (TR = 2 years and TR = 10 years), using the SWMM (Storm Water Management Model) model and comparing pre and post-maintenance scenarios. The results showed that for the 2-year event, the reduction in flood volume was 80.65%, while the 10-year event had a reduction of 61.93%. In general terms, it was found that, for the network in question, simple maintenance measures would already be enough to avoid critical flooding.

Keywords: Urban Floods. Preventive Maintenance. Microdrainage. SWMM Model.

¹ Universidade Federal De Pernambuco - Recife - Pernambuco - Brasil.

² Universidade De Pernambuco - Recife - Pernambuco - Brasil.

* **Autor correspondente:** alissoncaetanodasilva@hotmail.com.

1 INTRODUÇÃO

O processo desenfreado de urbanização tem provocado sérios impactos nas infraestruturas de drenagem urbana existentes, não só relativos à capacidade hidráulica desses elementos diante do incremento de vazão, mas também por se tornarem agentes de transporte dos resíduos sólidos que obstruem o fluxo das águas pluviais e provocam os alagamentos.

Vários trabalhos nacionais e internacionais têm mostrado que a presença de plásticos nos elementos de drenagem é bastante marcante (NEVES e TUCCI, 2008; GAVA e FINOTTI, 2012). No caso das bacias hidrográficas brasileiras, de características periurbanas, estudos apontam que a matéria orgânica também tem lugar de destaque, diante da deficiência da coleta domiciliar e do uso dos riachos como locais de despejos (WOLFF et al., 2016; NEVES e TUCCI, 2011).

De maneira geral, sabe-se que esses impactos podem ser controlados com serviços periódicos e sistemáticos de manutenção, que no Brasil são feitos e financiados por prefeituras, por meio das secretarias. Neste contexto, Silva et al. (2018) ressaltam que as práticas de manutenção comumente adotadas pelos municípios brasileiros se resumem, de maneira geral, à varrição e limpeza de ruas. Enquanto isso, os serviços de limpeza, desobstrução e obras de reparos nas redes de drenagem (galerias, canaletas, poços de visita, bocas de lobo, entre outros), em geral, são tratados em caráter corretivo e não preventivo dos alagamentos, já que os recursos financeiros destinados ao manejo das águas pluviais nas cidades são poucos.

De acordo com dados da Pesquisa Nacional de Saneamento Básico – PNSB de 2008 (IBGE, 2010a), 92,6% dos municípios brasileiros que fizeram manutenção em suas redes de drenagem adotaram apenas o método da varrição e limpeza de ruas. Analisando somente esse método de

manutenção e considerando as grandes regiões brasileiras, esse percentual variou de 88,4%, no Sul, a 96,0%, no Norte, sendo que o Nordeste apresentou percentual acima da média nacional. Os dados apresentados são positivos, e a técnica de limpeza e varrição de ruas deve estar acoplada a outros métodos preventivos, como limpeza, desobstrução e reparos da rede de micro e macrodrenagem, além estimular iniciativas de educação ambiental na população.

Ainda segundo o PNSB (IBGE, 2010a), 39,5% dos municípios brasileiros declararam sofrer com assoreamento na rede de drenagem, que nesse caso não está associado apenas à falta de manutenção, mas também a outros fatores contribuintes como topografia, características dos solos, ocupações desordenadas e desmatamento, entre outros.

Além desses fatores, no Recife a problemática dos alagamentos urbanos também é agravada pelas condições topográficas. O relevo da cidade é formado por dois grupos: as planícies localizadas na porção Centro-Leste e os morros adjacentes nas porções Norte, Oeste e Sul. A área de planície, no geral, apresenta cotas que variam de 0 a 5 m, podendo atingir valores um pouco superiores e até negativos. Por sua vez, os morros formam um arco em volta da baixada e têm cotas que variam entre 30 m e 100 m (CABRAL et al., 2001; PREUSS et al., 2011). Além dessa problemática, somam-se ainda as condições climáticas típicas de áreas costeiras: as chuvas intensas, que chegam a 200 mm em menos de 24 horas entre os meses de maio e agosto; e oscilação de marés, reduzindo drasticamente a descarga nos exutórios das drenagens (SILVA JUNIOR et al., 2017; SILVA, 2018).

Diante das peculiaridades urbanísticas e geográficas, o Plano Diretor de Drenagem e Manejo das Águas Urbanas da Cidade do Recife (Emlurb, 2016) mapeou, em 2016, 159 pontos de alaga-

mentos, catalogados pela EMLURB (Empresa de Manutenção e Limpeza Urbana) 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 segundo os autores, para efetivar a limpeza de toda a rede de microdrenagem da cidade 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.

Diante desse cenário, o presente trabalho visa avaliar os efeitos da manutenção preventiva no desempenho hidráulico de uma rede de microdrenagem num eixo viário do Recife que apresenta pontos de alagamento. Tal análise foi subsidiada a partir de simulações hidráulico-hidrológicas do sistema de drenagem, considerando as condições de pré e pós-manutenção (rede obstruída e desobstruída, respectivamente).

