

## IX-029 - IMPACTO HIDROLÓGICO DA IMPERMEABILIZAÇÃO DO SOLO EM ÁREA DA CIDADE DO RECIFE

**Amanda Almeida de Oliveira Figueiredo<sup>(1)</sup>**

Engenheira Civil pela Escola Politécnica da Universidade de Pernambuco (POLI/UPE). Mestranda em Engenharia Civil com ênfase em Construção Civil pela POLI/UPE.

**Manuella Catarina Lima Cavalcanti<sup>(2)</sup>**

Engenheira Civil pela Escola Politécnica da Universidade de Pernambuco (POLI/UPE).

**Simone Rosa da Silva<sup>(3)</sup>**

Engenheira Civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Mestre em Engenharia Civil pelo Instituto de Pesquisas Hidráulicas da UFRGS. Doutora em Engenharia Civil com ênfase em Recursos hídricos e Tecnologia Ambiental pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Professora Associada da Escola Politécnica da Universidade de Pernambuco (POLI/UPE). Docente do Mestrado em Engenharia Civil da POLI/UPE e do Mestrado em Tecnologia Ambiental do Instituto de Tecnologia de Pernambuco (ITEP).

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua Benfica, 445 - Madalena - Recife - PE - CEP: 50720-001 - Brasil - Tel: (81) 3184-7500 - e-mail: amandaalmeida1602@gmail.com

### RESUMO

A intensa expansão urbana da cidade do Recife nos últimos anos tem sido acompanhada por episódios cada vez mais frequentes de alagamentos e inundações de ruas e avenidas. Buscando uma melhor compreensão da dinâmica entre a urbanização e o regime das águas, essa pesquisa analisou o impacto do aumento da superfície de solo impermeabilizado no escoamento superficial de um ponto crítico de alagamento da cidade do Recife. O ponto crítico escolhido, localizado no cruzamento das ruas José Brandão e Francisco da Cunha, foi identificado a partir do estudo de Moura (2014), que analisa a relação entre o avanço da urbanização e o aumento da taxa de impermeabilização do solo no bairro de Boa Viagem. As vazões de escoamento superficial (*runoff*) da região foram calculadas através do Método Racional, analisando a evolução do coeficiente de escoamento entre dois momentos históricos: 1970 e 2007. Para os cálculos realizados, foram levantadas as variáveis: intensidade máxima de precipitação para um tempo de retorno de dois anos, área de contribuição para o escoamento superficial do ponto escolhido e coeficientes de escoamento superficial relativos a cada momento histórico. Percebeu-se um aumento significativo no *runoff*, quase o dobro, correspondendo a um aumento de 97% na taxa de impermeabilização do solo devido, sobretudo, ao processo de urbanização. Com a ausência de intervenções significativas nos sistemas de micro e macrodrenagem da região, nota-se que grande parte dos alagamentos hoje observados se devem principalmente à sobrecarga desses sistemas, provocada pelo aumento do escoamento superficial da região.

**PALAVRAS-CHAVE:** Drenagem Urbana, Impactos da Urbanização, Impermeabilização do Solo, Recife, Boa Viagem.

### INTRODUÇÃO

O colapso dos sistemas de drenagem brasileiros tem se mostrado cada vez mais evidente com o passar dos anos. Basta um período de chuvas mais intensas ou mais prolongadas em alguma região do país e o cenário se repete: deslizamentos de terra, alagamentos, sistemas de transporte parados e vias de circulação intransitáveis. Esses são apenas alguns dos fatos que tomam conta dos jornais e noticiários. O impacto negativo das águas pluviais na infraestrutura das cidades está intimamente relacionado com o mau planejamento da ocupação urbana, fruto de um desenvolvimento urbano acelerado.

Desde a década de 70, os países subdesenvolvidos têm experimentado um elevado índice de desenvolvimento, o qual se encontra associado a um intenso processo de urbanização. Esse desenvolvimento trouxe consigo alguns problemas sociais e ambientais devidos à carência de infraestrutura das cidades para receber um grande número de pessoas e demandas sociais. Uma das áreas mais afetadas por esse processo foi a de drenagem urbana.

