



Universidade Federal de Alagoas  
Centro de Tecnologia  
Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento



RUBEM IZIDRO DA SILVA JÚNIOR

**EVOLUÇÃO DA URBANIZAÇÃO E SEU EFEITO NO ESCOAMENTO  
SUPERFICIAL NA BACIA DO RIACHO REGINALDO, MACEIÓ-AL**

Maceió-AL  
2009

RUBEM IZIDRO DA SILVA JÚNIOR

**EVOLUÇÃO DA URBANIZAÇÃO E SEU EFEITO NO ESCOAMENTO  
SUPERFICIAL NA BACIA DO RIACHO REGINALDO, MACEIÓ-AL**

Dissertação apresentada como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Recursos Hídricos e Saneamento do Programa de Pós Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento da Universidade Federal de Alagoas

Orientador: Prof. Dr. Vladimir Caramori Borges de Souza

Co-orientador: Prof. Dr. Marllus Gustavo Ferreira Passos das Neves.

MACEIÓ-AL

2009

**Catálogo na fonte**  
**Universidade Federal de Alagoas**  
**Biblioteca Central**  
**Divisão de Tratamento Técnico**

Bibliotecária Responsável: Helena Cristina Pimentel do Vale

S586e Silva Júnior, Rubem Izidro da.  
Evolução da urbanização e seu efeito no escoamento superficial na bacia do Riacho Reginaldo, Maceió-AL / Rubem Izidro da Silva Júnior. – 2009.  
ix, 79 f. : il.

Orientador: Vladimir Caramori Borges de Souza.

Co-Orientador: Marllus Gustavo Ferreira Passos das Neves.

Dissertação (mestrado em Engenharia : Recursos Hídricos e Saneamento) – Universidade Federal de Alagoas. Centro de Tecnologia. Maceió, 2009.

Bibliografia: f. 76-79.

1. Bacias hidrográficas – Maceió (AL). 2. Riacho Reginaldo (AL). 3. Escoamento. 4. Urbanização. I. Título.

CDU: 556.18(813.5)



Universidade Federal de Alagoas – UFAL  
Centro de Tecnologia – CTEC  
Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamentos – PPGRHS  
Campus A. C. Simões, Av. Lourival de Melo Mota, S/N  
Tabuleiro do Martins – CEP 57072-970 – Maceió – Alagoas  
Tel/Fax: (82) 3214-1279  
E-mail: ppgrhs@yahoo.com  
Homepage://www.ctec.ufal.br/posgraduacao/ppgrhs




## EVOLUÇÃO DA URBANIZAÇÃO E SEU EFEITO NO ESCOAMENTO SUPERFICIAL NA BACIA DO RIACHO REGINALDO, MACEIÓ-ALAGOAS

**RUBEM IZIDRO DA SILVA JÚNIOR**

Dissertação submetida à banca examinadora do Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento da Universidade Federal de Alagoas e aprovada no dia 27 do mês de Fevereiro do ano de 2009.

Banca Examinadora:

  
Prof. Dr. Vladimir Caramori Borges de Souza  
Orientador – CTEC/UFAL

  
Prof. Marllus Gustavo Ferreira Passos das Neves  
CTEC/UFAL

  
Prof. Dr. Marcus Aurélio Soares Cruz  
Embrapa Tabuleiros Costeiros

  
Prof. Dr. Valmir de Albuquerque Pedrosa  
CTEC/UFAL

## **AGRADECIMENTOS**

Para que fosse completada a jornada que se iniciou em Março de 2005 foi necessária à colaboração de muitas pessoas e a todas elas aqui vai o meu mais sincero agradecimento.

Meus agradecimentos especiais aos meus pais, irmão e irmã, meu cunhado e a meus amigos que sempre me encorajaram nessa aventura.

Ao grupo que compõem o Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento – PPGRHS da Universidade Federal de Alagoas – UFAL, sobretudo ao meu orientador técnico-científico o Prof<sup>o</sup> Dr. Vladimir Caramori Borges de Souza por sua atenção e, principalmente, paciência enquanto esclarecia minhas dúvidas sobre este trabalho, ao meu co-orientador Prof<sup>o</sup> Dr. Marllus Gustavo Ferreira Passos das Neves pela grande ajuda ofertada, e ao meu outro “orientador emocional” o Prof. Dr. Valmir de Albuquerque Pedrosa, que sempre elevou o ânimo nos momentos difíceis.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Alagoas – FAPEAL, pela concessão da bolsa de mestrado, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq pelo financiamento do projeto “CASADINHO – UFAL/UFMG/EESC-USP” através do edital MCT/CNPq/CT-Hidro 14/2005 e à Prefeitura Municipal de Maceió, através de suas Secretarias, pela disponibilização dos dados necessários.

E finalizando, aos amigos mestrados, que sempre estavam por perto nas horas mais difíceis.

## RESUMO

O município de Maceió passou por um intenso processo de urbanização a partir da década de 1950, saindo de uma população de 162.976 habitantes em 1950 para 797.759 habitantes no ano 2000, sendo a população total essencialmente urbana. Os impactos sobre a drenagem urbana são evidentes, uma vez que a impermeabilização do solo é consequência direta da urbanização. A bacia hidrográfica do riacho do Reginaldo, localizada na área urbana da cidade de Maceió tem área de drenagem de 27 km<sup>2</sup> e tem sofrido com problemas ligados ao escoamento das águas de chuva e com alagamentos frequentes em vários pontos. Recentemente tem sido observado um aumento na frequência e na magnitude dos alagamentos, uma vez que o escoamento superficial é ampliado pela impermeabilização do solo. Este trabalho tem como objetivo geral identificar e caracterizar a evolução temporal da urbanização na bacia do riacho Reginaldo e seus impactos sobre a geração de escoamento superficial. A evolução do uso e ocupação dentro da bacia foi realizada a partir da estimativa do parâmetro CN do modelo SCS e o impacto destas mudanças sobre o escoamento superficial foi avaliado através de simulações chuva-vazão utilizando o modelo IPH-S1. Os dados que serviram de base para o trabalho foram obtidos através de visitas a campo, de informações obtidas junto a órgãos públicos ligados à drenagem pluvial e da utilização de três imagens aéreas das décadas de 1960 e 1980 e do ano de 2004, além da base cartográfica do município do ano 2000. Foi verificado que a bacia passou por um intenso processo de substituição da vegetação nativa, com importante ocupação da bacia a partir da foz em direção às partes mais altas. Nas margens dos cursos d'água, a ocupação ocorre mesmo sobre a calha do curso d'água principal. A forma de ocupação dos lotes ocorreu sem nenhuma preocupação ligada ao ciclo hidrológico, e o saneamento básico não chegou a algumas áreas da bacia, trazendo forte degradação dos corpos hídricos. A estimativa do parâmetro CN para os cenários analisados mostrou importante crescimento médio neste parâmetro, com consequência direta na geração de escoamento superficial. As simulações chuva-vazão foram realizadas através do modelo IPH-S1, sendo verificado que a vazão na foz do riacho Reginaldo passa de 32 m<sup>3</sup>/s na década de 60 para mais de 70 m<sup>3</sup>/s em 2004, para uma chuva de projeto com tempo de retorno de 2 anos. As implicações diretas no escoamento superficial são mais importantes em função dos padrões de urbanização observados na bacia (lotes pequenos, impermeabilização total do lote) e das características físicas da bacia (encostas íngremes, solo argiloso).

**Palavras-chave:** Bacias Hidrográficas – Maceió-AL, Riacho Reginaldo(AL), Escoamento Superficial, Urbanização.

## ABSTRACT

The city of Maceió has gone through an intense urbanization process, changing from c. 163000 inhabitants in 1950 to c. 798 000 inhabitants in 2000. As a consequence of urbanization, impacts on urban drainage are evident, due to soil impermeabilization. Reginaldo creek watershed, which has a drainage area of 27 km<sup>2</sup>, has been impaired by stormwater drainage effects, characterized by frequent floods in several places. Recently, it has been observed an increase in frequency and magnitude of floods, due to runoff augmentation. This master thesis aims at identifying and characterizing Reginaldo creek watershed's urbanization temporal evolution and its impacts on runoff generation. Soil use and occupancy evolution within the basin was assessed via the estimation of the CN parameter applied in the SCS model and its impacts on runoff were assessed via rainfall-runoff simulation using the IPH-S1 model. Data were acquired in field trips, public institutions related to stormwater drainage, aerial imagery from 1960, 1980 and 2004 and from a city map. It was found that the basin has gone through an intensive process of native vegetation elimination, with significant occupation of the basin lower areas, expanding to upper areas. Occupation of riverbanks has occurred similarly to what occurs in its main. No concern has been given to the water cycle, when selecting areas to occupy and there are still areas without sewer systems, affecting water quality in streams. CN estimations resulted in a significant increase, with direct consequences in runoff. The rainfall-runoff simulations with 2 years design storm showed that discharges increased from 32 m<sup>3</sup> / s in the 1960 scenario to 70 m<sup>3</sup> / s in 2004 scenario. Direct implications in the runoff are greater with existing urbanization patterns (small lots and complete impermeabilization) and watershed's physical characteristics (steep slopes and clay soil).

**Keywords:** Watershed – Maceió-AL, Reginaldos's Stream, Runoff, Urbanization.

## SUMÁRIO

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| <b>1</b> | <b>INTRODUÇÃO</b> .....  | <b>1</b>  |
| <b>2</b> | <b>A URBANIZAÇÃO E O ESCOAMENTO SUPERFICIAL</b> .....                    | <b>3</b>  |
| 2.1      | OS PROCESSOS HISTÓRICOS DE URBANIZAÇÃO .....                             | 3         |
| 2.2      | RELAÇÕES ENTRE A URBANIZAÇÃO E O ESCOAMENTO SUPERFICIAL.....             | 10        |
| 2.3      | MEDIDAS PARA CONTROLE DE INUNDAÇÕES E ALAGAMENTOS .....                  | 20        |
| <b>3</b> | <b>MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....   | <b>23</b> |
| 3.1      | CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DA BACIA DO RIACHO DO REGINALDO.....               | 23        |
| 3.1.1    | Delimitação da Bacia.....  | 27        |
| 3.1.2    | Relevo.....  | 28        |
| 3.1.3    | Geologia .....   | 30        |
| 3.1.4    | Precipitação .....   | 31        |
| 3.1.5    | Tempo de concentração .....  | 33        |
| 3.2      | SITUAÇÃO ATUAL DA BACIA.....   | 36        |
| 3.2.1    | Formas de uso e ocupação .....   | 37        |
| 3.2.2    | Infra-estrutura da região .....  | 40        |
| 3.3      | EVOLUÇÃO DO USO E OCUPAÇÃO PARA OS CENÁRIOS AVALIADOS .....              | 44        |
| 3.3.1    | Cenários.....  | 45        |
| 3.3.2    | Estimativa do parâmetro CN .....   | 50        |
| 3.4      | SIMULAÇÕES CHUVA - VAZÃO .....   | 56        |
| 3.4.1    | Modelo IPH-S1 .....  | 56        |
| 3.4.2    | Chuva de projeto.....  | 58        |
| <b>4</b> | <b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....                                     | <b>60</b> |
| 4.1      | EVOLUÇÃO TEMPORAL DO USO E DA OCUPAÇÃO NA BACIA DO RIACHO REGINALDO..... | 60        |
| 4.2      | DENSIDADE DEMOGRÁFICA X PARÂMETRO CN .....                               | 63        |
| 4.3      | SIMULAÇÕES CHUVA-VAZÃO .....   | 65        |
| <b>5</b> | <b>CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES</b> .....                                  | <b>73</b> |
| <b>6</b> | <b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....                                  | <b>76</b> |



## LISTA DE TABELAS

|  |    |
|--|----|
| TABELA 2.1 POPULAÇÃO E CRESCIMENTO DE ALGUMAS CIDADES BRASILEIRAS (TUCCI, 2002).....                                     | 8  |
| TABELA 2.2 COMPARAÇÃO DA CARGA DE POLUENTES ENTRE O ESGOTO DOMÉSTICO E AS ÁGUAS DE DRENAGEM PLUVIAL (BOLLMAN, 2003)..... | 16 |
| TABELA 2.3 VARIAÇÃO DOS PARÂMETROS CLIMÁTICOS DEVIDO À URBANIZAÇÃO (LANDBERG, APUD TUCCI, 2004).....                     | 17 |
| TABELA 2.4 DESCRIÇÃO DAS MEDIDAS DE CONTROLE DE ENCHENTES.....   | 21 |
| TABELA 3.1 DECLIVIDADES AO LONGO DO RIO PRINCIPAL DA BACIA.....  | 28 |
| TABELA 3.2 CLASSIFICAÇÃO DAS FÓRMULAS QUE OBTIVERAM MELHOR DESEMPENHO NO TRABALHO DE SILVEIRA (2005).....                | 34 |
| TABELA 3.3 VALORES DE TC CORRIGIDOS .....  | 36 |
| TABELA 3.4 CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS PARA ESTIMATIVA DO PARÂMETRO SCS-CN (TUCCI, 2004) .....                                | 51 |
| TABELA 3.5 VALORES DO PARÂMETRO CN PARA BACIAS RURAIS (TUCCI, 2004).....   | 51 |
| TABELA 3.6 VALORES DO PARÂMETRO CN PARA BACIAS URBANAS (TUCCI, 2004).....  | 52 |
| TABELA 3.7 PARÂMETROS DE ENTRADA DO MODELO PARA REPRESENTAR O ESCOAMENTO EM RIOS.....                                    | 57 |
| TABELA 3.8 VALORES DE $\alpha$ .....   | 58 |
| TABELA 3.9 VALORES DE $\beta$ .....  | 59 |
| TABELA 4.1 CN'S ENCONTRADOS PARA AS IMAGENS ANALISADAS .....   | 60 |
| TABELA 4.2 RESULTADOS OBTIDOS PARA O CENÁRIO DA DÉCADA DE 60 .....   | 67 |
| TABELA 4.3 RESULTADOS OBTIDOS PARA O CENÁRIO DA DÉCADA DE 80 .....   | 68 |
| TABELA 4.4 RESULTADOS OBTIDOS PARA O CENÁRIO NO ANO DE 2004.....   | 68 |
| TABELA 4.5 COMPARAÇÃO DO TEMPO E DA VAZÃO DAS SUB-BACIAS 10, 11, 12, 13, 14 E 15 PARA O TEMPO DE RETORNO DE 2 ANOS ..... | 70 |

## LISTA DE FIGURAS

|             |  |    |
|-------------|--|----|
| FIGURA 2.1  | CANAL ENCONTRADO DURANTE AS ESCAVAÇÕES NA CIDADE DE MOHENJO-DARO (WEBSTER APUD BURIAN & EDWARDS, 2002).....  | 4  |
| FIGURA 2.2  | CISTERNA LOCALIZADA NA CIDADE DE FERNO, ITÁLIA (BURIAN & EDWARDS, 2002).....   | 5  |
| FIGURA 2.3  | POPULAÇÃO URBANA E RURAL NO BRASIL: DE 1940 E 2000 (IBGE, 2009).....   | 7  |
| FIGURA 2.4  | EVOLUÇÃO DO NÚMERO DE HABITANTES NA CIDADE DE MACEIÓ.....  | 9  |
| FIGURA 2.5  | EVOLUÇÃO NA ÁREA URBANA DE MACEIÓ ENTRE 1982 E 1998 (PEDROSA, 2008).....   | 9  |
| FIGURA 2.6  | DENSIDADE DEMOGRÁFICA <i>VERSUS</i> ÁREA IMPERMEÁVEL (CAMPANA & TUCCI, 1999).....  | 10 |
| FIGURA 2.7  | TENDÊNCIA GERAL DA RELAÇÃO ENTRE A TAXA DE OCUPAÇÃO E IMPERMEABILIZAÇÃO (TOI) E DENSIDADE POPULACIONAL NA CIDADE DE SÃO CARLOS-SP (FONTES & BARBASSA, 2003)..... | 11 |
| FIGURA 2.8  | EVOLUÇÃO DO HIDROGRAMA NO RIO TSURUMI, PARA DIFERENTES CENÁRIOS (YOSHIMOTO & SUETSUGI APUD TUCCI & GENZ, 1995).....  | 12 |
| FIGURA 2.9  | EVOLUÇÃO DO TEMPO DE CONCENTRAÇÃO EM RELAÇÃO À ÁREA URBANIZADA NA BACIA DO RIO TSURUMI (YOSHIMOTO & SUETSUGI APUD TUCCI & GENZ, 1995).....                       | 12 |
| FIGURA 2.10 | EFEITO DA URBANIZAÇÃO E DA PORCENTAGEM DE ÁREA COM CONDUTOS SOBRE A VAZÃO MÁXIMA (TUCCI, 2004).....  | 13 |
| FIGURA 2.11 | RELAÇÃO POPULAÇÃO E OCORRÊNCIA DE INUNDAÇÕES (RAMOS APUD TUCCI, 2002).....   | 14 |
| FIGURA 2.12 | PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS EM FUNÇÃO DA ÁREA DE DRENAGEM (WOLLMAN <i>ET AL.</i> , APUD BOLMAN, 2003).....  | 16 |
| FIGURA 2.13 | PROCESSOS QUE OCORREM EM UMA ÁREA URBANA (TUCCI, 2004).....  | 19 |
| FIGURA 3.1  | LOCALIZAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIACHO DO REGINALDO (PEDROSA, 2008).....  | 24 |
| FIGURA 3.2  | PRINCIPAIS AFLUENTES DO RIACHO REGINALDO.....  | 26 |
| FIGURA 3.3  | DELIMITAÇÃO INICIAL (SENA <i>ET AL.</i> 2006).....   | 27 |
| FIGURA 3.4  | DELIMITAÇÃO UTILIZADA NO TRABALHO.....   | 27 |
| FIGURA 3.5  | PERFIL DO CURSO D'ÁGUA PRINCIPAL COM LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS DE ENTRADA DOS PRINCIPAIS AFLUENTES.....   | 29 |
| FIGURA 3.6  | PLUVIOMETRIA ANUAL, ESTAÇÃO 935056: 1990 A 2006 (ANA, 2007).....   | 31 |
| FIGURA 3.7  | DISTRIBUIÇÃO SAZONAL DA PRECIPITAÇÃO MÉDIA – ESTAÇÃO 935056 (1990 A 2006).....   | 32 |
| FIGURA 3.8  | PONTOS ONDE OS PLUVIOGRÁFOS DO PROJETO CASADINHO FORAM INSTALADOS.....   | 33 |
| FIGURA 3.9  | ESTACIONAMENTO DE EMPREENDIMENTO COMERCIAL LOCALIZADO NA ÁREA DA BACIA: (A) ANTES DA OCUPAÇÃO E (B) DEPOIS DA OCUPAÇÃO.....                                      | 37 |
| FIGURA 3.10 | OCUPAÇÃO DOS LOTES EM BAIROS DENTRO DA BACIA.....  | 38 |
| FIGURA 3.11 | SUBSTITUIÇÃO DO SOLO NATURAL DA BACIA.....   | 39 |
| FIGURA 3.12 | RETIRADA DE SEDIMENTOS DO CANAL.....   | 40 |
| FIGURA 3.13 | OCUPAÇÃO DAS MARGENS DO RIACHO.....  | 40 |
| FIGURA 3.14 | DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS LÍQUIDOS, SEM TRATAMENTO ALGUM, NO LEITO DO RIACHO.....   | 41 |
| FIGURA 3.15 | ESGOTO DESPEJADO NA REDE DE ÁGUAS PLUVIAIS QUE CHEGA ATÉ O RIACHO.....   | 41 |
| FIGURA 3.16 | RESÍDUOS SÓLIDOS ENCONTRADOS NA CALHA DO RIACHO PRINCIPAL DA BACIA.....  | 42 |
| FIGURA 3.17 | ELEVATÓRIA LOCALIZADA NO CURSO D'ÁGUA PRINCIPAL.....   | 43 |
| FIGURA 3.18 | ELEVATÓRIA LOCALIZADA NA UNIÃO ENTRE O RIACHO DO SAPO E O RIACHO REGINALDO.....  | 44 |
| FIGURA 3.19 | ELEVATÓRIA LOCALIZADA NA UNIÃO ENTRE O RIACHO GULANDIM E O RIACHO REGINALDO.....   | 44 |
| FIGURA 3.20 | IMAGEM DA DÉCADA DE 60 (PETROBAS, 1964).....   | 46 |
| FIGURA 3.21 | IMAGEM DA DÉCADA DE 80 (MACEIÓ, 1984).....   | 47 |
| FIGURA 3.22 | BASE CARTOGRÁFICA DA CIDADE DE MACEIÓ NA REGIÃO ESTUDADA (MAPLAN, 2000).....   | 48 |
| FIGURA 3.23 | IMAGEM DO ANO DE 2004 (DIGITAL GLOBE, 2005).....   | 49 |
| FIGURA 3.24 | ADEQUAÇÃO DA DELIMITAÇÃO A IMAGEM DA DÉCADA DE 60.....   | 53 |
| FIGURA 3.25 | ADEQUAÇÃO DA DELIMITAÇÃO DA BACIA A IMAGEM DA DÉCADA DE 80.....  | 53 |
| FIGURA 3.26 | ADEQUAÇÃO DA DELIMITAÇÃO A IMAGEM DO ANO DE 2004.....  | 54 |
| FIGURA 3.27 | MAPA DOS SOLOS NA REGIÃO DE MACEIÓ (EMBRAPA APUD PEDROSA, 2008).....   | 54 |
| FIGURA 4.1  | COMPARAÇÃO DOS CN'S EM CADA SUB-BACIA.....   | 61 |
| FIGURA 4.2  | MAPA TEMÁTICO DA VARIAÇÃO DO PARÂMETRO CN AO LONGO DA BACIA NOS CENÁRIOS ANALISADOS.....   | 61 |
| FIGURA 4.3  | RELACÃO ENTRE CN E DENSIDADE DEMOGRÁFICA NA BACIA DO RIACHO REGINALDO.....   | 64 |
| FIGURA 4.4  | CURVA DENSIDADE DEMOGRÁFICA X PARÂMETRO CN COM R <sup>2</sup> IGUAL A 0,67.....  | 64 |
| FIGURA 4.5  | CHUVA DE PROJETO PARA UM TEMPO DE RETORNO DE 2 ANOS.....   | 66 |
| FIGURA 4.6  | CHUVA DE PROJETO PARA UM TEMPO DE RETORNO DE 10 ANOS.....  | 66 |
| FIGURA 4.7  | CHUVA DE PROJETO PARA UM TEMPO DE RETORNO DE 50 ANOS.....  | 67 |