2 METODOLOGIA

2.1 Caracterização da Área de Estudo

A rua Professor Benedito Monteiro é um importante eixo viário do bairro da Madalena, no Recife-PE, que liga a Rua Benfica à Av. Eng. Abdias de Carvalho. Nela encontra-se localizada a Escola Politécnica de Pernambuco (POLI/UPE), além de outros estabelecimentos importantes como cursinhos, clube e supermercado, que sofrem com os alagamentos em dias de chuvas intensas (Fig. 1). Com essa situação, não só a mobilidade de veículos e pedestres é prejudicada, mas também, dependendo da magnitude dos alagamentos, há a necessidade de cancelamento das aulas na POLI/UPE.

Segundo o Censo do IBGE (2010b), o bairro da Madalena possui uma população de 23.082 habitantes, que corresponde a 1,5% dos habitantes da cidade do Recife, e uma área de 183 hectares. O bairro da Ilha do Retiro, onde está localizado o destino final da drenagem, possui uma área de 54 hectares e uma população de 3.740 habitantes (IBGE, 2010b). A bacia da rede de microdrenagem da rua estudada possui uma área de 5,92 ha e coeficiente de compacidade (K_c).

Figura 1 – Localização do ponto crítico de alagamento.

A rua Benfica, no trecho limitado pelas imediações do Clube Internacional do Recife e da Ponte do Derby, comporta-se como um divisor de águas do sistema de drenagem local, de modo que as águas pluviais da rua Professor Benedito Monteiro se direcionam para a Av. Engenheiro Abdias de Carvalho e deságuam na parte coberta do canal do Sport. A rede de microdrenagem da rua Professor Benedito Monteiro possui extensão total de 542,00 m, e é composta por três trechos com configurações de condutos e extensões diferentes, a saber:

- 1º trecho (Rua Benfica → Rua José Múcio Monteiro): apresenta duas galerias em paralelo com 600 mm de diâmetro e 362,00 m de extensão;
- 2º trecho (Rua José Múcio Monteiro → Av. Engenheiro Abdias de Carvalho): possui uma canaleta nas dimensões de 1,20m x 1,60 m, com extensão de 82,00 m; e
- 3º trecho (Av. Engenheiro Abdias de Carvalho → Canal do Sport): composto por uma galeria de 1000 m de diâmetro e 98,00 m de extensão.

Na área de entorno da via estudada, verificou-se que houve um aumento de 32% de áreas impermeabilizadas entre 2002 e 2016, fazendo com que toda essa área se tornasse praticamente impermeável. Aliada a esse fato, a ausência de manutenção periódica da microdrenagem da via é outro fator contribuinte para os alagamentos ocorridos. Esse fator é muito importante numa área de campus universitário, onde é comum o grande fluxo de pessoas e de comerciantes (locais e itinerantes), o que favorece a produção e o descarte inadequado de resíduos nos elementos de drenagem.

A topografia local favorece os alagamentos na via quando o sistema de microdrenagem não funciona adequadamente. Com a precipitação ocorrida em 09 de maio de 2016, a altura de alagamento na via chegou na ordem de 90 cm, invadindo o prédio da instituição de ensino (POLI/UPE) e causando a suspensão das aulas (Fig. 2). No dia 30 do mesmo mês, a chuva provocou, novamente, transtornos para a área.

Figura 2 – Estacionamento do clube Internacional, em frente à POLI/UPE, em 09/05/2016.

2.2 Serviços de Manutenção Adotados

Inicialmente houve a articulação da POLI/UPE com a Prefeitura da Cidade do Recife, por meio da EMLURB. Neste momento, foram solicitadas, por meio de ofício, intervenções urgentes no sistema de microdrenagem do entorno da POLI/UPE, mais especificamente na rua Professor Benedito Monteiro. Já tendo conhecimento dos alagamentos recorrentes na área, a solicitação foi prontamente atendida pela EMLURB, cabendo à mesma todo o serviço de manutenção da rede de drenagem da via, com disponibilização de equipe de topógrafos e operários, equipamentos e materiais para as obras.

Em seguida, foram realizadas inspeções visuais, com a abertura dos elementos de drenagem da via, para identificar os problemas que interferem no escoamento das águas pluviais e levantar as intervenções necessárias (limpeza, desobstrução, obras de reparos, etc.). Na oportunidade, foi realizado o mapeamento cadastral de toda a rede de microdrenagem da via, identificando as seções de galerias e canaletas, as cotas de radier e tampa dos poços de visita (PV) e o exutório do sistema.

