



# PROPOSTAS DE SOLUÇÕES SUSTENTÁVEIS EM DRENAGEM URBANA PARA ÁREAS CRÍTICAS DO RECIFE-PE

**MARCOS BARBOSA SILVA JR**

Doutorando em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos - UFPE

Engenheiro Civil e Mestre em Engenharia Civil - POLI/UPE

**Recife, 14 de Maio de 2019.**

- **CONTEXTUALIZAÇÃO:**

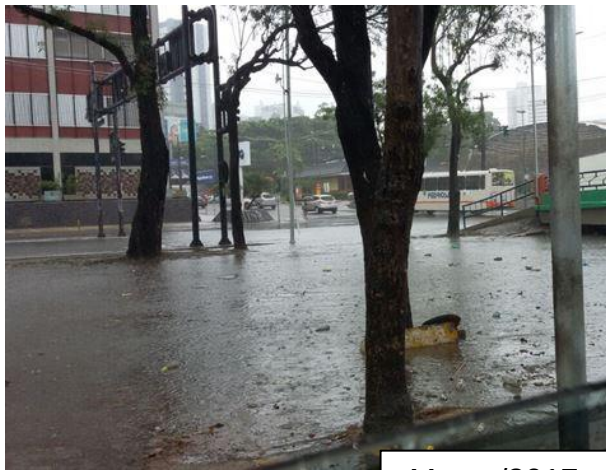
- ☐ A urbanização e seus impactos sobre a drenagem urbana
- ☐ Drenagem urbana do Recife: urbanização, chuvas intensas e marés
- ☐ Situação atual do sistema de drenagem do Recife
- ☐ Instrumentos de gestão e manejo das águas pluviais no Recife
- ☐ Modelagem matemática como ferramenta de suporte à gestão da drenagem urbana
- ☐ Soluções alternativas ou compensatórias para controle da drenagem urbana

- **ESTUDOS TÉCNICOS ABORDADOS:**

- ☐ Manutenção dos sistemas de microdrenagem
- ☐ Reservatório de retenção em logradouros
- ☐ Estudo de caso detalhado: alagamentos no bairro da Soledade, em Recife-PE.







Fonte: Folha PE.

Março/2017



Chuvas deixaram ruas  
alagadas na capital de PE

FOTO: DIÁRIO DE PERNAMBUCO

Maio/2016



Motociclista precisa de ajuda para atravessar a Avenida Recife, na Zona Sul da capital

Fonte: G1 Notícias.

Junho/2015



Pontos de alagamento deixaram Avenida Recife intransitável (Foto: Reprodução/CTTU)

Junho/2014

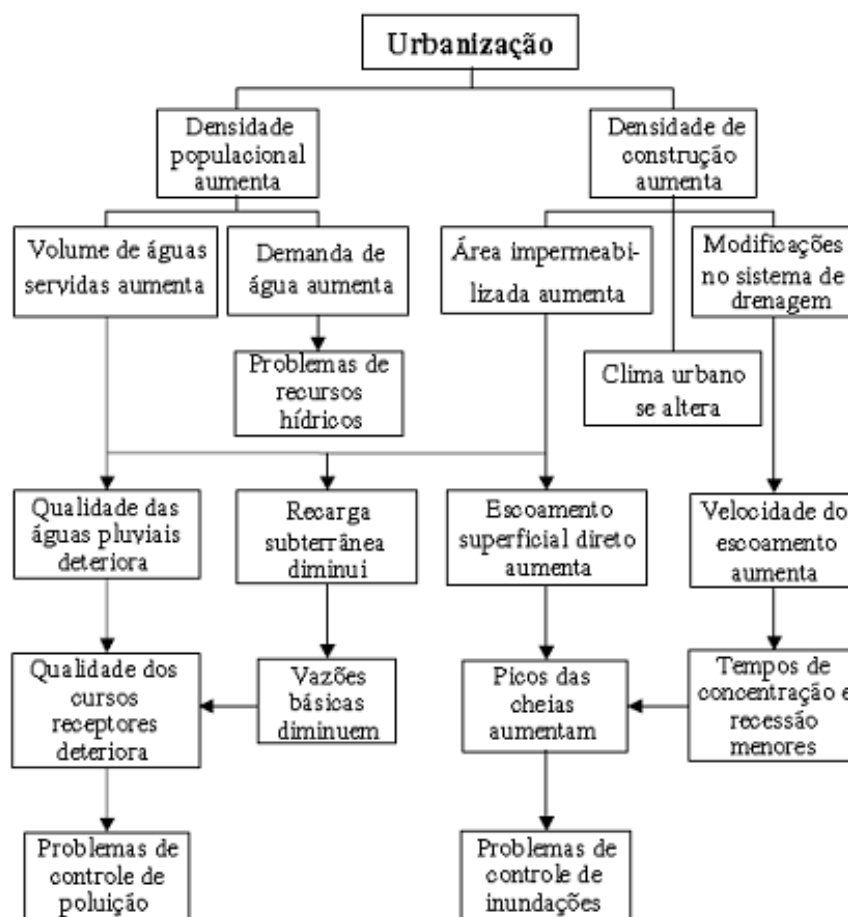


Fonte: G1 Notícias.

Maio/2013

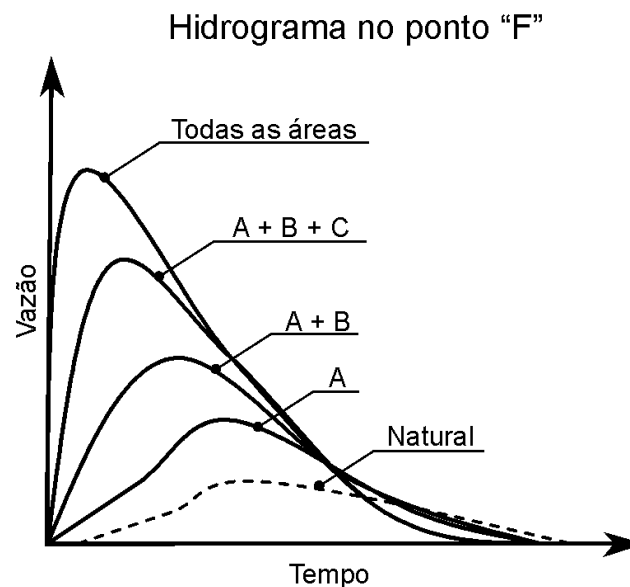
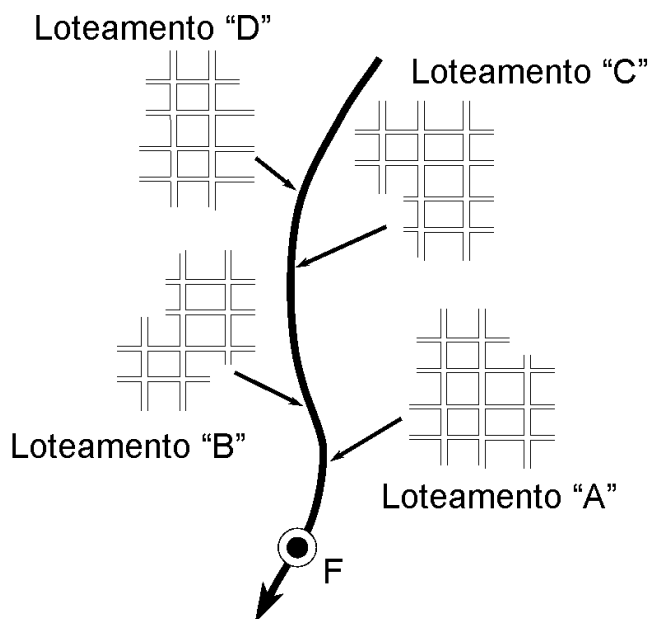
## A URBANIZAÇÃO E SEUS IMPACTOS SOBRE A DRENAGEM URBANA

### *Processos urbanos e seus impactos no ciclo hidrológico*



## A URBANIZAÇÃO E SEUS IMPACTOS SOBRE A DRENAGEM URBANA

*Efeito cumulativo do hidrograma relacionado aos impactos do processo de urbanização*



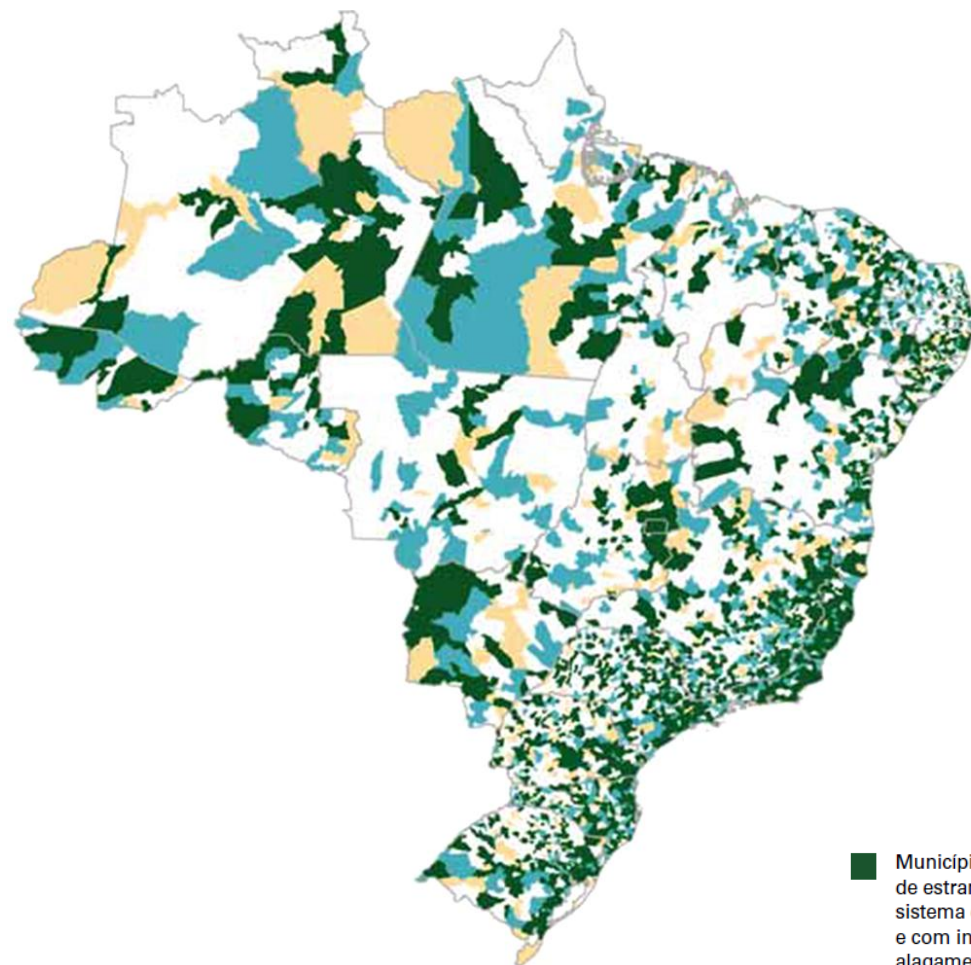
Fonte: TUCCI (2013).

Nessas condições ocorre aumento da velocidade de escoamento, redução do tempo de concentração na bacia, aumento e antecipação na vazão a qual pode ter seu valor de pico aumentado em até **SEIS VEZES** (TUCCI, 2009).



# CONTEXTUALIZAÇÃO

***Municípios brasileiros com ocorrência de inundações e/ou alagamentos na área urbana e pontos de estrangulamento no sistema de drenagem nos últimos cinco anos – 2008***



Segundo a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico de 2008 (IBGE, 2010):

- 40,87% dos municípios brasileiros sofreram inundações ou alagamentos em áreas urbanas nos últimos 5 anos.
- 60,7% - ocupação urbana em áreas inundáveis naturalmente por cursos d'água.
- As regiões mais afetadas por estes desastres foram o Sudeste e Sul.

■ Municípios com pontos de estrangulamento no sistema de drenagem e com inundações e/ou alagamentos, na área urbana, nos últimos cinco anos

■ Municípios com inundações e/ou alagamentos, na área urbana, nos últimos cinco anos

■ Municípios com pontos de estrangulamento no sistema de drenagem, na área urbana, nos últimos cinco anos

## *Ocorrência de inundações e/ou alagamentos em Pernambuco*

Dados da Pesquisa Nacional de Saneamento Básico de 2008, mostram que **49% DOS MUNICÍPIOS** sofreram inundações e/ou alagamentos em sua área urbana nos últimos cinco anos.

| Áreas que ocorreram inundações ou alagamentos                                           | Percentual de municípios (%) |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|
| Áreas urbanas ocupadas, inundáveis naturalmente pelo curso d'água.                      | 31,35                        |
| Áreas de baixios naturalmente inundáveis, ocupadas irregularmente e/ou inadequadamente. | 27,03                        |
| Áreas não usualmente inundáveis                                                         | 14,59                        |
| Outras                                                                                  | 3,24                         |
| <b>Total</b>                                                                            | <b>49,19</b>                 |

Fonte: PNSB – 2008 (IBGE, 2010).



# CONTEXTUALIZAÇÃO

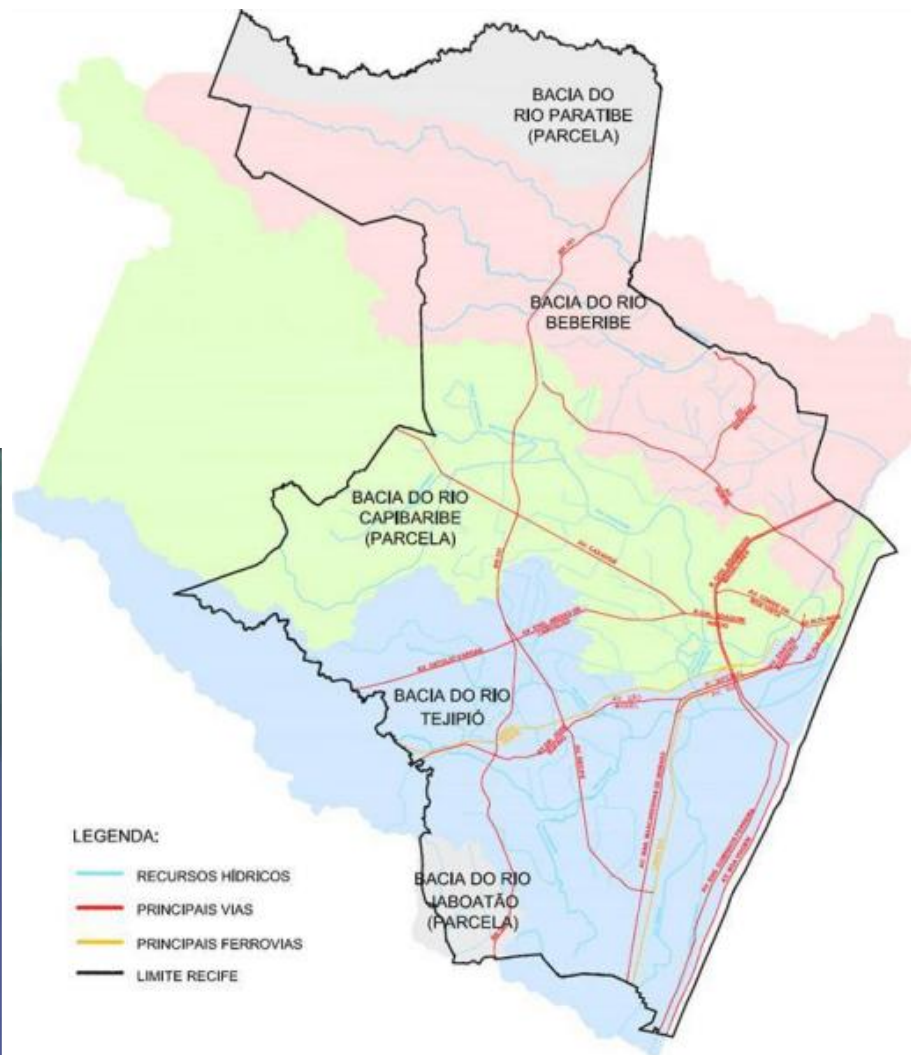
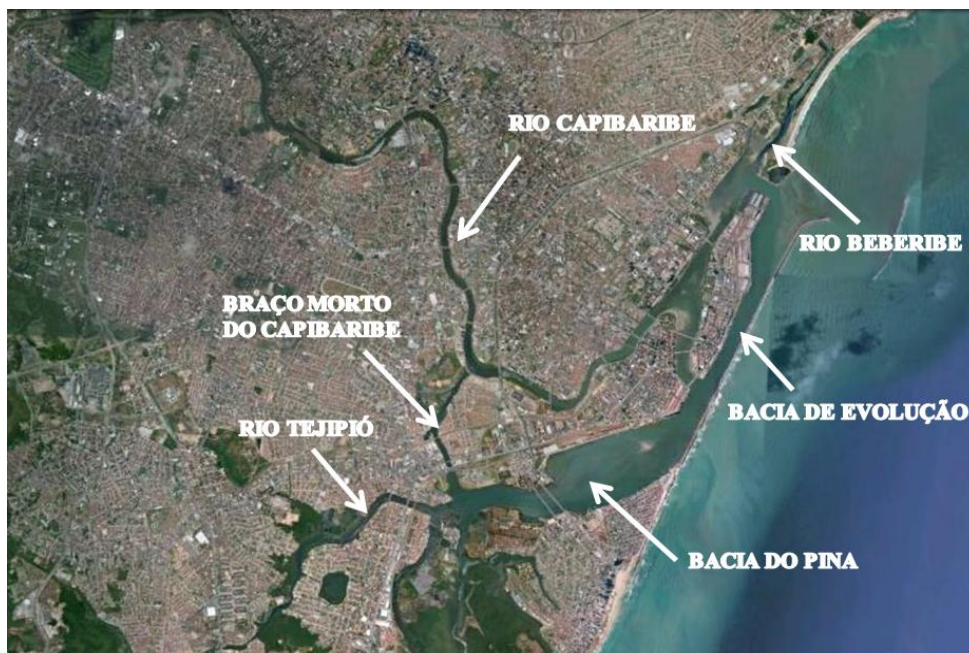
## RECIFE – A VENEZA BRASILEIRA

Integra a RMR junto com 13 municípios.

Área de 218,50 km<sup>2</sup>      1.537.704 habitantes

Precip. Anual: 2.303 mm

Período chuvoso: Março a Agosto



Fonte: IBGE (2010); SILVA JUNIOR e SILVA (2016); ABF/EMLURB (2017).

## **A URBANIZAÇÃO DO RECIFE E A PROBLEMÁTICA DA DRENAGEM URBANA**

- ❑ O início da urbanização na cidade data do século XVI, quando sua atual área ainda pertencia à Vila de Olinda.
- ❑ Na década de 1970, acelerou no Recife o processo de adensamento construtivo e populacional na faixa diretamente litorânea, estendendo tal condição de crescimento para os municípios vizinhos também litorâneos – Jaboatão dos Guararapes, Olinda e Paulista.
- ❑ Em 1996 as unidades habitacionais com mais de 10 pavimentos representava um percentual de 43% .
- ❑ Em 2003 este percentual subiu para 57%, onde desse total, 4,2% são edificações com mais de 20 pavimentos.
- ❑ Coeficiente de escoamento superficial - *run off* (EMLURB, 2013)
  - { - Início da formação do Recife: 0,15
  - { - Recife fortemente urbanizado (Condição Atual): 0,80
- ❑ Urbanização em área de Boa Viagem (MOURA e SILVA, 2015): 1975 – 0,37; 2007 – 0,73
  - ↳ Acréscimo de 22% na área edificada; redução de 15% na cobertura vegetal; aumento de 97% na vazão de escoamento superficial (CAVALCANTI, 2017).

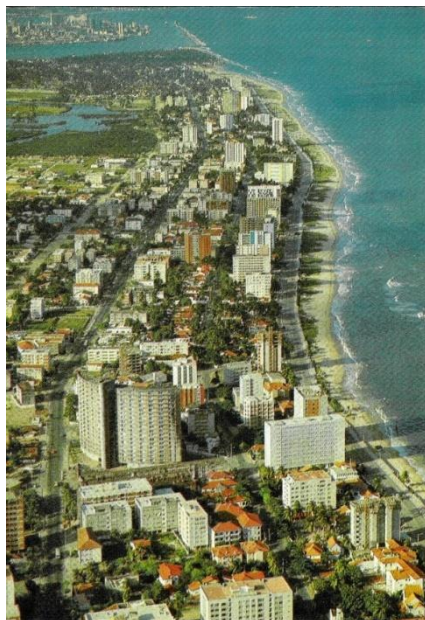
## A URBANIZAÇÃO DO RECIFE E A PROBLEMÁTICA DA DRENAGEM URBANA

### *Evolução do Processo de Urbanização*

| Gonçalves et al. 2013 | 1974 | 2005 |
|-----------------------|------|------|
| Área edificada        | 36%  | 58%  |
| Cobertura vegetal     | 21%  | 6%   |



Primeiros prédios em Boa Viagem  
(Anos 50)



Bairro de Boa Viagem bem  
urbanizado  
(Anos 70)



Urbanização  
Vertical em Boa Viagem  
(Anos 2000)





## ***PROBLEMAS RECORRENTES NO SISTEMA DE DRENAGEM DO RECIFE***

- ☐ Áreas planas e fortemente urbanizadas;
- ☐ Uso do sistema de drenagem para escoamento de dejetos;
- ☐ Inúmeras áreas afetadas por alagamentos, devido influência das marés;
- ☐ Obstruções na macrodrenagem em virtude da presença de esgotos e crescimento da vegetação;
- ☐ Galerias semi-obstruídas e danificadas;
- ☐ Vários assentamentos de baixa renda, localizados ao longo dos rios e canais causando confinamento da calha fluvial;
- ☐ A ocupação dos morros e encostas aumentando as vazões, a formação de sedimentos e pondo em risco a vida da população.