|  |    |
|--|----|
| FIGURA 4.8 EVOLUÇÃO DO HIDROGRAMA DA SUB-BACIA 3 ENTRE AS DÉCADAS DE 60 E 80 PARA UMA CHUVA COM TEMPO DE RETORNO DE 2 ANOS .....       | 69 |
| FIGURA 4.9 COMPARAÇÃO DO HIDROGRAMA NA FOZ NA DÉCADA DE 60 E 80 E NO ANO DE 2004 PARA UMA CHUVA COM TEMPO DE RETORNO DE 2 ANOS .....   | 71 |
| FIGURA 4.10 COMPARAÇÃO DO HIDROGRAMA NA FOZ NA DÉCADA DE 60 E 80 E NO ANO DE 2004 PARA UMA CHUVA COM TEMPO DE RETORNO DE 10 ANOS ..... | 71 |
| FIGURA 4.11 COMPARAÇÃO DO HIDROGRAMA NA FOZ NA DÉCADA DE 60 E 80 E NO ANO DE 2004 PARA UMA CHUVA COM TEMPO DE RETORNO DE 50 ANOS ..... | 72 |

## 1 - INTRODUÇÃO

Devido principalmente à revolução industrial ocorrida no século XIX, um processo de urbanização foi desencadeado nas grandes cidades ao redor do mundo. A população que vivia na zona rural migrou para as cidades em busca de melhores condições de vida. Essa ocupação não foi feita de forma planejada, trazendo problemas para a sociedade.

Dentre esses problemas, se destacam aqueles ligados à área de saneamento. As enchentes e inundações se “manifestaram” de forma mais acentuada nas grandes cidades do meio para o final do século passado. Vários autores (TUCCI, 2004; POMPEO, 2000) destacam que as principais causas para estes problemas são:

- ⇒ a ocupação das margens alagáveis dos rios que cortam as cidades;
- ⇒ a obstrução de canalizações por detritos e sedimentos;
- ⇒ obras de drenagem inadequadas; e
- ⇒ a impermeabilização de grandes áreas.

Para combater esses problemas, de forma básica, podem ser adotados dois tipos de medidas: as estruturais e as não-estruturais. As primeiras são obras de engenharia, implementadas para reduzir o risco de enchentes. Exemplos deste tipo de medida são: a construção de redes de drenagem, diques e *polders*, trincheiras e valas de infiltração, pavimento permeável, reservatórios de armazenamento/amortecimento, entre outros. (TUCCI, 2004).

As soluções não-estruturais são aquelas em que se procura reduzir os danos ou conseqüências das inundações através de intervenções não constituídas por obras, mas fundamentalmente pela introdução de normas, regulamentos e programas que visem, por exemplo, o disciplinamento do uso e ocupação do solo, a implementação de sistema de alerta, a conscientização da população quanto à manutenção dos diversos componentes do sistema de drenagem e outros (TUCCI, 2004).

O município de Maceió não é diferente com relação aos problemas advindos das enchentes. Até o momento, obras de macro e de microdrenagem são as únicas soluções implementadas. Como exemplo podem ser citadas as obras de macrodrenagem (construção de reservatórios de armazenamento e redes) do bairro do Tabuleiro dos Martins e a canalização do Riacho do Sapo. Alguns destes sistemas, onde ocorreram intervenções, vem sendo bastante

estudados. Pedrosa (2008) estudou os impactos da aplicação das diretrizes do Plano Diretor da cidade de Maceió sobre o escoamento superficial na bacia do Riacho do Reginaldo. Ele concluiu que a aplicação do Plano Diretor nos futuros usos e ocupações na bacia do Riacho Reginaldo teriam pouco impacto no controle do processo de impermeabilização. Peplau (2005) tratou da influência da variação da urbanização nas vazões de drenagem na Bacia do Rio Jacarecica. Por meio de simulações, o autor confirma o aumento das vazões de pico dos hidrogramas para diferentes cenários utilizados, comprovando a influência do processo de urbanização no escoamento superficial.

A bacia do riacho do Reginaldo merece atenção especial por estar localizada em uma área central da capital alagoana. Ao longo dos anos se verificou que diversos pontos no seu interior apresentam sérios problemas de alagamentos.

Este trabalho tem como objetivo geral identificar e caracterizar a evolução temporal da urbanização da bacia do riacho Reginaldo e seus impactos sobre a geração de escoamento superficial. Como objetivos específicos, destacam-se:

- ⇒ Fazer um levantamento do processo histórico de urbanização da bacia do riacho Reginaldo, destacando os aspectos que podem interferir nos processos hidrológicos;
- ⇒ Identificar e caracterizar os elementos da bacia que interferem na geração de escoamento superficial (caracterização física e de uso e ocupação do solo);
- ⇒ Avaliar as alterações no escoamento superficial da bacia comparando quatro cenários diferentes: décadas de 60, década de 80, ano de 2000 e ano de 2004.

## 2 - A URBANIZAÇÃO E O ESCOAMENTO SUPERFICIAL

### 2.1 Os processos históricos de urbanização

O processo de urbanização teve início há 15.000 anos com uma revolução agrícola. Quando o sistema agrícola foi capaz de produzir excedente, ocorreu o deslocamento de parte da mão-de-obra da produção de alimentos para a produção de outros bens. Uma segunda etapa da urbanização foi marcada pela utilização de animais como bois e cavalos nos trabalhos de campo. Neste período ocorreu um avanço tecnológico na prática agrícola e o homem conseguiu entender melhor a relação entre as estações do ano e o ciclo de crescimento das plantas (PALEN, 1975).

A urbanização também foi influenciada pela mudança de localização dos plantios que acontecia nas encostas onde não ocorria a ploriferação de plantas que dificultavam a limpeza do terreno. Posteriormente, o local de plantio foi transferido para as planícies aluviais dos rios, o que acarretou na possibilidade de colher em duas ou três oportunidades anualmente (BRAIDWOOD *apud* PALEN, 1975). Esta mudança fez com que as aldeias tivessem que se instalar também nas áreas ribeirinhas, processo que ainda é evidenciado nos dias de hoje. Geiger (2002) contabilizou mais de 400 cidades chinesas com perigo de serem atingidas por enchentes devido a sua localização, as margens dos corpos hídricos.

Desde o início da formação das áreas urbanas, os problemas com alagamentos já se iniciavam e a preocupação em como solucioná-los já se fazia presente. A civilização dos Indus que se desenvolveu no vale do rio Indus há mais de 5.000 anos atrás executou construções para facilitar o escoamento das águas de chuva e a parte líquida dos resíduos produzidos. A Figura 2.1 exibe um canal construído na cidade de Mohenjo-Daro (WEBSTER *et al apud* BURIAN & EDWARDS, 2002).

Da mesma forma, a origem dos sistemas de drenagem e manejo de águas pluviais tem exemplos provenientes da Babilônia, onde foram encontradas construções que serviam para coletar, transportar e armazenar tanto as águas de chuva como o esgoto produzido (JONES *apud* BURIAN & EDWARDS, 2002). Os canais eram executados em tijolo maciço e cobertos com um selante asfáltico. Naquela época, ao contrário do que se pensa nos dias de hoje, a execução das redes de drenagem não era motivada por questões ligadas à saúde, a estética local, entre outros, mas sim pelo desprestígio causado pela não higienização do local onde se residia (REYNOLDS *apud* BURIAN & EDWARDS, 2002).



Figura 2.1 – Canal encontrado durante as escavações na cidade de Mohenjo-Daro (WEBSTER *apud* BURIAN & EDWARDS, 2002)

Após a revolução agrícola, ocorreu uma revolução de âmbito social, provocando o surgimento de uma outra classe social, a dos artesãos, que tanto criava equipamentos para os guerreiros que protegiam as cidades como ornamentos para a nobreza. A revolução social teve como consequência o aumento da população das cidades, mas este aumento não veio acompanhado de planejamento, ou seja, ocorreu um crescimento desordenado das mesmas (PALEN, 1975).

Mesmo com o baixo nível de planejamento, as cidades já implementavam importantes elementos de infra-estrutura urbana, como a construção de sistemas de drenagem que direcionavam a água das chuvas para grandes cisternas (Figura 2.2). A água armazenada futuramente seria utilizada pela população da cidade. Tal exemplo demonstra umas das primeiras ações realizadas por povos da antiguidade ligada ao reaproveitamento das águas de chuva (HODGE *apud* BURIAN & EDWARDS, 2002).

O fim do Império Romano e as invasões bárbaras marcaram o desaparecimento e interromperam o desenvolvimento das cidades da Europa Ocidental. Isto fez com que cada localidade tivesse que se tornar auto-suficiente para sobreviver. Aproveitando esta situação, nobres locais ofereceram proteção aos camponeses e exigiram em troca uma submissão quase

que completa. A partir dessa relação é que surge o *feudalismo*. As poucas cidades restantes eram controladas pela igreja católica (PALEN, 1975).

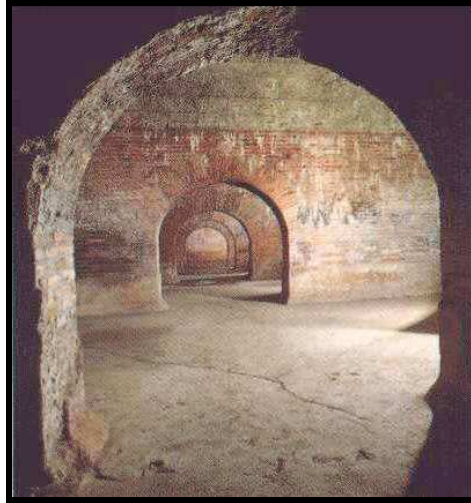


Figura 2.2 – Cisterna localizada na cidade de Ferno, Itália (BURIAN & EDWARDS, 2002)

Com a passar do tempo, o comércio nos arredores das localidades retomou o caminho da expansão que existia antes do fim do Império Romano. Os comerciantes começaram a construir muros nas áreas onde se localizavam os negócios. Estas áreas posteriormente estes foram incorporadas às cidades.

Outros dois fatores contribuíram para o crescimento das cidades neste período, foram:

- As cruzadas: os cruzados voltaram do império bizantino com um grande interesse pelos bens de consumo e pelo luxo do oriente. Isso teve como consequência um aumento do comércio.
- O crescimento da população: com a estabilidade do sistema social, ocorreu um aumento no suprimento de alimentos que acarretou numa queda na taxa de mortalidade e aumento do crescimento vegetativo. Além disso, inovações tecnológicas contribuíram para este aumento da população: o redescobrimto do arado e a substituição no rodízio de duas pelo rodízio de três terras, que gerou uma colheita a mais no ano.

O fortalecimento do comércio e, por conseguinte, dos comerciantes teve como consequência o aparecimento de uma nova classe social, a burguesia, que passou a investir em outros segmentos, fora o comércio. Este investimento trouxe avanços tecnológicos como, por exemplo, na área náutica, com a busca pela expansão de territórios para gerar novos mercados



e obter novas fontes de matéria-prima. A partir do surgimento da classe burguesa, novos impulsos tiveram lugar, como a Revolução Industrial, desencadeando o processo de urbanização de forma mais intensa, como até hoje se observa. A marca desse processo é observada na Inglaterra nos anos 1850, quando, pela primeira vez em um grande país, havia mais pessoas vivendo nas cidades do que no campo(WIKIPÉDIA, 2009).

No Brasil o processo de urbanização decorre desde os tempos da colonização, com a criação de cidades e vilas, e até hoje, com o inchamento das metrópoles. Entre 1530 e 1720 são destacadas três etapas de organização do território brasileiro. A primeira, entre os anos de 1530 e 1580, com maior intensidade na década entre 1530 e 1540, por causa do início do processo de povoamento principalmente da costa brasileira. A segunda, entre 1580 e 1640, é marcada por dois pontos de intensidade, um com a fundação de uma vila e três cidades, entre os anos de 1610 e 1620 e o segundo, na década seguinte, marcado pela fundação de 9 vilas. Na terceira etapa, que transcorreu entre os anos de 1650 e 1720, foram fundadas 35 vilas, onde duas delas se elevaram a categoria de cidades (Olinda e São Paulo) (FILHO *apud* SANTOS, 1994).

No século XVIII ocorreu uma expansão da agricultura comercial e a exploração do território brasileiro. As duas serviram como base do povoamento e uma criação de riquezas redundando no surgimento de cidades no litoral e no interior (BASTIDE *apud* SANTOS, 1994).

No final do século XIX, segundo Brito *et al* (2001), com a grande expansão da economia cafeeira e com o primeiro processo de industrialização, as relações mercantis entre as regiões brasileiras começaram a intensificar o processo de migração. Este processo de migração foi direcionado principalmente para os estados onde mais se desenvolvia a economia: Rio de Janeiro e São Paulo. Vilela e Suzigan (*apud* Brito *et al*, 2009) afirmam que nestas duas capitais, sendo a primeira a capital do Brasil na época, residiam mais de 50% da população de todas as capitais dos estados.

Sintetizando, pode-se afirmar que esse início de urbanização no Brasil se divide em duas etapas. A primeira apresenta uma economia baseada na agricultura e nas funções públicas. Já na segunda o capitalismo ganha enorme impulso principalmente motivado pela vitória dos aliados, comandados pelos EUA, na 2ª Guerra Mundial.

A partir deste ponto as funções privadas, que na primeira etapa foram relegadas a um segundo plano, ganham mais volume. Isto desencadeia um intenso processo de urbanização liderado principalmente pelo estado de São Paulo, que impulsionado pela produção de café se

tornou o pólo dinâmico de várias áreas que abrangem os estados mais ao Sul e parte dos estados de Minas Gerais e Rio de Janeiro (SANTOS, 1994).

Entre os anos de 1940 e 1980 a população que reside nos centros urbanos no Brasil é multiplicada por cinco vezes e meia, saindo de 31% (equivalente a 12.880.182 de habitantes) e chegando a quase 70% (equivalente a 80.436.409 habitantes) do total da população (Figura 2.3). Outro fato é o do aumento da população total que também quase duplica nesse período (saindo de 41.238.315 para 119.002.706 habitantes) (IBGE, 2009).