Por fim, foram executados os procedimentos de manutenção da infraestrutura de microdrenagem, que contemplaram: a limpeza e desobstrução de poços de visita, galerias e canaletas (com retirada de sedimentos e resíduos sólidos urbanos); obras de reparo nos elementos de drenagem; e construção de novos PVs para facilitar a manutenção. A primeira intervenção na microdrenagem da via, relatada neste artigo, ocorreu em julho de 2016 (período chuvoso), tendo outras manutenções realizadas em 2017 e 2018.

2.3 Modelo Hidrológico-Hidráulico

As simulações hidrológico-hidráulicas foram feitas no SWMM (*Storm Water Management Model*),

utilizando a sua versão mais recente, a 5.00.22. Trata-se de um modelo dinâmico “chuva-vazão” integrado ao módulo hidráulico, com código fonte aberto e que tem sido muito utilizado por diversos pesquisadores no mundo. Problemas de alagamentos no Recife têm sido avaliados, diagnosticados e solucionados em trabalhos que empregam o citado modelo (SILVA, 2018; OLIVEIRA, 2017; SILVA JUNIOR et al., 2017; SILVA e CABRAL, 2014).

O modelo apresenta quatro módulos de simulação: o *Runoff*, o *Transport*, o *Extran* e o *Storage/Treatment*. Nesta modelagem, foram utilizados apenas os três primeiros módulos, já que o último módulo simula processos de tratamento e armazenamento, visando à qualidade da água. O *Runoff* compreende a transformação “chuva-vazão” a partir da combinação das equações de Manning e da Continuidade, gerando o escoamento superficial; o *Transport* é responsável pela propagação do escoamento na rede de drenagem através do método da onda cinemática; e o *Extran* realiza simulação hidráulica em condutos e canais pelo método hidrodinâmico.

Os elementos de drenagem são configurados no SWMM por junções/nós (poços de visita) e condutos (galerias e tubulações), atribuindo-lhes cotas topográficas e extensões dos elementos de drenagem, com base no cadastro da rede. As sub-bacias são caracterizadas pelos parâmetros físicos de entrada do modelo, como: área (ha); largura (m); declividade (%); áreas impermeáveis (%); coeficiente de rugosidade de Manning ($s/m^{-1/3}$) para as áreas permeáveis e impermeáveis; e profundidade de armazenamento em depressões (mm) para as áreas permeáveis e impermeáveis. As variáveis de entrada compreendem as séries de dados de precipitação e maré, e taxas de infiltração.

2.3.1 Parâmetros Físicos e Variáveis de Entrada

1) Parâmetros:

• **Cadastro da microdrenagem:** O levantamento cadastral da rede (descrito no item 2.2) foi feito e cedido, em ambiente CAD, pela Prefeitura da Cidade do Recife, por meio da EMLURB. As informações disponibilizadas e utilizadas no SWMM foram dos poços de visita (localização, profundidade, cotas da tampa e do radier) e das galerias (comprimento, geometria do conduto).

• **Delimitação e caracterização das sub-bacias:** Foram realizadas subdivisões em áreas de contribuição aos poços de visita, resultando em 6 sub-bacias. Este processo foi realizado em ambiente CAD, com base na configuração dos lotes e quadras (dados da UNIBASE do Recife), na topografia da área (curvas de nível de 1 m disponível no site de Informações Geográficas do Recife - ESIG) e nos subsistemas de microdrenagem existentes (cadastro de drenagem da EMLURB). As características físicas obtidas para as sub-bacias foram:

a) *Área e largura:* A área foi obtida em CAD, após o processo de delimitação das sub-bacias descrito anteriormente. A largura pelo método do retângulo equivalente (Eq. 1), em função do Coeficiente de Compacidade - Kc (Eq. 2).

$$L = \frac{Kc\sqrt{A}}{1,12} \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1,128}{Kc}\right)^2} \right] \quad (1)$$

$$Kc = 0,282 \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (2)$$

Sendo: A – área da subárea, em km²;

P – perímetro da subárea, em km;

L – largura média, em m;

Kc – Coeficiente de compacidade.

b) *Declividade média:* Obteve-se a partir do perfilamento a laser do tipo Modelo Digital do Terreno (MDT), desenvolvido pela Secretaria de Recursos Hídricos de Pernambuco em 2014. Além dessa base topográfica, utilizaram-se, também, os nivelamentos das cotas das tampas dos poços de visita, indicados no levantamento cadastral da EMLURB.

c) *Percentual de áreas impermeáveis:* Obteve-se pelo processamento e classificação da imagem utilizando as ortofotos de 2013 da área em estudo, disponibilizadas na plataforma eletrônica da Prefeitura do Recife (ESIG). A validação e atualização das imagens foi feita por meio de visitas em campo e de imagens de satélite do Google Earth de 2016. O tratamento e classificação das imagens foram feitos no Civil 3D e todas as áreas permeáveis foram delimitadas nesta base.