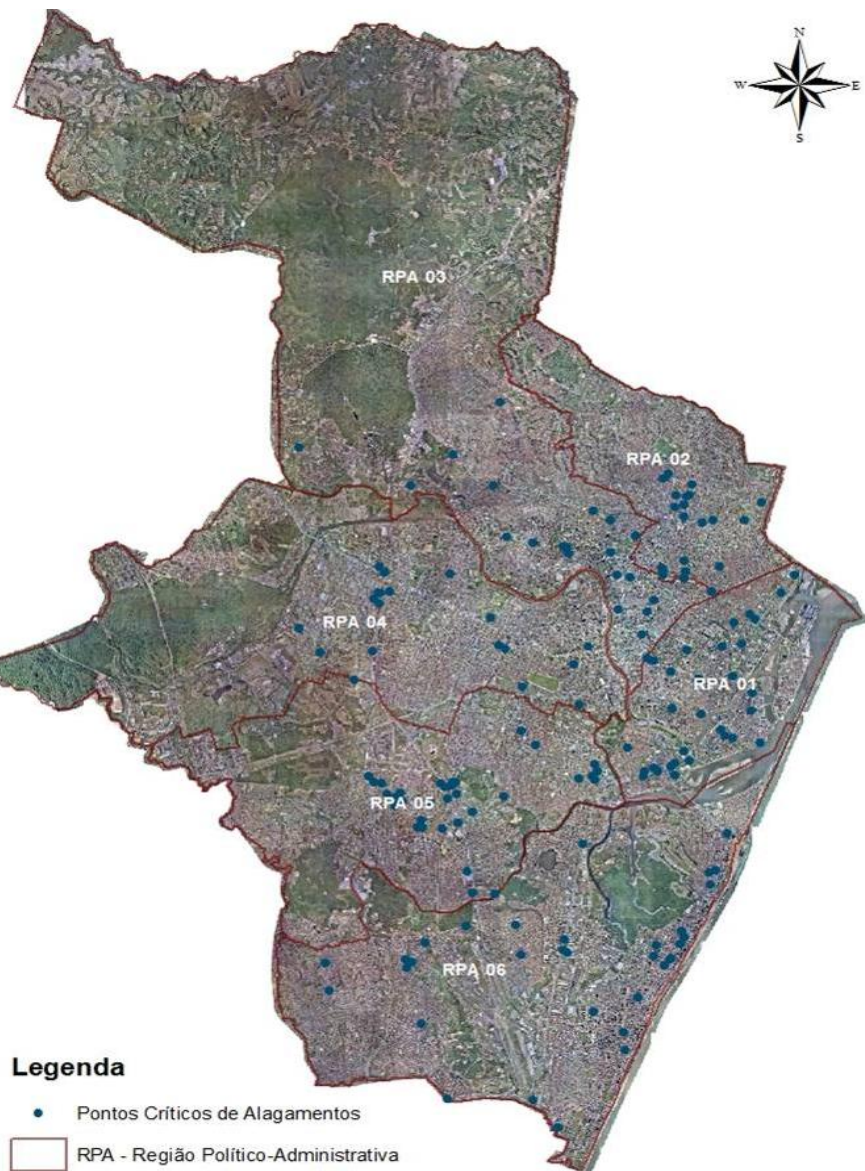


# CONTEXTUALIZAÇÃO

## *Pontos críticos de alagamentos no Recife*

**159 pontos críticos de alagamentos**

- 33 pontos – Via arterial principal
- 12 pontos – Via arterial secundária
- 20 pontos – Via coletora
- 81 pontos – Via local
- 13 pontos – Sem precisão de localização

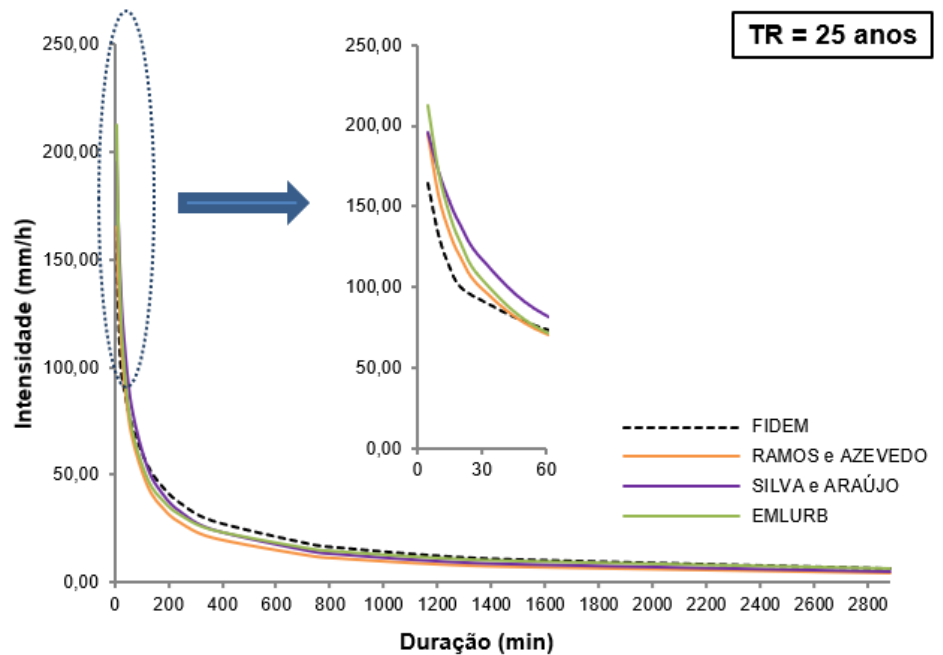
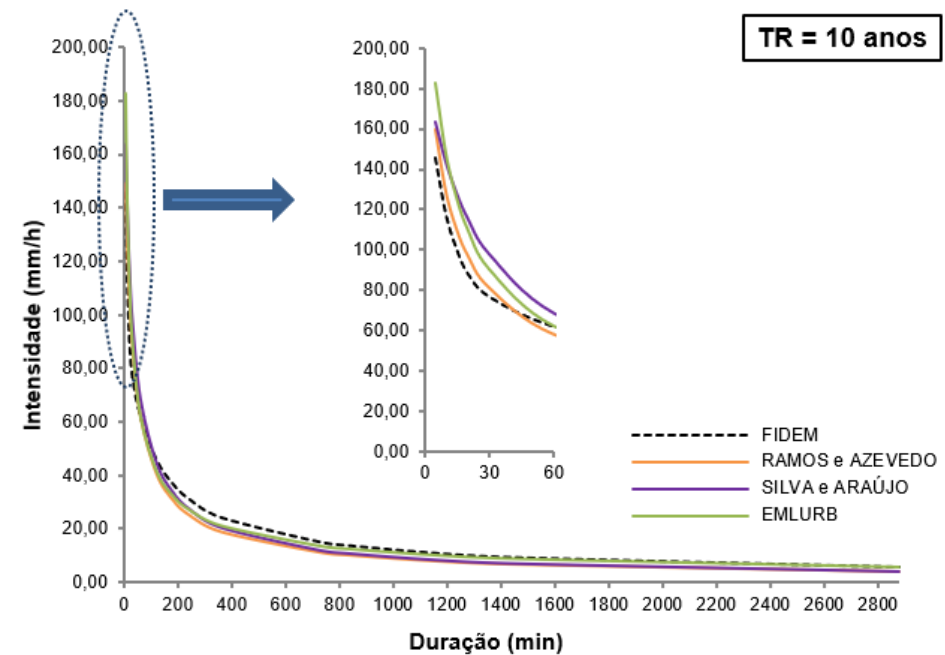
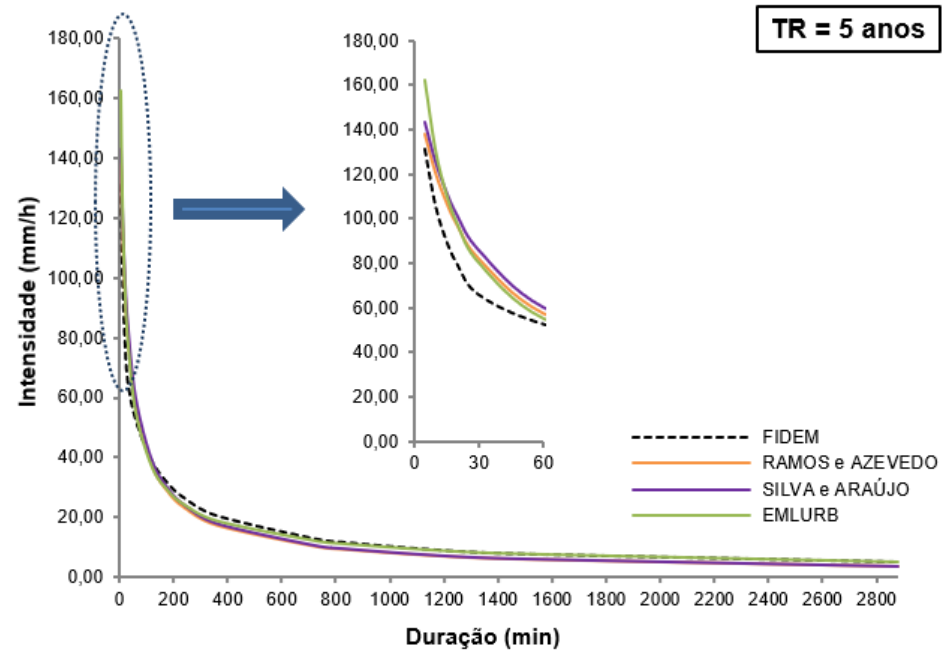
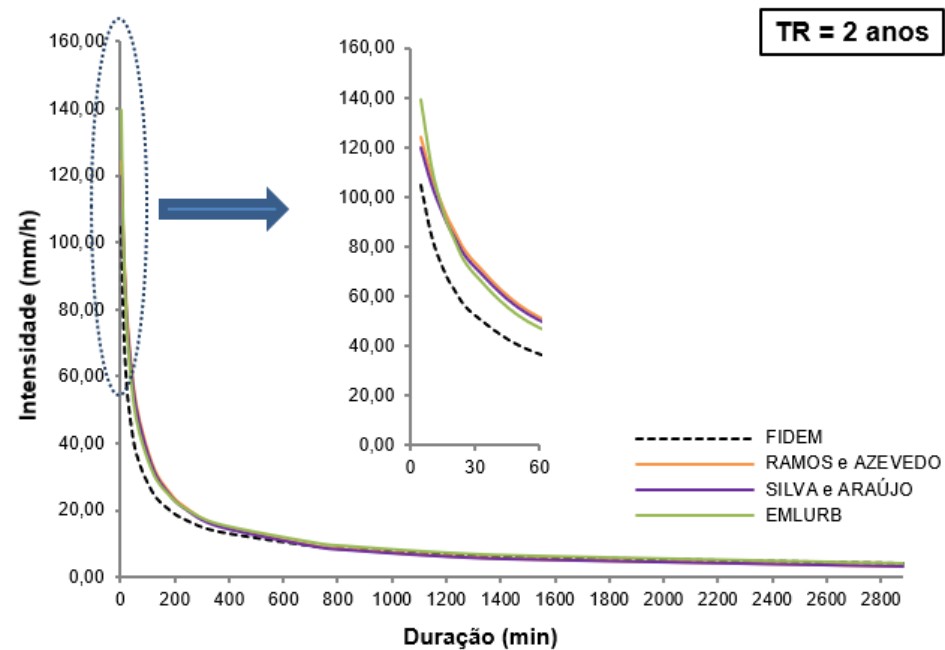


### Legenda

- Pontos Críticos de Alagamentos
- RPA - Região Político-Administrativa

## CHUVAS INTENSAS – EQUAÇÕES IDF's DO RECIFE

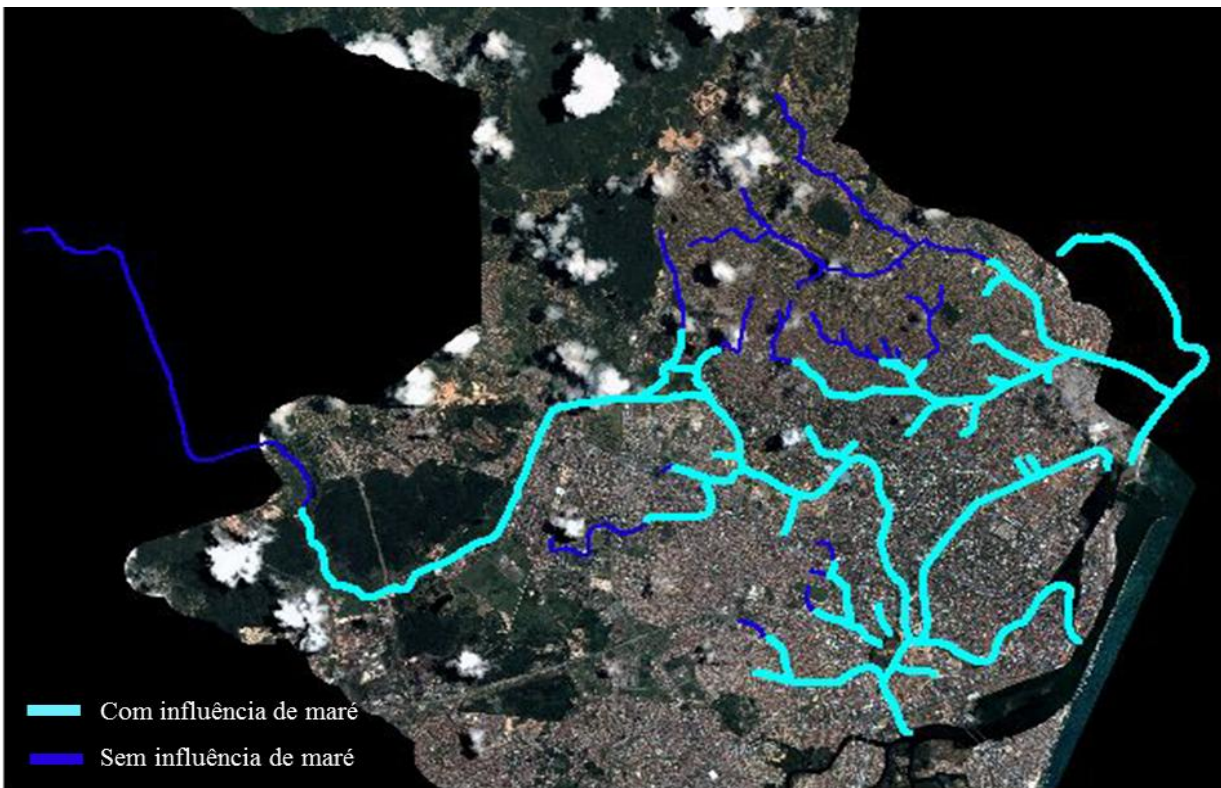
|                                                                                                  |                                                                                              |                                                                                                                                                      |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Plano Diretor de Macrodrenagem da RMR<br>ACQUA-PLAN (FIDEM, 1985)                                | 25 anos de dados (1926-1976)<br>Estações Olinda e Curado.                                    | $i_1 = \frac{456,768x(T - 1,5)^{0,117}x(1 - 4.54x10^{-21}xt^8)}{(t + 6)^{0,58111}}$ $i_2 = \frac{72,153x(T - 1,75)^{0,173}}{(t / 60 + 1)^{0,74826}}$ |
| Ramos e Azevedo (2010)                                                                           | 40 anos de dados (1968-2007)<br>Estação do aeroporto do Recife.                              | $i = \frac{1423,97 x T^{0,1124}}{(t + 21)^{0,7721}}$                                                                                                 |
| Silva e Araújo (2013)                                                                            | 09 anos de dados (2003-2011)<br>Estação do ITEP.                                             | $i = \frac{1380,2176xT^{0,19369}}{(t + 22)^{0,78201}}$                                                                                               |
| Plano Diretor de Drenagem e Manejo das Águas Pluviais do Recife<br>ABF Engenharia (EMLURB, 2016) | 85 anos de dados (1927-2011).<br>Estações: Recife/Caxangá,<br>Recife/Curado e Recife/Várzea. | $i = \frac{611,3425 \times Tr^{0,1671}}{(t + 7,3069)^{0,6348}}$                                                                                      |



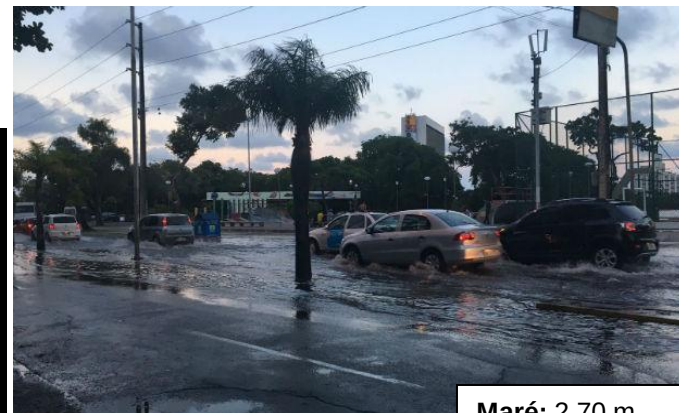


# CONTEXTUALIZAÇÃO

## INFLUÊNCIA DAS MARÉS



Maré: 2,50 m



Maré: 2,70 m  
Dia: 10/03/16  
Hora: 17:06 h



Maré: 2,70 m  
Dia: 07/04/16  
Hora: 16:02 h



# CONTEXTUALIZAÇÃO

## COMBINAÇÃO: CHUVA INTENSA E MARÉ

Evento extremo: 17/05/2013

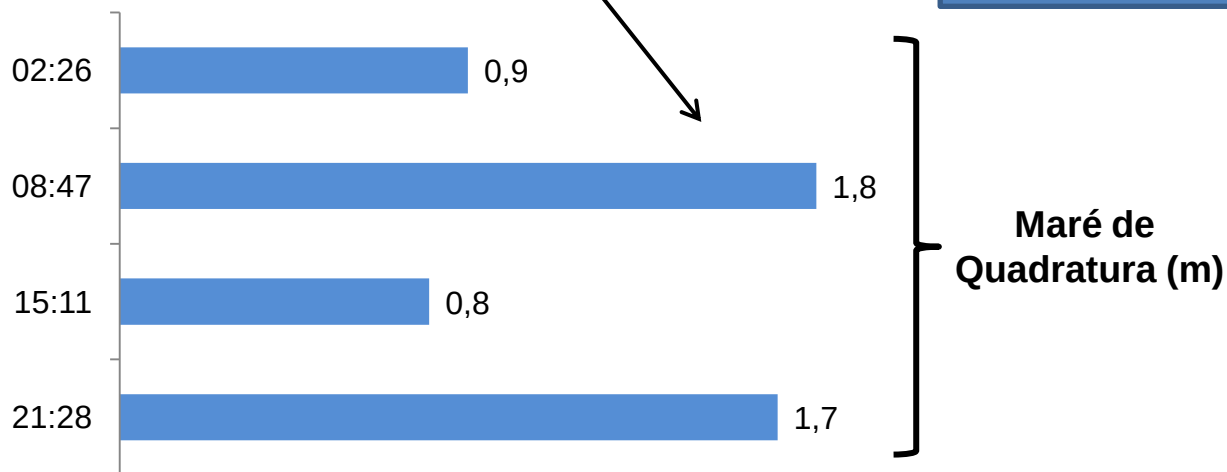
Precipitação registrada (**Posto do Recife – Várzea**):

**119,8 mm – Aprox. 40% do total precipitado no mês.**

**5 às 8h – 100 mm. (APAC, 2013).**

Tempo de  
Recorrência:

**5 Anos**



Fonte: SILVA JUNIOR e SILVA (2014); JC ONLINE (2013).



Av. Mascarenhas de Moraes



Estação de Metrô/Joana Bezerra



Túnel Via Mangue – 1ª Etapa

## SITUAÇÃO ATUAL DO SISTEMA DE DRENAGEM DO RECIFE

Macro drenagem - 99 canais em 132,787 km de extensão.

| Rios         | Nº de Canais | Extensão (km) |                  |                |
|--------------|--------------|---------------|------------------|----------------|
|              |              | Revestido     | Sem Revestimento | Total          |
| Capibaribe   | 33           | 29,005        | 10,24            | 39,245         |
| Beberibe     | 25           | 18,057        | 12,103           | 30,16          |
| Tejipió      | 14           | 5,5           | 11,735           | 17,235         |
| Jordão       | 3            | 12,705        | 0,435            | 13,14          |
| Jiquiá       | 18           | 15,601        | 9,826            | 25,427         |
| Jaboatão     | 6            | 2,535         | 5,045            | 7,58           |
| <b>Total</b> | <b>99</b>    | <b>83,403</b> | <b>49,384</b>    | <b>132,787</b> |

**63%**

Micro drenagem - 1.558 km em galerias e canaletas.

## *INSTRUMENTOS DE GESTÃO E MANEJO DAS ÁGUAS PLUVIAIS NO RECIFE*

- ❑ Lei de Uso e Ocupação do Solo da Cidade do Recife – LUOS, instituído pela Lei nº 16.176/96 – Define o zoneamento da cidade do Recife e estabelece o percentual de Taxa de Solo Natural (TSN).
- ❑ Lei Municipal nº 17.511/2008 – Define o Plano Diretor da Cidade do Recife (PDCR), com revisão prevista para 2018.
- ❑ Lei Municipal nº 18.112/2015 - Dispõe sobre a instalação do "telhado verde" e construção de reservatórios de acúmulo ou de retardo do escoamento das águas pluviais.
- **Telhado Verde:** projetos habitacionais ou não, com mais de 4 pavimentos e mais de 400m<sup>2</sup> de área de coberta.
- **Reservatório de Acúmulo e Retardo:** lotes edificadas ou não, com mais 500m<sup>2</sup> e impermeabilização superior a 25% da área do lote.
- ❑ Plano Diretor de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais da Cidade Recife (ABF Engenharia / Emlurb, 2016) → Falta a aprovação da Câmara Municipal do Recife para virar Lei Municipal.



## ***INSTRUMENTOS DE MANEJO E GESTÃO DAS ÁGUAS PLUVIAIS NO RECIFE***

### ***Plano Diretor de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais da Cidade Recife (PDDR)***

- ☐ Produto 1: Diagnóstico do Sistema de Drenagem Atual.
- ☐ Produto 2: Relatório Ambiental Preliminar – RAP.
- ☐ Produto 3: Relatório Concepção: Estudo de Alternativas, Estimativas de Custo, Solução Escolhida, Diretrizes de Programas, Projetos e Sistema de Gestão.
- ☐ Produto 4: Relatório de Consolidação do PDDR: “Resumo do Plano”.
- ☐ Produto 5: Projeto Executivo de 05 Canais: Malária, Guarulhos, Ibura, Jardim Planalto, Vila das Crianças.
- ☐ Produto 6: Álbum de Cadastro dos Canais e Cadastro do Sistema de Macrodrenagem.
- ☐ Produto 7: Cadastro do Sistema de Microdrenagem.
- ☐ Produto 8: Projeto Dragagem Tejipió + Jiquiá; Proposta de Requalificação Tejipió e Jiquiá.
- ☐ Produto 9: Minuta do Projeto de Lei do PDDR.
- ☐ Produto 10: Manual de Drenagem.
- ☐ Produto 11: Proposta de Tratamento das Margens de Rios e Riachos.