De acordo com Baptista, Nascimento e Barraud (2005), o processo de urbanização implica, necessariamente, em mudanças significativas no meio ambiente de maneira geral, e nos processos hidrológicos de forma mais específica. Segundo Tucci e Bertoni (2003), as principais alterações no ciclo hidrológico provocadas pela urbanização são a redução da infiltração devido à impermeabilização de grandes parcelas do solo, que provoca um aumento nos volumes de escoamento superficial, e a aceleração do escoamento nos cursos d'água devido à construção de condutos, que intensificam a produção de sedimentos e provocam aumentos na velocidade, na intensidade e na frequência das inundações das áreas mais baixas do território. Bezerra Filho (2012) pontua que a ocupação do espaço natural das águas pela urbanização gera um impacto direto sobre as enchentes em suas áreas próximas. Por serem zonas de amortecimento natural das cheias dos corpos d'água, ao serem impermeabilizadas, elas provocam o acúmulo e o escoamento, por entre as edificações construídas, das águas que antes se infiltravam no solo.

Dificuldade de locomoção em vias públicas, prejuízos humanos e materiais de grandes proporções e propagação de doenças através da água contaminada são algumas das consequências diretas dos transbordamentos de corpos hídricos e alagamentos das áreas urbanas, prejuízos bastante onerosos para a sociedade. A cidade do Recife (PE) é uma das que sofre com esse cenário. Cidade de destaque econômico e cultural para a região Nordeste e para o Brasil, Recife possui uma população estimada em 1.633.697 habitantes em 2017, ocupando uma área de 218,435 km<sup>2</sup>. Assim como a maioria das metrópoles brasileiras, cresceu pelo processo de metropolização por inchação, tendo uma alta concentração de habitantes (IBGE, 2017; GONÇALVES *et al*, 2013).

Antes da ocupação urbana, a planície aluvionar do Recife formava uma grande bacia de acumulação, correspondendo aos estuários dos rios Capibaribe, Beberibe e Tejiú, que compõem a bacia do estuário comum do Recife. O processo de urbanização da região foi iniciado no século XVI pela instalação de engenhos na planície do estuário do rio Capibaribe e pelo desenvolvimento de pequenos núcleos urbanos nas proximidades do porto da cidade. A partir do processo de urbanização, as áreas da bacia do estuário comum começaram a ser modificadas, não se tomando os devidos cuidados com a drenagem das águas de superfície. Aterros foram executados com material de baixa permeabilidade e não foram elevados o suficiente. Muitos cursos d'água secundários foram extintos e suas calhas principais foram limitadas em suas seções de escoamento, de forma que a capacidade de transporte de enchentes foi muitíssimo reduzida (MOURA, 2014; BEZERRA FILHO, 2010).

Historicamente, as atividades de planejamento urbano brasileiras praticamente não consideram os aspectos referentes ao escoamento das águas de superfície. No Brasil, até hoje, a maioria das grandes cidades não possui políticas públicas que tratem especificamente do projeto, operação e manutenção de dispositivos e sistemas de controle de drenagem, como os Planos Diretores de Drenagem Urbana. A ausência de um planejamento integrado do espaço urbano em cidades como Recife provocou reflexos negativos na configuração dessas cidades como, por exemplo, as ocupações indevidas das bacias de inundação dos rios e a impermeabilização indiscriminada dos lotes (BEZERRA FILHO, 2010; BAPTISTA; NASCIMENTO; BARRAUD, 2005).

Na Região Metropolitana do Recife (RMR) esse reflexo negativo pode ser percebido, primeiramente, nas margens dos rios e proximidades. Nesse perímetro existe um déficit de áreas livres de construções que funcionem como bacia de amortecimento das cheias. Por consequência, todas as vezes em que há um transbordamento da calha do rio devido a chuvas mais intensas, a água invade os terrenos das edificações ribeirinhas.

Outro reflexo negativo dessa urbanização não planejada diz respeito à redução da zona estuarina do Recife à região da Bacia do Pina, um prolongamento natural da bacia do Porto do Recife, cuja eficiência na absorção de cheias é bastante baixa. Além de ser uma área muito menor comparada à bacia do estuário comum do Recife, sua capacidade atual de absorção de transbordamentos é bem menor que a original devido à ocupação da sua periferia e, principalmente, ao seu alto grau de assoreamento (BEZERRA FILHO, 2010).