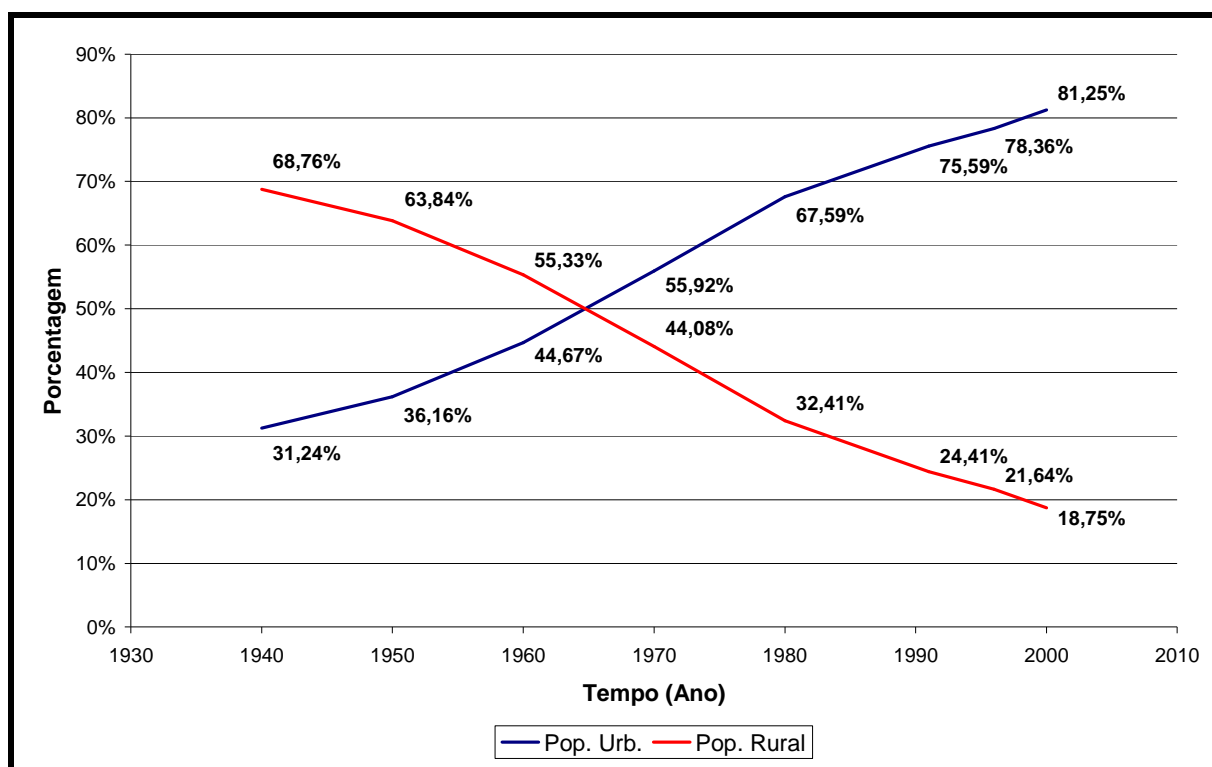


Figura 2.3 - População urbana e rural no Brasil: de 1940 e 2000 (IBGE, 2009)

Entre 1940 e 1980 o Brasil conhece um aumento médio por década de quase 30% da população urbana, quando esta é acrescida de mais de 65 milhões de pessoas (uma média de mais de 1 milhão e seiscentos mil habitantes por ano). Este aumento ocorre principalmente devido ao processo de industrialização pelo qual passa as cidades brasileiras (principalmente nas regiões Sul e Sudeste). Estas necessitam de muita mão-de-obra que migra principalmente de regiões mais agrícolas do país.

Já entre 1980 e 2000 o processo de aumento da população urbana e total continuam, de forma menos intensa: a população urbana sai dos 80.436.409 de habitantes (70%) para 137.953.959 de habitantes (81,25%) e a população total chega aos 169.799.170 de habitantes.

Um exemplo da evolução urbana no Brasil é a cidade de São Paulo. Ostrowsky e Zmitrowicz (1991) relatam a evolução da mancha urbana na cidade de São Paulo em relação à área da bacia hidrográfica do Rio Tietê. Segundo estes autores, a mancha urbana na atual capital paulista saiu dos 0,77% em 1914 para 26,68% em 1987. Este aumento da mancha urbana foi marcado pelo assoreamento de cursos d'água, pela ocupação inadequada dos terrenos de várzea e fundo de vale, por um sistema de drenagem incompleto e por alta impermeabilização do solo. Ainda segundo os autores, esta forma de ocupação fez com que os pontos críticos de inundação saíssem de 125 entre 1977 e 1978 para 420 em 1983.

O processo de urbanização das grandes cidades tem seguido, segundo Tucci (2002) uma tendência nos últimos anos:

- redução das taxas de crescimento populacional do país;
- taxa pequena de crescimento na cidade núcleo da região metropolitana e aumento da taxa de crescimento na sua periferia (Tabela 2.1);
- aumento da população nas cidades que são pólos regionais de crescimento.

Tabela 2.1 – População e crescimento de algumas cidades brasileiras (TUCCI, 2002)

| Cidade         | População em 1996<br>(milhões de habitantes). | Aumento do núcleo<br>entre 91 e 96 (%) | Aumento da periferia<br>entre 91 e 96 (%) |
|----------------|---|--|---|
| São Paulo      | 16,667  | 2                                      | 16,3                                      |
| Belo Horizonte | 3,829   | 3,5                                    | 20,9                                      |
| Belém          | 1,629   | -8,1                                   | 157,9                                     |

Tucci (2002) acrescenta que este crescimento ocorrido nas periferias das grandes cidades tem se caracterizado por uma expansão irregular, com pouca obediência da regulamentação urbana relacionada com o Plano Diretor e normas específicas de loteamentos, além da ocupação irregular de áreas públicas por população de baixa renda. De acordo com o autor, as causas deste processo são:

- Pequena renda econômica por parte importante da sociedade;
- Falta de planejamento e investimento público no direcionamento da expansão urbana;
- Medidas restritivas de ocupação de áreas de recarga de mananciais incompatíveis com a realidade brasileira.

No que se refere a Maceió, no final do século XIX e início do século XX se iniciou o processo de migração, que tinha como causas a fuga da população de regiões desfavoráveis do ponto de vista climatológico, além da construção do porto do Jaraguá, que era um atrativo para aqueles que vinham tentar “vida nova”. O aumento da população foi de cerca de 210%

entre os anos de 1825 e 1855. Este crescimento se mantém no início do século XX e em 1940 a população ultrapassa os oitenta mil habitantes. Em 1976 com a implantação do PRÓALCOOL e da indústria cloro-química ocorreu um novo impulsionamento na urbanização da cidade (ARAUJO, 2005).

Segundo dados do IBGE (2009), o crescimento da população na capital de Alagoas foi de cerca de 420% nos últimos 50 anos (Figura 2.4) com a população saindo de 162.976 habitantes em 1950 para 797.759 habitantes no ano 2000. Da mesma forma, a área urbana tem um aumento aproximado de 100% entre os anos de 1982 e 1998 (Figura 2.5).

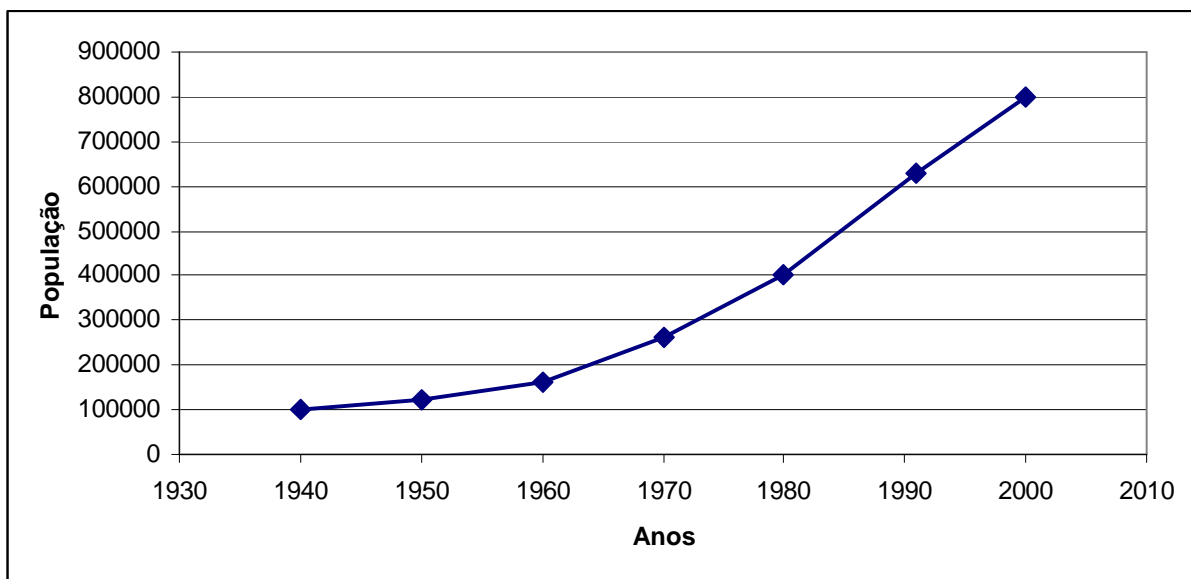


Figura 2.4 – Evolução do número de habitantes na cidade de Maceió



Figura 2.5 – Evolução na área urbana de Maceió entre 1982 e 1998 (PEDROSA, 2008)

## 2.2 Relações entre a urbanização e o escoamento superficial

Todo o processo de urbanização aliado à falta de infra-estrutura tem causado muitos problemas aos moradores das cidades em todo o mundo. Alguns setores afetados por este processo são: recursos hídricos e saneamento, segurança pública, meio ambiente e saúde pública. Segundo Drew (*apud* Bollman, 2003), aparentemente todos os aspectos do ambiente são alterados pela urbanização (relevo, o uso da terra, a vegetação, a fauna, a hidrologia e o clima). A intensidade desta mudança está ligada à densidade da área e à extensão da ocupação.

Do ponto de vista da drenagem urbana, estes problemas podem ser causados de forma direta (impermeabilização do solo causando aumento do escoamento superficial, por exemplo) ou indireta (mudanças no microclima da região que resultam em variações no ciclo hidrológico local). Redes de drenagem têm sido executadas e tem ocasionado o aumento da velocidade das águas escoadas. Segundo Souza (2005), isto causa inundações, erosões nas margens dos rios e diminuição nas recargas dos aquíferos.

Campana & Tucci (1999) desenvolveram uma curva (Figura 2.6), para 11 bacias urbanas na região metropolitana de São Paulo, que relaciona densidade habitacional e porcentagem impermeável da bacia. Neste trabalho o valor das porcentagens impermeáveis dentro das bacias estudadas foi determinado através do ajuste do modelo IPH2 a dados de chuva-vazão observados e a relação com a densidade demográfica foi realizada com o auxílio de ortofotos e com o uso de sensoriamento remoto.

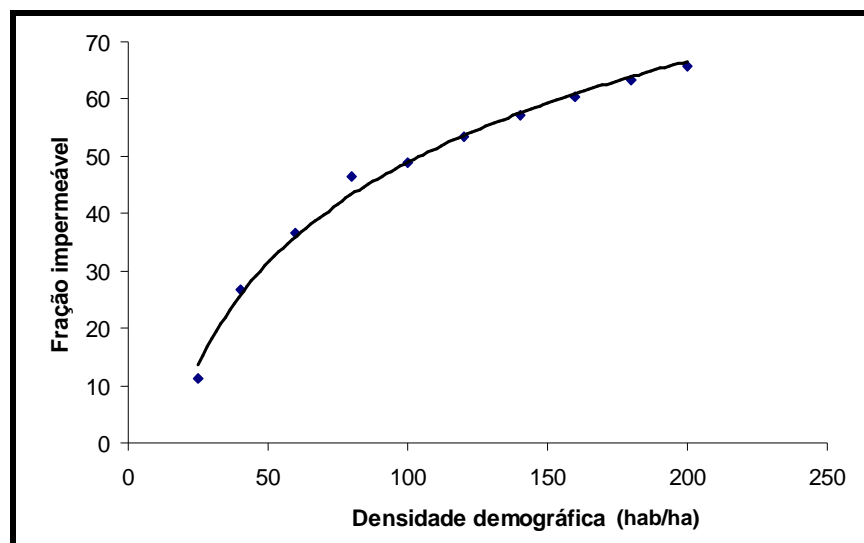


Figura 2.6 – Densidade demográfica *versus* área impermeável (CAMPANA & TUCCI, 1999)

Como limitação para a utilização da curva acima mostrada, Campana & Tucci (1999) explicam que:

- a curva é aplicável a bacias com área superior a 2 km<sup>2</sup>;
- a mesma não distingue o tipo de ocupação urbana, portanto admite uma ocupação média de áreas residenciais e comerciais com predominância das primeiras; e
- não deve ser aplicada quando existe relevo acidentado, onde a distribuição pode variar muito.

Outro trabalho que também procurou realizar exercício semelhante foi realizado por Fontes & Barbassa (2003) em algumas áreas da cidade de São Carlos, estado de São Paulo. Neste trabalho eles dividiram a cidade em zonas homogêneas (levando em consideração aspectos de uso e ocupação do solo e densidade demográfica) com posterior estimativa da taxa de ocupação e impermeabilização (TOI). Com esta informação acrescida da densidade demográfica das zonas, os autores construíram a curva exibida na Figura 2.7.

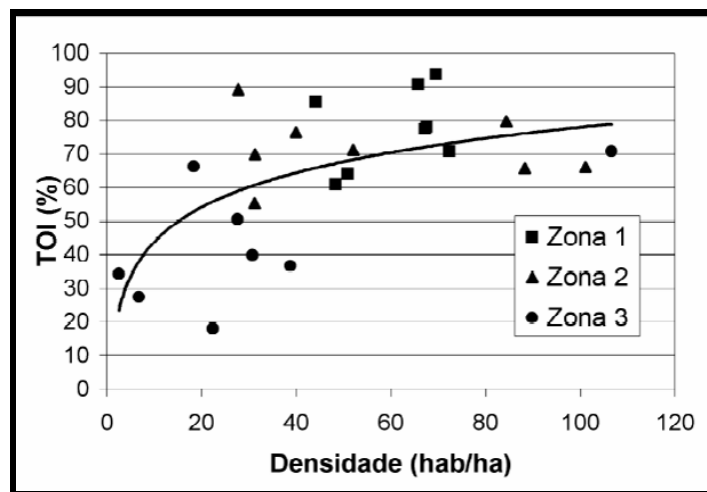


Figura 2.7 – Tendência geral da relação entre a taxa de ocupação e impermeabilização (TOI) e densidade populacional na cidade de São Carlos-SP (FONTES & BARBASSA, 2003)

Fontes e Barbassa (2003) constataram algumas diferenças entre os dois trabalhos, estas são descritas a seguir:

- A metodologia utilizada por Campana e Tucci (1999) utilizou na análise áreas de 2 km<sup>2</sup> (sem forma definida) em regiões metropolitanas enquanto que Fontes e Barbassa (2003) utilizaram áreas quadradas em uma cidade de médio porte;
- Foram verificados índices de impermeabilização diferentes para densidades demográficas baixas, mas as duas curvas tendem para o valor de 70% de impermeabilização.

O estabelecimento destas relações é importante, uma vez que a impermeabilização do solo é um dos principais fatores de alteração dos processos hidrológicos urbanos, reduzindo a infiltração e aumentando o escoamento superficial.

Yoshimoto e Suetsugi (*apud* Tucci e Genz, 1995) também tratam a respeito das consequências da urbanização sobre os processos hidrológicos. A bacia Tsurumi, localizada ao sul da capital Japonesa, e foco do trabalho destes autores, passou de 10% de urbanização em 1958 para 80% em 1990. Nesta bacia as vazões de pico aumentaram cerca de 3 vezes (Figura 2.8). Outro ponto mencionado, é o da diminuição do tempo de concentração, em 9 vezes (Figura 2.9).

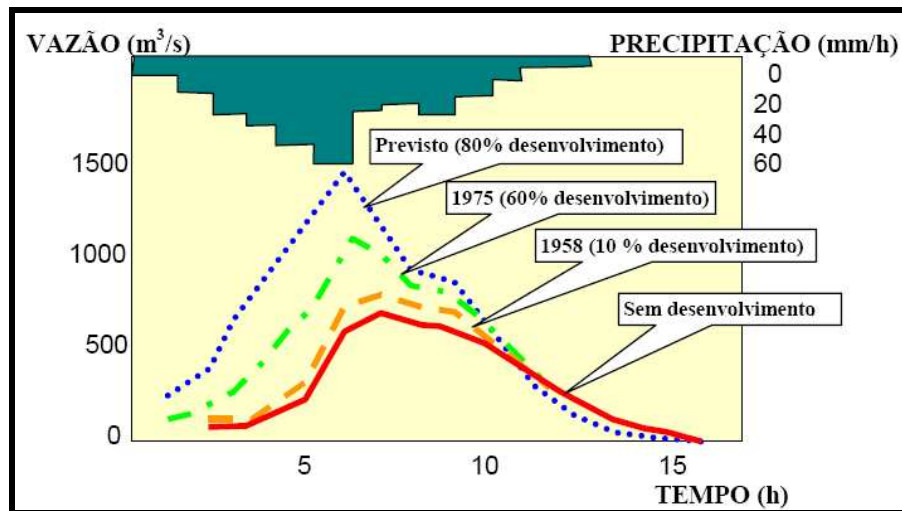


Figura 2.8 – Evolução do hidrograma no rio Tsurumi, para diferentes cenários (YOSHIMOTO & SUETSUGI *apud* TUCCI & GENZ, 1995)

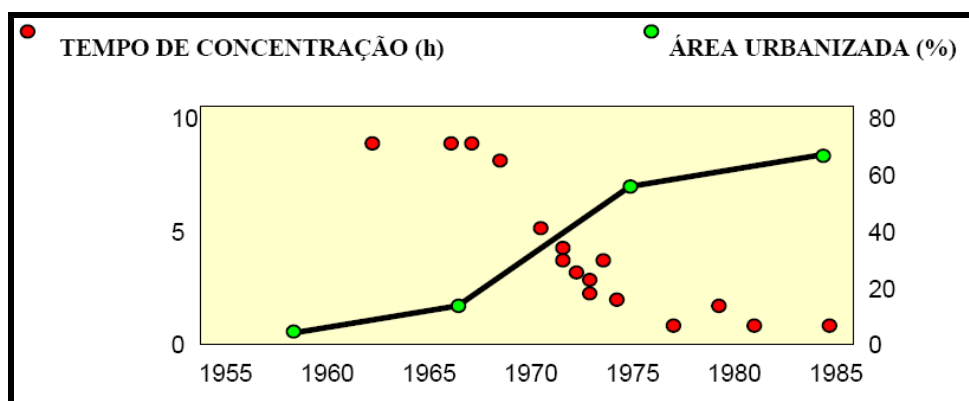


Figura 2.9 – Evolução do tempo de concentração em relação à área urbanizada na bacia do Rio Tsurumi (YOSHIMOTO & SUETSUGI *apud* TUCCI & GENZ, 1995)

Nessa mesma linha de trabalho, Oliveira & DeFee (2007) estudaram o impacto da urbanização sobre a Bacia Hidrográfica de Whiteoak Bayou no Texas, Estados Unidos da América. Foi analisado um período de 52 anos para se verificar o crescimento da área urbana

dentro da bacia. Como resultado foi encontrado que desde o início dos anos 70 até o ano 2000 ocorreu um aumento de 146% nos volumes escoados e de 159% nas vazões de pico. Entretanto, segundo os autores, a urbanização só foi responsável por parte deste aumento (77% para o volume escoado e 32% para as vazões de pico). Uma outra parcela do aumento foi causada pela mudança nos regimes de precipitação ocorrida na área.