Horizonte do Plano: **2037**

Recursos a investir: **R\$ 1.003.530.881,22**

## ***MODELAGEM MATEMÁTICA COMO FERRAMENTA DE SUPORTE À GESTÃO DA DRENAGEM URBANA***

- ❑ Necessidade de planejamento e investimento na infraestrutura;
- ❑ Muitos municípios brasileiros realizam obras hidráulicas sem estudos e projetos;
- ❑ Qualidade do Banco de Dados:
  - Melhoria na aquisição de dados;
  - Informações georreferenciadas.
- ❑ Modelos hidrológicos - importante ferramenta para o planejamento e obtenção de respostas, em bacias hidrográficas, com os quais podem ser analisadas condições específicas.
- ❑ Finalidade da modelagem (MAKSIMOVIC, 2001):
  - Analisar e verificar diversas condições dos sistemas de drenagem;
  - Avaliação das respostas da bacia, como parte da estratégia e planejamento do sistema;
  - Avaliação da poluição;
  - Gerenciamento operacional;
  - Controle em tempo real; e
  - Análise de interação entre sub-bacias.

## **MODELAGEM MATEMÁTICA COMO FERRAMENTA DE SUPORTE À GESTÃO DA DRENAGEM URBANA**

### ***Principais Modelos Hidrológicos e Hidráulicos Aplicados em Bacias Urbanas***

| Código                                                               | Nome                                          | Agência criadora                       | Ano  |
|----------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|----------------------------------------|------|
| <b>MIKE URBAN<br/>(MIKE 11; MIKE<br/>MOUSE/SWMM;<br/>MIKE FLOOD)</b> | Mike Urban                                    | DHI - Dinamarca                        | 2014 |
| <b>GeoRAS; HEC-HMS;<br/>HEC-RAS</b>                                  | Hydrologic Engineering Center                 | Corpo de Engenheiros do Exército – EUA | 2008 |
| <b>MODCEL</b>                                                        | Modelo Hidrodinâmico de Células de Escoamento | COPPE-UFRJ                             | 2001 |
| <b>SWMM</b>                                                          | Storm Water Management Model                  | EPA-USA                                | 1971 |
| <b>IPH-2</b>                                                         | Instituto de Pesquisas Hidráulicas            | IPH-UFRG                               | 1981 |
| <b>ABC</b>                                                           | Análise de Bacias Complexas                   | Universidade de São Paulo - USP        | 1985 |

Fonte: Adaptado de COLLODEL (2009).

O SWMM é o pacote computacional mais utilizado para simulação da drenagem urbana.

## **SOLUÇÕES ALTERNATIVAS OU COMPENSATÓRIAS PARA CONTROLE DA DRENAGEM URBANA**

Drenagem implantada no **Recife** → Conceito Higienista – “Afastar a água”.



Moderno → Conceito Ambientalista – “Conviver com as águas”.

Princípios modernos de controle da drenagem (CORDEIRO NETTO, 2004):

- ☐ novos desenvolvimentos não podem aumentar ou acelerar a vazão de pico das condições naturais (ou prévias aos novos loteamentos);
- ☐ considerar o conjunto da bacia hidrográfica para controle da drenagem urbana;
- ☐ buscar evitar a transferência dos impactos para jusante;
- ☐ valorizar as medidas não estruturais (educação tem papel fundamental);
- ☐ implementar medidas de regulamentação;
- ☐ implementar instrumentos econômicos.



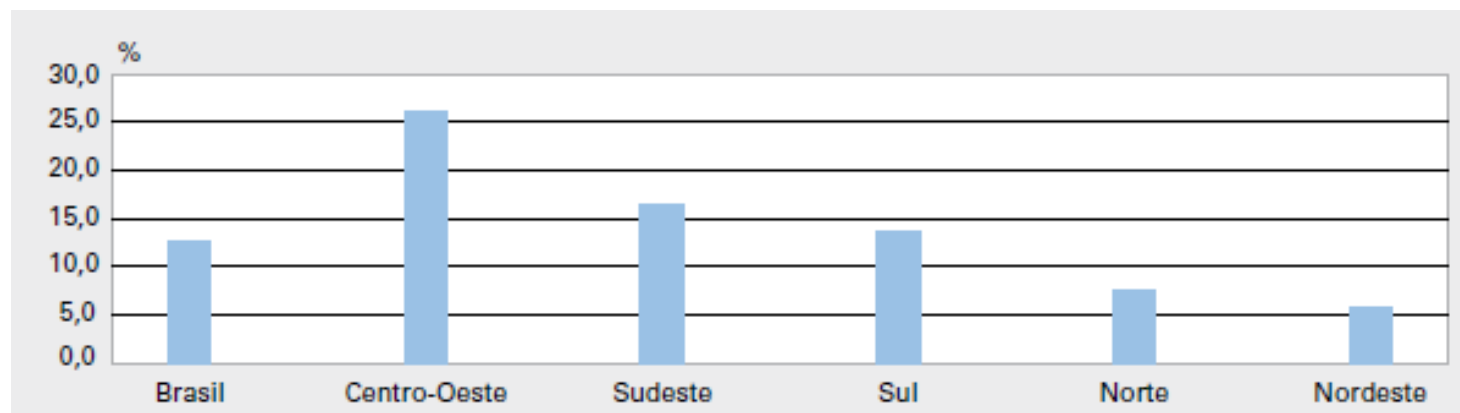
## **SOLUÇÕES ALTERNATIVAS OU COMPENSATÓRIAS PARA CONTROLE DA DRENAGEM URBANA**

### ***Lista de Medidas de Controle da Drenagem***

| <b>Obra</b>                 | <b>Característica Principal</b>                                      |
|-----------------------------|----------------------------------------------------------------------|
| Pavimento Poroso            | Pavimento com camada de base porosa como reservatório.               |
| Trincheira de infiltração   | Reservatório linear escavado no solo preenchido com material poroso. |
| Vala de infiltração         | Depressões lineares em terreno permeável                             |
| Poço de infiltração         | Reservatório vertical e pontual escavado no solo                     |
| Micro-reservatório          | Reservatório de pequenas dimensões tipo “caixa-d’água” residencial   |
| Telhado reservatório        | Telhado com função de reservatório                                   |
| Bacia de Detenção           | Reservatório vazio (seco)                                            |
| Bacia de Retenção           | Reservatório com água permanente                                     |
| Bacia Subterrânea           | Reservatório coberto, abaixo do nível do solo                        |
| Conduitos de Armazenamentos | Conduitos e dispositivos com função de armazenamento                 |
| Faixas gramadas             | Faixas de terrenos marginais a corpos de água                        |

## SOLUÇÕES ALTERNATIVAS OU COMPENSATÓRIAS PARA CONTROLE DA DRENAGEM URBANA

*Municípios com dispositivo coletivo de retenção ou amortecimento de vazão de águas pluviais urbanas por Região Geográfica – 2008.*



Fonte: PNSB – 2008 (IBGE, 2010).

❑ **EM PERNAMBUCO** - 13 municípios possuem dispositivos coletivos de retenção ou amortecimento de vazão de águas pluviais urbanas (IBGE, 2010).

❑ **49,19% DOS MUNICÍPIOS** que sofrem com problemas de inundações, apenas **7% DOS MUNICÍPIOS** apresentam estruturas para controle de enchentes (IBGE, 2010).

## SOLUÇÕES ALTERNATIVAS OU COMPENSATÓRIAS PARA CONTROLE DA DRENAGEM URBANA

### *Principais intervenções na drenagem realizadas pela PCR*

| Intervenção                                   | Custo da Obra    | Financiamento                                             |
|-----------------------------------------------|------------------|-----------------------------------------------------------|
| Sistema de comportas do canal Derby-Tacaruna. | R\$ 850.000,00   | Prefeitura do Recife e Ministério do Meio Ambiente.       |
| Sistema de bombeamento na Avenida Recife.     | R\$ 1.800.000,00 | Ministério da Integração Nacional e Prefeitura do Recife. |
| Microrreservatório no bairro do Espinheiro.   | R\$ 336.446,54.  | Prefeitura do Recife.                                     |

Fonte: Adaptado de SILVA JUNIOR e SILVA (2014).

**Sistema de drenagem forçada no canal Derby-Tacaruna composto por 06 bombas (1m³/s p/ bomba).**



Fonte: Acervo Pessoal; REZENDE (2013).

## ***PEQUENAS AÇÕES IMPORTANTES (BOAS PRÁTICAS):***

**Prefeitura** -> Garantir a preservação e manutenção das estruturas de drenagem urbana

- ☐ Evitar que os poços de inspeção (poços de visita) e bocas de lobo estejam sem tampa, garantindo a integridade no deslocamento dos veículos e pedestres;
- ☐ Nos casos de avarias destas estruturas, comumente observadas nas tampas, realizar o conserto das mesmas.
- ☐ Identificar trechos obstruídos na rede de drenagem e realizar a limpeza dos canais e galerias;
- ☐ Fiscalizar e preservar o espaço das águas nos rios, riachos e canais, garantindo assim, o escoamento pluvial urbano;
- ☐ Repensar as práticas de revestimento dos canais, comumente adotadas na cidade, e priorizar técnicas que permitam a infiltração das águas e reduzam a aceleração do escoamento.



## ***PEQUENAS AÇÕES IMPORTANTES (BOAS PRÁTICAS):***

**Construtoras e imobiliárias** -> Deve atender ao zoneamento urbano previsto no plano diretor da cidade, preservando o espaço das águas. Para isso, deve-se considerar:

- ☐ Evitar impermeabilizações excessivas dentro do lote em construção, garantido, pelo menos, o percentual de área permeável estabelecido por legislação urbana;
- ☐ No caso de impermeabilização excessiva, adotar técnicas compensatórias em drenagem urbana que podem ser: reservatórios de armazenamento de água e/ou amortecimento de vazões; e trincheiras de infiltração;
- ☐ Controle da produção de sedimentos nas obras carreados por movimentação de terra, bombeamento das águas no rebaixamento do lençol freático e tráfego de caminhões;
- ☐ Evitar, no momento em que está chovendo, o bombeamento imediato da água de drenagem dos prédios para as vias públicas, podendo recorrer às técnicas de retenção da água.

## ***PEQUENAS AÇÕES IMPORTANTES (BOAS PRÁTICAS):***

**População** -> Colaborar com a preservação e funcionalidade das estruturas de drenagem urbana: Para isso, deve-se considerar:

- ☐ Não alterar as estruturas públicas de drenagem urbana, como cimentar as sarjetas para a subida de veículos e fechar as bocas de lobo;
- ☐ Preservar as áreas permeáveis dos lotes, evitando cimentar os quintais e jardins;
- ☐ Evitar o descarte inadequado de resíduos domiciliares e de pequenas reformas em canais e bocas de lobo;
- ☐ Não invadir as margens dos riachos e canais, sendo esta, uma prática comum de ambas as classes sociais.

1. **MANUTENÇÃO DOS SISTEMAS DE MICRODRENAGEM** (SILVA, 2018)
2. **RESERVATÓRIO DE DETENÇÃO EM LOGRADOUROS** (CABRAL et al., 2009; SILVA e CABRAL, 2014; SILVA JUNIOR et al., 2017; OLIVEIRA, 2017).
3. **ESTUDO DE CASO DETALHADO → ALAGAMENTOS DO BAIRRO DA SOLEDADE:**  
  
“Alternativas compensatórias para controle de alagamentos em localidade do Recife-PE”  
(SILVA JÚNIOR, 2015; SILVA JUNIOR et al., 2017)
  - ☐ Ajuste na rede de microdrenagem;
  - ☐ Reservatório de detenção subterrâneo;
  - ☐ Aplicação da Lei 18.112/2015 (XAVIER FILHO et al., 2016).

# 1. MANUTENÇÃO DOS SISTEMAS DE MICRODRENAGEM

Estudo de SILVA (2018)

- ❑ Simulou os efeitos da manutenção no desempenho hidráulico do sistema de drenagem no entorno da Escola Politécnica de Pernambuco.

## 1. Manutenção:

- Desobstrução das galerias
- Construção de PV's

## 2. Dados de Entrada:

- Cadastro de microdrenagem
- Chuvas de 9 e 30 /05/2016

## 3. Simulação Computacional:

- SWMM
- Hidrogramas de saída



Estacionamento do Clube Internacional (chuva de 09/05/2016)





# 1. MANUTENÇÃO DOS SISTEMAS DE MICRODRENAGEM

- ❑ Redução dos alagamentos com a manutenção da rede de drenagem:

| Evento     | Precipitação / Duração / TR | Redução (%)  |
|------------|-----------------------------|--------------|
| 09/05/2016 | 162,40 mm / 21 h / 2 anos   | <b>80,65</b> |
| 30/05/2016 | 178,20 mm / 12 h / 10 anos  | <b>61,93</b> |

- ❑ Redução dos alagamentos com a manutenção da rede de drenagem e a utilização do pavimento permeável no estacionamento da POLI/UPE e do Clube Internacional:

| Evento     | Precipitação / Duração / TR | Redução (%)  |
|------------|-----------------------------|--------------|
| 09/05/2016 | 162,40 mm / 21 h / 2 anos   | <b>84,00</b> |
| 30/05/2016 | 178,20 mm / 12 h / 10 anos  | <b>67,54</b> |

Os resultados apresentados reforçam a necessidade da manutenção periódica da rede de drenagem, garantindo assim, sua eficiência hidráulica.

## 2. RESERVATÓRIO DE DETENÇÃO EM LOGRADOUROS

Estudo de SILVA JUNIOR et al. (2017)

- 04 estudos de caso em localidades do Recife:

Cabral *et al.* 2009; Silva e Cabral (2014); Silva Junior *et al.* (2017); Oliveira (2017)

### 1. Dados de Entrada:

- Cadastro de microdrenagem
- Chuvas de 2 e 5 anos

### 2. Dimensionamento:

- Reservatório on-line
- Orifício e vertedor

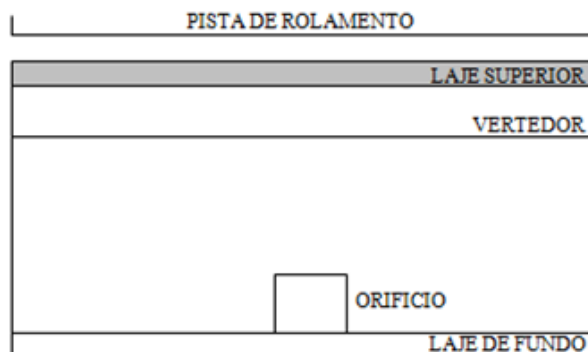
### 3. Simulação Computacional:

- SWMM
- Hidrogramas de saída

a)



b)



(a) Representação do reservatório de retenção abaixo da via; (b) Vista frontal.

Fonte: Adaptado de UFPE (2007).



Construção de reservatório subterrâneo.

Fonte: UFPE (2007).

## 2. RESERVATÓRIO DE DETENÇÃO EM LOGRADOUROS

| Autor / Bairros / Logradouros                                                                                | Características dos Reservatórios                                                                       | Antes da Intervenção                                                                 | Após a Intervenção                                                                                                               |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Cabral <i>et al.</i> 2009.<br>Bairro do Espinheiro:<br>Av. Conselheiro Portela com a<br>Rua Santo Elias.     | Vol.: 200 m <sup>3</sup> .<br>Orifício + Vertedor<br>On-line a rede de drenagem.<br>Construído em 2007. | Lâm. alagamento: 50 cm<br>(chuva + maré)                                             | TR 2 anos: <b>satisfatório</b> .<br>TR 5 anos: <b>alagamento em<br/>menores proporções</b> .                                     |
| Silva e Cabral (2014).<br>Bairro de Jardim São Paulo:<br>05 ruas na bacia de drenagem do<br>canal do Sanbra. | Vol. 5 reserv.: 1766 m <sup>3</sup> .<br>Orifício + Vertedor<br>On-line a rede de drenagem.             | Transbord. do canal do<br>Sanbra, com inundação<br>de eixo viário.<br>(chuva + maré) | Eventos simulados:<br>69,2mm; 77,4mm e 110,2mm.<br><b>Redução:</b><br>43% da inundação.<br>28% da vazão de pico.                 |
| Silva Junior <i>et al.</i> 2017.<br>Bairro da Soledade:<br>Av. João de Barros com a<br>Rua Joaquim Felipe.   | Vol.: 560 m <sup>3</sup> .<br>Orifício + Vertedor<br>On-line a rede de drenagem.                        | Lâm. alagamento: 30 cm<br>(chuva + maré)                                             | TR 2 anos: <b>satisfatório</b> .<br>TR 5 anos: <b>alagamento em<br/>menores proporções</b> (redução<br>de 38% do vol. inundado). |
| Oliveira (2017).<br>Bairro da Estância:<br>Av. Doutor José Rufino com a<br>Rua João Teixeira.                | Vol.: 740m <sup>3</sup> .<br>Orifício + Vertedor<br>On-line a rede de drenagem.                         | Lâm. alagamento: 20 cm<br>(chuva + maré)                                             | TR 2 anos<br><b>Redução:</b><br>45% da inundação.<br>64% da vazão de pico.                                                       |

## 2. RESERVATÓRIO DE DETENÇÃO EM LOGRADOUROS

- **Estimativa de custos associados a implantação:**

Construção do reservatório do bairro do Espinheiro: R\$ 336.446,54 (Prefeitura do Recife).

| Reservatório proposto por:        | Vol. Armazenado (m <sup>3</sup> ) | Estimativa de custo para a construção (R\$) |
|-----------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------------|
| Silva e Cabral (2014)             | 1766                              | 1.037.473,79                                |
| Silva Junior <i>et al.</i> (2017) | 560                               | 328.944,65                                  |
| Oliveira (2017)                   | 740                               | 434.676,85                                  |

- **Considerações:**

# Prejuízos financeiros para os comerciantes locais, bem como os transtornos para mobilidade urbana na área são reduzidos em dias de chuva.

# Em função dos custos e do espaço disponível, os dispositivos foram dimensionados para eventos de precipitação com recorrência de 2 anos, apresentando desempenho hidráulico satisfatório.

# O custo de implantação é elevado e necessita de manutenção sistêmica não só da estrutura de controle, mas também, de toda a rede de drenagem integrante ao reservatório.



### 3. ESTUDO DE CASO

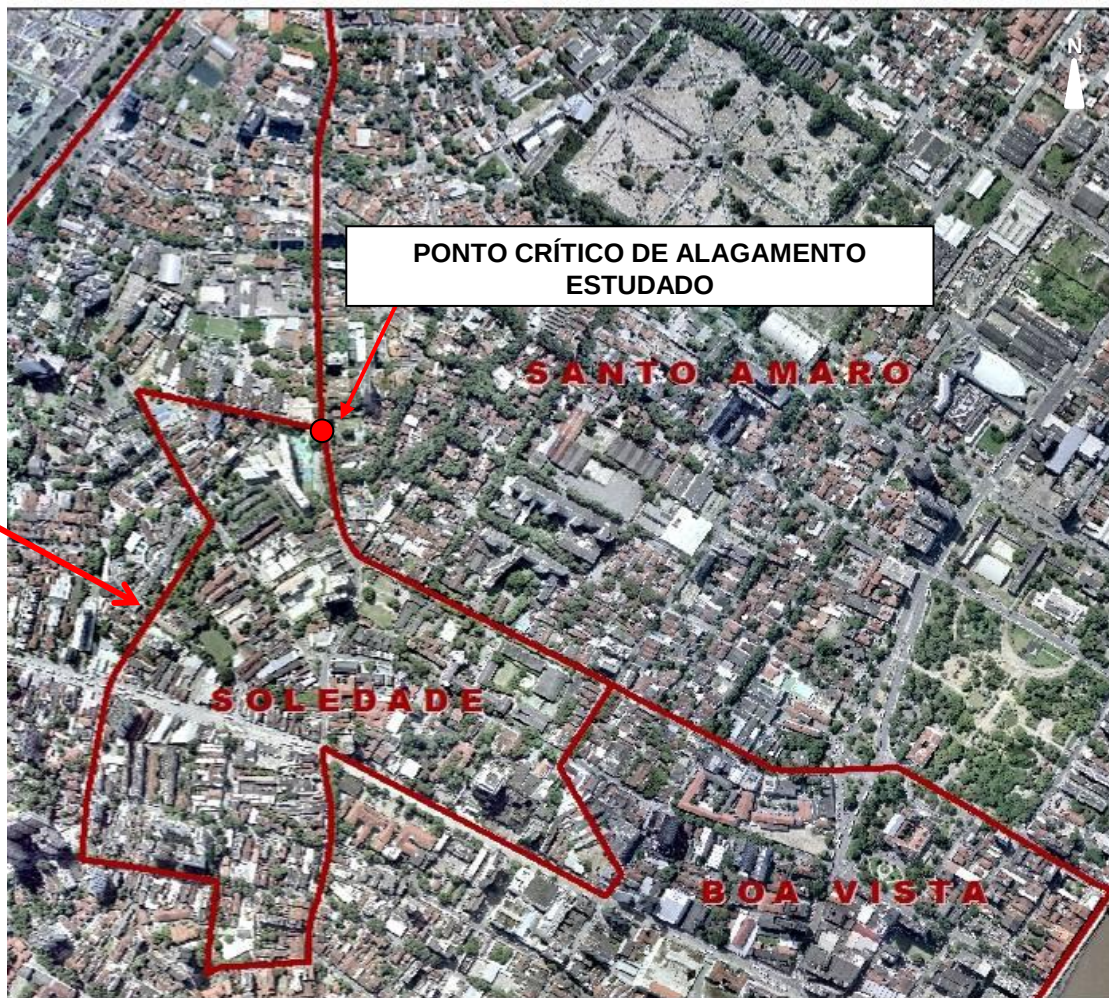
#### CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