No que diz respeito às taxas de impermeabilização dos lotes, os efeitos da urbanização não planejada são observados na evolução histórica do coeficiente de escoamento superficial da região, que corresponde à relação entre o total de água escoado superficialmente e o total de água precipitado. Antes da urbanização ele era da ordem de 0.15 e, atualmente, encontra-se por volta de 0.80. Esse aumento tão significativo foi

provocado, principalmente, pela ausência de limites à impermeabilização dos lotes, o que contribuiu severamente para a sobrecarga na capacidade de drenagem dos cursos d'água urbanos (BEZERRA FILHO, 2010).

Como alternativa para compensar as perdas de armazenamento natural dos deflúvios provocadas pelos fatores descritos anteriormente, obras de drenagem foram construídas na cidade do Recife, sendo concebidas dentro de um sistema clássico de drenagem urbana. O princípio norteador dessas obras foi o de escoar, por gravidade, a água precipitada para longe da área projetada, o mais rápido possível. As velocidades de escoamento alcançadas, no entanto, não foram grandes o suficiente para evitar remansos, visto que a região, por ser uma planície fluvio-marinha, não possui gradientes hidráulicos suficientes para escoamentos rápidos. Como consequência disso, as estruturas de drenagem, na prática, possuem uma capacidade de escoamento reduzida em relação àquela para qual elas foram projetadas, não cumprindo plenamente as funções a que se destinam. Sob tais condições de funcionamento, é possível, inclusive, que elas promovam um aumento na ocorrência de inundações a montante (SILVA JÚNIOR; SILVA, 2014; BEZERRA FILHO, 2012).

Um outro inconveniente do sistema de drenagem Recifense é que, assim como todo sistema clássico de drenagem, ele possui severas limitações a expansões físicas. Quando fisicamente possíveis, essas expansões demandam investimentos onerosos, o que muitas vezes as torna financeiramente inviáveis. Além disso, esse tipo de sistema tende a apenas mudar os volumes de lugar, enviando os afluxos rapidamente para as regiões a jusante e transferindo o “problema” ao invés de solucioná-lo. A “transferência” das vazões provoca um aumento de várias ordens de magnitude em fatores relacionados a inundações a jusante do sistema, como nível, vazão máxima e frequência (TUCCI; BERTONI, 2003).

Em um cenário como esse, o atendimento a crescentes demandas por escoamento advindas do avanço urbano fica comprometido. Percebe-se, então, a necessidade urgente de se reavaliar o conceito de drenagem urbana em Recife e sua Região Metropolitana, analisando cautelosamente os elementos que tem provocado desequilíbrios no ciclo hidrológico nessa região.

O presente estudo buscou analisar a evolução do aumento das áreas impermeabilizadas e respectivo acréscimo de escoamento superficial em um ponto crítico de alagamento na cidade do Recife, identificando também os problemas de drenagem enfrentados no local durante eventos críticos de chuva. Assim, espera-se contribuir com a Empresa de Manutenção e Limpeza Urbana do município (EMLURB) na implantação de medidas eficientes para a atenuação dos alagamentos na área estudada.

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

### **Revisão da Literatura**

A primeira etapa desta pesquisa consistiu em uma busca exploratória de estudos e experiências semelhantes realizadas em outras regiões a partir de fontes científicas respeitáveis, a fim de reunir informações técnicas diversas que contribuam para a fundamentação do tema abordado na pesquisa e para a construção de hipóteses acerca dos problemas evidenciados. Esta análise serviu, principalmente, como base para o levantamento dos dados de urbanização necessários à análise proposta e para a escolha do método a ser utilizado para o dimensionamento do aumento do escoamento superficial.