d) *Coeficiente de rugosidade de Manning e altura do armazenamento em depressões:* o parâmetro de rugosidade da superfície foi estimado a partir das características observadas em campo. Com vias locais asfaltadas em Concreto Betuminoso a Quente (CBUQ) e o estacionamento do Clube Internacional do Recife pavimentado em paralelepípedo, usou-se o coeficiente de rugosidade de Manning (n=0,024), conforme Canholi (2005), Silva e Cabral (2014) e Silva Junior et al., (2017). Para as demais áreas consideradas permeáveis adotou-se o coeficiente de rugosidade de Manning (n=0,15), segundo Canholi (2005), Silva e Cabral (2014), Silva Junior et al., (2017). A altura do armazenamento em depressões consiste na capacidade de retenção de água de chuva na superfície. Para este parâmetro, utilizaram-se os valores sugeridos por Silva e Cabral (2014), Silva Junior et al., (2017) e Oliveira (2017), sendo 2,54 mm para áreas impermeáveis e 5 mm para áreas permeáveis.

2) Variáveis:

a) *Taxa de infiltração*: O SWMM considera três modelos diferentes para a determinação da variável infiltração da chuva em zona não saturada do solo nas áreas permeáveis (modelo de infiltração de Horton, Green-Ampt e Curva Número do SCS). Dentre estes, optou-se pelo modelo de Horton (Eq. 3 e 4) e os termos da equação foram obtidos a partir dos testes de infiltração realizados em área de solo exposto da Praça Euclides da Cunha, situada a poucos metros do ponto de armazenamento, utilizando infiltrômetro a duplo anel (Fig. 3). Não foi medida a umidade inicial do solo, mas foi considerado um período de três dias sem chuva para a realização do ensaio para garantir o solo seco. Os ensaios foram procedidos em três pontos, em forma de triângulo, e os resultados estão plotados no gráfico da Fig. 4. Como os resultados nos três pontos ensaiados apresentaram comportamento homogêneo, optou-se por utilizar a curva de infiltração média entre eles, que obteve

coeficiente de determinação (R^2) de 0,8936. Com base na equação da curva de infiltração, ajustada à equação de Horton, foi possível obter os dados necessários para a modelagem: as taxas máxima e mínima de infiltração (295,08 mm/h e 211,96 mm/h, respectivamente), e o coeficiente de decaimento (0,163).

$$it = ib + (io - ib) \exp(-k \times t) \quad (3)$$

$$k = (io - ib) Fc \quad (4)$$

Onde:

it – taxa de infiltração no tempo (mm/h);

ib – taxa de infiltração final (mm/h); io – taxa de infiltração inicial (mm/h); t – tempo (h);

k – coeficiente de decaimento (s^{-1});

Fc – é dado como a área sob a curva da taxa de infiltração.

Figura 3 – Ensaio de infiltração com infiltrômetro a duplo anel.

Figura 4 – Curva de infiltração média e coeficiente de determinação (R^2).

b) Eventos de precipitação: Foram utilizados os dados horários de precipitação da estação Boa Vista, operada pelo CEMADEN (Centro Nacional de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais), localizada num raio aproximado de 2 km de distância da área estudada. Para as simulações hidrológicas, foram considerados os eventos chuvosos de 09 e 30 de maio de 2016.

c) Curvas de maré: O exutório da rede de microdrenagem é o canal do Sport, que por sua vez deságua no Rio Capibaribe. Assim, tomando por base os eventos de precipitação considerados na simulação, foram obtidos os oito registros de alturas de maré (4 preamares e 4 baixa-mares) na tábua de maré do Porto do Recife, disponibilizada no site da Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN). Com esses dados, a curva foi obtida a partir da interpolação das alturas de marés para o intervalo de tempo de 1 hora, considerando as durações dos eventos simulados. Como o DHN utiliza o Sistema de Referencial de Nível da Marinha, foi preciso fazer uma adequação dos níveis das marés somando 0,250 m, visto que o levan-

tamento cadastral da rede de drenagem foi realizado no referencial da Prefeitura do Recife.

2.3.2 Montagem da Rede de Drenagem

A Fig. 5 apresenta a rede de drenagem implantada no SWMM, considerando as informações descritas anteriormente. Entre as seções transversais dos condutos disponíveis no programa, optou-se pelas tubulações de concreto, circulares e com preenchimento, devido ao acúmulo de sedimentos depositados no fundo das galerias. Também foram incluídos os condutos retangulares, uma vez que há trechos em rede de galerias celulares.

O coeficiente de rugosidade de Manning adotado foi de $0,014s/m^{1/3}$, característico de condutos fechados de concreto. A altura de sedimentos depositados no fundo da galeria, ao longo do sistema, foi estimada em 20 cm, caracterizando parcial obstrução do conduto (com base nas investigações em campo). É importante salientar que os

valores mencionados são iniciais e foram ajustados na etapa de calibração do modelo até que se representassem, para os eventos simulados, as condições observadas de alagamento no local.