#### LOCALIZAÇÃO DO PONTO CRÍTICO ESTUDADO E BAIRROS VIZINHOS



Bairro da Soledade

Cruzamento da Rua Joaquim  
Felipe com a Av. João de Barros

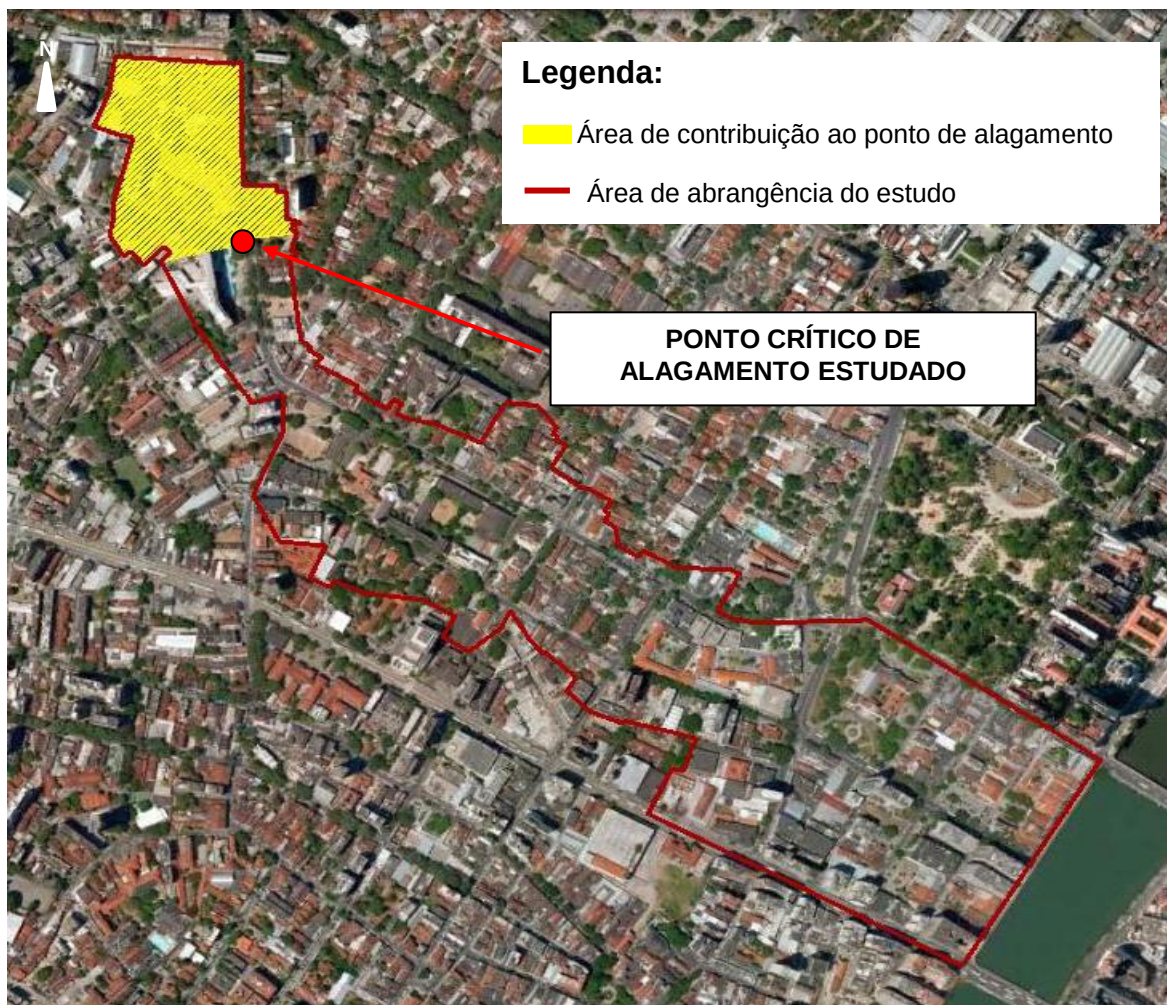




### 3. ESTUDO DE CASO

#### CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

#### ÁREA DE CONTRIBUIÇÃO AO PONTO DE ALAGAMENTO E ÁREA DE ABRANGÊNCIA DO ESTUDO



#### ❑ Área de contribuição ao ponto de alagamento:

Área: 4,68 ha.  
Perímetro: 1.086 m.

#### ❑ Área de abrangência do estudo:

Área: 38,36 ha.  
Perímetro: 4.893 m.

#### ❑ Encontra-se situada na RPA 01.

❑ A área de contribuição ao ponto de alagamento encontra-se situada na **ZUP 01** (Lei nº 16.176/96).



### 3. ESTUDO DE CASO

#### CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

#### PROCESSO DE URBANIZAÇÃO NA ÁREA DE MONTANTE AO PONTO CRÍTICO ESTUDADO



Fonte: Ortofotocartas (FIDEM, 1974 e 2007)

● Ponto crítico de alagamento estudado



### 3. ESTUDO DE CASO

#### CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

#### REGISTROS FOTOGRÁFICOS DOS ALAGAMENTOS NO LOCAL ESTUDADO

*“Rua Joaquim Felipe, no bairro de Santo Amaro”. Alagamento provocado pela chuva do dia 15/07/2013.*



*“Na João de Barros, alagamento causa transtorno para quem passa no local”. Alagamento provocado pela chuva do dia 05/06/2013.*



*“Situação do cruzamento da Rua Joaquim Felipe com a Avenida João de Barros visto do prédio da Celpe”. Alagamento provocado pela chuva do dia 24/04/2013.*



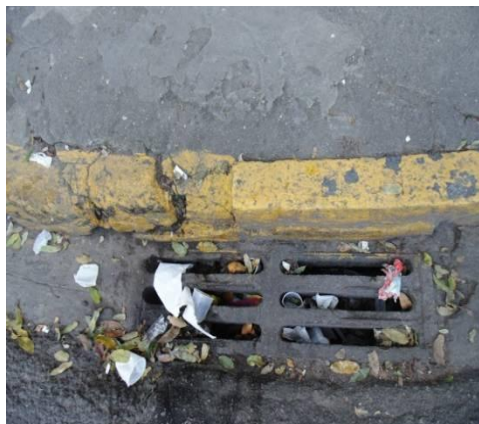
### 3. ESTUDO DE CASO

#### CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

#### DIAGNÓSTICO DA REDE DE DRENAGEM EXISTENTE



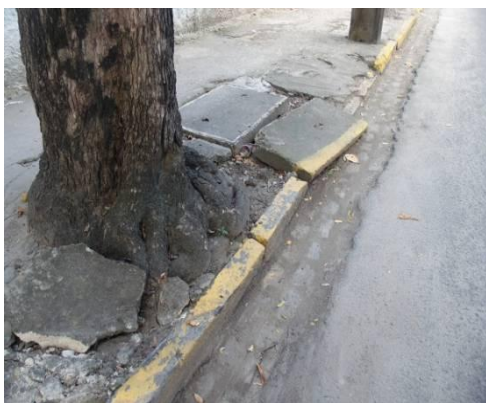
**BOCA DE LOBO OBSTRUÍDA**



**RESÍDUOS NA BOCA DE LOBO**



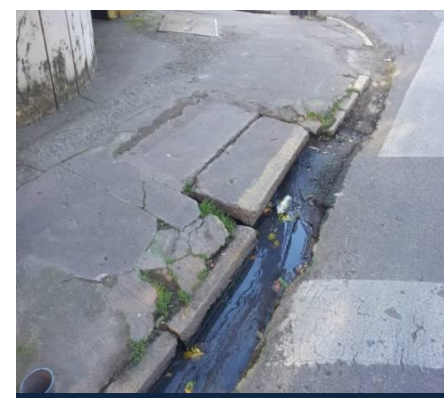
**PRESENÇA DE FOLHAS SECAS EM BOCAS DE LOBO**



**ÁRVORES PRÓXIMAS ÀS BOCAS DE LOBO**



**DRENAGEM DE PRÉDIO LIGADA AO ELEMENTO DE DRENAGEM DA VIA**



**PRESENÇA DE ESGOTO NA REDE DE DRENAGEM**



### 3. ESTUDO DE CASO METODOLOGIA

Articulação com o órgão gestor da drenagem urbana do Recife

Seleção do modelo hidráulico - hidrológico a ser utilizado

Obtenção dos parâmetros e variáveis de entrada para o modelo:

- Cadastro da Microdrenagem da Área
- Delimitação e Caracterização das Subáreas
- Definição da Chuva de Projeto
- Determinação dos Parâmetros de Infiltração
- Obtenção da Curva de Maré

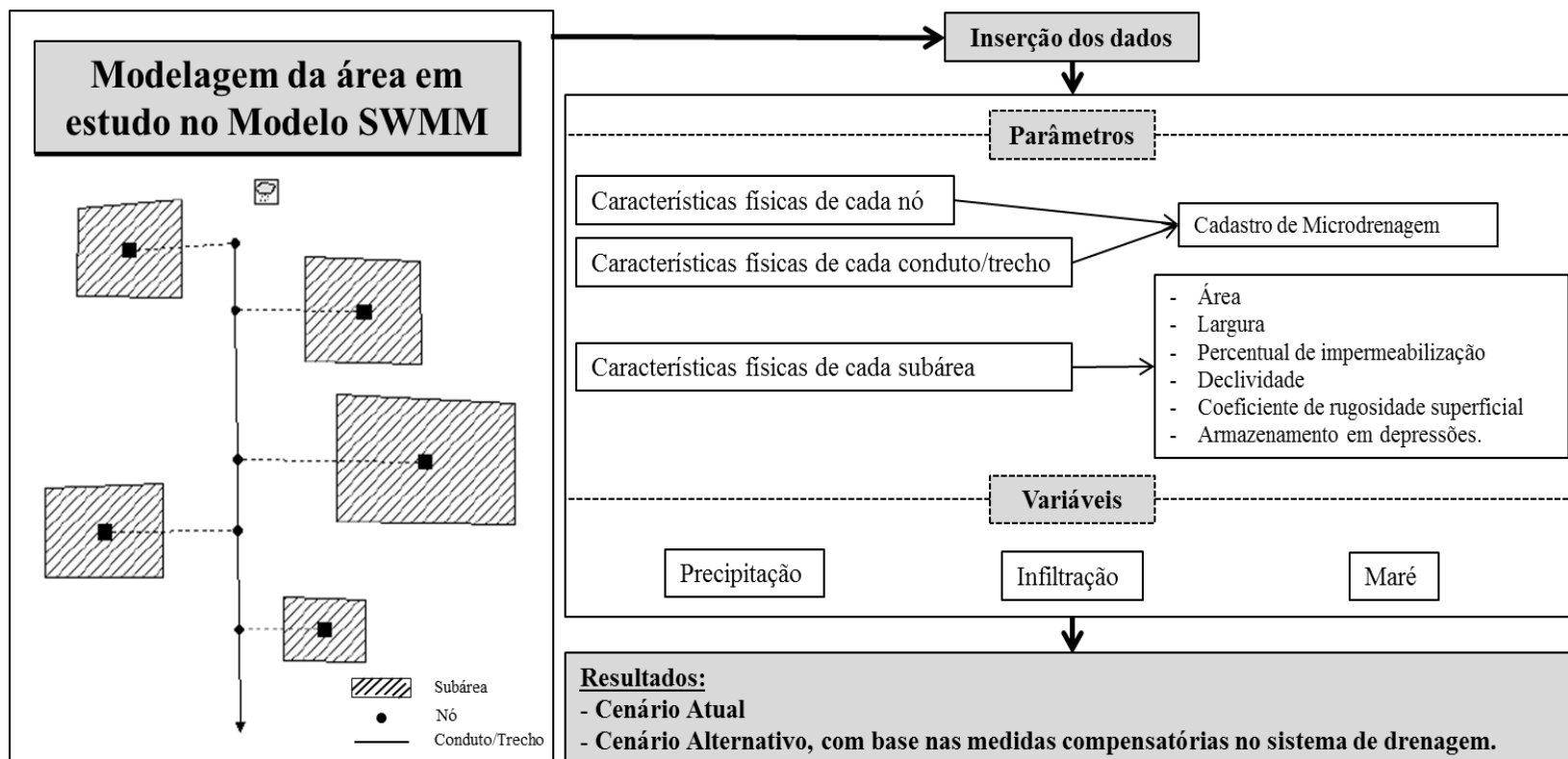
Montagem da rede

**Calibração do modelo e simulação de  
alternativas compensatórias**

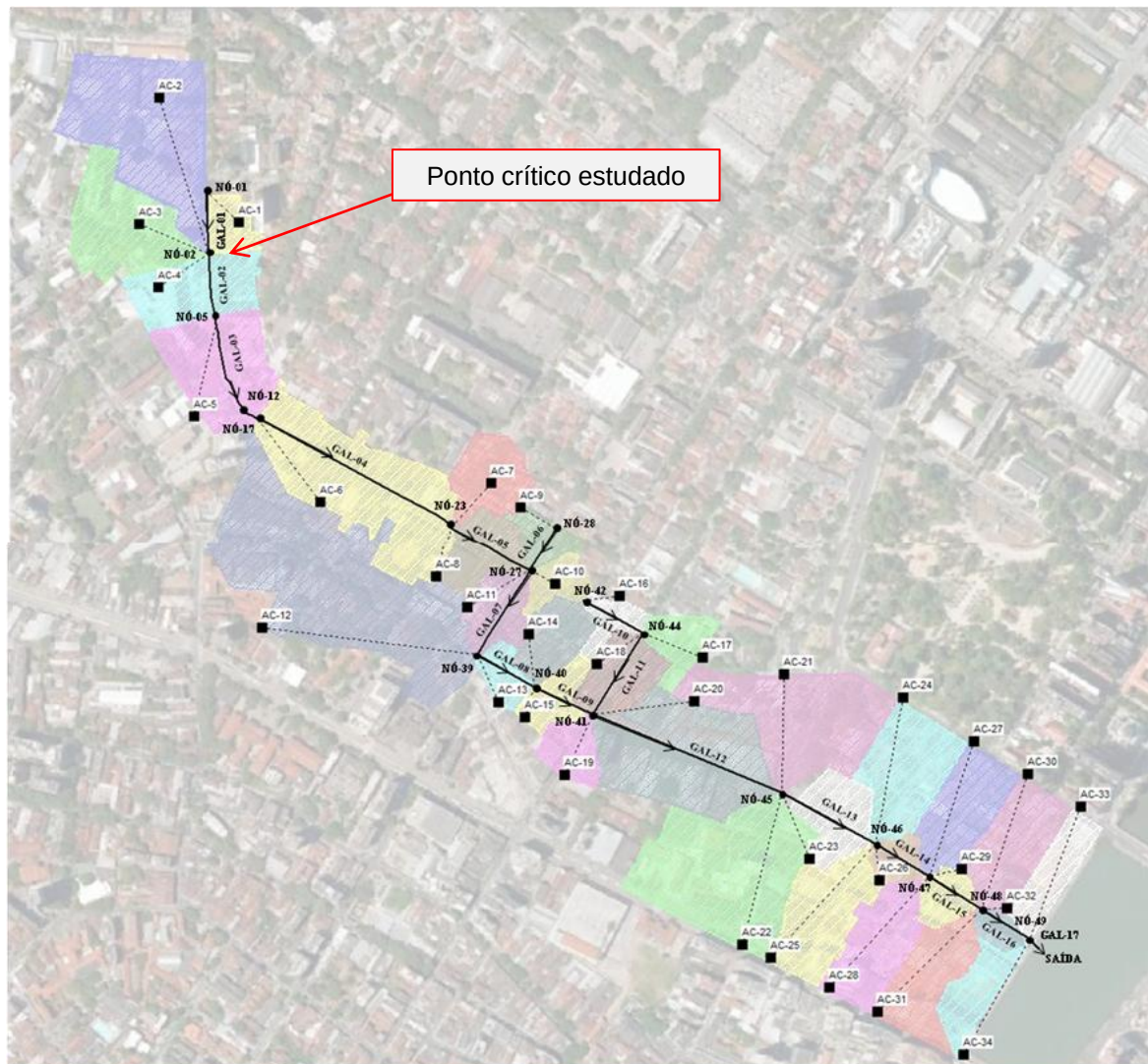
## 3. ESTUDO DE CASO METODOLOGIA

### SWMM - *Storm Water Management Model*

- É um sistema modular, originado em 1971 pela U.S. EPA (*United States Environmental Protection Agency*);
- O **SWMM** é o pacote computacional mais utilizado para simulação da drenagem urbana.



### 3. ESTUDO DE CASO METODOLOGIA



34 subáreas de contribuição

Área, largura equivalente, declividade, taxa de impermeabilização, coeficientes de rugosidade, entre outros dados físicos.



Ortofotos do Recife de 2007 e imagens mais atuais do Google Earth.

## 3. ESTUDO DE CASO METODOLOGIA

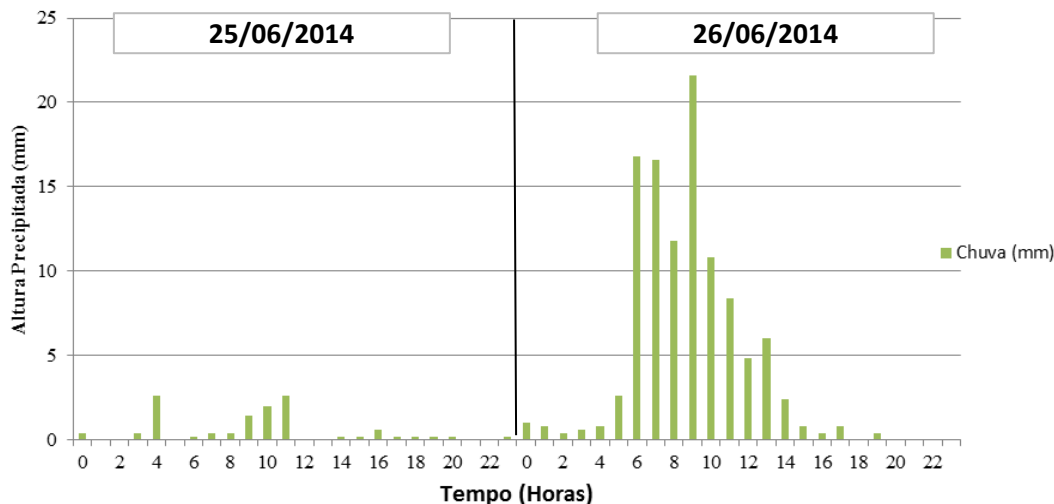
### Definição da Chuva de Projeto

Evento extremo considerado: 25 e 26 de junho de 2014.

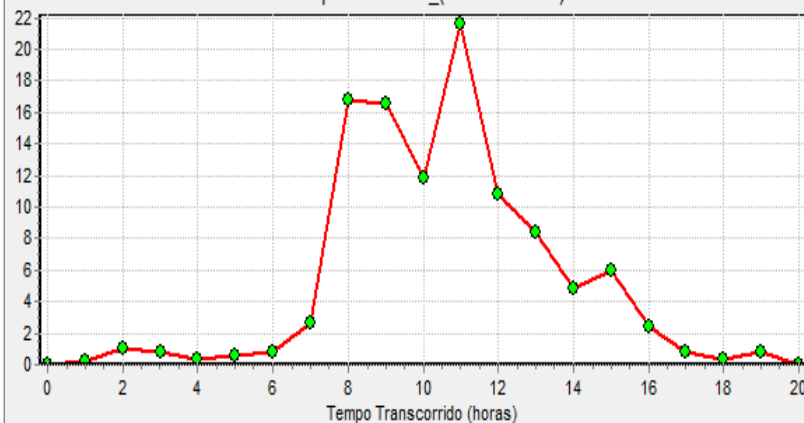
Precipitação registrada (Estação Automática **RECIFE-A301**, operada pelo INMET):

**107,60 mm e 20 horas de duração - TR: 2 anos.  
(Aprox. 35% do total precipitado no mês).**

Precipitação - 25 e 26 de Junho de 2014



Série Temporal CHUVA\_ (25-26/06/2014)



**Série temporal de chuva inserida no  
SWMM**



## Chuva alaga Recife e dificulta ida à Arena Pernambuco



Allan Farina e Eduardo Amorim  
Direto do Recife (PE)



26 JUN 2014 10h10 atualizado às 20h34



COMENTÁRIOS

A cidade do Recife amanheceu com uma forte chuva nesta quinta-feira, dia em que ocorre a partida entre Estados Unidos e Alemanha, pela última rodada da primeira fase da Copa do

## Recife tem chuva forte e alagamentos antes de jogo entre EUA e Alemanha

FABIO VICTOR  
ENVIADO ESPECIAL AO RECIFE  
DANIEL CARVALHO  
DO RECIFE  
MARCELA BALBINO  
COLABORAÇÃO PARA A FOLHA

26/06/2014 10h32 - Atualizado às 11h12

f Compartilhar t g+ in e 74 OUVIR O TEXTO + Mais opções

Sede da partida entre Estados Unidos e Alemanha, às 13h desta quinta-feira (26), pela última rodada do Grupo G da Copa, o Recife amanheceu debaixo de chuva forte, que causou alagamentos e trânsito intenso em vários pontos da cidade

# Recife tem 30% da chuva do mês em algumas horas em dia de jogo

Tempestade colocou jogo entre Estados Unidos e Alemanha em risco, mas o confronto acabou ocorrendo de forma normal

## 3. ESTUDO DE CASO METODOLOGIA

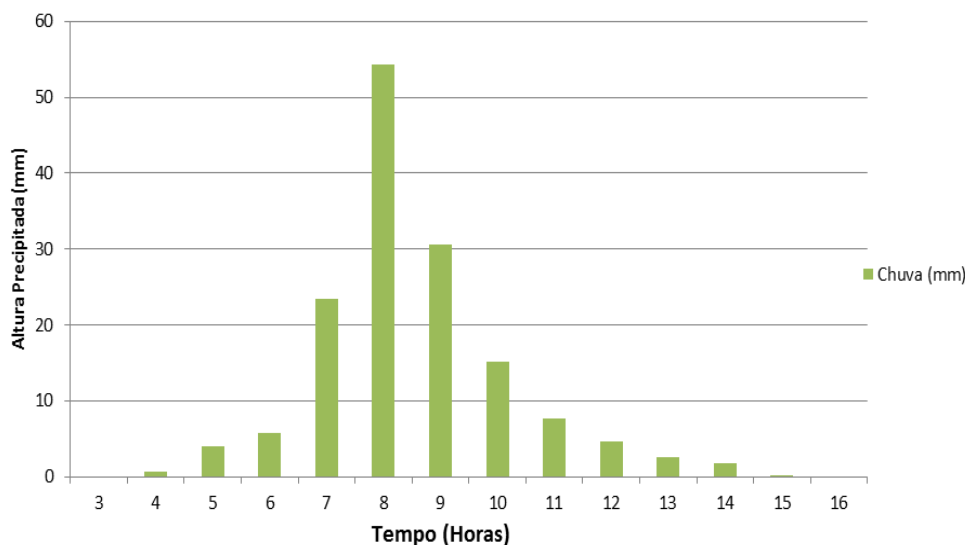
### Definição da Chuva de Projeto

Evento extremo considerado: 17 de maio de 2013.