### **Escolha e caracterização da região de estudo**

O órgão gestor da drenagem urbana da cidade do Recife, EMLURB, possui um cadastro dos pontos de alagamento crítico da cidade, que são ruas e avenidas que ficam inundadas sob chuvas intensas porque não há o devido escoamento das águas. Nessas localidades, em muitos casos, as estruturas de drenagem existem, mas estão obstruídas ou, na maioria das vezes, não tem dimensões suficientes para captar todo o volume escoado de forma segura. Muitos desses pontos até já sofreram algum tipo de intervenção do município, mas, como, em termos hidráulicos, as cidades Brasileiras tradicionalmente tratam dos problemas de drenagem em caráter emergencial tomando medidas locais focadas apenas as áreas mais afetadas, as soluções adotadas geralmente não são eficientes (BEZERRA FILHO, 2012).

Silva Júnior (2015) organizou, em sua pesquisa, os dados dos 159 pontos críticos de alagamento existentes no município do Recife de acordo com as seis regiões político-administrativas adotadas pelo Plano Diretor de Desenvolvimento do município. Com base nesses dados e na pesquisa desenvolvida por Moura e Silva (2015), escolheu-se para o desenvolvimento do presente estudo o ponto crítico situado no cruzamento das ruas José Brandão e Francisco da Cunha, bairro de Boa Viagem (Figuras 1 e 2).



**Figura 1: Localização do município do Recife/PE no Brasil. Fonte: Wikipedia (2017).**



**Figura 2: Localização do ponto de alagamento estudado, no litoral recifense. Fonte: As autoras.**

Inserido na sub-bacia do rio Jordão, pertencente à bacia do rio Tejiú, o ponto crítico analisado encontra-se no litoral recifense, compreendido entre o mar e o Parque dos Manguezais, uma reserva ambiental de mangue envolta por braços do rio Jordão e da baía do Pina, e com influência dos rios Tejiú e Capibaribe (MARTINS; MELO, 2007).

A bacia do rio Tejiú é composta pelos rios Tejiú, Jiquiá, Jordão e o pelo canal de Setúbal; ela possui área total de 93,2 km<sup>2</sup> e está inteiramente contida na RMR. A formação geológica da sua parte superior é de sedimentos do Grupo Barreiras, onde o relevo é mais movimentado e chega a ter pontos com altitude próxima aos 150 metros. Já sua porção inferior, localizada na Planície Costeira, é formada em sua maior parte por depósitos recentes (aluviões e mangues). Com fator de forma 0.22 e coeficiente de compacidade 1.71, a bacia do Tejiú apresenta grande potencialidade de produção de picos de cheias (BEZERRA FILHO, 2010). De acordo com a APAC (2015), a temperatura média da região é de 25°C e o índice pluviométrico médio fica em torno dos 2000mm.

#### **Escolha do método de estimativa do escoamento superficial**

Tucci e Bertoni (2003), Canholi (2005), Recesa (2008), Justino, Paula e Paiva (2011) e Moura (2014) recomendam o uso do Método Racional para a estimativa do escoamento superficial de bacias hidrográficas pequenas, como é a bacia analisada, visto que as hipóteses desse modelo são as que melhor se adaptam ao seu desempenho hidrológico.



Este método é amplamente utilizado quando existem muitos dados de chuva e poucos dados de vazão para a região em estudo. Considera-se que, se o produto da intensidade da chuva pela área da bacia hidrográfica é constante no intervalo de tempo necessário para drenar completamente essa bacia (ou por mais tempo), o valor do escoamento superficial será igual a esse produto da intensidade da chuva pela área, multiplicado por um coeficiente de escoamento superficial que varia em função da permeabilidade do solo da bacia. A intensidade de precipitação adotada é a média máxima possível associada um determinado tempo de recorrência e o coeficiente de escoamento superficial é, em geral, estimado a partir de dados tabelados (CLEVELAND; THOMPSON; FANG, 2011).

A Equação do Método Racional expressa por Canholi (2005) se mostrou adequada ao alcance dos objetivos propostos nesse trabalho a partir dos dados disponíveis, sendo considerada a melhor opção para o cálculo das vazões da bacia de contribuição (Equação 1).

$$Q = C \cdot I \cdot A / 3.6 \quad \text{Equação (1)}$$

em que “Q” é a vazão máxima de escoamento, dada em m<sup>3</sup>/s; “C” é o coeficiente de escoamento superficial, adimensional; “I” é intensidade máxima da precipitação, dada em mm/h; e “A” é a área de drenagem superficial, em km<sup>2</sup>.