Analisando as relações entre o percentual de área urbanizada e o percentual desta área com sistemas de drenagem em forma de condutos, a Figura 2.10 mostra o incremento na relação entre a vazão máxima depois e antes da urbanização (TUCCI, 2004).

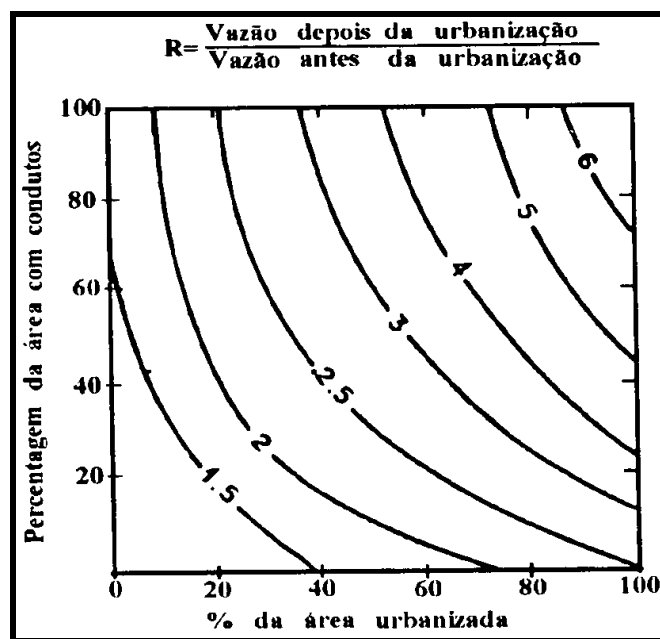


Figura 2.10 – Efeito da urbanização e da porcentagem de área com condutos sobre a vazão máxima (TUCCI, 2004)

Todas estas alterações nas relações entre a urbanização e a impermeabilização e entre a urbanização e as alterações no ciclo hidrológico resultam em significativo incremento nos eventos de alagamentos nas cidades, com consequente aumento nos prejuízos causados. Como exemplo destas relações, Ramos (apud TUCCI, 2002) analisou a relação entre a evolução urbana e a ocorrência de inundações para o município de Belo Horizonte, conforme mostrado na Figura 2.11.



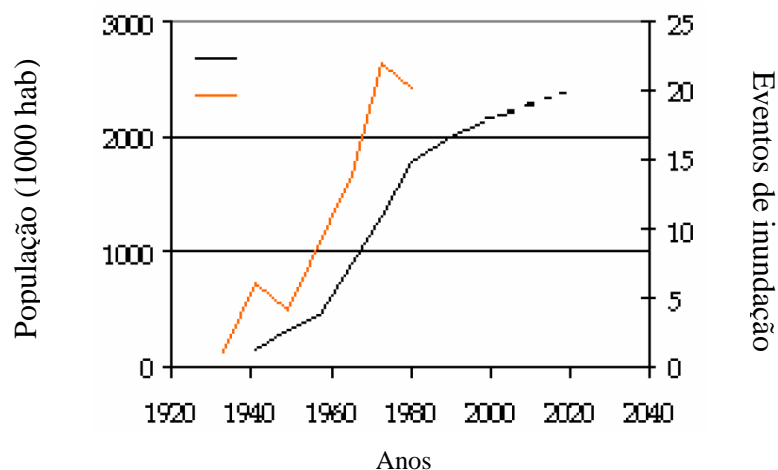


Figura 2.11 – Relação população e ocorrência de inundações (RAMOS *apud* TUCCI, 2002)

Vários trabalhos (TUCCI, 2002; TUCCI, 2004; BOLLMAN 2003, TUCCI & GENZ, 1995; entre outros), comprovaram que o processo de urbanização tem como uma de suas conseqüências o aumento do escoamento superficial. Este aumento traz para a população residente nas áreas afetadas muitos transtornos, como por exemplo: doenças de veiculação hídrica, deslocamento de suas residências até o retorno da água ao nível natural, perda de bens (eletrodomésticos, veículos automotivos, entre outros), interrupção de atividades econômicas, contaminação da água pela inundação de depósitos de material tóxico, estações de tratamento de esgoto, entre outros (TUCCI, 2002)

Para se ter uma idéia da dimensão do problema, Pompêo (2000) cita que 70% dos municípios do estado de Santa Catarina sofrem com inundações devidas a transbordamentos de cursos d'água e 66% destes tem este tipo de evento mais de uma vez por ano. Já no ano de 2008, Santa Catarina sofreu mais uma vez com as enchentes. Segundo a Defesa Civil, foram 2.637 desabrigados, 9.390 desalojados e ocorreram 135 óbitos (DEFESA CIVIL DE SANTA CATARINA, 2008).

Na década de 90, mais de US\$ 250 bilhões foram gastos para compensar as conseqüências mundiais das inundações (BERZ, *apud* MILOGRANA, 2005). No Brasil o custo médio anual das enchentes é de US\$ 1 bilhão (TUCCI *et al.*, *apud* MILOGRANA, 2005). Nos Estados Unidos da América e na Austrália o custo é de 0,2% e 0,4% do Produto Interno Bruto (PIB), respectivamente (BAPTISTA E NASCIMENTO, *apud* MILOGRANA, 2005). Fazendo uma média destes e tomando o PIB do ano de 2007 no Brasil (cerca de R\$ 1,310 trilhões) (Jornal O GLOBO, 2008) chega-se a cifra de aproximadamente 4 bilhões de reais gastos com problemas relacionados com enchentes.

O município de Maceió não é exceção a essa regra. Segundo dados fornecidos pelo órgão de Defesa Civil do Município de Maceió os prejuízos chegaram a cerca de R\$ 13 milhões nas cheias no ano de 2004 (cerca de 2% do PIB do Maceió neste ano (SECRETARIA DE ESTADO DO PLANEJAMENTO E DO ORÇAMENTO DE ALAGOAS, 2009)).

Outra perda, até mais importante que a financeira, é a de vidas humanas nesses eventos. Nos estados de Alagoas e Pernambuco devido às chuvas ocorridas entre 31 de julho e 01 de agosto de 2000, foram registradas 44 mortes (NORDESTE, *apud* AGRA, 2001).

Além do aumento do escoamento superficial o processo de urbanização pode acarretar na mudança nas características dos rios inseridos na área urbanizada. Estes deixam de ser perenes e passam a ser intermitentes. Tucci (*apud* Bollman, 2003) comenta que com o aumento do escoamento superficial devido à impermeabilização, os aquíferos não são abastecidos, e a capacidade do rio é reduzida. Estes autores ainda comentam que, na maioria das vezes, o escoamento é devido aos esgotos lançados *in natura* ou à ligações clandestinas de esgotos cloacais na drenagem pluvial.

Outra mudança que pode ocorrer nos rios é o aumento na largura dos mesmos, nos trechos mais a jusante, após o processo de urbanização a montante. Através de fotografias aéreas ao longo de 50 anos, Galster *et al* (2008) estudaram o aumento da largura média de dois rios localizados no estado da Pensilvânia, Estados Unidos. Neste trabalho eles constataram um aumento médio de cerca de 3,6 metros na largura do rio inserido dentro de uma bacia que passou por intenso processo de urbanização.

Tal alargamento dos rios pode trazer várias implicações como, por exemplo, o processo de erosão, trazendo danos a propriedades nas margens dos rios assim como aumentando o volume de material suspenso. Esta última pode comprometer a qualidade da água e o habitat aquático das formas de vida presentes no rio.

Ainda sobre o processo erosivo causado nas margens dos rios que tem o regime fluviométrico afetado pela urbanização da área de drenagem do mesmo, Schueler e Herson-Jones (*apud* Bollman, 2003) afirmam que na medida em que a frequência e a intensidade dos eventos de cheia aumentam, a tensão trativa da água em relação as partículas de solo das margens e fundo dos canais aumenta, e com ela o potencial de erosão. Ratificando a afirmação de Galster *et al.* (2008), Schueler e Herson-Jones (*apud* Bollman, 2003) citam que esta maior quantidade de material carregado se deposita no fundo do rio, altera as condições de substrato do leito e de habitat para as comunidades aquáticas bentônicas, além de reduzir a capacidade de escoamento nos cursos d'água e lagos urbanos. A Figura 2.12 ilustra a mudança ocorrida no volume carregado em função da área de drenagem.

A qualidade das águas dos corpos hídricos inseridos em bacias que passaram por um processo de urbanização também sofre modificação. Segundo Porto (*apud* Bollman , 2003) o processo de urbanização é associado à poluição dos corpos hídricos devido aos esgotos domésticos, tratados de forma parcial ou não, e despejos industriais. Além dos esgotos domésticos, Tucci (*apud* Bollman, 2003) cita que as águas escoadas oriundas das precipitações nas áreas urbanas têm um alto grau de poluição, comprometendo também a qualidade das águas destes corpos hídricos.

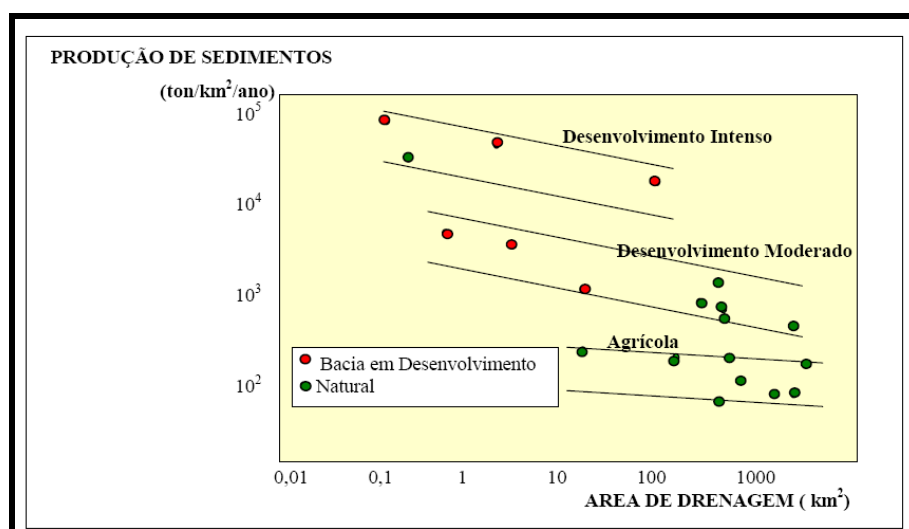


Figura 2.12 – Produção de sedimentos em função da área de drenagem (WOLLMAN *et al.*, *apud* BOLLMAN, 2003)

O esclarecimento sobre a colocação acima é bem simples, as águas escoadas contém os mais variados tipos de poluentes, originados das mais diversas fontes como, por exemplo, a abrasão e o desgaste das vias públicas pelo tráfego veicular, o lixo acumulado nas ruas, os resíduos orgânicos de animais, resíduos de combustível, óleos e graxas automotivos, entre outros (BOLLMAN, 2003). A Tabela 2.2 exhibe a comparação entre a carga de poluentes contidas nas águas de drenagem pluvial com a presente nos esgotos.

Tabela 2.2 – Comparação da carga de poluentes entre o esgoto doméstico e as águas de drenagem pluvial (BOLLMAN, 2003)

| Parâmetro               | Varição entre esgotos domésticos e águas de drenagem pluvial |
|-------------------------|--|
| Resíduos não-filtráveis | Até 20 vezes maior para as águas de drenagem pluvial.        |
| DBO                     | Até duas vezes maior para as águas de drenagem pluvial       |
| Fósforo e Nitrogênio    | Até 15 % maior para as águas de drenagem pluvial.            |

Para Freedman & Dilks *apud* Bollman (2003) a ocupação do solo e o tipo de uso determinam os contaminantes presentes. Já a capacidade de assimilação das cargas poluentes, depende, sobretudo, do tamanho e tipo de recurso hídrico de destino. Tal constatação sugere que a avaliação dos impactos varia de acordo com as condições locais.

Como resultado da degradação da qualidade do rio ocorre um problema ligado a questão estética, uma vez que o rio pode se tornar desagradável à população residente na região (GALSTER *et al*, 2008). Outro problema ligado a poluição das águas do rio é o da utilização do mesmo para recreação, principalmente por causa da característica urbana do rio, ou seja, existe uma grande “massa” urbana que anseia por essa utilização (GALSTER *et al*, 2008).

A urbanização ainda pode afetar outras características de uma determinada região, como por exemplo, o seu microclima. Esta mudança foi foco de pesquisas nas últimas décadas, que mostraram que apesar de ocorrer de forma lenta e gradativa, pode trazer variações no ciclo hidrológico (TUCCI, 2004). A Tabela 2.3 mostra essas alterações dos processos climáticos devido ao processo de urbanização.

Tabela 2.3 – Variação dos parâmetros climáticos devido à urbanização (LANDBERG, *apud* TUCCI, 2004)

| Parâmetros           | Variação em relação à área rural |
|----------------------|----------------------------------|
| Precipitações totais | 5 a 10% maior                    |
| Temperatura do ar    | 0,5 a 1,0° maior                 |
| Umidade relativa     | 2 a 8% maior                     |
| Nebulosidade         | 100% maior                       |

Comprovando a mudança nos parâmetros climáticos que ocorrem nos centros urbanos, Drew (*apud* Bollman, 2003), comentou que sobre as cidades paira o que ele chama de “abóbada climática” própria, dentro da qual as propriedades de conteúdo, temperatura, umidade e mobilidade distinguem-se de certa forma do clima regional dominante.

Explicando melhor a relação causa-efeito, que ocorre entre o processo de urbanização e o clima da região, Bollman (2003) comentou que a alteração no uso do solo potencialmente induz a uma mudança na refletividade da radiação solar (albedo), que por sua vez altera o aquecimento da atmosfera interior. Além disso, a emissão de poeiras do solo descoberto e a queima de combustíveis fósseis provocam alterações de ordem qualitativa da composição atmosférica.

Outro trabalho que estudou o possível efeito da urbanização sobre parâmetros climáticos foi realizado por Silveira (1997). Neste artigo, ele analisou o provável efeito urbano nas relações i-d-f na cidade de Porto Alegre. O resultado mostrou que existiam diferenças espaciais significativas nas relações i-d-f assim como nos volumes precipitados, e que estes poderiam ter sido causados pela urbanização ocorrida na área.

Existem também as ações não ligadas diretamente aos recursos hídricos que interferem sobre a drenagem urbana de uma determinada região (TUCCI, 2004):

⇒ **Uso e ocupação do solo:**

- execução de loteamentos sem condições técnicas adequadas;
- ocupação de áreas impróprias (várzeas de inundação, entre outras), causando transtornos à população que as ocupa quando o nível dos corpos hídricos sobe;
- ocupação extensa e adensada dificultando a execução de redes de drenagens, como também reservatórios de armazenamento.

⇒ **Políticas administrativas:**

- ações que teriam resultados de médio a longo prazo são deixadas em segundo plano;
- aumento da tendência de agir corretivamente em pontos isolados, obtendo com isso somente resultados pontuais quando seria o mais razoável que ocorressem medidas que buscassem soluções para o todo;
- conflitos de interesses dificultam a elaboração e implementação de medidas de uso e ocupação do solo.

Outro trabalho que trata dos efeitos da urbanização foi o realizado por Tucci & Clarke (1997), que compararam precipitação e coeficiente de escoamento na bacia do Rio Forquetinha antes e depois do processo de ocupação com posterior substituição da vegetação original. O efeito sobre o coeficiente é bem visível. Os autores relatam que o valor do coeficiente de escoamento para uma área não desmatada passa a ser diferente de zero a partir de uma precipitação acima dos 40 mm. Já na mesma área desmatada o coeficiente deixa de ser zero com uma precipitação acima dos 20 mm. Além disso, ainda é observado que o coeficiente chega a valores máximos de pouco mais de 0,40 no cenário com desmatamento, enquanto que este mesmo coeficiente chega no máximo a pouco mais de 0,20 no cenário sem desmatamento.

Apesar do estudo de Tucci e Clarke (1997) ter sido realizado em bacias de características rurais e de menor área comparado a da bacia do riacho Reginaldo, os autores ressaltam que bacias maiores também seguem esta tendência de aumento no escoamento superficial, ainda que este aumento seja de menor amplitude.

Do ponto de vista das questões de saúde, ligadas ao saneamento básico em geral e à drenagem urbana em particular, o processo de urbanização causa indiretamente a proliferação de vetores de doenças como a *Leptospirose*. Nos momentos em que as enchentes acontecem as águas da chuva escoadas são contaminadas pela urina do rato, principal vetor da doença (CIVES, 2009). De forma geral, o esquema da Figura 2.13 mostra como os processos que ocorrem em uma área, devido à urbanização, se relacionam.