Para a modelagem hidrológica, foram configuradas 6 sub-bacias (AC1 a AC6) e 1 pluviômetro

(PLUV1). Para a modelagem hidráulica, a rede implantada no modelo possui: 25 nós/junções, que são os poços de visita (NÓ1 a NÓ25); 26 trechos de condutos, que são galerias circulares e celulares (GAL01 a GAL26) e 1 exutório (EXUT1), Fig. 5.

Figura 5 – Sistema de drenagem implantado no modelo SWMM.

2.3.3 Calibração e Validação

Com a ausência de sensores de nível ou medidores de vazão, necessários para processar um estudo de sensibilidade, calibração e validação dos parâmetros, optou-se por realizar uma calibração simplificada do modelo, considerando o evento do dia 09 de maio de 2016.

Os parâmetros calibrados foram: coeficiente de rugosidade de Manning e altura de sedimentação nos condutos. Tais parâmetros foram ajustados até que o volume máximo e altura máxima de alagamento simulados no Nó-10 (ponto de controle) representassem a situação de alagamento observada in loco. É válido frisar que essa

metodologia de calibração já foi utilizada nos trabalhos de Silva e Cabral (2014) e Silva Júnior et. al (2017).

O volume máximo de alagamento observado foi estimado a partir da relação entre a lâmina d'água e a área de alagamento, ambos obtidos em vistorias realizadas durante a ocorrência dos alagamentos. No *software* ArcGIS, essas informações obtidas in loco foram cruzadas com o MDT da área, a fim de validar o volume máximo de alagamento estimado.

Para o processo de validação, foram utilizados os parâmetros da fase de calibração e os dados de entrada referentes à precipitação e à curva de maré do dia 30 de maio de 2016.

2.3.4 Condições de Simulação Visando a Atenuação dos Alagamentos

Após a calibração e validação do modelo, que caracterizou a condição de pré-manutenção (rede obstruída), o sistema de drenagem sem resíduos, ou seja, sem obstruções (condição de pós-manutenção), foi modelado para os eventos de precipitação ocorridos em 09 e 30 de maio de 2016. A análise comparativa entre os resultados das simulações nas condições de pré e pós-manutenção permitiu avaliar os impactos dos serviços de manutenção aplicados na rede de microdrenagem avaliada.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Análise dos Eventos Simulados: Pluviometria e Maré

A precipitação ocorrida em 09 de maio de 2016 ocasionou diversos transtornos na Região Me-

tropolitana do Recife. Com duração de 21 horas e um total pluviométrico de 162,40 mm, o sobre-dito evento apresentou recorrência de 2 anos, quando calculado pela equação IDF do Recife (EMLURB, 2016). Ainda no mês de maio, dia 30, ocorreu, novamente, outro evento chuvoso de proporções similares ao do dia 09, porém com intensidade maior de chuva, sendo precipitados 178,20 mm em 12 horas (6h00 às 17h00), com altos índices pluviométricos registrados entre 7h30 e 9h00 (74,40 mm). A partir do período mais intenso de precipitação, o tempo de retorno calculado foi de 10 anos, limite usado para projetos de microdrenagem.

Com a interpolação dos pontos de preamar e baixa-mar durante a ocorrência do evento de 09 de maio de 2016, confrontou-se a curva de maré resultante com as precipitações (Fig. 6), notando-se uma proximidade do pico da precipitação, ocorrido às 15h00, e a preamar com altura de 2,30 m às 18h06. Embora haja uma diferença de 3 horas entre o pico da precipitação e a preamar, a chuva continuou ao longo do dia, dificultando, assim, a diminuição dos alagamentos no local até que a maré começasse a baixar, a partir das 19h00.

Para o evento de 30 de maio de 2016, os alagamentos na área foram maiores, uma vez que a maior parte da precipitação se concentrou num curto espaço de tempo, chegando a chover 53,6 mm em apenas 1 hora. A maré, por sua vez, teve papel importante na permanência do alagamento pelo fato da preamar, de 2,00 m, ter ocorrido às 10h45, um pouco depois do pico da precipitação que ocorreu às 9h00, conforme observado na Fig. 7.

Figura 6 – Precipitação x Maré em 09/05/2016

Figura 7 – Precipitação x Maré em 30/05/2016

3.2 Condição Hidráulica de Pré-Manutenção: Calibração e Validação

Nas vistorias em campo, durante a campanha de manutenção (período chuvoso), observou-se que as águas pluviais ficavam represadas no sistema de microdrenagem por vários dias, indicando a existência de alguma obstrução na rede. Na ocasião, verificou-se, também, que existia um acúmulo significativo de sedimentos

e resíduos sólidos (principalmente garrafas PET) depositados na rede analisada, que dificultavam o escoamento eficiente das águas pluviais no local (Fig. 8).