Uma das premissas básicas do Método Racional é que a chuva de projeto tenha duração igual ou superior ao tempo de concentração da bacia de contribuição considerada. O tempo de concentração da bacia nesse estudo foi calculado através do método de Kirpich (Equação 2), descrito por Franco (2004).

$$T_c = 57 \cdot (L^3/H)^{0.385} \quad \text{Equação (2)}$$

em que “L” é o comprimento do curso, em quilômetros; “H” é a diferença de altitude entre o ponto mais remoto da bacia e a seção principal, em metros; e “Tc” é o tempo de concentração, em minutos.

A obtenção da precipitação média da bacia considerada foi baseada na nova Equação de Chuva Intensa do Plano Diretor de Drenagem Urbana do Recife (Equação 3), obtida a partir de Silva Júnior e Silva (2016).

$$i = (611,3425 \cdot T_r^{0.1671}) / (t + 7,3069)^{0.6348} \quad \text{Equação (3)}$$

em que “i” é a intensidade máxima de chuva, dada em mm/h; “Tr” é o período de retorno, em anos; e “t” é a duração da chuva, em minutos.

### Diagnóstico da rede de drenagem

Conforme dados obtidos em visita à EMLURB, a drenagem do ponto crítico analisado é realizada, por gravidade, pelas estruturas de microdrenagem das ruas, as quais conduzem as águas no sentido leste (mar) - oeste (Parque dos Manguezais), sendo a Avenida Boa Viagem o divisor de águas. Por conta da topografia muito plana e a influência das marés, a velocidade de escoamento das galerias sofre uma sensível redução em períodos de maré alta devido à variação de altitude entre a área a ser drenada e o destino final das águas. Consequentemente, mesmo chuvas de intensidades consideradas baixas para a região são capazes de provocar grandes alagamentos (SILVA JÚNIOR; SILVA, 2014; SILVA JÚNIOR; SILVA; CABRAL, 2017).

Uma visita técnica à área de estudo foi realizada no dia 09 de julho de 2015, poucos dias após ela sofrer um grande alagamento devido a um período intenso de chuvas, com o objetivo de reconhecer a região e verificar as causas desses alagamentos. As Ruas Eduardo Wanderley Filho, Francisco da Cunha, Professor José Brandão e Tenente João Cícero foram percorridas buscando identificar os seus elementos de drenagem e verificar seu estado de conservação e condições de funcionamento.

## RESULTADOS

Identificou-se que, nos últimos 50 anos, o bairro de Boa Viagem teve um grande avanço na sua ocupação urbana, especialmente na sua faixa litorânea. Houve um aumento da área edificada de 36% para 58% e uma redução da cobertura vegetal de 21% para 6% na região próxima das praias do Pina e de Boa Viagem entre os anos de 1974 e 2005, aumentando também do número de edifícios residenciais, retrato do processo de expansão urbana vertical (GONÇALVES *et al*, 2013). O aumento das áreas impermeabilizadas e a redução da cobertura vegetal reduziram a capacidade de infiltração do solo e aumentaram o escoamento superficial das águas pluviais pelas ruas e avenidas. A intensa ocupação urbana sem o devido planejamento, associada à falta de uma infraestrutura de drenagem adequada, gerou um ambiente muito propício à ocorrência de alagamentos durante eventos chuvosos (SILVA JUNIOR; SILVA; ALCOFORADO, 2016).

A Figura 3 retrata as condições dos alagamentos que ocorrem regularmente no ponto crítico considerado nesse estudo.