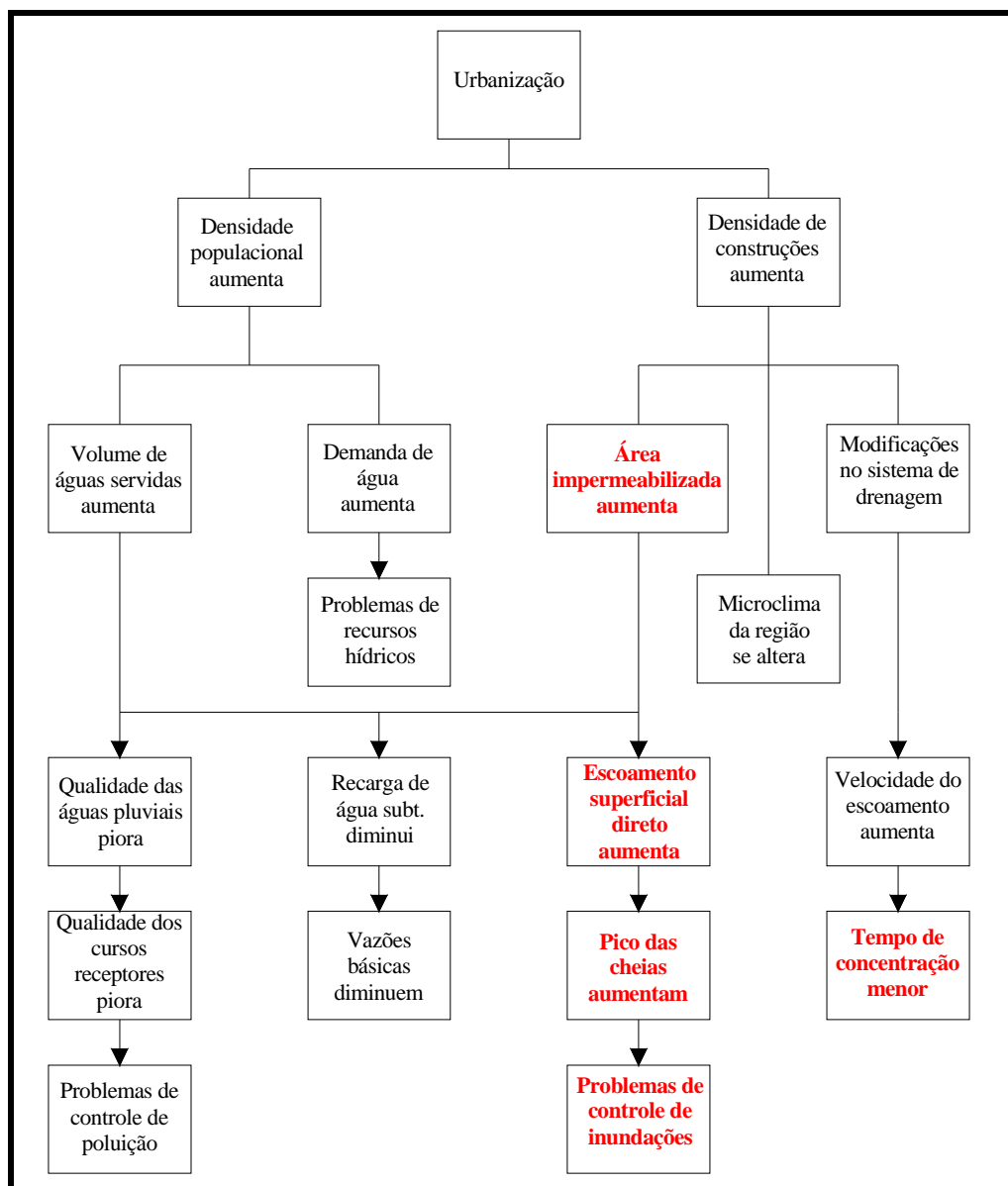


Figura 2.13 – Processos que ocorrem em uma área urbana (TUCCI, 2004)

### **2.3 Medidas para controle de inundações e alagamentos**

Para minimizar os danos causados pelas enchentes, são utilizadas medidas de controle, que podem ser classificadas sob vários aspectos como, por exemplo, a área de abrangência, a natureza de controle, a ação sobre o hidrograma, entre outras, conforme apresentado na Tabela 2.4.

Vários trabalhos já foram desenvolvidos comparando a aplicação das medidas acima exibidas. Um deles foi o desenvolvido por Tucci & Villanueva (1999) que compararam a utilização de medidas de controle estruturais e não-estruturais em duas cidades que sofriam com problemas de enchentes causados pela construção de uma barragem que mudou o comportamento de um rio que era margeado pelas mesmas. Os dois concluíram que apesar da medida estrutural ser na maioria dos casos a solução que mais agrada a população da área atingida, por ser a mais visível e a que não afeta os direitos da população em alguns locais da cidade, a medida não-estrutural foi adotada como solução. Tal escolha foi feita por que a medida não-estrutural tem menor impacto ambiental e menores custos orçamentários necessários à execução da mesma.

Outro caminho adotado pelo meio científico foi que a melhor forma de combater as enchentes seria a utilização combinada de várias técnicas de controle. Mas a partir desta conclusão chega-se a outras dúvidas: que combinação utilizar? Qual se adaptaria melhor a uma determinada região ou a bacia de interesse?

Para responder essas perguntas é necessário inicialmente conhecer a região onde serão implantadas essas soluções, e esse conhecimento só pode vir através da caracterização e do entendimento de como os fenômenos hidrológicos ocorrem na área de interesse. Nesse sentido alguns autores têm trabalhado em indicadores para auxiliar a tomada de decisão nas soluções a adotar (Tucci, 2004; Pompêo, 2000; Agra, 2001).

Campana & Tucci (1999) fizeram um estudo na bacia hidrográfica do Arroio Dilúvio em Porto Alegre-RS utilizando de forma combinada um Sistema de Informação Geográfica (SIG) e um modelo matemático (IPH IV) para estimar as vazões no rio principal da bacia em diferentes períodos. Neste trabalho os dois concluíram, tomando como referência o cenário mais antigo, que ocorreria aumento considerável da vazão, e que isso traria problemas, principalmente as regiões mais a jusante da bacia.

Tabela 2.4 – Descrição das medidas de controle de enchentes

| Aspectos que levam a caracterização | Caracterização                      | Descrição   |
|-------------------------------------|-------------------------------------|---|
| Natureza do Controle                | Estruturais                         | <p>São obras estruturais que visam reduzir o risco de enchentes. Elas podem ser divididas em (TUCCI, 2004):</p> <p>⇒ <u>Extensivas</u>: são aquelas que atuam em toda área da bacia, procurando modificar a relação entre a precipitação e vazão. Como exemplo destas medidas pode-se citar:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Controle da cobertura vegetal; e</li> <li>○ Controle de perda;</li> </ul> <p>⇒ <u>Intensivas</u>: são aquelas que agem diretamente no rio, e podem ser divididas em três tipos:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Aquelas que aceleram o escoamento (diques e <i>polders</i>);</li> <li>○ Aquelas que retardam o escoamento (reservatórios e bacias de armazenamento); e</li> <li>○ Aquelas que promovem o desvio do fluxo de escoamento (canais de desvio).</li> </ul> <p>Um exemplo da possibilidade de utilização das medidas estruturais é exibido no trabalho de Coombes <i>et al</i> (2002). Neste, eles estudam os efeitos da utilização de estruturas (reservatórios para as águas pluviais, trincheiras de infiltração, bacias de detenção, entre outras) em loteamentos ou nos próprios lotes, e se essa ação traria algum benefício econômico para área. Como resultado deste trabalho foi verificada uma redução considerável na demanda de água da região, causada pela utilização da água da chuva armazenada nas próprias residências. Essa situação de redução de demanda de água causará o adiamento de projetos que visam o aumento da oferta de mesma para a região. Além disso, existe o benefício da diminuição das descargas de águas oriundas das chuvas. A economia em uma das regiões chegou perto dos 70 milhões de dólares.</p> |
|                                     | Não-estruturais                     | <p>São aquelas que procuram reduzir os impactos causados pela urbanização desordenada sobre a drenagem através de medidas que não envolvam obras, como por exemplo, pela introdução de normas, regulamentos e programas que visem o disciplinamento do uso e ocupação do solo, a implementação de sistemas de alerta, a conscientização da população quanto a manutenção dos componentes do sistema de drenagem, a execução da construção a provas de enchentes e a contratação de seguros contra enchentes (TUCCI, <i>apud</i> TASSI, 2002).</p>   |
| Ação sobre o hidrograma             | Infiltração e Percolação            | <p>Cria espaço para que a água tenha maior infiltração e percolação no solo, utilizando o armazenamento e o fluxo subterrâneo para retardar o escoamento superficial (TUCCI &amp; GENZ, <i>apud</i> AGRA, 2001).</p>  |
|                                     | Armazenamento ou Detenção           | <p>É executada através da construção de reservatórios, seja para atender somente a uma residência ou para atender uma grande área, que tem como objetivo reter parte do volume, liberando-o de forma controlada ao longo do tempo (TUCCI &amp; GENZ, <i>apud</i> AGRA, 2001).</p>   |
|                                     | Aumento da eficiência do escoamento | <p>Esta medida se baseia na construção de canais ou condutos que drenem mais rápido a área inundada (TUCCI &amp; GENZ, <i>apud</i> AGRA, 2001). Em alguns países esta técnica, desde da década de 60, vem sendo questionada, pois transferiu o problema para outras regiões à jusante ou para o futuro (POMPÊO, 2000).</p>  |
|                                     | Diques e estações de bombeamento    | <p>É executada em áreas onde não é possível a execução de estruturas de amortecimento (TUCCI &amp; GENZ, <i>apud</i> AGRA, 2001).</p>   |



Como possíveis medidas mitigadoras poderiam ser adotadas algumas ações do tipo estrutural, como a reforma de algumas pontes (prováveis pontos de alagamentos), e outras do tipo não-estrutural, como a exigência de colocação no Plano Diretor de uma maior porcentagem permeável do terreno, nas futuras edificações (CAMPANA & TUCCI, 1999).

Bedan & Clausen (2007) desenvolveram um trabalho onde foi realizada uma comparação entre duas áreas, a primeira submetida a um processo de urbanização tradicional e a segunda submetida a um processo de desenvolvimento com a utilização de práticas que visavam amenizar o impacto sobre o escoamento superficial causado pela urbanização. Neste trabalho os autores além de monitorar aspectos quantitativos também mediram grandezas qualitativas do escoamento para as duas áreas. Como resultado, foi verificado que na primeira área o escoamento superficial aumentou, em média de dezesseis vezes comparado aos valores estimados antes do processo de desenvolvimento. Já a vazão de pico do hidrograma sofreu um aumento médio ainda maior, trinta vezes.

Já na área que passou por um processo de desenvolvimento vinculado a ações de baixo impacto com relação ao escoamento superficial, ocorreu uma diminuição do volume escoado em cerca de 42%. Com relação a vazão de pico houve uma redução de cerca de 26% quando comparado ao período que antecedeu a urbanização (BENDAN & CLAUSEN, 2007).

Zaizen *et al* (1999) também realizaram estudos em alguns estádios no Japão tendo como um dos objetivos a contenção do aumento do escoamento superficial. Neste foi avaliada a coleta da água de chuva que caía na cúpula dos estádios japoneses. Os autores concluíram que a utilização da água de chuva é de grande importância no gerenciamento das águas urbanas. Mais especificamente, é evidenciado no trabalho que a ação de coleta das águas das cúpulas repercute nas definições ligadas ao planejamento de várias áreas, onde se destacam a área de controle de escoamento superficial, controle do sistema de coleta de esgoto e de prevenção a desastres.

### 3 - MATERIAIS E MÉTODOS

A busca para alcançar os objetivos do trabalho passou por várias etapas, que tinham por finalidade, inicialmente, a obtenção do maior número de informações possíveis sobre características que pudessem influenciar no escoamento superficial na bacia. A seqüência destas etapas foi a seguinte:

- **Caracterização física da Bacia do Riacho do Reginaldo:** com base em trabalhos científicos e na análise de dados da região em estudo foi elaborada uma caracterização física da área da bacia. O processo foi iniciado realizando uma delimitação baseada apenas em características topográficas da região. A partir daí, com base em cadastros de rede foram feitos refinamentos até se chegar à delimitação utilizada;
- **Observação da situação atual da bacia:** em visitas técnicas realizadas à área da bacia e na participação em reuniões e encontros promovidos por órgãos públicos se verificou a situação atual de fatores que afetam a drenagem de águas pluviais dentro da área da bacia;
- **Obtenção do parâmetro CN:** para cada uma das sub-bacias, foi estimado o valor de CN para quatro cenários temporais diferentes: década de 60, década de 80, ano 2000 e ano 2004. Neste trabalho foram utilizadas fotos aéreas, mapas com a malha urbana, imagens de satélite e visitas à bacia para caracterização de aspectos específicos;
- **Simulação dos cenários:** Utilizando o modelo hidrológico IPH-S1 (VIEGAS FILHO *et al*, 2005) foram encontrados os hidrogramas resultantes das chuvas de projeto para cada um dos cenários. Estes serviram como base para análise de como o processo de ocupação na área da bacia interferiu no escoamento superficial ao longo dos anos.

#### 3.1 Caracterização física da Bacia do Riacho do Reginaldo

Esta etapa foi fundamentada em um trabalho de busca e coleta de informações em trabalhos científicos e em órgãos públicos (através de visitas e na participação em reuniões que decidiriam futuras intervenções na área da bacia).

Localizada na região central do perímetro urbano do município de Maceió-AL, a área em estudo é a bacia hidrográfica do Riacho do Reginaldo (Figura 3.1). Com cerca de 25 km<sup>2</sup>, ela engloba, total ou parcialmente, 17 dos 50 bairros da capital alagoana (Santa Lúcia,

Antares, Jardim Petrópolis, Ouro Preto, Canaã, Serraria, Gruta de Lourdes, Barro Duro, Feitosa, Jacintinho, Pitanguinha, Farol, Mangabeiras, Jatiúca, Poço e Centro e Jaraguá).

O riacho que dá nome a bacia tem sua nascente no bairro Santa Lúcia, drena a área urbana e desemboca na praia da Avenida próxima à região portuária da cidade. Os maiores afluentes da bacia estão em sua margem esquerda, dentre os quais se destacam: o riacho Gulandim, o riacho do Sapo, o riacho do Pau D'Arco e os córregos da Pitanga e Rego do Seco.

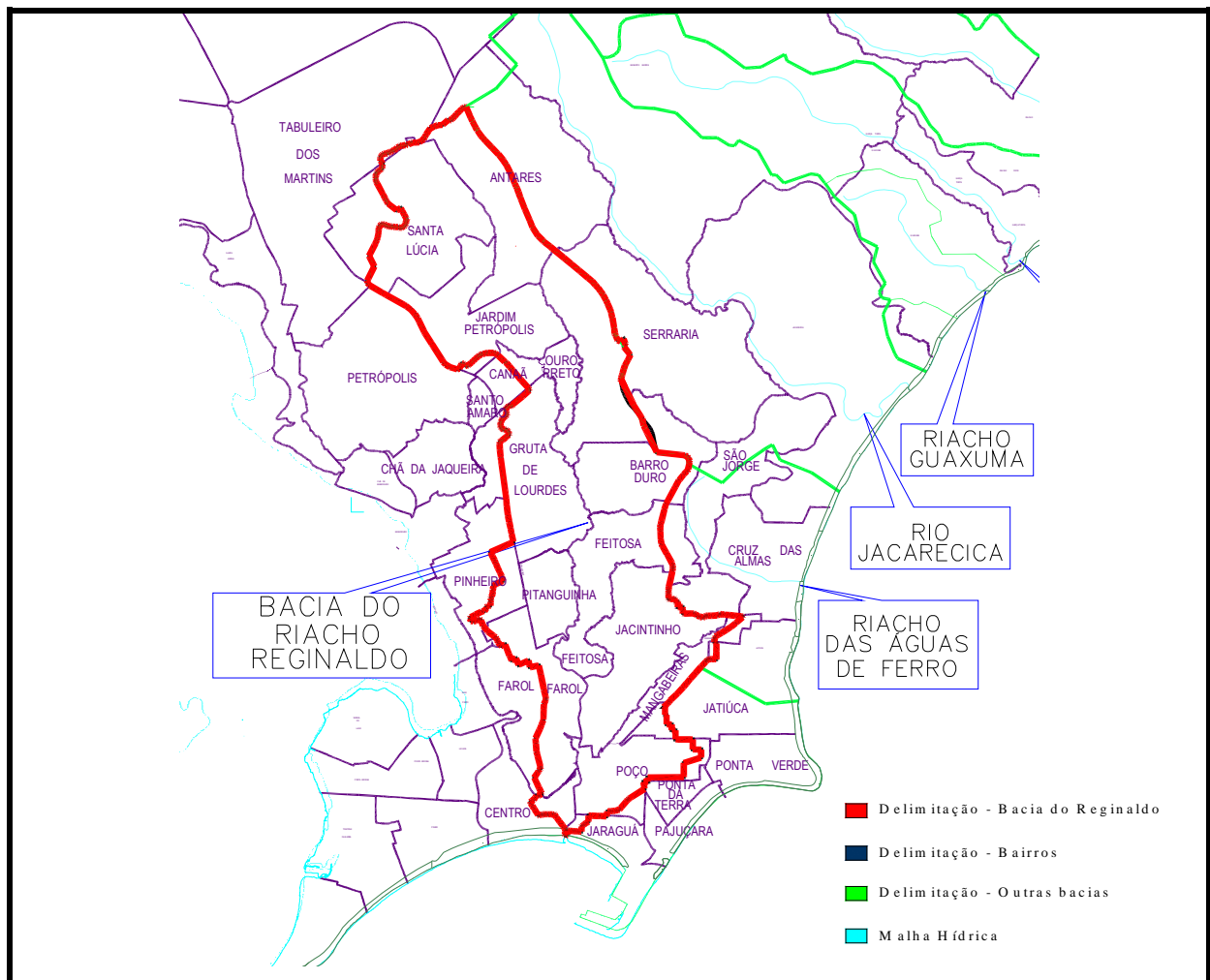


Figura 3.1 – Localização da Bacia Hidrográfica do Riacho do Reginaldo (PEDROSA, 2008)

Deve-se observar que o processo de delimitação desta bacia tem sido continuado, com maior detalhamento em função das informações de rede de drenagem pluvial, uma vez que alguns limites não estão claramente definidos pela topografia. Desta forma, Pedrosa (2008) apresentou uma delimitação com algumas diferenças em relação à utilizada neste trabalho. Entretanto, a opção por utilizar uma versão anterior da delimitação da bacia se deve ao fato de

possibilitar a comparação a simulações feitas por Sena et al. (2006). Tal consideração não altera de forma significativa as informações utilizadas na simulação, o que justifica, neste caso, a manutenção da delimitação original com pequenas atualizações onde possível.

Destaca-se que, nas atualizações de Pedrosa (2008), na região mais a montante da bacia a delimitação foi feita levando em consideração observações em visitas a campo, que puderam visualizar a drenagem do local. Por esta razão a delimitação da região mais a montante exibida na Figura 3.1 segue o alinhamento das ruas. Já a base em que se fundamentou a delimitação utilizada neste trabalho, para a região mais a montante, foram utilizadas apenas as informações de topografia. Outra diferença é verificada quando se observa o lado Leste da delimitação, onde Pedrosa (2008) incorporou à área da bacia o terreno pertencente ao Centro Educacional de Pesquisas Aplicadas (CEPA) enquanto que para a delimitação utilizada neste trabalho isto não ocorreu.

O vale por onde escoar o principal rio da bacia é em grande parte habitado por população de baixa renda, que invade toda a área de extravasamento do rio e, em alguns pontos, até parte da calha menor. Tal ação, aumenta a possibilidade das residências serem atingidas pela águas do riacho no momento da elevação de seu nível.

A ocupação das encostas é realizada de maneira inadequada, proporcionando uma situação desfavorável quanto à estabilidade dos taludes no período de chuvas. Nas áreas planas de tabuleiro existem desde habitações simples, até condomínios fechados de habitações de alto padrão.

A vazão de tempo seco é garantida por despejos de esgotos domésticos ao longo de todo o percurso do riacho e de seus afluentes. Imensas áreas em seu curso foram ocupadas desordenadamente, sem a devida instalação de redes de coleta e transporte de esgoto/águas pluviais adequadas.