Além dos problemas citados, foram identificados dois grandes gargalos na rede, a saber:

- Interferência no escoamento das águas pluviais pelos condutos diante do seccionamento de uma

adutora de 0,80 m de diâmetro, da concessionária de abastecimento de água, localizada no canteiro central da Av. Engenheiro Abdias de Carvalho. A Fig. 9 mostra a consequência desse sectionamento, facilitando o acúmulo de sedimentos e provocando a obstrução do trecho

de montante, com a água minando aos poucos para jusante.

- Impossibilidade de limpeza no trecho coberto de 30,00 m do canal do Sport, exutório do sistema (Fig. 10).

Figura 8 – Remoção de resíduos dos poços de visita da Rua Prof. Benedito Monteiro.

Figura 9 – Poço de visita no canteiro da Av. Eng. Abdias de Carvalho com rede obstruída.

Figura 10 – Acesso à parte coberta do canal do Sport, destino final da rede de drenagem.

Considerando as citadas questões, observadas em campo, no ambiente do modelo, a primeira simulação para o evento de 09 de maio de 2016 teria como premissa atingir uma área de alagamento de 11.219,65 m² (estimativa delimitada em campo, a partir do alcance do alagamento) e uma altura máxima de lâmina d'água observada de 91,50 cm, gerando um volume de alagamento estimado em 7.797,66 m³. Durante a calibração foi alcançada uma altura de alagamento simulada de 87,40 cm no ponto de controle (Nó 10), conforme a Tabela 1. Os erros médios de continuidade, na etapa de calibração, foram: 0% para o escoamento superficial e 0,69% para a propagação de vazão.

Calibrado o modelo, partiu-se para a validação do mesmo, considerando o evento de 30 de maio de 2016. Para esse evento, com base nas observações in loco, foi definida uma área de alagamento de 18.227,00 m² e uma altura máxima de lâmina d'água observada de 1,07 cm, resultando num volume estimado de alagamento de 10.307,00 m³. O processo de validação resultou numa lâmina d'água simulada de 1,10 m no ponto de controle (Nó-10), conforme Tabela 1. Os erros médios de continuidade, na etapa de cali-

bração, foram: 0% para o escoamento superficial e 0,67% para a propagação de vazão.

No que se refere aos erros de continuidade encontrados durante o processo de simulação (definido pela diferença, em porcentagem, entre a quantidade armazenada inicialmente mais o fluxo que entra e a quantidade armazenada no final mais o fluxo que sai), os mesmos se encontram dentro do limite da aceitabilidade, apresentando valores menores que 10%, servindo de referência também para Silva e Cabral (2014), Oliveira (2017), Silva Junior et. al (2017), Formiga et al. (2016), Rossman e Huber (2016).

Diante disso, pôde-se constatar que a qualidade da simulação foi razoável, com erros aceitáveis na equação do balanço de massa (continuidade) para o escoamento superficial e para a propagação de vazão. Isso mostra que, apesar de a calibração ser definida como um processo expedito, uma vez que procurou-se ajustar os volumes simulados aos observados apenas no ponto de controle (Nó-10), a diferença relativa entre as condições simuladas e observadas se mostrou satisfatória.

Tabela 1 – Resultado dos valores observados e simulados para os eventos considerados.

ASPECTOS		09/05/2016		30/05/2016	
		OBSERVADO	SIMULADO	OBSERVADO	SIMULADO
Lâmina d'água máxima (m)		0,915	0,874	1,071	1,107
Volume máximo de inundação (m ³)		7.797,00	7.823,00	10.307,00	10.047,00
Erros de continuidade	Escoamento superficial	0%		0%	
	Propagação de vazão	0,69%		0,67%	

3.3 Condição Hidráulica de Pós-Manutenção

Conforme já mencionado, nesta etapa o sistema de drenagem foi simulado sem obstruções (considerando os serviços de manutenção da EMLURB), a fim de avaliar a capacidade hidráulica da rede de microdrenagem existente considerando os eventos ocorridos em maio de 2016.

A manutenção da rede foi iniciada em 09 de julho 2016, quando foi realizada a primeira campanha de limpeza do sistema, e estendeu-se por vários meses, tendo sido concluída em meados do mês de maio de 2017, com a limpeza do canal do Sport, destino final da microdrenagem estudada.

Foram comparados, graficamente, os resultados do volume acumulado de alagamento e da lâmina d'água de alagamento no ponto de controle (Nó 10) para as condições de pré e pós ma-

nutenção, considerando os eventos de 09 e 30 de maio de 2016 (TR = 2 anos e 10 anos, respectivamente), conforme Figs. 11 a 14.

Figura 11 – Volume acumulado de alagamento no Nó-10 com base nas condições pré e pós manutenção, para o evento de 09 de maio de 2016.

Figura 12 – Volume acumulado de alagamento no Nó-10 com base nas condições pré e pós manutenção, para o evento de 30 de maio de 2016.