**Figura 3: Alagamentos ocorridos em 04/07/2015 nas ruas Eduardo Wanderley Filho, Francisco da Cunha, Professor José Brandão e Tenente João Cícero. Fonte: Moura (2015).**

As ruas mostradas na Figura 3 foram visitadas no dia 09 de julho de 2015 para análise da infraestrutura de drenagem. Verificou-se que as bocas de lobo se encontravam em péssimas condições de conservação, estando a maioria delas parcialmente ou totalmente obstruídas por resíduos sólidos urbanos, vegetação e sedimentos. Além disso, muitas tampas estavam mal posicionadas, bloqueando a passagem de água. Também foram identificados sinais de escoamento de esgoto para o interior de algumas dessas estruturas e redes de drenagem de edifícios escoando diretamente nas sarjetas da rua. Das 13 bocas de lobo observadas, apenas duas estavam em boas condições. Tal cenário pode ser verificado na Figura 4.



**Figura 4: Condição de conservação da rede de microdrenagem, verificada na visita técnica do dia 09/07/2015. Fonte: As autoras.**

Para a análise da evolução da impermeabilização do solo na região, foi delimitada uma bacia de contribuição que abrange aproximadamente 5.5 ha, não compreendendo assim toda a sub-bacia hidrográfica. Vale salientar que a área considerada foi definida a partir do sistema local de drenagem, integrante ao sistema principal da região estudada, considerando o ponto de alagamento como o exutório da bacia de contribuição e o Parque dos Manguezais como o exutório do sistema principal. A bacia de contribuição e sua respectiva área foram obtidas a partir do Sistema de Informações Geográficas da Prefeitura do Recife (ESIG), tendo como critérios os limites dos lotes e quadras, a topografia da região e a rede de microdrenagem, esclarecida por informações obtidas junto à EMLURB (Figura 5).



**Figura 5: Área de Contribuição. Fonte: As autoras.**

Os valores do Coeficiente de Escoamento Superficial (C) utilizados para a estimativa dos volumes de escoamento foram extraídos de Moura e Silva (2015), em que se analisa a evolução das áreas impermeabilizadas na região do Recife com base em ortofotocartas e imagens de satélite dos anos de 1975 e 2007, englobando também o ponto de alagamento crítico estudado. Assim, obteve-se os valores de C para os anos de 1975 e 2007, sendo eles 0.37 e 0.73, respectivamente.

O tempo de concentração da bacia de contribuição, calculado através do Método de Kirpich (Equação 2), é de 20.388 min. O comprimento do curso foi definido através de análise da área de contribuição no ambiente CAD, sendo igual a 0.452 km. A diferença de altitude foi obtida a partir das cotas das tampas dos poços de visita da rua Professor José Brandão, fornecidas pela EMLURB, sendo igual a 1.334 m.

A precipitação média da bacia foi calculada utilizando-se a nova Equação de Chuva Intensa do Plano Diretor de Drenagem Urbana do Recife (Equação 3) e adotando-se um tempo de retorno de 2 anos, considerando os critérios de Tucci e Bertoni (2003) para microdrenagem residencial.

As vazões do escoamento superficial estimadas pelo Método Racional (Equação 1) foram de 0.4734 m<sup>3</sup>/s para o ano de 1975 e 0.9340 m<sup>3</sup>/s para o ano de 2007, revelando um aumento de 97% no período considerado.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos resultados obtidos foi possível ter uma dimensão quantitativa do impacto do aumento das áreas impermeáveis do solo nas taxas de escoamento superficial. Um acréscimo de 22% na área edificada e uma redução de 15% na cobertura vegetal corresponderam a um aumento de 97% na vazão de escoamento superficial.

Considerando o quão significativo é esse impacto, torna-se necessário destacar a importância de uma avaliação criteriosa dos efeitos das intervenções urbanas na dinâmica das águas. Suas repercussões devem ser cuidadosamente analisadas desde a fase de planejamento dos projetos urbanísticos, de forma que sejam também planejadas e incorporadas medidas atenuadoras dos seus impactos.

Outra reflexão relevante diz respeito às causas dos alagamentos nas proximidades do ponto estudado. Apesar da relação direta entre a impermeabilização do solo e o aumento das vazões de escoamento superficial, os alagamentos ocorridos na região estudada não são exclusivamente causados pelo aumento nas áreas impermeabilizadas. Todas as situações apontadas no diagnóstico do sistema de drenagem feito nessa pesquisa contribuem para uma piora nas condições de escoamento da região, naturalmente deficientes devido às influências das marés e da topografia plana. A presença de esgoto e da drenagem direta dos prédios nas sarjetas das ruas contribui para a sobrecarga das estruturas de microdrenagem das ruas, enquanto a obstrução total ou parcial das bocas de lobo prejudica a condução das águas pluviais para as galerias. Tudo isso promove um cenário de retenção das águas na rua, contribuindo com os alagamentos.