Na região mais a jusante da bacia, correspondente à planície litorânea, o Reginaldo passa a ser chamado de riacho Salgadinho, e se encontrando com alto nível de degradação. A Figura 3.2 exhibe o traçado do rio principal e de seus afluentes.

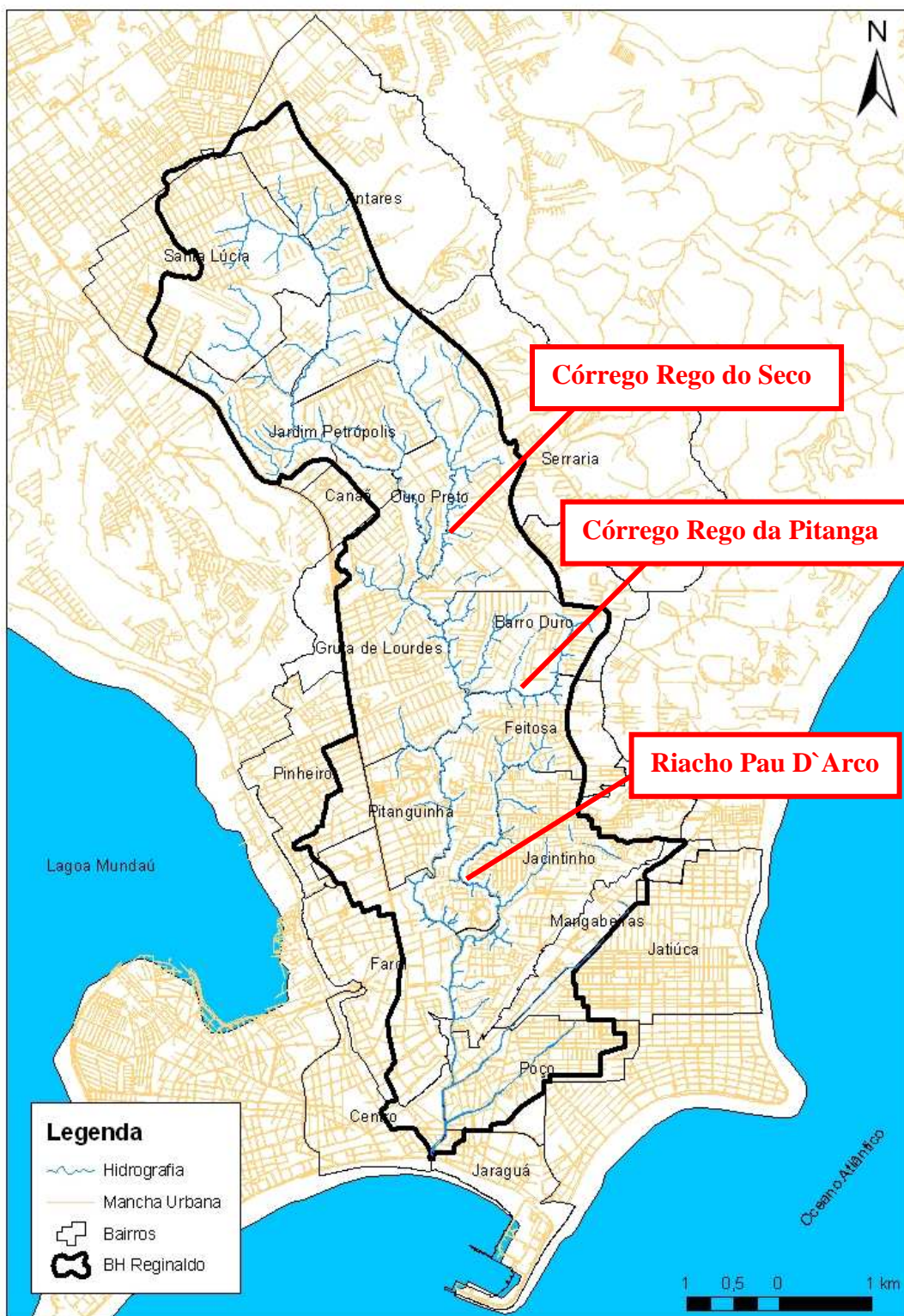


Figura 3.2 – Principais afluentes do Riacho Reginaldo

### 3.1.1 Delimitação da Bacia

A delimitação da bacia utilizada foi desenvolvida a partir de uma delimitação preliminar desenvolvida por Sena (2006), considerando para a divisão em sub-bacias, as características físicas da região e o tipo de uso e ocupação do solo (Figura 3.3). Como a bacia está localizada em uma área urbana era necessário se verificar a rede de drenagem pluvial para o detalhamento de alguns pontos onde as informações de topografia não eram suficientes para identificação do divisor de águas de forma clara. Em visita a órgãos públicos municipais, foi obtido o cadastro de rede de drenagem da região mais a jusante da bacia, justamente a área mais crítica no processo de delimitação, pois a mesma apresenta baixa declividade, além de ser muito ocupada.

Vale ressaltar que o cadastro da área mais a montante da bacia não foi utilizado, pois ou não existe cadastro ou a rede de drenagem não existe, ou seja, as águas pluviais seguem o caminho traçado pela topografia e pelo sistema viário da região. Com base nestas informações e em visitas realizadas a região se chegou à delimitação adotada neste trabalho (Figura 3.4).

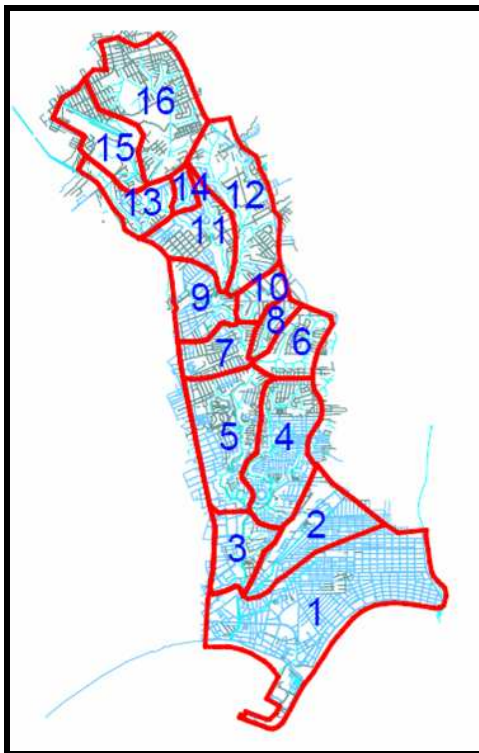


Figura 3.3 – Delimitação inicial (Sena et al. 2006)

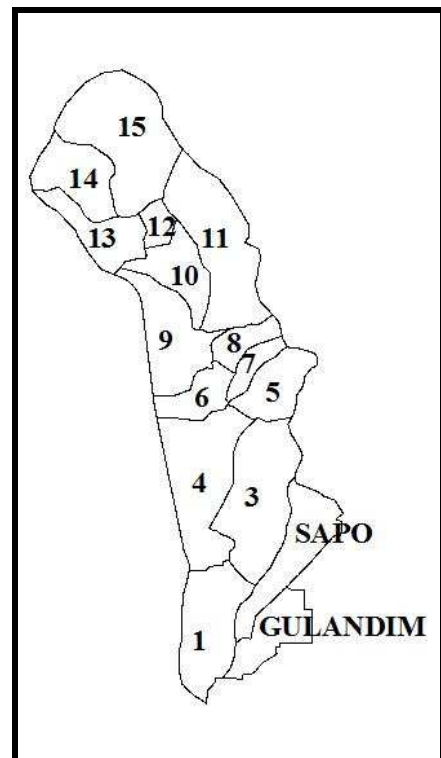


Figura 3.4 – Delimitação utilizada no trabalho.

É possível verificar que no trecho mais a jusante da bacia ocorreram modificações no que diz respeito à área da mesma. Na primeira delimitação a área mais a jusante (sub-bacia 1)



foi definida pela topografia da região, já na segunda as áreas das sub-bacias Gulandim e Sapo seguiram o eixo das vias por onde passa a rede que drena para dentro da mesma. Deve-se destacar que Pedrosa (2008) refinou ainda mais esta delimitação, utilizando informações complementares da rede de drenagem pluvial. Entretanto, para possibilitar a comparação com trabalhos anteriores, que já haviam determinado os parâmetros de simulação para a delimitação da Figura 3.4, optou-se por prosseguir as simulações com esta base.

### 3.1.2 Relevo

Foi uma caracterização preliminar com o objetivo de escolher locais para monitoramento de precipitação e vazão. Podem ser observadas algumas peculiaridades, como a forma alongada, as áreas planas de tabuleiro, o vale principal bem definido e as áreas planas costeiras.

A região costeira da bacia é plana e apresenta declividade quase nula em alguns trechos, tal característica, como já foi comentada, dificultou a delimitação nesta região. A partir da base cartográfica do município de Maceió foi realizada uma análise do curso principal de água dentro da bacia e se verificou que este tem cerca de 15 km de extensão e tem uma declividade média de 5,7 m/km. A Tabela 3.1 e a Figura 3.5 ilustram os resultados desta análise.

Tabela 3.1 – Declividades ao longo do rio principal da bacia.

| <b>Pontos</b> | <b>Altitude (m)</b> | <b>Distância (km)</b> | <b>Distância Acumulada (km)</b> | <b>Declividade (m/km)</b> |
|---------------|---------------------|-----------------------|---------------------------------|---------------------------|
| 1             | 0 a 5               | 2,51                  | 2,51                            | 1,995                     |
| 2             | 5 a 10              | 1,55                  | 4,05                            | 3,231                     |
| 3             | 10 a 15             | 1,31                  | 5,37                            | 3,810                     |
| 4             | 15 a 20             | 1,34                  | 6,71                            | 3,728                     |
| 5             | 20 a 30             | 2,75                  | 9,46                            | 3,630                     |
| 6             | 30 a 35             | 1,74                  | 11,20                           | 2,871                     |
| 7             | 35 a 40             | 0,93                  | 12,14                           | 5,350                     |
| 8             | 40 a 45             | 0,17                  | 12,30                           | 29,962                    |
| 9             | 45 a 55             | 1,44                  | 13,74                           | 3,482                     |
| 10            | 55 a 60             | 0,55                  | 14,29                           | 9,163                     |
| 11            | 60 a 65             | 0,32                  | 14,61                           | 15,532                    |
| 12            | 65 a 70             | 0,17                  | 14,78                           | 29,192                    |
| 13            | 70 a 80             | 0,16                  | 14,94                           | 62,921                    |
| 14            | 80 a 85             | 0,04                  | 14,98                           | 127,14                    |

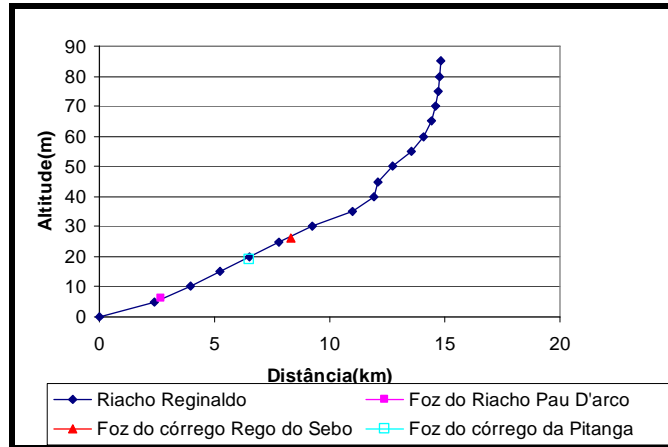


Figura 3.5– Perfil do curso d'água principal com localização dos pontos de entrada dos principais afluentes

A região mais a jusante da bacia (principalmente até o encontro entre o Riacho do Sapo e o Riacho Reginaldo) tem declividades baixas (menos de 2 m/km) quando comparado com regiões mais a montante (mais de 100 m/km).

As variações na forma do terreno e suas particularidades são, por si só, fatores que ajudam a descrever o escoamento na bacia. No caso específico do riacho Reginaldo, algumas características fisiográficas são marcantes e serão sucintamente abordadas quanto à influência para o escoamento superficial.

- a) **Forma alongada:** essa característica proporciona uma melhor dinâmica de fluxo quanto à distribuição temporal do volume escoado na calha principal, o que diminui o risco de transbordamento do canal, e é desejável para uma bacia urbana. Contudo, o aumento da ocupação provoca o aumento do escoamento superficial, aumentando este risco;
- b) **Áreas planas de tabuleiro:** essas são as áreas mais altas e portadoras, em determinados locais, de ocupação planejada. O escoamento superficial é, em geral, lento, mas por ser uma faixa estreita próxima ao divisor de bacia, os pontos de alagamento são incipientes e comumente localizados em logradouros com precária infra-estrutura. Outra situação que colabora para a ocorrência destes alagamentos é à falta de manutenção preventiva no sistema de águas pluviais. O escoamento chega ao talvegue por escadarias de drenagem e/ou calhas ou de forma difusa para as grotas e vertentes;
- c) **Vale bem definido:** tal característica se deve ao fato da proximidade de encostas íngremes em margens opostas. Isto ocorre até a inserção do talvegue na planície litorânea. A implicação dessa peculiaridade é que a calha inundável torna-se restrita e,



portanto mais susceptível a cheias naturais sob um menor espelho d'água e maior nível. Ou seja, em teoria há naturalmente a limitação da ocupação desse local, mas na prática tal condição adversa não vem sendo respeitada.

- d) **Áreas planas costeiras:** duas importantes sub-bacias afluentes (Sapo e Gulandim) estão localizadas na faixa de planície, entre os tabuleiros e o mar. Pela condição topográfica, o escoamento dessas sub-bacias é lento, mas os pontos de alagamento ocorrem muito mais pela forma da urbanização presente, que pelo transbordamento dos canais. Os alagamentos que acontecem na bacia do Sapo, ocorrem principalmente na faixa entre o canal e o morro que delimita os bairros do Jacintinho e Mangabeiras, cujo sistema de microdrenagem existente, por vezes é insuficiente (por falta de manutenção ou por falha na concepção/instalação da rede). Suspeita-se também do efeito de remanso nos riachos Gulandim e Sapo, por influência do nível do mar.

### *3.1.3 Geologia*

Segundo o Comitê da Bacia do Rio Pratagy (2006) fundamentado no Plano Diretor de Recursos Hídricos da mesma bacia, a geologia do local é basicamente representada por rochas sedimentares de cronologia terciária e quaternária, estes são constituídos de:

- ❖ Na sua faixa litorânea: por acumulações holocênicas marinhas, fluviais e fluviomarinhas, que se fazem representar pelas faixas arenosas das praias e das restingas, pelas várzeas e terraços fluviais e marinhos, pelos depósitos fluviomarinhos dos manguezais e, pelas acumulações detríticas identificadas pelos colúvios que se distribuem pelo ângulo basal ou sopés de partes das falésias subatuais em contatos com as restingas e terraços, assim como pelas meias encostas, ou encostas inferiores dos vales fluviais dissecados que entalham os platôs.
- ❖ No interior da área da bacia: Pelos depósitos correlativos dos finais do Terciário (Plioceno), que recebem a denominação de "Grupo Barreiras". Eles são representados pelos Tabuleiros, e correspondem à maior parte dos terrenos da área, com variações de altitudes entre 30 e 150 metros. Eles ainda comportam um importante potencial de águas subterrâneas.

### 3.1.4 Precipitação

A análise da pluviometria da cidade de Maceió, onde se encontra a bacia em estudo, foi realizada com dados da estação 935056, localizada no município de Rio Largo, vizinho da capital Alagoana, com série de 1990 a 2006 (ANA, 2007). A escolha desta estação se deu por dois motivos: o primeiro é que a mesma apresenta os dados pluviométricos mais recentes, mesmo não sendo na cidade de Maceió ela se encontra em um município vizinho, na região metropolitana de Maceió. O segundo é que os dados desta estação são os únicos, segundo a ANA, consistidos na região em estudo. A Figura 3.6 apresenta as precipitações anuais observadas nos dados da estação, que teve precipitação média anual de 1.566 mm.

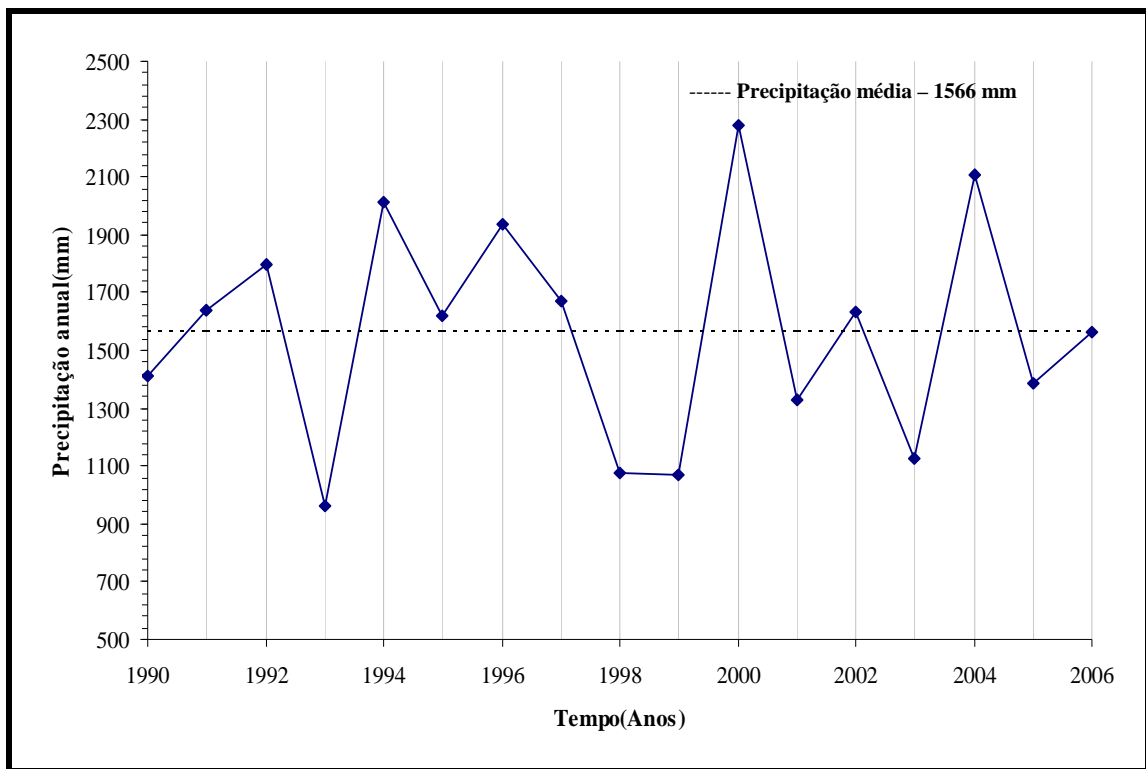


Figura 3.6 – Pluviometria Anual, Estação 935056: 1990 a 2006 (ANA, 2007)

Analisando a precipitação mensal em Maceió, relativa à série de 1990 a 2007, pode-se observar, na Figura 3.7, que o período chuvoso ocorre entre os meses de abril e agosto e como quadrimestre mais seco o período de outubro a janeiro, sendo observado o mês de dezembro como o mais seco.