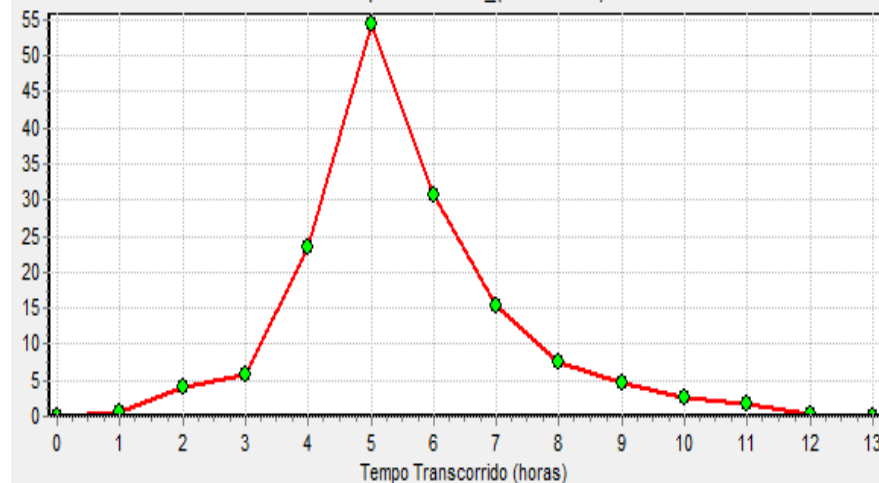
Precipitação registrada (Estação Automática **RECIFE-A301**, operada pelo INMET):

**150,80 mm e 13 horas de duração  
(TR calculado em 5 anos).**

Precipitação - Dia 17 de Maio de 2013



Série Temporal CHUVA\_(17/05/2013)



**Série temporal de chuva inserida no SWMM**

## Recife registrou, em algumas horas, 40% da chuva prevista para maio

Previsão é que precipitação permaneça até a manhã do sábado. Meteorologista da Apac afirma que o pior já passou.

Do G1 PE



As chuvas que atingem a madrugada desta sexta cessar na manhã do sábado com o meteorologista da Pernambucana de Águas e Clima, da noite da quinta para esta sexta, o Recife registrou 140 mm, o que equivale para o mês inteiro de maio. A Metropolitana registrou 140 mm, o que é considerada forte. Igarassu 42 mm e Camaragão 42 mm", afirma.

Segundo Guedes, o sistema de chuva, chamado de onco, está perdendo força. A previsão é que permaneça nublado com



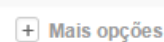
# FOLHA DE S. PAULO

★ ★ ★ UM JORNAL A SERVIÇO DO BRASIL

## Chuva e maré alta inundam ruas e estações de metrô no Recife

DE SÃO PAULO

17/05/2013 @ 13h46



A chuva intensa aliada à maré alta provocou nesta sexta-feira (17) o transbordamento de canais e o alagamento de ruas e estações de metrô em Recife.

Das 4h às 9h, choveu 138 milímetros, segundo a Apac (Agência Pernambucana de Águas e Clima). Esse volume é 40% do esperado para todo o mês de maio na cidade.

A Secretaria-Executiva de Defesa Civil do Recife registrou deslizamentos de terra em ao menos três bairros. Duas pessoas ficaram levemente feridas e uma família foi levada para um abrigo.

# 3. ESTUDO DE CASO METODOLOGIA

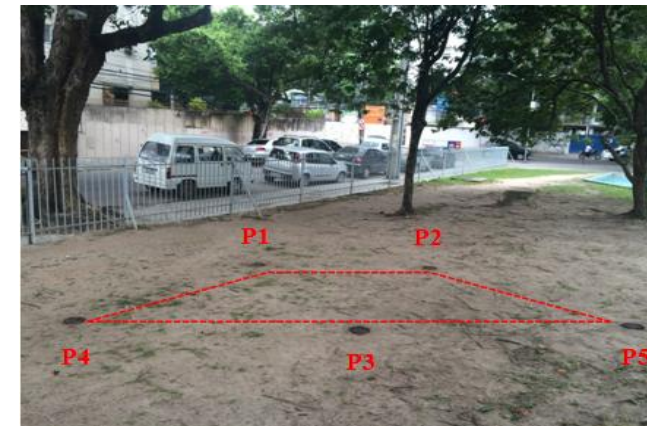
## Determinação dos parâmetros de infiltração

### Variáveis de Infiltração - SWMM

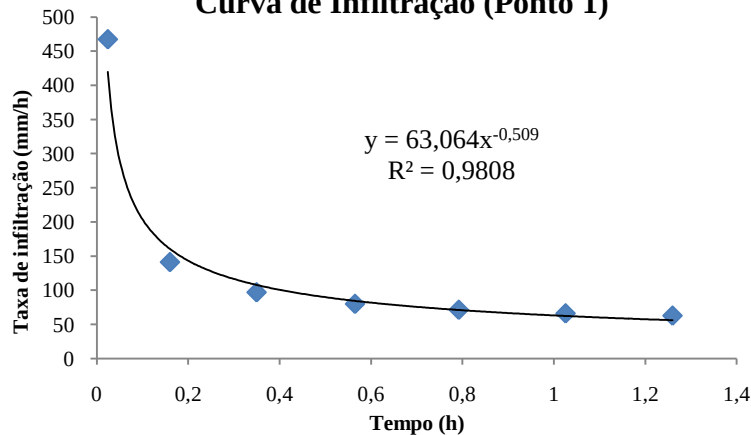
MODELO DE INFILTRAÇÃO DE HORTON

GREEN-AMPT

CURVA NÚMERO DO SCS

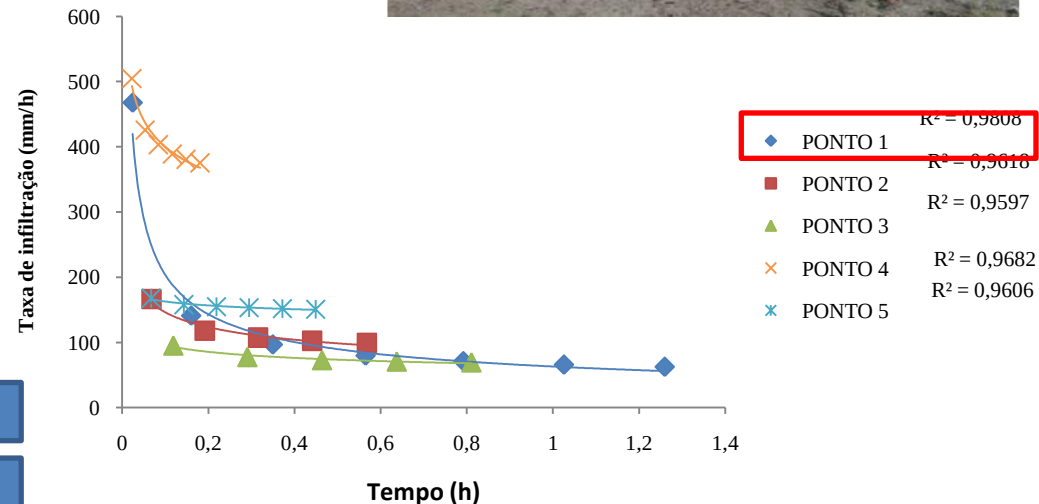


### Curva de Infiltração (Ponto 1)



TX DE INFILT. (MÁX. E MÍN.): 467,56 mm/h e 62,79 mm/h

COEFICIENTE DE DECAIMENTO: 3,282





# 3. ESTUDO DE CASO METODOLOGIA

## Obtenção da Curva de Maré

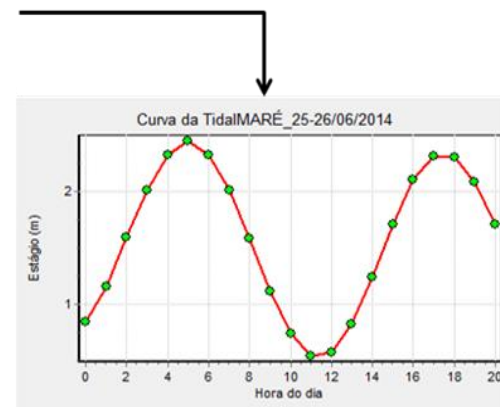
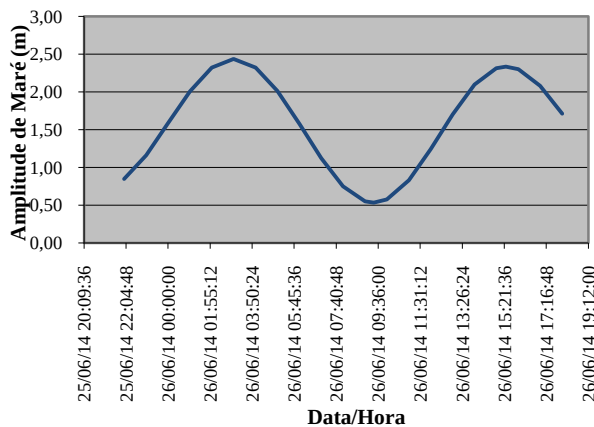
Exutório: Rio Capibaribe

Objeto “Curvas” disponíveis no SWMM, tem-se a variável Maré.

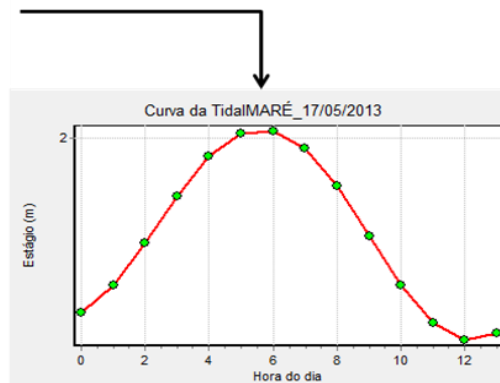
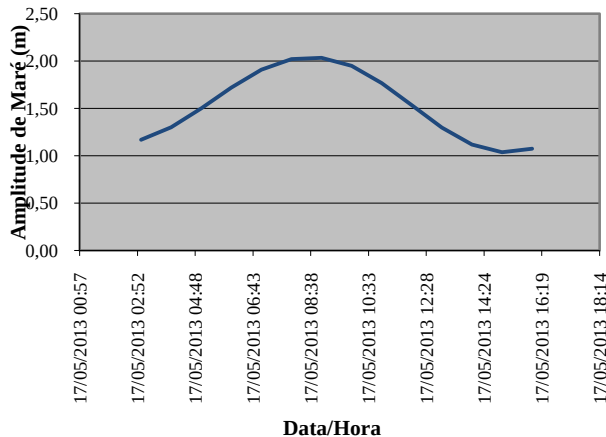
Tábua de Maré: Porto de Recife (DHN, 2014)

Referência de nível da cidade do Recife

Curva de Maré (25-26 de junho de 2014)



Curva de Maré (17 de maio de 2013)



### 3. ESTUDO DE CASO

#### METODOLOGIA



**CONSTATAÇÕES INICIAIS**



**MODELAGENS ---> Eventos: 25 e 26 de junho de 2014  
17 de maio de 2013**

→ **CENÁRIO 01 – CONDIÇÃO ATUAL**

→ **CALIBRAÇÃO SIMPLIFICADA DO MODELO**

→ **CENÁRIO 02 – CONDIÇÃO ALTERNATIVA**

→ **ADEQUAÇÃO DA REDE DE DRENAGEM**

→ **RESERVATÓRIO DE DETENÇÃO SUBTERRÂNEO**

## 3. ESTUDO DE CASO

### RESULTADOS

#### CONSTATAÇÕES INICIAIS – TOPOGRAFIA DA ÁREA ESTUDADA



## 3. ESTUDO DE CASO RESULTADOS

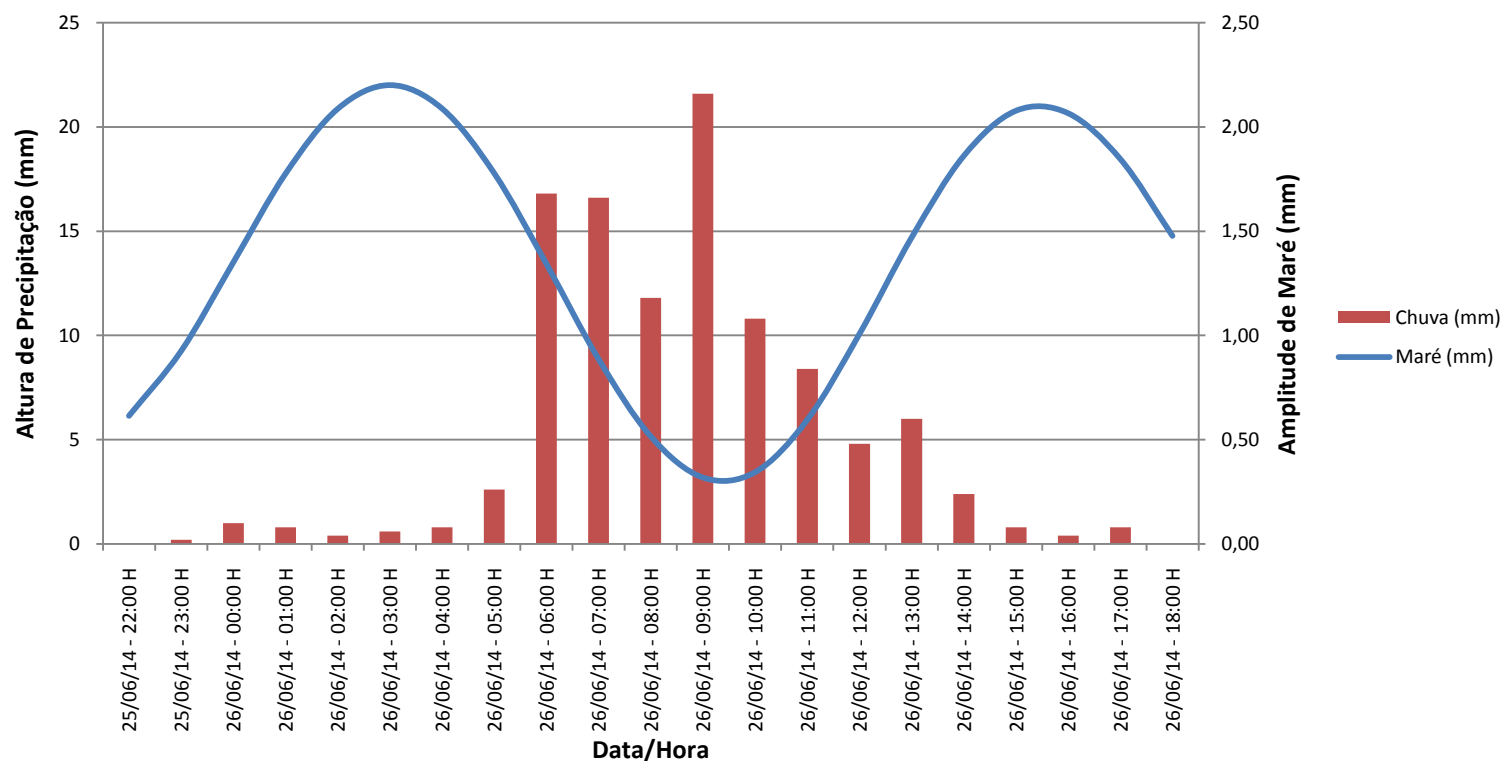
### ANÁLISE DO EVENTO SIMULADO E OS REFLEXOS NO PONTO CRÍTICO ESTUDADO

Evento: 22:00 horas / dia 25 – 18:00 horas / dia 26 → 107,6 mm

PERÍODO 66,80 mm → 6 a 10 h

MARÉ 0,30 m → 09:45 h

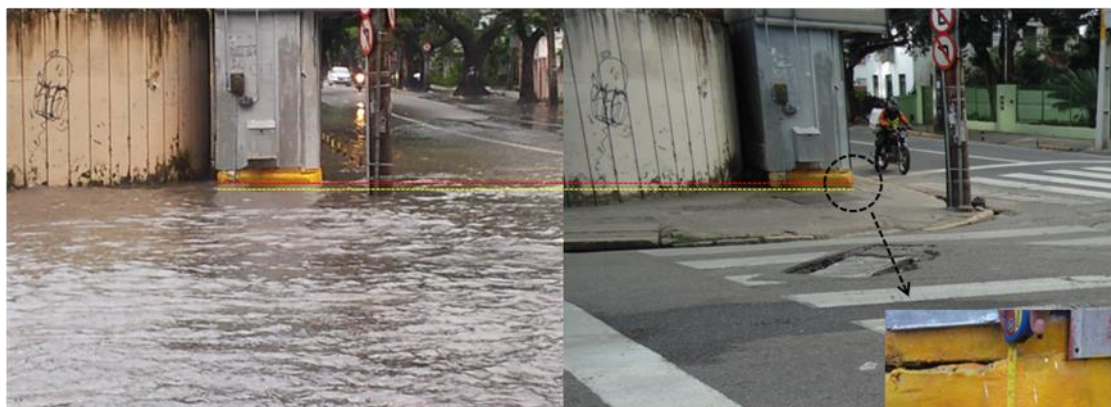
Maré x Precipitação (25-26/06/2014)





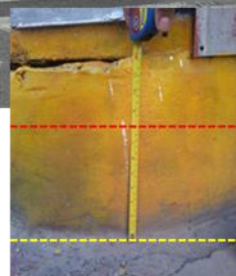
## 3. ESTUDO DE CASO RESULTADOS

### ANÁLISE DO EVENTO SIMULADO E OS REFLEXOS NO PONTO CRÍTICO ESTUDADO



ALTURA DE ALAGAMENTO

NÍVEL DA CALÇADA



#### Momento da Fotografia:

Horário: 09:54 h  
- havia precipitado 73,20 mm  
(68% do total precipitado neste evento).

Maré: Baixa

14 cm

## 3. ESTUDO DE CASO

### RESULTADOS

#### ANÁLISE DO EVENTO SIMULADO E OS REFLEXOS NO PONTO CRÍTICO ESTUDADO



Área de Alagamento: 1300 m<sup>2</sup>

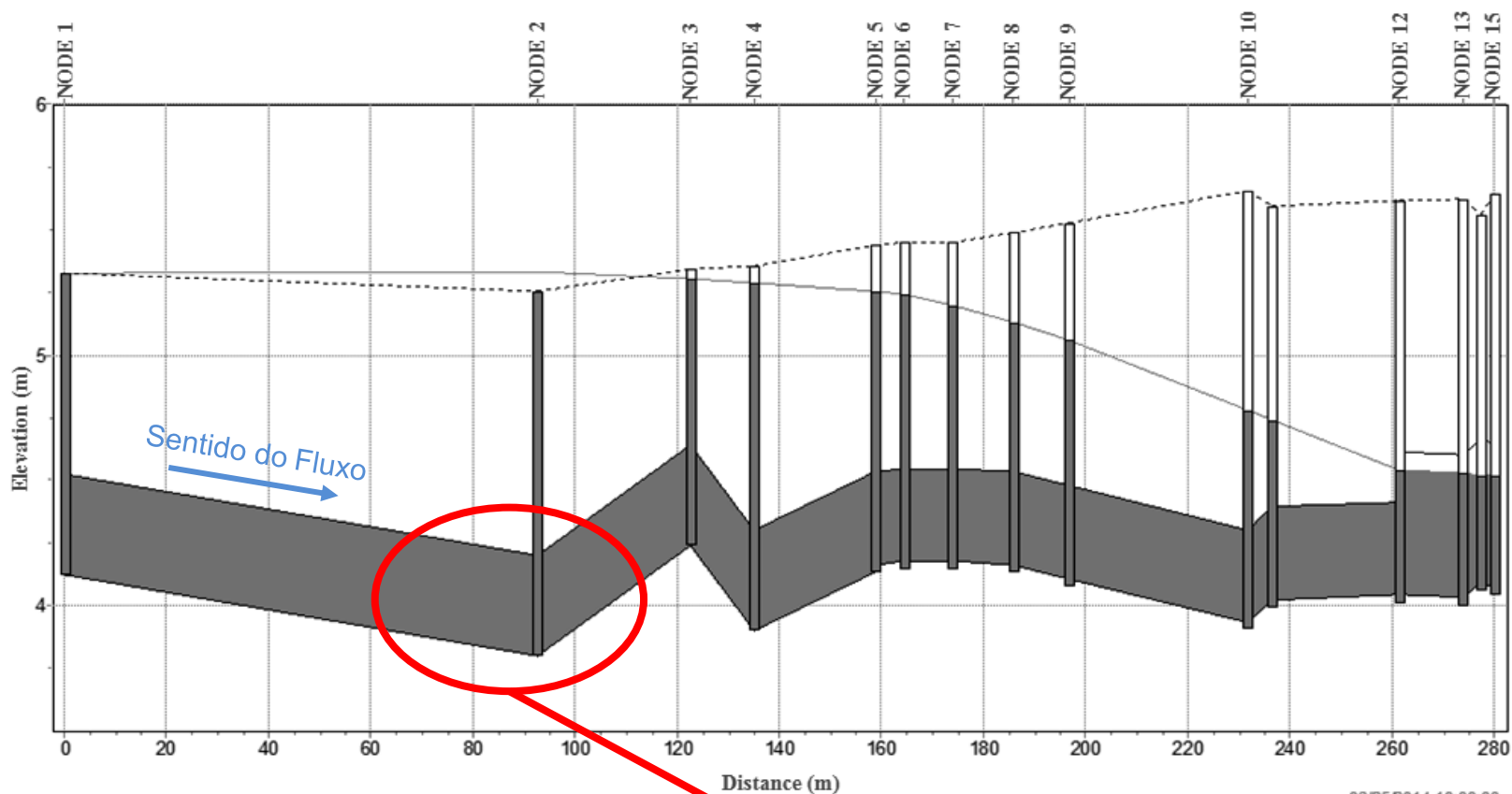
Volume de inundação: 182 m<sup>3</sup>



## 3. ESTUDO DE CASO RESULTADOS

### CONSTATAÇÕES VERIFICADAS DURANTE AS SIMULAÇÕES COM O SWMM

❑ *Galeria da Avenida João de Barros com a Rua do Príncipe:*



**Irregularidades na Rede**

## 3. ESTUDO DE CASO RESULTADOS

### CENÁRIO 01 – CONDIÇÃO ATUAL

#### □ CALIBRAÇÃO SIMPLIFICADA DO MODELO:

- **AUSÊNCIA** de medidores de nível e de vazão;
- Ajuste dos volumes simulados e observados apenas no **PONTO DE CONTROLE**.