Figura 13 – Lâmina d'água de alagamento no Nó-10 com base nas condições pré e pós manutenção, para o evento de 09 de maio de 2016.

Figura 14 – Lâmina d'água de alagamento no Nó-10 com base nas condições pré e pós manutenção, para o evento de 30 de maio de 2016.

Na Fig. 11, na condição de pré-manutenção, o volume de alagamento iniciou às 01h45 e apresentou um acumulado total de 32.632,87 m³, ao final do evento de 09 de maio de 2016. Na condição de pós-manutenção, o volume de alagamento teve início às 14h15 e apresentou um total acumulado de 6.312,32 m³, representando uma redução de 80,65%. Além da redução do volume de alagamento, também houve redução no tempo de inundação.

Na Fig.12, para a condição de pré-manutenção, o alagamento começa a aparecer às 6h30, chegando ao volume acumulado de 56.078,16 m³. Na condição de pós-manutenção, observou-se que o alagamento começou às 7h15 e teve um volume total acumulado de 21.346,38 m³, representando uma redução de 61,93% do volume de alagamento.

O valor zero de lâmina d'água refere-se à cota da tampa do poço de visita (Nó-10), e os valores maiores que zero referem-se aos níveis d'água acima do respectivo PV. Na Fig. 13, para a condição de pré-manutenção, a lâmina máxima de alagamento aparece às 21h15 com 0,874 m durante o evento de 09 de maio de 2016. Para a condição de pós-manutenção, o valor máximo da lâmina d'água chegou a 0,236 m, também às 21h15, representando uma redução de 73%.

Na Fig. 14, pôde-se observar que, para a condição de pré-manutenção, a lâmina máxima de alagamento aparece às 13h15 com 1,107 m, considerando o evento de 30 de maio de 2016. Na condição de pós-manutenção, a lâmina d'água máxima de alagamento chegou a 0,442 m às 14h45, caracterizando uma redução de 60%.

Em linhas gerais, observou-se que apenas os serviços de manutenção da rede reduziram significativamente o volume e níveis de alagamentos na Rua Prof. Benedito Monteiro. A rede de drenagem se mostrou subdimensionada apenas para o evento de 30 de maio de 2016, uma vez que se

tratou de um evento atípico (TR: 10 anos), e no geral, as redes de microdrenagem são dimensionadas para eventos de 5 anos de recorrência.

Em 2017, ocorreram alguns eventos intensos de precipitações no Recife, como o ocorrido em 21 de julho com 70 mm precipitados em 24h, ocasionando vários pontos de alagamentos em áreas da cidade. Apesar desse fato, na área em estudo não foi observado alagamento, e nesse período todo o serviço de manutenção da rede de microdrenagem e do canal do Sport já havia sido concluído.

4 CONCLUSÕES

De maneira geral, constatou-se que, para a rede em questão, medidas simples de manutenção já seriam suficientes para evitar os alagamentos críticos. Porém a periodicidade da manutenção, geralmente adotada na cidade, dá-se a partir da ocorrência de alagamentos, caracterizando a manutenção com medida corretiva.

Os resultados mostraram que os alagamentos ocorridos em 09 de maio de 2016 (162,40 mm em 21 h / TR: 2 anos) e 30 de maio de 2016 (178,20 mm em 12 h / TR: 10 anos) teriam volumes reduzidos em 80,65% e 61,93%, respectivamente, e níveis diminuídos em 73% e 60%, respectivamente, apenas com serviços de limpeza e desobstrução. Considerando que o meio fio tem aproximadamente 15 cm e a máxima lâmina d'água ocorrida no evento de 30 de maio de 2016 (TR: 10 anos) foi de 21,4 cm, pode-se afirmar que, hidraulicamente, a rede de drenagem teria condições de escoar as águas precipitadas e atenuar, consideravelmente, os alagamentos ocorridos.

Sabe-se que cabe ao poder público os serviços de manutenção das redes de drenagem, mas a educação ambiental da população também tem sua relevância. Durante as vistorias, foram en-

contrados muitos resíduos de plástico (principalmente garrafas PET e copos descartáveis) e metal (latas de refrigerante) dentro dos elementos de drenagem do sistema estudado. Diante desse fato, campanhas de conscientização da população local (alunos da POLI/UPE e da FCAP, comerciantes, frequentadores do Clube Internacional do Recife) mostrando a gravidade e os efeitos do descarte inadequado de lixo na drenagem são necessárias e auxiliariam na redução dos alagamentos na cidade.

Outro fator que deve ser considerado é o seccionamento da rede de drenagem, no seu trecho final, provocado por uma adutora de 0,80 m. Essa situação impede a eficiência hidráulica da rede e atribui à mesma uma condição de armazenamento e/ou represamento das águas pluviais, que vão escoando aos poucos por uma abertura de 0,20 m (diferença de diâmetros: tubulação = 1,00 m e adutora = 0,80 m). Para solucionar esse entrave, é necessário que o traçado da adutora seja revisto, fazendo com que o sistema de drenagem apresente eficiência hidráulica durante as chuvas intensas. É válido ressaltar que tal problemática exemplifica a falta de integração entre os setores responsáveis pelo saneamento da cidade, fazendo com que problemas como esses se tornem algo comum.