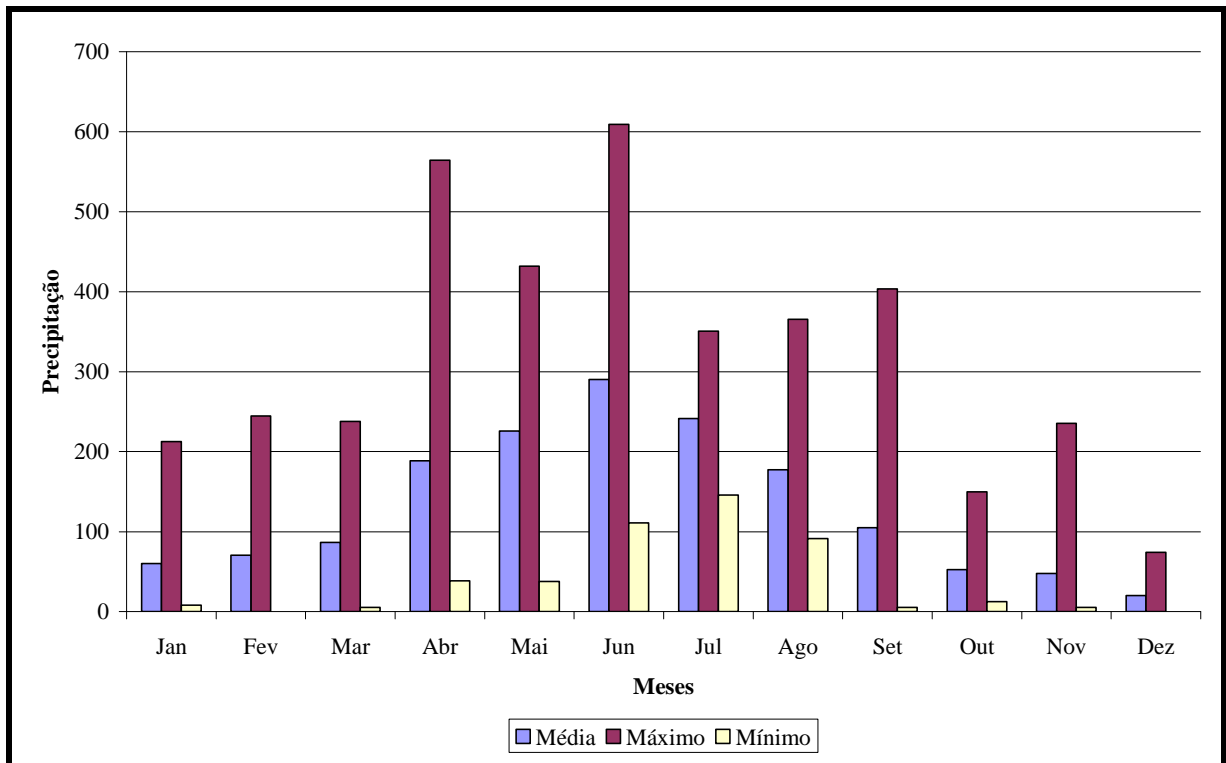


Figura 3.7 – Distribuição sazonal da precipitação média – Estação 935056 (1990 a 2006)

A elevada concentração de chuva em três meses do ano e a irregularidade em sua distribuição temporal, com meses cuja média chega a ser de mais de 290 mm (junho), caracteriza as precipitações nas cidades de Maceió.

Atualmente pluviógrafos vêm sendo instalados em pontos estratégicos na bacia. Com o apoio do Projeto Casadinho\* foram instalados até o momento 04 aparelhos de medição de lâmina d'água precipitada. Um quinto aparelho tem instalação prevista para a parte baixa da bacia (CEFET). A Figura 3.8 exibe os pontos onde estes aparelhos foram colocados.

\* Projeto desenvolvido com apoio do CNPq, através do edital MCT/CNPq/CT-Hidro 14/2005, cujo título é: "Definição de critérios para elaboração de plano de gestão ambiental integrada de bacias urbanas: Estudo de caso - Bacia do riacho Reginaldo". O projeto foi desenvolvido em parceria entre UFAL/UFMG/EESC-USP.

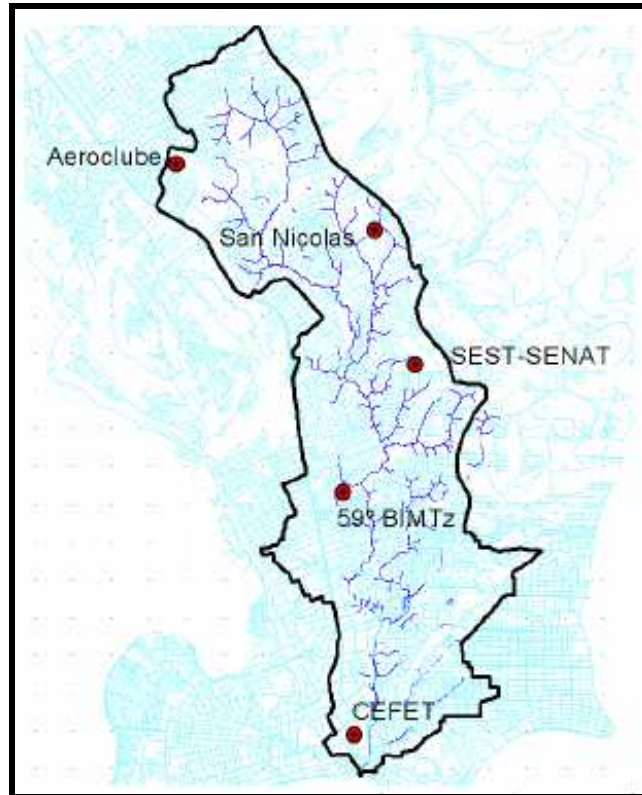


Figura 3.8 – Pontos onde os pluviômetros do Projeto Casadinho foram instalados.

### 3.1.5 Tempo de concentração

A estimativa do tempo de concentração a ser adotado se baseou em um estudo realizado por Silveira (2005), que analisou o desempenho de fórmulas de tempo de concentração para bacias rurais e urbanas. Neste trabalho o autor, fundamentado em publicações científicas, formou um grupo de equações utilizadas na estimativa do tempo de concentração e analisou o desempenho das mesmas em bacias com características diferentes, seja do ponto de vista físico ou de uso e ocupação.

Nessa análise foram utilizadas duas equações, uma que calculava o erro médio (EM) e outra que calculava o erro padrão (EP).

$$EM = \frac{100}{n} \times \sum_{i=1}^n \frac{T_{CC} - T_{CO}}{T_{CC}} \quad EP = \frac{1}{n-1} \times \sum_{i=1}^n \left( 100 \times \frac{T_{CC} - T_{CO}}{T_{CO}} - EM \right)^2$$

onde,

$T_{CC}$  – tempo de concentração calculado;

$T_{CO}$  – tempo de concentração observado; e

$n$  – número de bacias consideradas na análise.

A metodologia utilizada para análise do desempenho das fórmulas de tempo de concentração baseia-se nos erros médios percentuais (EM) de cada fórmula nas faixas de áreas de melhor desempenho das mesmas (SILVEIRA, 2005).

Chegou-se a essa faixa identificando a seqüência de bacias ordenadas por área onde se encontrava o maior número de casos onde o EM, em valores absolutos, fosse menor ou igual a 30%. Essa seqüência deveria ter o maior número possível de bacias (desde que maior que cinco) e ter mais da metade dos valores absolutos de erros médios menores ou iguais a 30%. Cada fórmula foi avaliada com relação a todos os tempos de concentração encontrados em bacias dos arquivos teste (SILVEIRA, 2005).

A Tabela 3.2 exhibe as fórmulas que obtiveram melhor desempenho de acordo com a ocupação e o tamanho da área.

Tabela 3.2 – Classificação das fórmulas que obtiveram melhor desempenho no trabalho de Silveira (2005)

| Bacias Rurais |  |                         | Bacias Urbanas |  |                         |
|---------------|--|-------------------------|----------------|--|-------------------------|
| Ordem         | Fórmula  | Área (km <sup>2</sup> ) | Ordem          | Fórmula  | Área (km <sup>2</sup> ) |
| 1             | $t_c = \frac{0,191 \times L^{0,76}}{S^{0,19}}$<br>(Corps of Engineers)                         | < 12.000                | 1              | $t_c = \frac{0,0977 \times L^{0,6}}{S^{0,3}}$<br>(Carter)                                  | < 11                    |
| 2             | $t_c = \frac{0,160 \times L^{0,64}}{S^{0,32}}$<br>(Vem te Chow)                                | < 12.000                | 2              | $t_c = \frac{0,0828 \times L^{0,24}}{S^{0,16} \times A_{imp}^{0,26}}$<br>(Schaake)         | < 0,62                  |
| 3             | $t_c = \frac{7,35 \times n^{0,6} \times L^{0,6}}{i^{0,4} \times S^{0,3}}$<br>(Onda Cinemática) | <12.000                 | 3              | $t_c = \frac{0,0663 \times L^{0,77}}{S^{0,385}}$<br>(Kirpich)                              | < 27                    |
| 4             | $t_c = \frac{0,0663 \times L^{0,77}}{S^{0,385}}$<br>(Kirpich)                                  | <12.000                 | 4              | $t_c = \frac{0,0869 \times A^{0,3039}}{S^{0,3832} \times A_{imp}^{0,4523}}$<br>(Desbordes) | < 51                    |

onde:

$t_c$  – tempo de concentração, em horas;

L – comprimento do maior curso d'água, em km;

S – Declividade média na bacia, em m/km;

n – rugosidade de Manning;

$A_{imp}$  – porcentagem da área impermeável;

A – área total da bacia, km<sup>2</sup>.

A partir da análise de Silveira (2005), decidiu-se usar a fórmula de Kirpich, pois apesar da bacia em estudo neste trabalho ser uma bacia urbana, existem partes de sua área que tem características rurais. A fórmula de Kirpich, segundo Silveira (2005) obteve um bom desempenho tanto em bacias com características de ocupação rural (quarto melhor desempenho) quanto de urbana (terceiro melhor desempenho). Outro aspecto levado em consideração na escolha, foi que a fórmula escolhida obteve seu melhor desempenho em bacias urbanas que tinham em média 27 km<sup>2</sup> de área.

Entretanto, observa-se que a opção por utilizar a equação de Kirpich pode propagar incertezas na simulação, uma vez que a mesma não considera alterações no uso e ocupação do solo da bacia, como as provocadas pela urbanização. Uma vez que a análise proposta é justamente sobre os impactos decorrentes da urbanização, fez-se necessária a correção dos tempos de concentração, a partir da metodologia do SCS, apresentada em Tucci (2004). Essa metodologia apresenta um fator de ajuste para o tempo de concentração em função do parâmetro CN, que incorpora as informações de uso e ocupação do solo.

$$FA = 1 - PRCT \times (-6789 + 335 \times CN - 0,4298 \times CN^2 - 0,02185 \times CN^3) \times 10^{-6}$$

onde:

FA – fator de ajuste;

CN – número da Curva.

PRCT – representa a multiplicação entre a porcentagem do comprimento do talvegue modificado e a porcentagem impermeável da bacia.

Para a variável PRCT, só foi considerada a porcentagem que exprime a área impermeável da bacia. Tal atitude é justificada pois não existem dados disponíveis a respeito das modificações ocorridas no talvegue do rio ao longo dos anos.

Com base nisto se encontrou os seguintes tempos de concentração para cada período em estudo.

- Década de 60: 3,50 horas
- Década de 80: 2,80 horas
- Ano 2004: 2,11 horas

Este processo de ajuste também foi realizado para cada uma das sub-bacias, conforme apresentado na Tabela 3.3.

Tabela 3.3 - Valores de tc corrigidos

| Sub-bacia       | tc    | Década de 60 |                        | Década de 80 |                        | Ano de 2004 |                        |
|-----------------|-------|--------------|------------------------|--------------|------------------------|-------------|------------------------|
|                 |       | FAi          | tc <sub>ajustado</sub> | FAi          | tc <sub>ajustado</sub> | FAi         | tc <sub>ajustado</sub> |
| <b>1</b>        | 63,31 | 0,54         | 34,35                  | 0,45         | 28,71                  | 0,47        | 29,97                  |
| <b>Gulandim</b> | 94,56 | 0,79         | 74,27                  | 0,51         | 47,88                  | 0,46        | 43,61                  |
| <b>Sapo</b>     | 65    | 0,86         | 56,12                  | 0,83         | 53,77                  | 0,65        | 42,2                   |
| <b>3</b>        | 59,65 | 0,93         | 55,66                  | 0,76         | 45,48                  | 0,59        | 35,31                  |
| <b>4</b>        | 98,5  | 0,88         | 86,29                  | 0,63         | 61,91                  | 0,62        | 61,54                  |
| <b>5</b>        | 34,16 | 1            | 34,16                  | 0,54         | 18,33                  | 0,58        | 19,79                  |
| <b>6</b>        | 33,49 | 1            | 33,49                  | 0,64         | 21,41                  | 0,57        | 19,16                  |
| <b>7</b>        | 19,61 | 1            | 19,61                  | 0,52         | 10,16                  | 0,57        | 11,19                  |
| <b>8</b>        | 19,71 | 1            | 19,71                  | 0,56         | 11,03                  | 0,59        | 11,57                  |
| <b>9</b>        | 26,04 | 1            | 26,04                  | 0,7          | 18,34                  | 0,59        | 15,27                  |
| <b>10</b>       | 82,4  | 1            | 82,4                   | 1            | 82,4                   | 0,61        | 49,95                  |
| <b>11</b>       | 61,74 | 1            | 61,74                  | 1            | 61,74                  | 0,66        | 41                     |
| <b>12</b>       | 8,32  | 1            | 8,32                   | 1            | 8,32                   | 0,48        | 4,02                   |
| <b>13</b>       | 38,24 | 1            | 38,24                  | 1            | 38,24                  | 0,54        | 20,67                  |
| <b>14</b>       | 30,58 | 1            | 30,58                  | 1            | 30,58                  | 0,63        | 19,22                  |
| <b>15</b>       | 52,74 | 1            | 52,74                  | 1            | 52,74                  | 0,65        | 34,13                  |

Deve-se observar que, para algumas sub-bacias, ocorre um aumento inesperado de tc da década de 80 para o ano 2004. Este fato é decorrente do próprio ajuste da equação que determina o fator de ajuste, quando as variações de CN são pequenas.

### 3.2 Situação atual da bacia

Para que se tivesse uma melhor percepção da real situação da bacia, além de informações obtidas em trabalhos científicos, foram realizadas visitas entre 22 de setembro de 2006 e 21 de junho de 2007. Estas também ajudaram na elucidação de dúvidas que apareceram na estimativa do parâmetro CN como, por exemplo, a confirmação do tipo de pavimento de algumas ruas e a ocupação de novas áreas.

### 3.2.1 Formas de uso e ocupação

Em relação ao uso e ocupação do solo, a impermeabilização sem controle em todos os tipos de ocupação (públicos e privados) é marcante em toda área da bacia. Nesta existem grandes empreendimentos como importantes centros comerciais(Figura 3.9), centros de convenções, entre outros, onde houve a pavimentação asfáltica de todo o espaço do estacionamento. Árvores foram retiradas, e em seu lugar foram instalados toldos com lonas plásticas. Ressalta-se que nenhuma medida mitigadora dos impactos provocados sobre o escoamento foi exigida pelo poder público ou implementada pelo empreendedor.



Figura 3.9 – Estacionamento de empreendimento comercial localizado na área da bacia: (a) antes da ocupação e (b) depois da ocupação

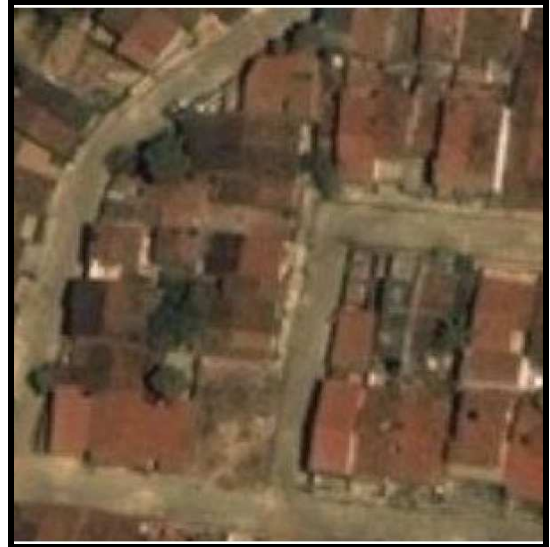
Os padrões de urbanização na bacia priorizam o uso generalizado de pavimento asfáltico nas ruas. Nos bairros centrais ou mais nobres, o asfalto é predominante, sendo que quase a totalidade das ruas é pavimentada neste padrão. Nos bairros de população com menor poder aquisitivo, onde ainda predominam as ruas sem pavimentação, há uma tendência por pavimentação asfáltica, sendo que o paralelepípedo é entendido como uma etapa intermediária neste processo.

Nas residências, sejam elas unifamiliares ou condomínios, faltam espaços permeáveis. Comumente os proprietários pavimentam áreas que poderiam ser utilizadas para jardins ou áreas verdes com concreto. Também é comum as áreas dos telhados tomarem quase todo o lote, ou seja, lotes vizinhos aparentam ter telhados contíguos (Figura 3.10).





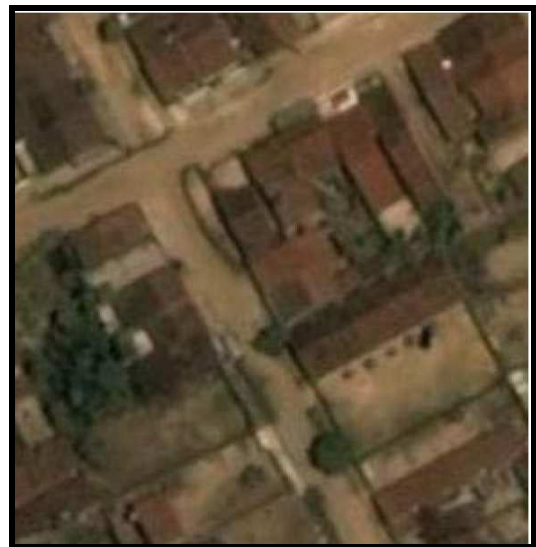
Jatiuca



Jacintinho



Gruta de Lourdes



Antares

Figura 3.10 – Ocupação dos lotes em bairros dentro da bacia.