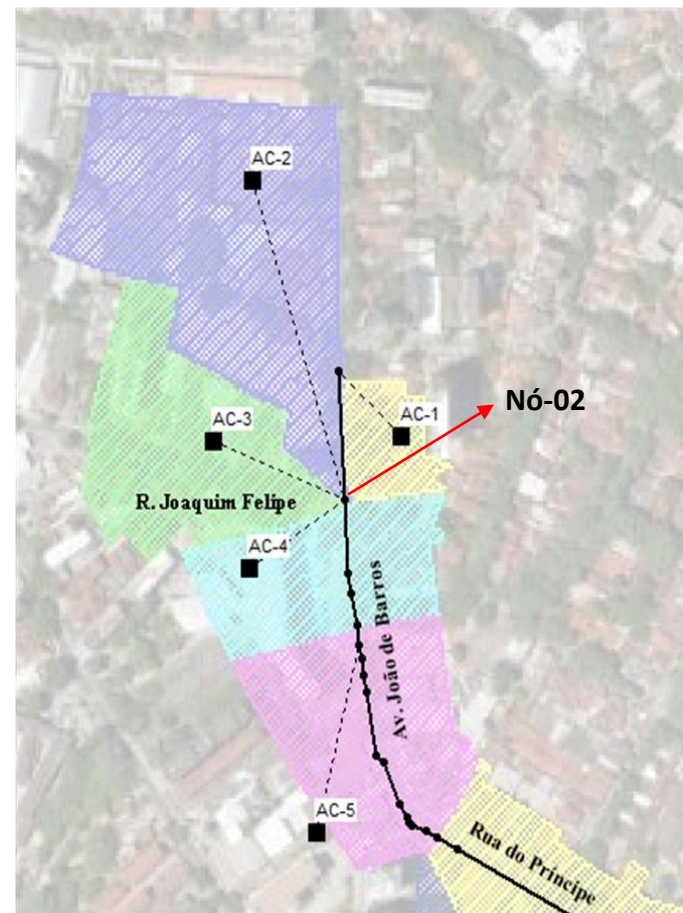
MODELO CALIBRADO PARA OS EVENTOS:

25 E 26 DE JUNHO DE 2014 (TR: 2 ANOS)  
17 DE MAIO DE 2013 (TR: 5 ANOS)

OBSERVAÇÃO IN LOCO DA ÁREA DE ALAGAMENTO E ALTURAS  
DE LÂMINA D'ÁGUA NO PONTO DE CONTROLE – JUNÇÃO “NÓ-2”

DELIMITAÇÃO DA ÁREA DE ALAGAMENTO, EM AMBIENTE CAD, E  
OBTENÇÃO DO VOLUME DE INUNDAÇÃO PARA OS EVENTOS

AJUSTE DO PONTO DE CONTROLE (JUNÇÃO “NÓ-2”) A  
CONDIÇÃO OBSERVADA

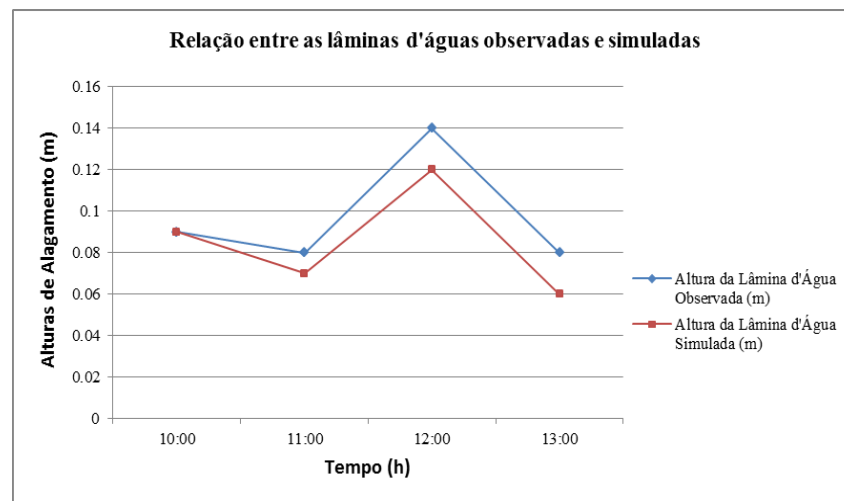




## 3. ESTUDO DE CASO RESULTADOS

### PARÂMETROS PARA CALIBRAÇÃO SIMPLIFICADA DO MODELO

| Data       | Horário | Altura de lâmina d'água (m) |      |
|------------|---------|-----------------------------|------|
|            |         | in loco                     | SWMM |
| 26/06/2014 | 10:00   | 0,09                        | 0,09 |
| 26/06/2014 | 11:00   | 0,08                        | 0,07 |
| 26/06/2014 | 12:00   | 0,14                        | 0,12 |
| 26/06/2014 | 13:00   | 0,08                        | 0,06 |



| ASPECTOS                        |                        | TR: 2 ANOS |          | TR: 5 ANOS |          |
|---------------------------------|------------------------|------------|----------|------------|----------|
|                                 |                        | OBSERVADO  | SIMULADO | OBSERVADO  | SIMULADO |
| Lâmina máxima de inundação (m)  |                        | 0,14       | 0,12     | 0,27       | 0,27     |
| Cota máxima da inundação (m)    |                        | 5,24       | 5,22     | 5,37       | 5,37     |
| Volume máximo de inundação (m³) |                        | 182,0      | 175,0    | 676,9      | 681,0    |
| Erros de continuidade           | Escoamento superficial | -0,03%     |          | -0,04%     |          |
|                                 | Propagação de vazão    | -8,57%     |          | -2,18%     |          |
| Coeficiente de correlação médio |                        | 0,97       |          | 0,96       |          |

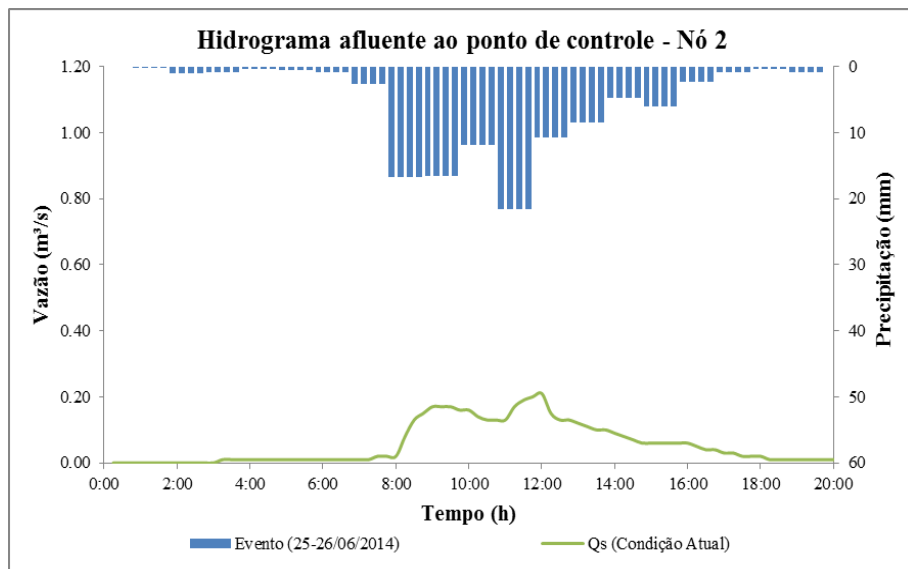
- Erros de continuidade **dentro do limite da aceitabilidade** (até 10%).
- Bons ajustes (observado x simulado), com **correlações próximas de 1**.

## 3. ESTUDO DE CASO RESULTADOS

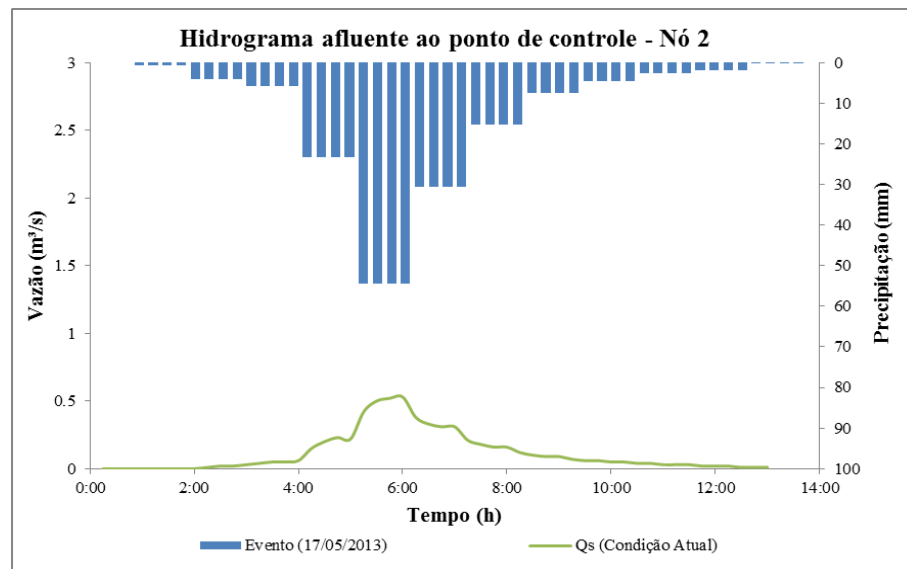
### HIDROGRAMAS SIMULADOS AFLUENTES AO PONTO DE CONTROLE (NÓ-2)

#### BALANÇO HÍDRICO DO SISTEMA:

- Percentual de Infiltração: 24%
  - Percentual Médio de Escoamento Superficial: 76%
- *Runnof* médio da cidade do Recife: 80% (EMLURB, 2013)



TR = 2 anos -> Qs pico = 0,21 m³/s



TR = 5 anos -> Qs pico = 0,53 m³/s

# 3. ESTUDO DE CASO

## RESULTADOS

### VAZÃO CALCULADA PELO MÉTODO RACIONAL X VAZÃO SIMULADA

| t (min) | Tr = 2 anos |            | Tr = 5 anos |            | Q <sub>2 anos</sub> | Q <sub>5 anos</sub> |
|---------|-------------|------------|-------------|------------|---------------------|---------------------|
|         | i (mm/h)    | P(D,T)(mm) | i (mm/h)    | P(D,T)(mm) | (m³/s)              | (m³/s)              |
| 5       | 139,50      | 11,62      | 162,58      | 13,55      | 1,4169              | 1,6514              |
| 15      | 95,63       | 23,91      | 111,45      | 27,86      | 0,9714              | 1,1321              |
| 30      | 68,99       | 34,50      | 80,41       | 40,21      | 0,7008              | 0,8168              |
| 60      | 47,44       | 47,44      | 55,29       | 55,29      | 0,4819              | 0,5616              |
| 120     | 31,65       | 63,31      | 36,89       | 73,78      | 0,3215              | 0,3747              |
| 240     | 20,77       | 83,07      | 24,20       | 96,81      | 0,2109              | 0,2458              |

**TR = 2 anos**

0,2109

0,2100

**TR = 5 anos**

0,5616

0,5300



Evento de 25 e 26 de junho de 2014

Evento de 17 de maio de 2013

Vazão calculada (m³/s) ->

Vazão simulada (m³/s) ->

## 3. ESTUDO DE CASO RESULTADOS

### CENÁRIO 02 – CONDIÇÃO ALTERNATIVA

#### ☐ ADEQUAÇÃO DA REDE DE DRENAGEM NA ÁREA DE INFLUÊNCIA :

- Poucas variações de cotas topográficas superficiais;
- Influência da oscilação de maré do exutório do sistema.

**Fatores Limitantes**

**Recobrimento Mínimo**

Tubos de concreto PA-2 ou PA-3

*Instruções Técnicas para Elaboração de Estudos Hidrológicos e Dimensionamento Hidráulico de Sistemas de Drenagem Urbana (RIO-ÁGUAS, 2010);*

*Diretrizes Executivas de Serviços para Obras de Galerias de Águas Pluviais – Tubulações (Prefeitura do Recife, 2004).*

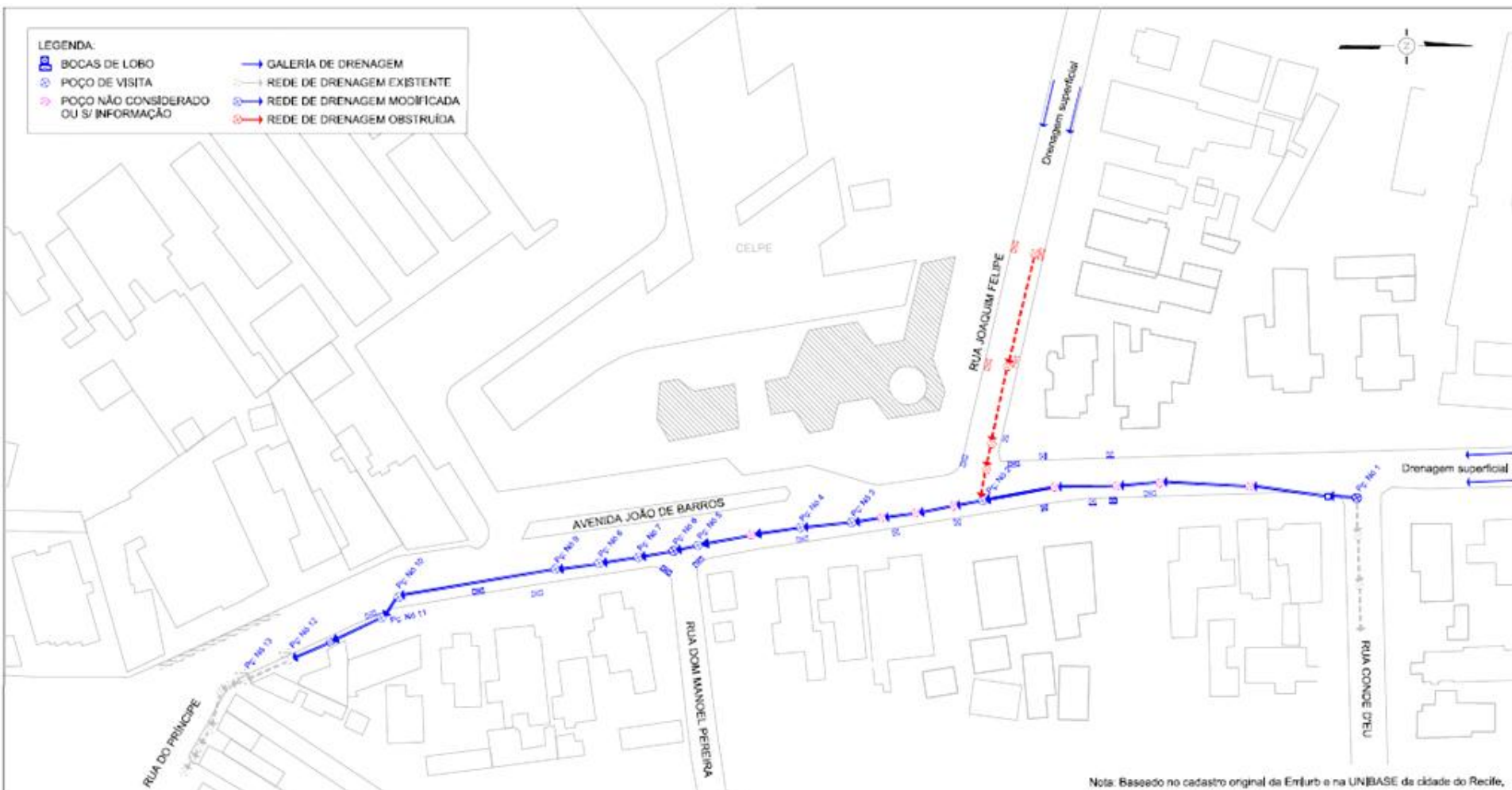
#### VERIFICAÇÕES

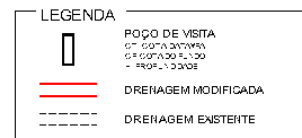
- ☐ **VERIFICAÇÃO 1** – Adequação das declividades dos condutos (Nó 1 - Nó 6);
- ☐ **VERIFICAÇÃO 2** – Verificação 1 + Aumento do diâmetro da galeria (  $\phi = 0,60\text{m}$ ) a partir do Nó 4;
- ☐ **VERIFICAÇÃO 3** – Verificação 1 + Aumento do diâmetro do conduto (  $\phi = 0,60\text{m}$ ) a partir do Nó 2 (ponto de controle); e
- ☐ **VERIFICAÇÃO 4** – Verificação 1 + Substituição da rede de galeria com diâmetro de  $\phi = 0,40\text{m}$  existente na Av. João de Barros, por  $\phi = 0,60\text{m}$ .



## 3. ESTUDO DE CASO RESULTADOS

### REDE DE DRENAGEM DA AV. JOÃO DE BARROS





## 3. ESTUDO DE CASO RESULTADOS

### *Síntese dos resultados das simulações para as diferentes verificações*

| Condição      | Aspectos                        |                        | Eventos de Precipitação |              |                    |              |
|---------------|---------------------------------|------------------------|-------------------------|--------------|--------------------|--------------|
|               |                                 |                        | 25-26 de junho de 2014  |              | 17 de maio de 2013 |              |
|               |                                 |                        | Valor simulado          | % de redução | Valor simulado     | % de redução |
| Verificação 1 | Altura máxima de inundação (m)  |                        | 0,12                    | 0%           | 0,27               | 0%           |
|               | Volume máximo de inundação (m³) |                        | 175,00                  | 0%           | 681,00             | 0%           |
|               | Tempo de inundação (horas)      |                        | 5,16                    | 0%           | 5,19               | 0%           |
|               | Erros de continuidade           | Escoamento superficial | -0,03%                  |              | -0,04%             |              |
|               |                                 | Propagação de vazão    | -2,32%                  |              | -1,25%             |              |
| Verificação 2 | Altura máxima de inundação (m)  |                        | 0,10                    | 17%          | 0,27               | 0%           |
|               | Volume máximo de inundação (m³) |                        | 125,00                  | 28,57%       | 675,00             | 1%           |
|               | Tempo de inundação (horas)      |                        | 1,38                    | 73,25%       | 4,07               | 21,58%       |
|               | Erros de continuidade           | Escoamento superficial | -0,03                   |              | -0,04%             |              |
|               |                                 | Propagação de vazão    | -5,12%                  |              | -2,18%             |              |
| Verificação 3 | Altura máxima de inundação (m)  |                        | 0,09                    | 25%          | 0,13               | 52%          |
|               | Volume máximo de inundação (m³) |                        | 120,00                  | 31%          | 332,00             | 51%          |
|               | Tempo de inundação (horas)      |                        | 1,36                    | 74%          | 4,00               | 23%          |
|               | Erros de continuidade           | Escoamento superficial | -0,03                   |              | -0,04%             |              |
|               |                                 | Propagação de vazão    | -5,13%                  |              | -2,17%             |              |
| Verificação 4 | Altura máxima de inundação (m)  |                        | 0,08                    | 33%          | 0,11               | 59%          |
|               | Volume máximo de inundação (m³) |                        | 110,00                  | 37%          | 289,00             | 58%          |
|               | Tempo de inundação (horas)      |                        | 1,31                    | 75%          | 4,00               | 23%          |
|               | Erros de continuidade           | Escoamento superficial | -0,03                   |              | -0,04%             |              |
|               |                                 | Propagação de vazão    | -5,20%                  |              | -2,17%             |              |

### CONSTATAÇÕES:

As maiores reduções no volume de alagamento e altura da lâmina d'água foram observadas na **Verificação 4.**

TR = 2 anos (na ordem de 30%)

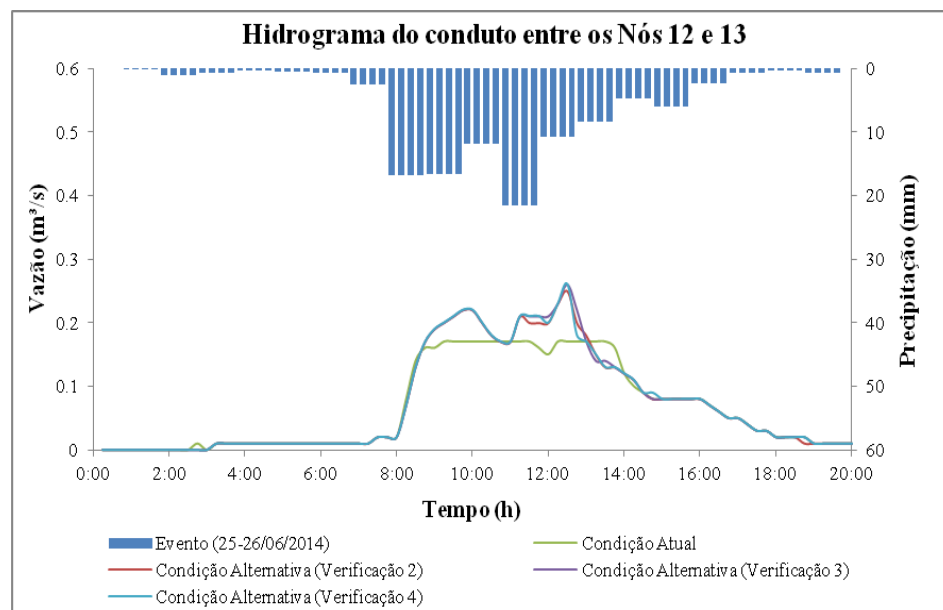
TR = 5 anos (na ordem de 50%)