5 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à EMLURB (Empresa de Manutenção e Limpeza Urbana) pelo levantamento e fornecimento de informações cadastrais da rede de drenagem urbana e à FACEPE (Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco) pela concessão de bolsa de doutorado para o segundo autor.

6 CONTRIBUIÇÃO DOS AUTORES

Todos os autores contribuíram de forma igualitária.

7 REFERÊNCIAS

- CABRAL, J. J. S. P.; SILVA, T. C.; NOBREGA, T. M. Q.; MELO, F.; PIRES, N.; GUIMARÃES, A.; MONTENEGRO, S. M. G. L. (2001). A problemática da drenagem urbana em áreas planas costeiras no nordeste brasileiro. In: V Seminário Nacional de Drenagem Urbana e I Seminário de Drenagem Urbana do MERCOSUL, Porto Alegre, 2004, 1, pp. 18-34. **Anais...**
- CANHOLI, A.P. **Drenagem Urbana e Controle de Enchentes**. 2. Ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2005.
- EMLURB. EMPRESA DE MANUTENÇÃO E LIMPEZA URBANA (2016). **Plano Diretor de Drenagem e Manejo das Águas Urbanas do Recife**. (Versão concedida em visita técnica). Recife.
- FORMIGA, K. T. M. et al. Calibração do Storm Water Management Model (SWMM) utilizando algoritmos evolucionários multiobjetivo. **Eng Sanit Ambient**, v. 21, n. 4, 2016, pp. 697-707.
- GAVA, T.; FINOTTI, A. R. Resíduos sólidos urbanos na rede de drenagem da bacia hidrográfica do Rio do Meio, Florianópolis/SC. **Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, v. 1, n. 2, jul/dez – 2012, pp. 79-101.
- IBGE (2010a). **Censo Demográfico de 2010**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>. Acessado em: 09abr2016.
- IBGE (2010b). **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (PNSB) – 2008**. IBGE: Rio de Janeiro, 2010. 219 p.
- LAFAYETTE, F. B.; SILVA, M. D.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; SILVA, P. O.; GUSMÃO, R. D. Plano de gestão da manutenção da rede de drenagem da cidade do Recife. In: XIV Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, Maceió, 2018. **Anais...**
- NEVES, M. G. F. P.; TUCCI, C. E. M. Composição de resíduos de varrição e resíduos carreados pela rede de drenagem, em uma bacia hidrográfica urbana. **Eng Sanit Ambient**, v.16, n.4, out/dez, 2011, pp. 331-336.
- NEVES, M.G.F.P; TUCCI, C.E.M. (2008) Resíduos sólidos e drenagem urbana: estudo de caso. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 13, n. 4, pp. 43-54
- OLIVEIRA, R. L. M. **Alternativas Compensatórias para drenagem Urbana em ponto crítico da cidade do Recife – PE**. 2017. 101 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica de Pernambuco, Universidade de Pernambuco, Recife. 2017.
- PREUSS, S. L. C.; SILVA, A. A.; BRAGA, R. A. P.; CABRAL, J. J. S. P. (2011) Adequação estrutural e ambiental para a drenagem urbana sustentável: o caso do Recife, Pernambuco. In: XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Maceió, 2011, pp. 01-19. **Anais...**
- ROSSMAN, Lewis A.; HUBER, Wayne C. **Storm Water Management Model Reference Manual Volume I – Hydrology (Revised)**. Cincinnati: National Risk Management Laboratory Office Of Research And Development U.s. Environmental Protection Agency, 2016. 233 p.

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, 101 p.

SILVA, A. C.; SILVA JUNIOR, M. A. B.; SILVA, S. R.; CABRAL, J. J. S. P. Medidas para a reabilitação da microdrenagem no entorno da Escola Politécnica de Pernambuco (POLI/UPE). In: XII Encontro Nacional de Águas Urbanas, Maceió, 2018. **Anais...**

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**, v.22, e19, 2017, pp. 1-12. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1590/2318-0331.011716040> > Acesso em 2 Jan. 2018.

SILVA, P.O.; CABRAL, J.J.S.P. Atenuação de picos de vazão em área problema: estudo comparativo de reservatórios de detenção em lote, em logradouros e em grande área da bacia. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 19, n. 2, 2014, pp. 7-18.

WOLFF, D. B.; GONÇALVES, I. H.; GASTALDINI, M. C. C.; SOUZA, M. M. Resíduos sólidos em um sistema de drenagem urbana no município de Santa Maria (RS). **Eng Sanit Ambient**, v.21, n.1, jan/mar – 2016, pp. 151-158.

166