A longa ausência de normas regulamentares claras e específicas que norteassem as obras de drenagem tanto públicas quanto privadas também foi um fator de grande influência no acúmulo de água nas ruas, pois o planejamento e a manutenção dos sistemas de drenagem depende delas, e sem esses elementos funcionando bem não é possível ter boas condições de escoamento. Essa situação atualmente está sendo revertida, com a Lei Municipal do Telhado Verde já em vigor e com o Plano Diretor de Drenagem Urbana do Recife, em fase final de elaboração.

Percebe-se que, para que se alcance uma redução dos desequilíbrios hidrológicos, é necessário um engajamento coletivo entre estado, empresas e sociedade na responsabilidade pelo destino das águas.

Alternativas a serem propostas para a mitigação e/ou erradicação dos alagamentos dessa região devem levar em consideração todo o cenário descrito nessa pesquisa, tendo como principais objetivos ampliar as condições de infiltração e escoamento das águas pluviais, promover um desempenho eficiente dos sistemas de micro e macrodrenagem, e criar condições que permitam um avanço urbano equilibrado. Dessa forma, será possível reduzir as retenções das águas nas ruas e as consequências negativas da urbanização desregrada, gerando ao mesmo tempo um cenário de desenvolvimento urbano sustentável, pautado na responsabilidade em relação aos seus impactos na dinâmica natural das águas.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AGÊNCIA PERNAMBUCANA DE ÁGUAS E CLIMAS - APAC. Meteorologia. 2015. Disponível em: <<http://www.apac.pe.gov.br/meteorologia/estacoes-do-ano.php?estacao=verao>>. Acesso em: 29 ago 2015.
2. BAPTISTA, M., NASCIMENTO, N., BARRAUD, S. Técnicas Compensatórias em Drenagem Urbana. 2. ed. Porto Alegre: ABRH, 2005.
3. BEZERRA FILHO, G. B. Controle das enchentes na RMR: É possível? Recife, 2012. Não publicado.
4. BEZERRA FILHO, G. B. Entre os rios e o mar, os descaminhos das águas do na RMR. Recife, 2010. Não publicado.
5. CANHOLI, A. P. Drenagem Urbana e Controle de Enchentes. São Paulo: Oficina de Textos, 2005. 302p.
6. CLEVELAND, T G.; THOMPSON, D. B; FANG, X. *Use of the racional method and modified rational method for hydraulic design. Multidisciplinary Research in Transportation, Texas Department of Transportation, Texas Tech University*, Jun. 2011. Disponível em: <[www.techmrt.ttu.edu/reports.php](http://www.techmrt.ttu.edu/reports.php)>. Acesso em: 24 fev. 2015.
7. FRANCO, E. J. Dimensionamento de bacias de retenção das águas pluviais com base no método racional. Curitiba, 2004. 155 f. Dissertação de mestrado – Programa de Pós-graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental – Universidade Federal do Paraná, 2004. Disponível em: <[https://docs.ufpr.br/~bleninger/dissertacoes/085-Edu\\_Jose\\_Franco.pdf](https://docs.ufpr.br/~bleninger/dissertacoes/085-Edu_Jose_Franco.pdf)>. Acesso em: 29 maio 2017.
8. GONÇALVES, R. M., PACHECO, A. da P., TANAJURA, E. L. X., SILVA L. M. Urbanização costeira e sombreamento na praia de Boa Viagem, Recife, PE, Brasil. *Revista de Geografia Norte Grande*, Santiago, n. 54, p. 241-255, 2013. Disponível em: <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30026387013>>. Acesso em: 24 jul. 2015.
9. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Cidades. 2017. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pe/recife/panorama>>. Acesso em: 30 abr. 2018.