## 3. ESTUDO DE CASO RESULTADOS

### *Implicações das verificações simuladas (com aumento de seção da galeria)*

| Incremento médio de vazão com base na condição atual (%) |     |
|----------------------------------------------------------|-----|
| 25 e 26 de junho de 2014                                 | 23% |
| 17 de maio de 2013                                       | 35% |

- ❑ As áreas à jusante deste sistema, com ocorrência de alagamentos, sofrerão **AUMENTO NOS VOLUMES INUNDADOS** nos períodos chuvosos.
- ❑ **TRANSFERÊNCIA DO PROBLEMA** para a área de jusante.



|                | Tipo    | Fluxo <br>Maximo<br>CMS | Inst. da Max<br>Ocorrência<br>dia h:min | Veloc <br>Máxima<br>m/seg | Fluxo<br>Max/<br>Cheio | Prof.<br>Max/<br>Prof. |
|----------------|---------|-------------------------|-----------------------------------------|---------------------------|------------------------|------------------------|
| CONDIÇÃO ATUAL | CONDUIT | 0.173                   | 0 12:16                                 | 0.69                      | 1.00                   | 1.00                   |
| VERIFICAÇÃO 2  | CONDUIT | 0.254                   | 0 12:40                                 | 0.92                      | 1.47                   | 1.00                   |
| VERIFICAÇÃO 3  | CONDUIT | 0.261                   | 0 12:38                                 | 0.94                      | 1.51                   | 1.00                   |
| VERIFICAÇÃO 4  | CONDUIT | 0.261                   | 0 12:38                                 | 0.94                      | 1.51                   | 1.00                   |



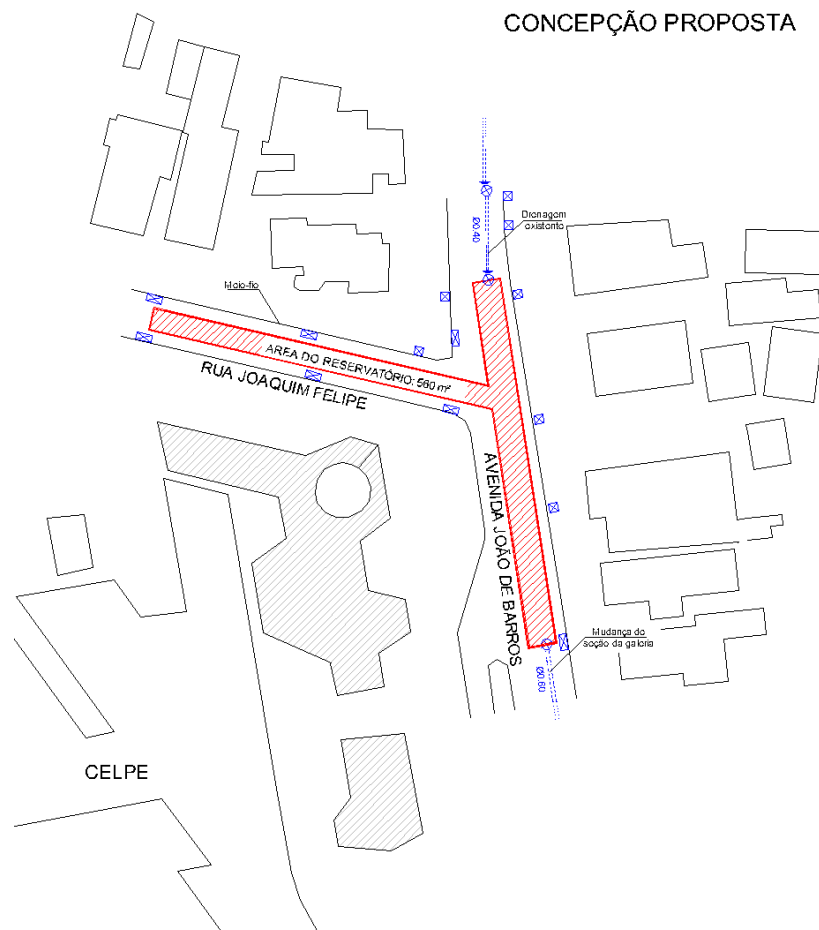
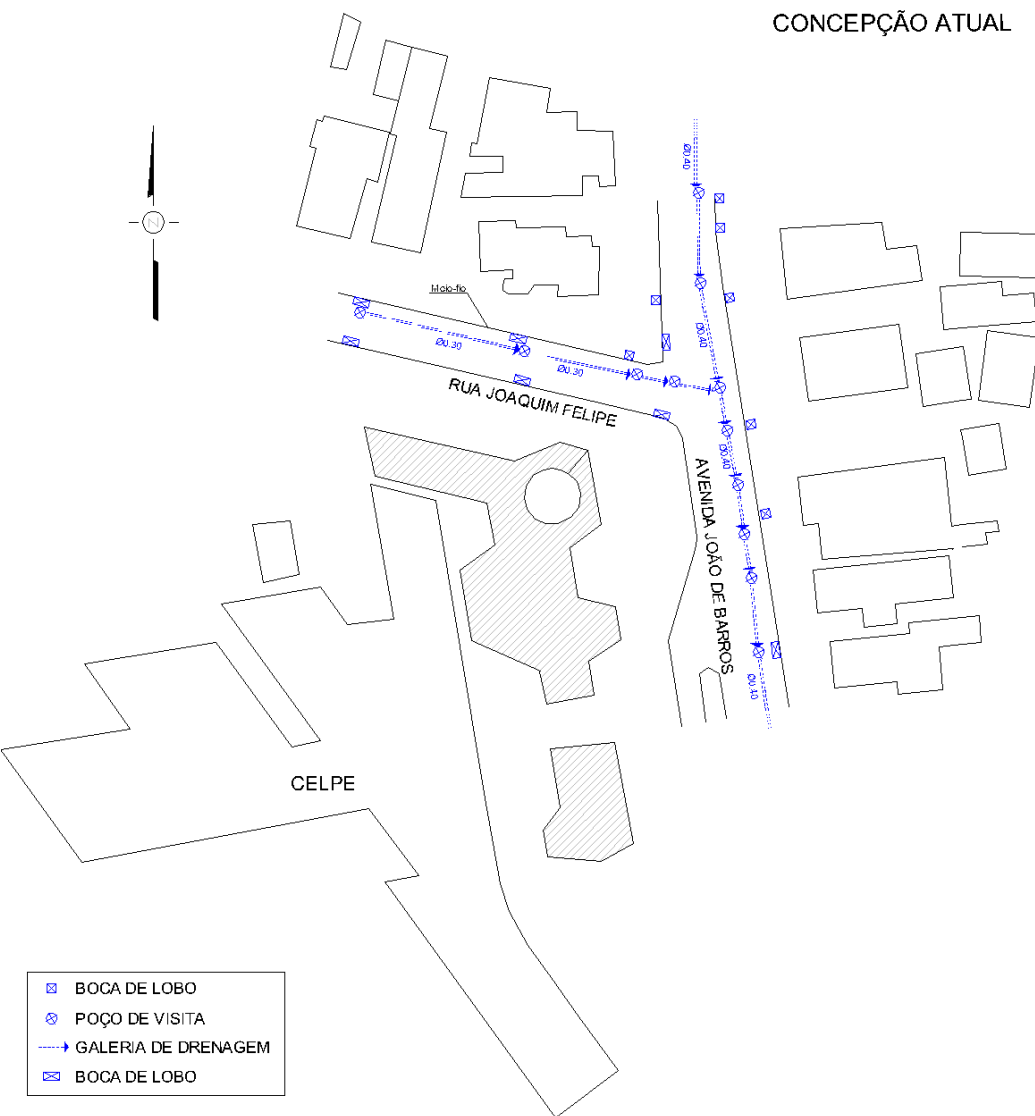
### 3. ESTUDO DE CASO RESULTADOS

#### *CENÁRIO 02 – CONDIÇÃO ALTERNATIVA*

##### ☐ RESERVATÓRIO DE DETENÇÃO SUBTERRÂNEO:

- Implantação de um reservatório de retenção (on-line) **AO LONGO DA REDE DE DRENAGEM PRINCIPAL**, mais especificamente na área de influência ao ponto de alagamento.
- Solução similar para controle de alagamentos **JÁ FOI ADOTADA NA CIDADE DO RECIFE**, mais especificamente no bairro do Espinheiro, e vem apresentando resultados satisfatórios.
- Obtenção do volume de armazenamento, a partir do **MÉTODO DAS CHUVAS**, definido por Baptista *et al.* (2005).

## 3. ESTUDO DE CASO RESULTADOS

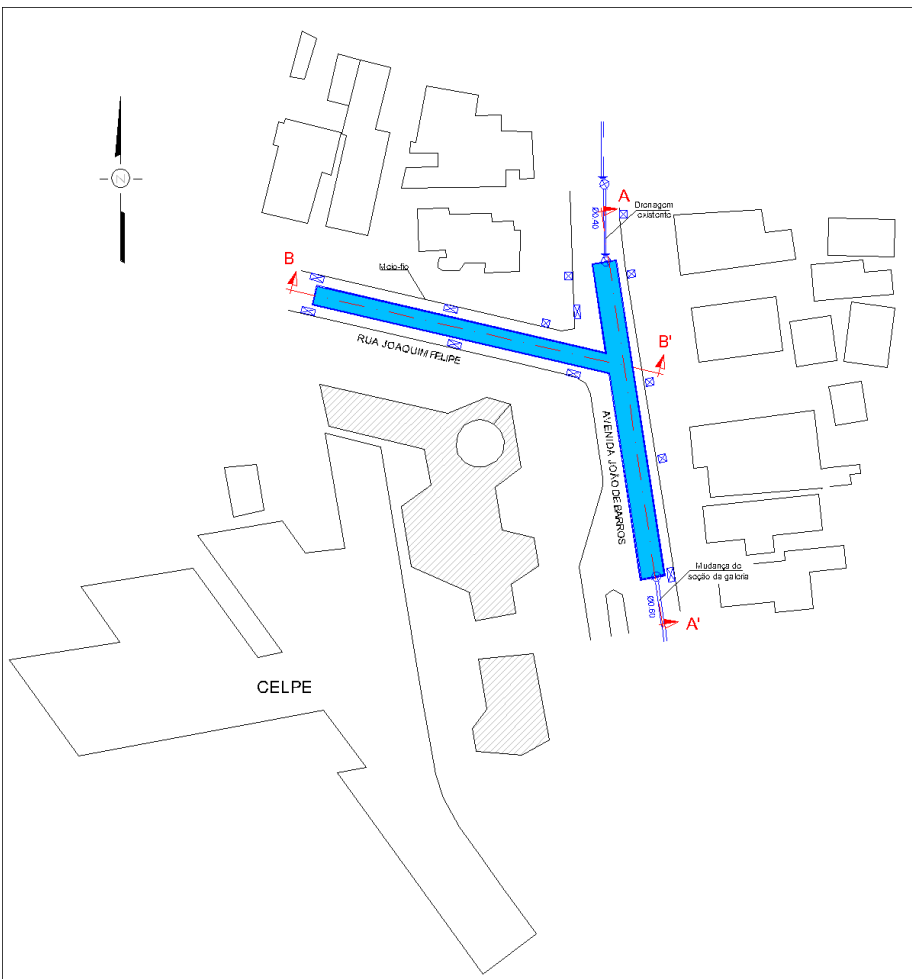


### □ DADOS GERAIS:

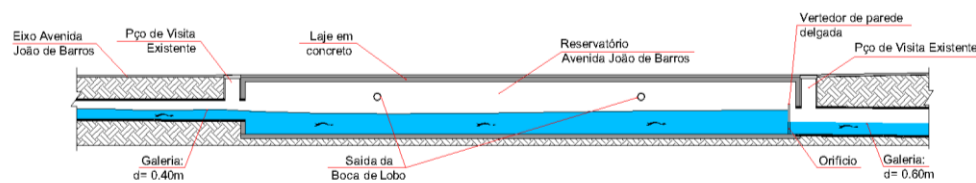
- Área do reservatório: **560 m²**
- Profundidade útil: **1,00 m**

# 3. ESTUDO DE CASO RESULTADOS

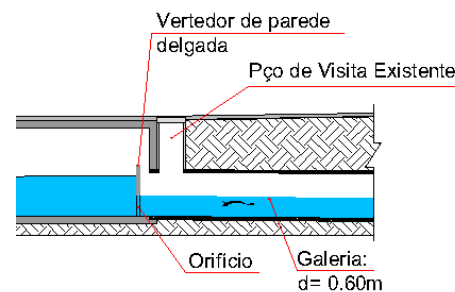
## CORTES ESQUEMÁTICOS DO RESERVATÓRIO



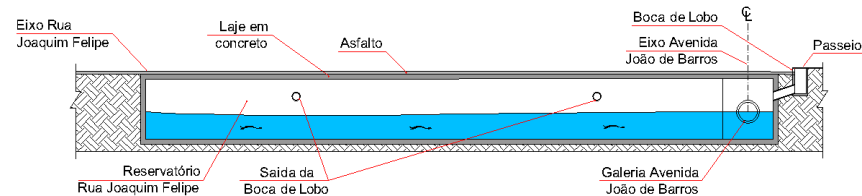
CORTE ESQUEMÁTICO AA'



**Orifício: 0,40 x 0,40 m**  
**Altura do vertedor: 0,70 m**



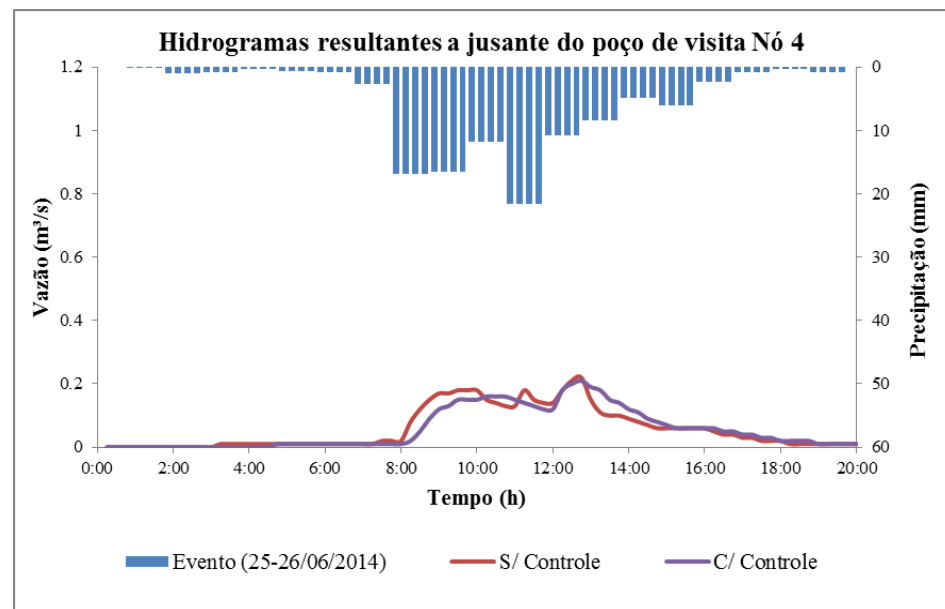
CORTE ESQUEMÁTICO BB'



## 3. ESTUDO DE CASO RESULTADOS

### COMPARATIVO (COM CONTROLE E SEM CONTROLE)

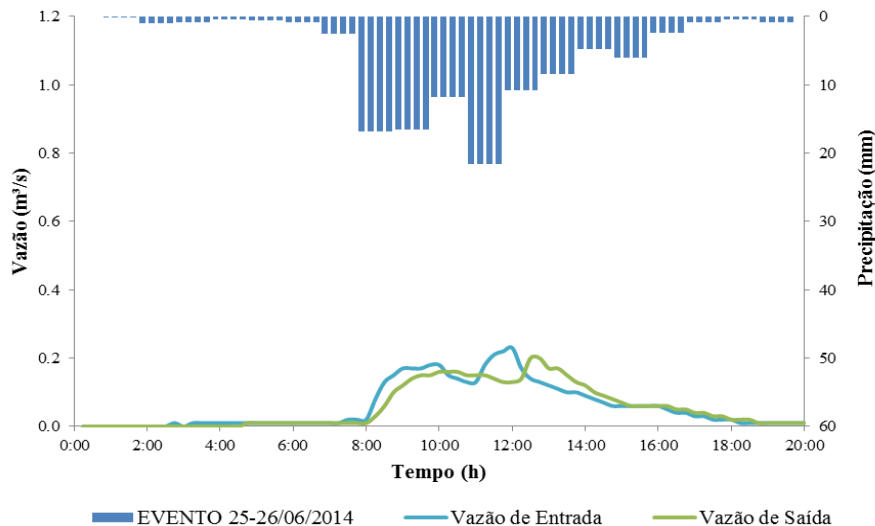
| Tempo (h:min)                      | Chuva (mm) | Q (S/ Controle) m³/s | Q (C/ Controle) m³/s | Percentual de redução (%) |
|------------------------------------|------------|----------------------|----------------------|---------------------------|
| 08:00:00                           | 16,8       | 0,02                 | 0,01                 | 50%                       |
| 08:15:00                           | 16,8       | 0,08                 | 0,02                 | 75%                       |
| 08:30:00                           | 16,8       | 0,12                 | 0,05                 | 58%                       |
| 08:45:00                           | 16,8       | 0,15                 | 0,09                 | 40%                       |
| 09:00:00                           | 16,6       | 0,17                 | 0,12                 | 29%                       |
| 09:15:00                           | 16,6       | 0,17                 | 0,13                 | 24%                       |
| 09:30:00                           | 16,6       | 0,18                 | 0,15                 | 17%                       |
| 09:45:00                           | 16,6       | 0,18                 | 0,15                 | 17%                       |
| 10:00:00                           | 11,8       | 0,18                 | 0,15                 | 17%                       |
| 10:15:00                           | 11,8       | 0,15                 | 0,16                 | -7%                       |
| 10:30:00                           | 11,8       | 0,14                 | 0,16                 | -14%                      |
| 10:45:00                           | 11,8       | 0,13                 | 0,16                 | -23%                      |
| 11:00:00                           | 21,6       | 0,13                 | 0,15                 | -15%                      |
| 11:15:00                           | 21,6       | 0,18                 | 0,14                 | 22%                       |
| 11:30:00                           | 21,6       | 0,15                 | 0,13                 | 13%                       |
| 11:45:00                           | 21,6       | 0,14                 | 0,12                 | 14%                       |
| 12:00:00                           | 10,8       | 0,14                 | 0,12                 | 14%                       |
| 12:15:00                           | 10,8       | 0,18                 | 0,18                 | 0%                        |
| 12:30:00                           | 10,8       | 0,21                 | 0,2                  | 5%                        |
| 12:45:00                           | 10,8       | 0,22                 | 0,21                 | 5%                        |
| <b>Percentual médio de redução</b> |            |                      |                      | <b>27%</b>                |



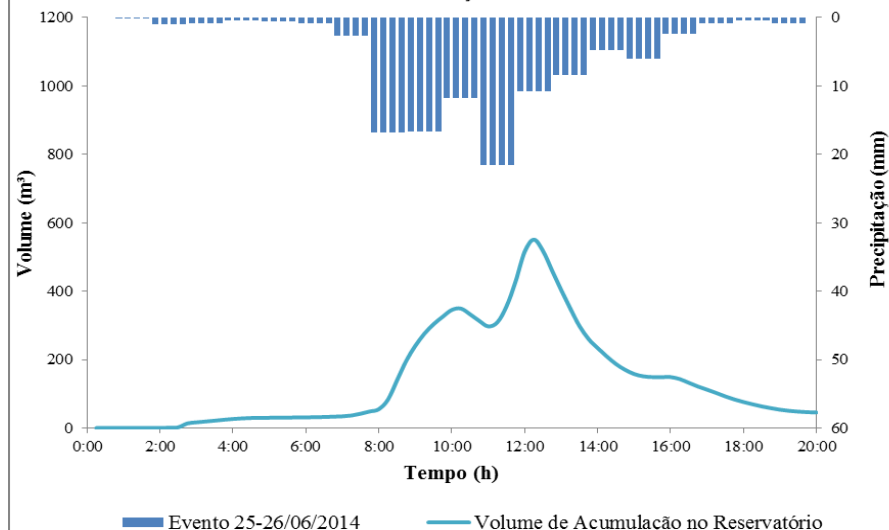


## 3. ESTUDO DE CASO RESULTADOS

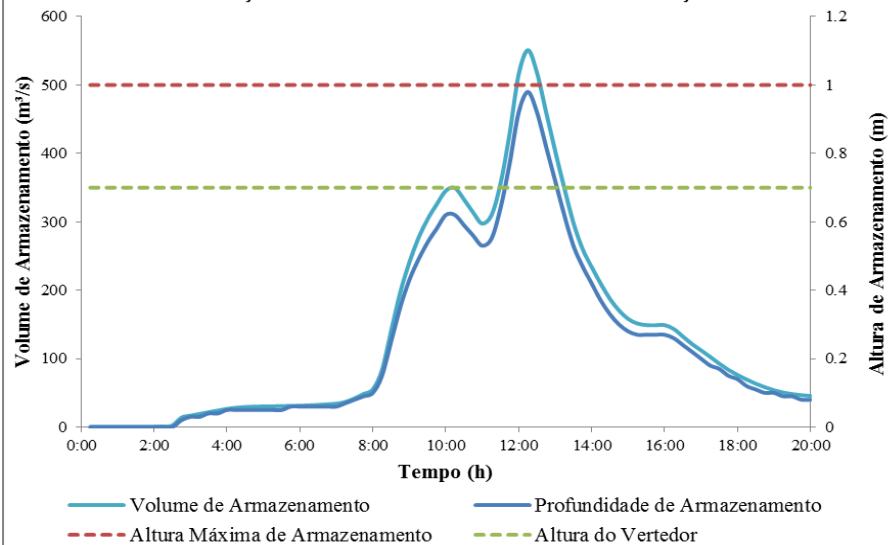
**Hidrograma de entrada e saída do Reservatório**



**Volume de Acumulação do Reservatório**



**Relação Profundidade x Volume de Acumulação**

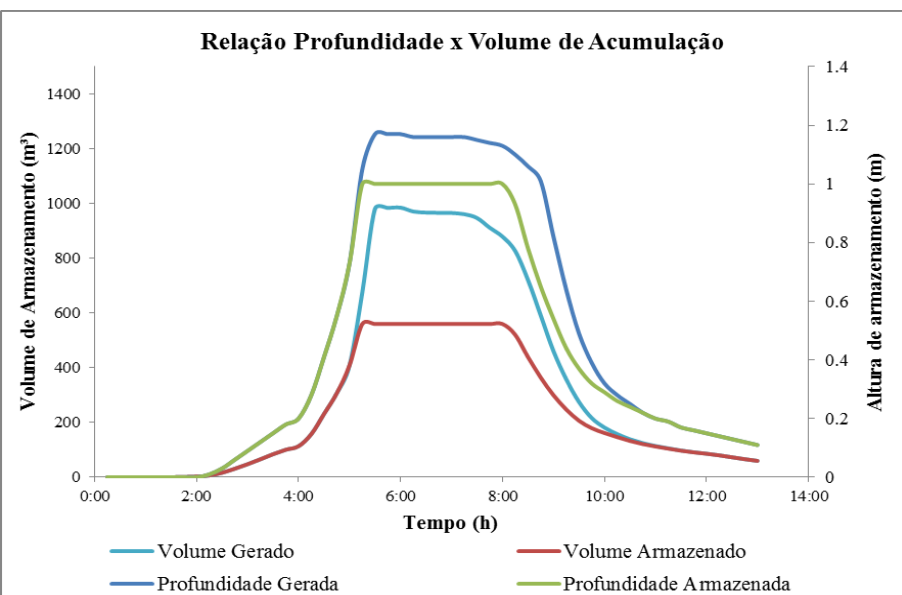
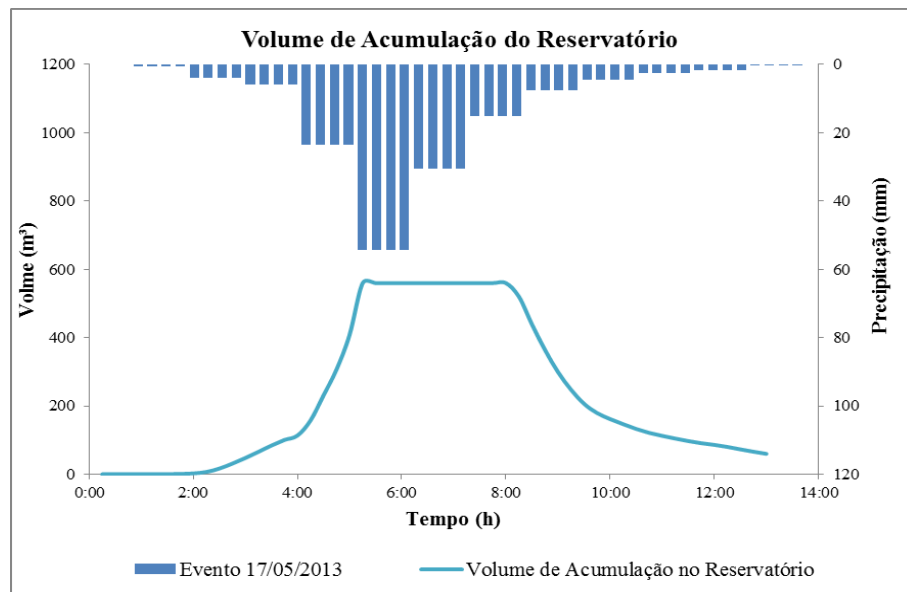
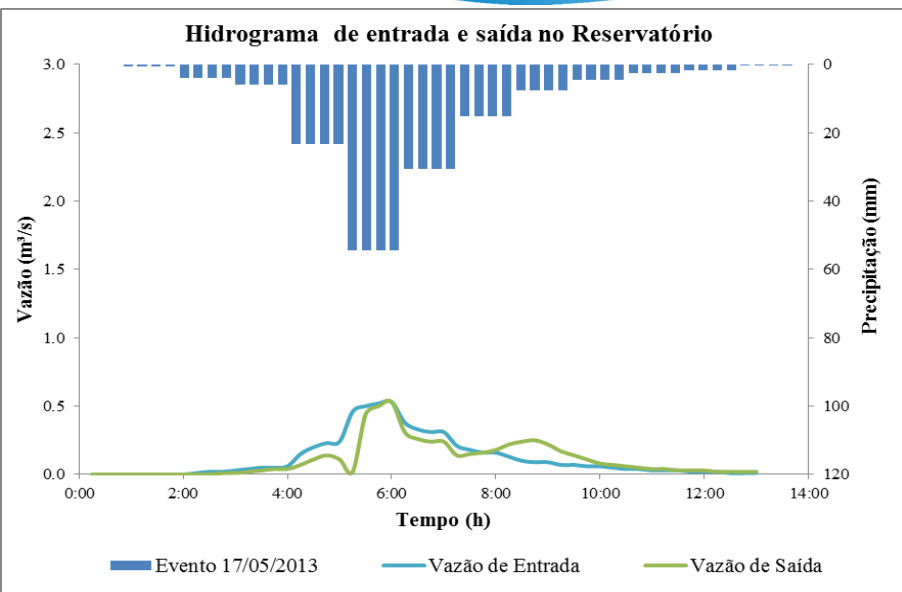


Sensível redução no hidrograma de saída.

Volume produzido dentro da capacidade do reservatório.

Eventos com TR 2 anos o reservatório é satisfatório.

### 3. ESTUDO DE CASO RESULTADOS



Ocorrência de alagamento (TR = 5 anos).

Redução do volume de alagamento e do tempo de inundação.

### 3. ESTUDO DE CASO

#### RESULTADOS

#### SÍNTESE DOS RESULTADOS

| Evento        | Cenário     | Tempo de inundação (h) | Altura da lâmina d'água (m) | Volume de alagamento (m <sup>3</sup> ) |
|---------------|-------------|------------------------|-----------------------------|----------------------------------------|
| 25-26/06/2014 | S/ Controle | 5,16                   | 0,12                        | 175                                    |
|               | C/ Controle | -                      | -                           | -                                      |
| Redução (%)   |             | -                      | -                           | -                                      |
| 17/05/2013    | S/ Controle | 5,19                   | 0,27                        | 681                                    |
|               | C/ Controle | 3,62                   | 0,17                        | 425                                    |
| Redução (%)   |             | 30,25                  | 37,03                       | 37,59                                  |

→ **SATISFATÓRIO!**

**Aprox. 38%**

### 3. ESTUDO DE CASO

#### CONSIDERAÇÕES

❑ *Ações necessárias para o ponto crítico de alagamento estudado:*

#### CONDIÇÃO ATUAL

- A calibração simplificada do modelo apresentou coeficientes de correlação de **0,97 e 0,96** para os períodos de recorrência de 2 e 5 anos, respectivamente;
- Os erros de continuidade inerentes ao processo de simulação encontram-se dentro dos limites da aceitabilidade, apresentando valores **MENORES QUE 10%**.

#### CONDIÇÃO ALTERNATIVA

- Houve uma **REDUÇÃO DOS PICOS DE CHEIA** e consequentemente **DIMINUIÇÃO DA ÁREA DE ALAGAMENTOS** nas condições simuladas.
- A adequação da rede de drenagem apresentou **REDUÇÕES MÁXIMAS** no volume de alagamento de **37% e 58%** para recorrências de 2 e 5 anos, respectivamente.
- O reservatório de retenção na rede existente apresentou um **RESULTADO SATISFATÓRIO** para o **TR DE 2 ANOS** e **REDUZIU CERCA DE 38%** considerando o evento de **5 ANOS**.



### 3. ESTUDO DE CASO

#### CONSIDERAÇÕES

□ *Ações necessárias para o ponto crítico de alagamento estudado:*

- **CONTROLE EFETIVO DA URBANIZAÇÃO**, evitando a impermeabilização excessiva das poucas áreas de solo exposto ou com vegetação;
- Identificação dos **TRECHOS OBSTRUÍDOS** da rede de drenagem;
- Incentivo ao **USO DE GRELHAS COM MANUTENÇÃO SISTEMÁTICA**, em substituição as bocas de lobo convencionais;
- Evitar o **BOMBEAMENTO IMEDIATO DA ÁGUA** de drenagem dos prédios situados na Rua Joaquim Felipe, no momento em que está chovendo, recorrendo às técnicas de retenção da água; e
- Uso de **MICRORRESERVATÓRIOS DE DETENÇÃO EM NÍVEL DE LOTE**, visando à redução dos picos de cheia e consequentemente alagamentos, podendo servir como acumulador de águas pluviais para posterior reuso (Lei Municipal Nº 18.112 em vigência a partir de janeiro de 2015).

### 3. ESTUDO DE CASO

#### APLICAÇÃO DA LEI N° 18.112/2015

Estudo de XAVIER et al., 2016  
*Reservatórios de Lotes*

Hipótese de aplicação na área de estudo  
de Silva Junior (2015).

#### A) IDENTIFICAÇÃO DOS LOTES



22 lotes cadastrados e 19 lotes identificados  
Área total dos lotes: 4,13 ha

#### B) CADASTRAMENTO DOS LOTES



27% de áreas permeáveis  
73% de áreas impermeáveis

### C) DIMENSIONAMENTO DOS RESERVATÓRIOS

$$V = K \times A \times I$$

**Acumulação e Retardo**

Onde: V – Volume calculado do reservatório (m<sup>3</sup>);

K – Coeficiente de abatimento (Acumulação – K = 0,15; Retardo – K = 0,25);

A – Área total do lote (ha);

I – Intensidade da chuva de vazão média de cheias na cidade do Recife (I = 0,06 m/h).

$$q_r = (C_r \times I \times A) / 360$$

**Retardo**

Onde: q<sub>r</sub> – Vazão de restrição em m<sup>3</sup>/s;

I – Chuva de projeto = 0,06 m/h;

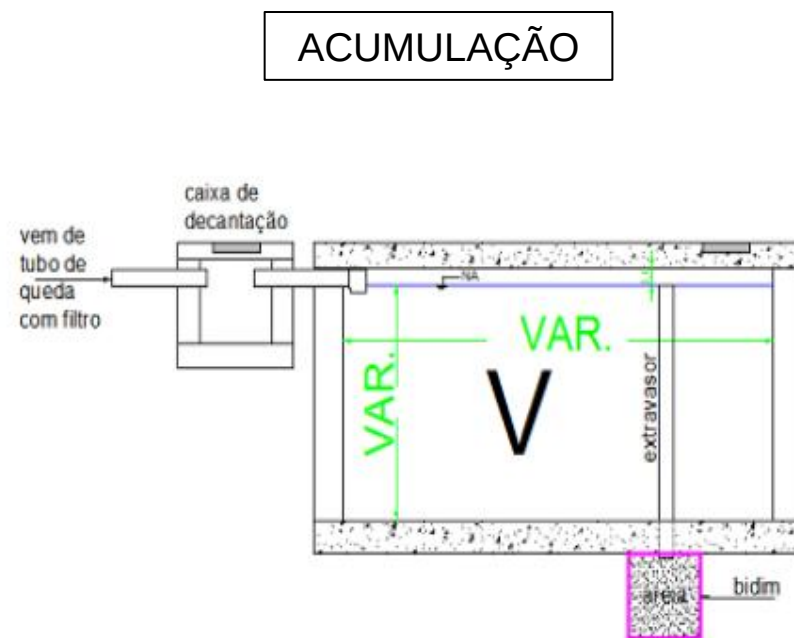
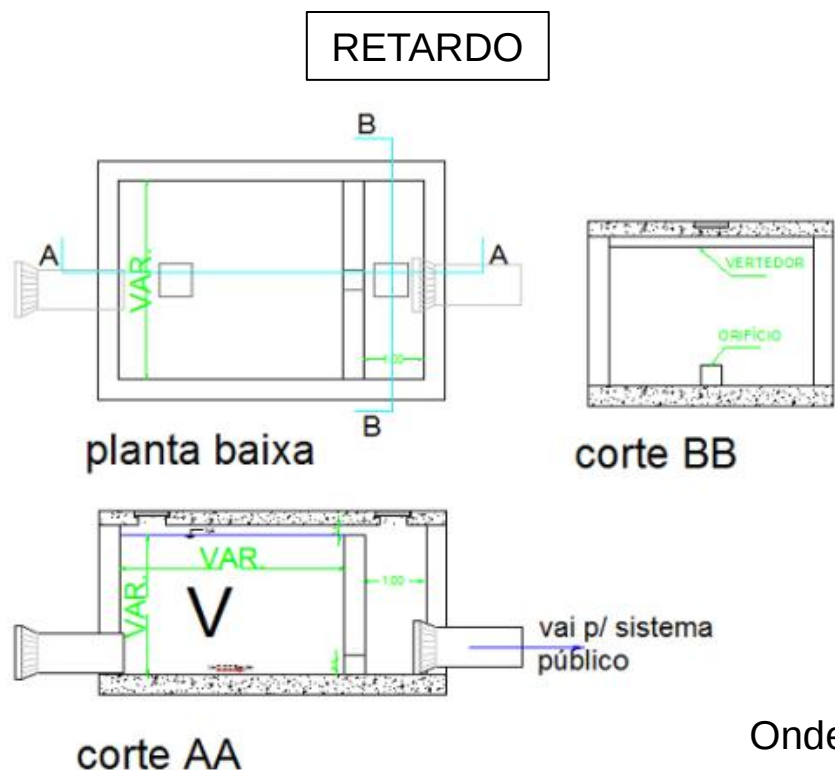
A – Área total do lote (ha);

C<sub>r</sub> – Coeficiente de escoamento de pré-urbanização (0,15).

### 3. ESTUDO DE CASO

#### APLICAÇÃO DA LEI Nº 18.112/2015

#### D) CONFIGURAÇÃO DOS RESERVATÓRIOS



Onde: V representa o volume de acumulação ou retardo.

**RETARDO:** Destinado ao acúmulo de águas pluviais para posterior descarga na rede pública, captadas de telhados, coberturas, terraços, estacionamentos, pátios e outros.

**ACUMULAÇÃO:** Destinado ao acúmulo de águas pluviais para posterior utilização, com captação exclusiva dos telhados.



### 3. ESTUDO DE CASO

#### APLICAÇÃO DA LEI Nº 18.112/2015

#### RESULTADOS E CONCLUSÕES DAS ANÁLISES:

| ID do Lote    | Reservatórios de Acumulação | Reservatórios de Retardo |                           |
|---------------|-----------------------------|--------------------------|---------------------------|
|               | Volume (m³)                 | Volume (m³)              | Vazão de Restrição (m³/s) |
| 399           | 169,90                      | 283,16                   | 0,47                      |
| 168           | 32,58                       | 54,31                    | 0,09                      |
| 136           | 8,23                        | 13,72                    | 0,02                      |
| 116-104       | 16,79                       | 27,98                    | 0,05                      |
| 80-68         | 9,37                        | 15,62                    | 0,03                      |
| 60            | 4,91                        | 8,18                     | 0,01                      |
| 201           | 5,79                        | 9,64                     | 0,02                      |
| 175           | 5,34                        | 8,91                     | 0,01                      |
| 149           | 5,12                        | 8,54                     | 0,01                      |
| 135-119       | 6,40                        | 10,67                    | 0,02                      |
| 101           | 12,46                       | 20,77                    | 0,03                      |
| 111           | 13,56                       | 22,59                    | 0,04                      |
| 236           | 11,69                       | 19,49                    | 0,03                      |
| 200           | 8,68                        | 14,46                    | 0,02                      |
| <b>TOTAIS</b> | <b>310,82</b>               | <b>518,03</b>            | <b>0,86</b>               |

- ❑ Apresenta-se como possibilidade para a redução dos picos de cheia e dos alagamentos, na hipótese considerada.
- ❑ Poderão ser construídos na área de solo natural, correspondente em até 10% desta área.

| Parâmetros                                                        |            | Variáveis                          | TR: 2 anos | TR: 5 anos |
|-------------------------------------------------------------------|------------|------------------------------------|------------|------------|
| Condições hidrológicas na área de montante ao ponto de alagamento |            | Tempo de concentração (min.)*      | 15         | 15         |
|                                                                   |            | Vazão máxima (m³/s)*               | 0,97       | 1,13       |
|                                                                   |            | Volume gerado (m³)                 | 874,26     | 1018,89    |
| Reservatórios                                                     | Acumulação | Redução do volume gerado (%)       | <b>36</b>  | <b>31</b>  |
|                                                                   | Retardo    | Redução da vazão máxima gerada (%) | <b>11</b>  | <b>24</b>  |

Nota: Valores extraídos do estudo de Silva Junior (2015).

Fonte: XAVIER FILHO et al. (2016).

- ABF ENGENHARIA; EMLURB (2013). *Plano Diretor de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais da Cidade do Recife*. In: Conselho da Cidade do Recife. Apresentação em Power Point. Recife, Março de 2017.
- ALCOFORADO, R.M.G. (2006). *Simulação hidráulico-hidrológica do escoamento em redes complexas de rios urbanos*: suporte de informações espaciais de alta resolução. Tese (Doutorado). Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco.
- COLLODEL, M. G. *Aplicação do modelo hidrológico SWMM na avaliação de diferentes níveis de detalhamento da bacia hidrográfica submetida ao processo de transformação chuva-vazão*. 2009. 219 f. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2009.
- CAVALCANTI, M.C.L. (2017). *Impacto hidrológico da impermeabilização do solo em área da cidade do Recife*. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) - Escola Politécnica, Universidade de Pernambuco, Recife, 21 f.
- CORDEIRO NETTO, Oscar de M. *Técnicas de Minimização da Drenagem de Águas Pluviais*. In: Gerenciamento do saneamento em comunidades organizadas. Apresentação em PowerPoint. São Paulo, 4 e 5 de maio de 2004.
- CN – Cabo Notícias (2016). *Maré alta volta a causar transtornos nas ruas do Recife*. Disponível em: <http://cabonoticias.com.br/noticias/2898/mare-alta-volta-a-causar-transtornos-nas-ruas-do-recife>. Acesso em 15 abr. 2016.
- EMLURB. *Relatório de Andamento do RAP - Caracterização da Área de Influência Direta – AID*. In: Estudo elaboração dos estudos de concepção para gestão e manejo de águas pluviais e drenagem urbana do Recife. (Versão concedida em visita técnica). Recife, out. 2013.
- G1, 2016. *Maré alta provoca alagamentos no centro do Recife*. Disponível em: <http://g1.globo.com/pernambuco/netv-2edicao/videos/t/edicoes/v/mare-alta-provoca-alagamentos-no-centro-do-recife/4941506/> Acesso em 15 abr. 2016.
- IBGE (2010). *Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (PNSB) – 2008*. IBGE: Rio de Janeiro, 2010. 219 p.
- JC ONLINE. Disponível em: <http://ne10.uol.com.br/canal/cotidiano/jc-transito/noticia/2013/05/17/ruas-e-avenidas-do-grande-recife- ficam-alagadas-com-a-chuva-348642.php>. Acesso em 01 nov. 2013.
- \_\_\_\_\_. Disponível em: <http://ne10.uol.com.br/canal/cotidiano/jc-transito/noticia/2013/04/24/chuvas-provocam-alagamentos-no-grande-recife-414514.php>. Acesso em: 10 dez. 2013.
- 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.
- OLIVEIRA, R.L.M. (2017). *Alternativas compensatórias para drenagem urbana em ponto crítico da cidade de Recife - PE*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola Politécnica, Universidade de Pernambuco, Recife, 101 f.
- REZENDE, O. M. (2013). O preço da urbanização – Recife/PE. Disponível em: <http://www.aquafluxus.com.br/o-preco-da-urbanizacao-recife-pe/> Acessado em 15 dez 2013.
- 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 f.
- SILVA, P.O.; CABRAL, J.J.S.P. (2014). Atenuação de picos de vazão em área problema: estudo comparativo de reservatórios de retenção em lote, em logradouros e em grande área da bacia. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 19, n. 2 (Abril/Jun), pp. 7 – 18.
- 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, pp. 1 – 12.
- SILVA JUNIOR, M. A. B.; SILVA, S. R. (2014). Drenagem urbana: o dia em que o Recife parou. *Construir Nordeste*, p. 39 - 39, 01 mar. 2014.
- SILVA JUNIOR, M. A. B.; SILVA, S. R. (2016). Impacts of urbanization and climate change in the drainage system of Recife-PE. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 9, p. 2034-2053.
- SILVA JUNIOR, M.A.B. (2015). *Alternativas compensatórias para controle de alagamentos em localidade do Recife-PE*. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica, Universidade de Pernambuco, Recife, 154 f.
- SILVEIRA, A. L.L. Gestores regionais de recursos hídricos. Curso de Drenagem Urbana. UFRGS, 2002.
- SKYSCRAPERCITY. Imagens históricas do bairro de Boa Viagem. Disponível em: <http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=1103073>. Acesso em: 05 nov. 2013.
- TUCCI, C.E.M. (2013). *Drenagem Urbana*. In: Curso de gestão de águas pluviais. Apresentação em Power Point. São Paulo, 10 de agosto de 2013.
- \_\_\_\_\_. *Drenagem urbana*. In: Hidrologia: Ciência e Aplicação. 3ª Ed. UFRGS, Porto Alegre, 2004.
- UFPE- UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO (2007). *Relatório Parcial (Parte 2): Manejo Sustentável de Águas Pluviais Urbanas em Região de Clima Litorâneo com Elevadas Precipitações*. Recife- PE, 54 p.
- XAVIER FILHO, R.F.; SILVA JUNIOR, M.A.B.; CABRAL, J.J.S.P.; GOMES, A.O. (2016). Controle de escoamento na fonte como alternativa compensatória para os alagamentos em área do Recife-PE. In: *Anais do XIII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste*. Aracaju - SE, 2016.



# OBRIGADO!

Contato: [marcos15barbosa@hotmail.com](mailto:marcos15barbosa@hotmail.com)

**AGRADECIMENTOS:**



PREFEITURA DO  
**RECIFE**  
SECRETARIA DE SERVIÇOS PÚBLICOS