10. JUSTINO, E. A., PAULA, H. M., PAIVA, E. C. R. Análise do efeito da impermeabilização dos solos urbanos na drenagem de água pluvial no município de Uberlândia-MG. *Espaço em Revista*, Goiás, v. 13, n. 2, p. 16-38, Jul/Dez, 2011. Disponível em: <<http://www.revistas.ufg.br/index.php/espaco/article/download/16884/10333>>. Acesso em: 10 nov. 2014.
11. MARTINS, G. N., MELO, A. S. S. de A. O Valor da Opção de Preservação do Parque dos Manguezais em Recife-PE: Uma Utilização do Método de Opções Reais. *Economia*, Brasília, v.8, n.4, p.75-95, Dez, 2007. Disponível em: <[http://www.anpec.org.br/revista/vol8/vol8n4p75\\_95.pdf](http://www.anpec.org.br/revista/vol8/vol8n4p75_95.pdf)>. Acesso em: 24 jul. 2015.
12. MOURA, E. F. S. Alagamento em Boa Viagem. 2015. 2 fotografias, color. Formato JPG. 1 CD-ROM.
13. MOURA, E. F. S. Estudo do grau de impermeabilização do solo e propostas de técnicas de drenagem urbana sustentável em área do Recife – PE. Recife, 2014. 91 f. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-graduação em Tecnologia Ambiental – Associação Instituto de Tecnologia de Pernambuco, 2014.
14. MOURA, E. F. S.; SILVA, S. R. 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*, São Paulo, v. 3, n. 15, p. 78-93, 2015.
15. REDE NACIONAL DE CAPACITAÇÃO E EXTENSÃO TECNOLÓGICA EM SANEAMENTO AMBIENTAL - RECESA. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (org). Águas Pluviais: planejamento setorial de drenagem urbana: guia do profissional em treinamento: nível 2. Salvador, 2008. 95p. Disponível em: <[http://www.unipacvaledoaco.com.br/ArquivosDiversos/planejamento\\_setorial\\_de\\_drenagem\\_urbana.pdf](http://www.unipacvaledoaco.com.br/ArquivosDiversos/planejamento_setorial_de_drenagem_urbana.pdf)>. Acesso em: 15 ago. 2015.
16. SILVA JÚNIOR, M. A. B. da. Alternativas compensatórias para controle de alagamentos em localidade do Recife-PE. Recife, 2015. 138 f. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil – Escola Politécnica da Universidade de Pernambuco, 2015.
17. SILVA JÚNIOR, M. A. B.; SILVA, S. R.; ALCOFORADO, R. M. G. Avaliação do sistema de microdrenagem visando à sustentabilidade de área urbana com problemas de alagamentos e influência das marés. *Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades*, São Paulo, v. 4, n. 24, p. 01-17, 2016.
18. SILVA JÚNIOR, M. A. B.; SILVA, S. R.; CABRAL, J. J. S. P. Compensatory alternatives for flooding control in urban areas with tidal influence in Recife – PE. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, Porto Alegre, v. 22, e.19, 2017.
19. SILVA JÚNIOR, M. A. B.; SILVA, S. R. Impactos da urbanização e das alterações climáticas no sistema de drenagem do Recife/PE. *Revista Brasileira de Geografia Física*, Recife, v.09, n.06, 2016.
20. SILVA JÚNIOR, M. A. B.; SILVA, S. R. (2014). Drenagem Urbana: O dia em que o Recife parou. *Revista Construir Nordeste*, Recife, p. 39 - 39, 01 mar. 2014. Disponível em: <<http://construirmordeste.com.br/novo/edicoes/>>. Acesso em: 27 jul. 2015.



21. TUCCI, C. E. M., BERTONI, J. C. Inundações Urbanas na América do Sul. 1. ed. Porto Alegre: ABRH, 2003. Disponível em: <<http://www.cepal.org/samtac/noticias/documentosdetrabajo/5/23335/InBr02803.pdf>>. Acesso em: 10 nov. 2014.
22. WIKIPEDIA. Localização do Recife. 2017. Formato SVG. Disponível em: <<https://pt.wikipedia.org/wiki/Recife>>. Acesso em: 01 out. 2017.