Esse padrão se reflete em praticamente todos os pontos da bacia, podendo ser observada a ocupação por áreas impermeáveis de praticamente 100% dos lotes, pouca vegetação nas ruas e telhados contíguos de um lote para o outro, sendo esse padrão observado tanto em bairros de classe mais baixa quanto em bairros de população mais abastada. Exemplos desses padrões foram apresentados na Figura 3.10, onde os bairros Jacintinho e Antares são considerados de periferia e os bairros Jatiúca e Gruta de Lourdes são considerados de classe média.

No Jacintinho, um dos bairros mais populosos e ocupados da bacia, há ruas asfaltadas, mas a maioria é composta de paralelepípedos. Este bairro se destaca por possuir vida comercial intensa, com alguns supermercados e feira livre no final de semana. No Antares, a predominância é de ruas não pavimentadas, mas de solo bastante argiloso e compactado, ou seja, praticamente impermeável.

Características semelhantes são encontradas no bairro vizinho e a oeste do bairro Antares, o Santa Lúcia. Há também espaços de tamanhos relevantes sem ocupação e com vegetação rasteira. Já na divisa entre os bairros Antares e Jardim Petrópolis, há um vale, cujos taludes possuem ainda boa quantidade de vegetação.

Em algumas áreas da bacia a população costuma substituir a vegetação original por plantações das mais diversas culturas (Figura 3.11); quando isto não ocorre, existe a limpeza da área, ou seja, a retirada da vegetação para a implantação de novos empreendimentos (conjuntos habitacionais, estabelecimentos comerciais, entre outros). A retirada ou substituição da vegetação nativa, marcante na bacia do riacho Reginaldo, provoca alterações na estrutura do solo, deixando-o mais susceptível a escorregamentos, freqüentes nas regiões de encosta nos períodos chuvosos.

Este processo de substituição/retirada da vegetação natural da área da bacia incrementa o processo de erosão e de carreamento de sedimentos que ficam depositados na calha do rio principal da bacia. O poder público promove a limpeza do canal sempre que verifica o grande acúmulo de material no leito do riacho (Figura 3.12).



Figura 3.11 - Substituição do solo natural da bacia.



Figura 3.12 - Retirada de sedimentos do canal

### 3.2.2 *Infra-estrutura da região*

A ocupação das margens do rio principal e dos afluentes por parte da população predomina ao longo de toda área da bacia. Este tipo de ocupação traz para o poder público dificuldades no fornecimento de alguns serviços (saneamento básico, saúde, energia, entre outros). Esta dificuldade impõe que a população residente nestas áreas promova soluções alternativas para suprir a deficiência destes serviços, por exemplo, no caso da coleta e tratamento do esgoto produzido, como não existe esta coleta na maioria dos casos a disposição é feita nas águas do riacho que passa na porta das residências. A Figura 3.13 e a Figura 3.14 exibem esta realidade.



Figura 3.13 - Ocupação das margens do riacho





Figura 3.14 - Disposição de resíduos líquidos, sem tratamento algum, no leito do riacho

Por falta de rede coletora de esgoto sanitário, a população despeja seus resíduos líquidos, se não diretamente na calha do riacho (Figura 3.14), mas na rede de águas pluviais que por fim chega ao mesmo destino (Figura 3.15). Esta prática não ocorre só na capital alagoana: segundo Pompêo (2000) mais de 70% dos municípios no estado de Santa Catarina despejam parte dos resíduos produzidos nas residências na rede de drenagem pluvial.



Figura 3.15 - Esgoto despejado na rede de águas pluviais que chega até o riacho

Com relação aos resíduos sólidos foi realizada uma visita à companhia contratada para recolher o resíduo sólido na cidade de Maceió e esta informou que mais de 90% da área dentro da bacia do riacho Reginaldo é atendida. Mesmo assim quando se caminha pelas margens dos corpos hídricos dentro da área da bacia não é difícil encontrar verdadeiros lixões na calha dos rios (Figura 3.16). A única explicação para esta situação é a questão cultural da população do município, que mesmo quando o serviço é ofertado, continua jogando lixo em locais inapropriados.

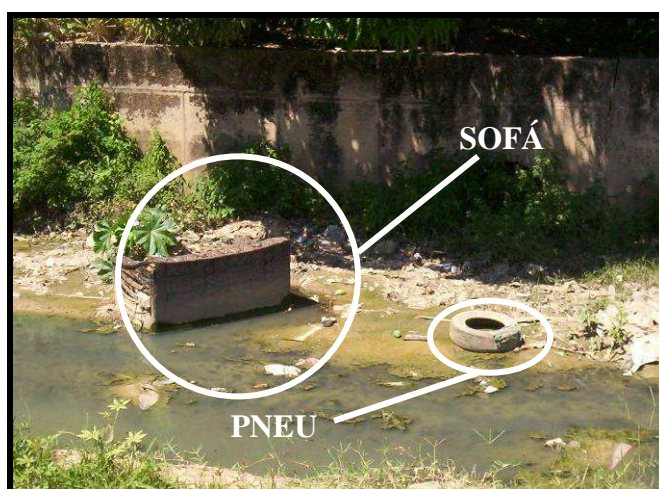


Figura 3.16 - Resíduos sólidos encontrados na calha do riacho principal da bacia

Albuquerque (2007) realizou um trabalho de coleta e análise de amostras ao longo do riacho do Reginaldo, e concluiu que as variáveis de qualidade de água indicaram alto grau de degradação, visto que muitos parâmetros estiveram fora dos padrões exigidos para classe 2, classe ao qual o rio está enquadrado, e para a classe 4 que indica os piores padrões de conformidade.

Existem vários pontos de alagamentos dentro da área da bacia. Neves (2008) realizou estudos em uma área da bacia que sofre com constantes problemas ligados a alagamentos. A área estudada situa-se no bairro do Pinheiro, e tem 0,42 km<sup>2</sup>. Com grande parte de sua área impermeabilizada, a bacia recebe contribuição de áreas vizinhas, em função da configuração da rede de drenagem da região.

Foram simulados 02 cenários, o primeiro simulou a ampliação da rede existente sem a conexão com uma bacia de detenção. Para este cenário foi verificado que a nova configuração de rede resolveria o problema de alagamento da região, desde que as *bocas de lobos* da região funcionassem de forma correta, ou seja, sem estarem obstruídas (NEVES, 2008).

No segundo cenário, que simulou a utilização da bacia de detenção existente sem modificações na rede, foi verificado que a bacia de detenção amortecia o pico do hidrograma, mas não tinha efeito considerável quanto ao volume escoado, além disso alguns pontos a montante da bacia de detenção sofriam alagamentos nas simulações. Segundo o autor, isto ocorria por causa dos efeitos de remanso que se passavam na bacia no momento em que a mesma atingia níveis mais altos (NEVES, 2008).

Modelagens hidrológicas-hidráulicas simularam configurações que objetivavam solucionar o problema dos alagamentos na região. Como resultado deste estudo foi constatado que é necessário alterar as condições de toda a rede da área, ou seja, a mesma deve ter a seção transversal aumentada (NEVES, 2008).

No canal principal e em alguns efluentes é realizado bombeamento nos períodos de tempo seco, evitando que em épocas de estiagem suas águas poluam a praia. Segundo Pimentel et al. (2005), nesse período as águas são recalçadas para a rede de esgotos sanitários, passam pela estação de tratamento e são lançadas ao mar através do emissário submarino na praia do Sobral. Em períodos de chuva o bombeamento é insuficiente e as águas vertem para a praia. Os três pontos de bombeamento estão localizados da seguinte forma:

- no curso principal, a cerca de 250 metros a montante da foz do riacho do Sapo (Figura 3.17);
- no riacho do Sapo, imediatamente antes da confluência com o riacho Reginaldo (Figura 3.18);
- no riacho Gulandim, imediatamente antes da confluência com o riacho Reginaldo (Figura 3.19)



Figura 3.17 – Elevatória localizada no curso d'água principal





Figura 3.18 – Elevatória localizada na união entre o Riacho do Sapo e o Riacho Reginaldo



Figura 3.19 – Elevatória localizada na união entre o Riacho Gulandim e o Riacho Reginaldo

### 3.3 Evolução do uso e ocupação para os cenários avaliados

A análise da evolução do uso e ocupação do solo dentro da bacia foi realizada a partir da estimativa do parâmetro CN do modelo SCS. Esta foi iniciada com a busca de informações (fotos aéreas, imagens de satélite, base cartográficas) que exibissem as características de uso e ocupação da área da bacia.

### 3.3.1 Cenários

Após visitas a órgãos públicos (Superintendência Municipal de Obras e Urbanização de Maceió, Secretaria de Planejamento do Município de Maceió, Secretaria de Habitação do Município, Defesa Civil do Município de Maceió) e a consulta a trabalhos científicos ligados a área, foram utilizadas:

- uma fotografia aérea, não georeferenciada, de parte da cidade de Maceió da década de 60 (Figura 3.20) (PETROBRAS, 1964) - A mesma retrata a parte oeste da área urbana da cidade de Maceió;
- uma fotografia aérea, não georeferenciada, de parte da cidade de Maceió da década de 80 (Figura 3.21) (MACEIÓ, 1984) – Assim como a fotografia anterior, esta exhibe a parte oeste da área urbana da cidade Maceió. A diferença é que a da década de oitenta engloba uma área maior. Além disso, a mesma tem uma definição melhor que a da década de sessenta, facilitando com isso a visualização do tipo de ocupação dos lotes;
- a base cartográfica do município de Maceió do ano de 2000 (Figura 3.22), georeferenciada e na escala 1:10.000 (MAPLAN, 2000) – A base exhibe toda área urbana da cidade. Ela disponibiliza informações importantes para a análise da relação entre o avanço da urbanização e o escoamento superficial como, por exemplo, o tipo de pavimento das ruas, o tipo de ocupação dos lotes, as curvas de nível do terreno, entre outras; e
- uma imagem de satélite da cidade de Maceió, datada do ano de 2004, com resolução de 0,6 m (Figura 3.23) (DIGITAL GLOBE, 2005) – A melhor das fontes; esta permitiu melhor visualização dos usos e ocupações. Englobando toda a área da bacia, permitiu uma melhor determinação do parâmetro CN.

A busca pelas imagens das décadas de 60 e 80 foi cercada por muitas dificuldades, principalmente ligadas à escassez de imagens digitalizadas de épocas passadas da cidade de Maceió. Como consequência destas dificuldades ocorreu uma diminuição no número de possíveis opções a serem escolhidas. A escolha final resultou em imagens que não apresentaram resolução muito elevada, o que trouxe certa dificuldade no processo de identificação do uso e ocupação, mas como este trabalho tenta exhibir a evolução do uso e ocupação dentro de uma bacia urbana, de forma comparativa, e como esta se reflete no escoamento superficial, as imagens serviram ao propósito.





Figura 3.20 – Imagem da década de 60 (PETROBAS, 1964)





Figura 3.21 – Imagem da década de 80 (MACEIÓ, 1984)



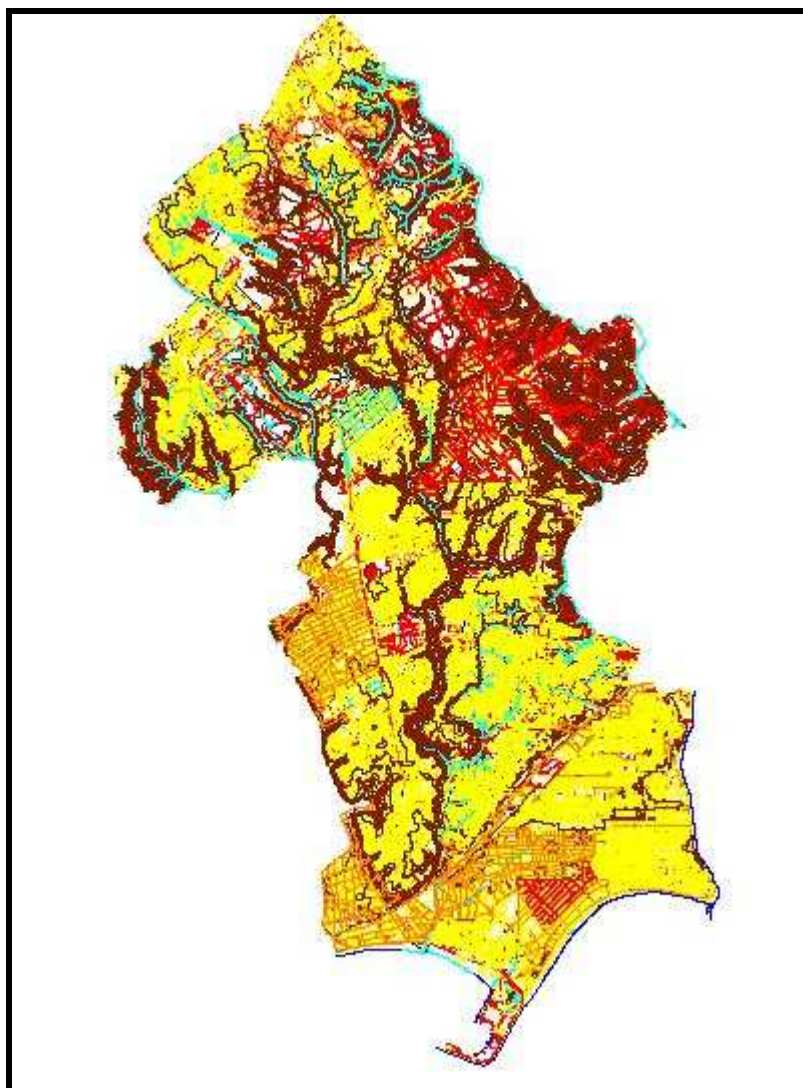


Figura 3.22 Base Cartográfica da cidade de Maceió na região estudada (MAPLAN, 2000)



Figura 3.23 – Imagem do ano de 2004 (DIGITAL GLOBE, 2005)

É possível verificar na Figura 3.20 a pouca ocupação que existia na região norte da cidade, onde se identifica arruamentos que indicam o início da instalação de áreas

residenciais. Já na região sul se constata um processo de ocupação mais consolidado, possivelmente pela proximidade com o porto. A região oeste sofreu um processo de substituição da vegetação nativa pelo cultivo de alguma cultura, trazendo com isso alterações no ciclo hidrológico da região.

Na Figura 3.21 é possível verificar o avanço da ocupação urbana nas direções norte e oeste da bacia. Na primeira é constatada a execução de residências, sobretudo na área próxima à praia. Já na segunda ocorreu uma nova substituição do uso e ocupação, no lugar do cultivo de algumas culturas foram construídas algumas residências, iniciando com isso o processo de expansão urbana da cidade naquela direção. Já na região sul da cidade não ocorreu uma densificação da ocupação pois a mesma já era bem ocupada.

A Figura 3.23 exibe um intenso avanço da ocupação urbana em toda área da cidade, Na região norte da cidade, devido à valorização imobiliária, ocorreu uma forte densificação populacional, esta veio com a substituição das residências por edifícios, principalmente, na faixa mais próxima da praia, esta densificação não foi acompanhada por redimensionamento da infra-estrutura da região. Redes de esgoto e água estão com sua vida útil ultrapassada e a rede viária da região também não comporta os números de carros que diariamente circulam na mesma. Na região sul, ao contrário da norte, ocorreu uma desvalorização imobiliária.

A região oeste passou por um processo intenso de expansão urbana. Diferentemente da região norte esta foi caracterizada por uma ocupação mais voltada para a construção de residências unifamiliares, ou seja, com uma densificação menor, mas mesmo assim sofre com problemas ligados ao sistema viário, pois praticamente só existe um corredor de transporte ligando a parte baixa a alta da cidade, e este diariamente fica congestionado.

### *3.3.2 Estimativa do parâmetro CN*

Desenvolvido para estimar a parcela do escoamento superficial o modelo SCS utiliza uma formulação que relaciona o volume de água infiltrado ( $d$ ), capacidade máxima de absorção do solo ( $S$ ), precipitação efetiva ( $Q$ ) e a precipitação total ( $P$ ) (TUCCI, 2004).

A determinação de  $S$  é feita através de um fator, o CN, que varia numa escala de 1 a 100. Esta variação tenta retratar condições de cobertura (cobertura impermeável – limite inferior; cobertura permeável – limite superior) e tipo de solo (Tabela 3.4), para bacias rurais (Tabela 3.5) e urbanas (Tabela 3.6).

Tabela 3.4 - Classificação de solos para estimativa do parâmetro SCS-CN (TUCCI, 2004)

| <b>Tipo de solo</b> | <b>Descrição</b>   |
|---------------------|--|
| A                   | Solos que produzem baixo escoamento superficial e alta infiltração.<br>Solos arenosos profundos com pouco silte e argila.  |
| B                   | Solos menos permeáveis do que o anterior, solos arenosos menos profundos que o do tipo A e com permeabilidade superior a média.                                      |
| C                   | Solos que geram escoamento superficial acima da média e com capacidade de infiltração abaixo da média, contendo porcentagem considerável de argila e pouco profundo. |
| D                   | Solos contendo argilas expansivas e pouco profundos com muito baixa capacidade de infiltração, gerando a maior proporção de escoamento superficial.                  |

Tabela 3.5 - Valores do parâmetro CN para bacias rurais (TUCCI, 2004).

| Uso do Solo                         | Superfície                         | Solo tipo A | Solo tipo B | Solo tipo C | Solo tipo D |
|-------------------------------------|------------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Solo Lavrado                        | Com sucros retilíneos              | 77          | 86          | 91          | 94          |
|                                     | em fileiras retas                  | 70          | 80          | 87          | 90          |
| Plantações regulares                | Em curvas de nível                 | 67          | 77          | 83          | 87          |
|                                     | Terraceado em nível                | 64          | 76          | 84          | 88          |
|                                     | Em fileiras retas                  | 64          | 76          | 84          | 88          |
| Plantações de cereais               | Em curvas de nível                 | 67          | 77          | 83          | 87          |
|                                     | Terraceado em nível                | 64          | 76          | 84          | 88          |
|                                     | Em fileiras retas                  | 62          | 75          | 83          | 87          |
| Plantações de legumes ou cultivados | Em curvas de nível                 | 60          | 72          | 81          | 84          |
|                                     | Terraceado em nível                | 57          | 70          | 78          | 89          |
|                                     | Pobres                             | 68          | 79          | 86          | 89          |
|                                     | Normais                            | 49          | 69          | 79          | 94          |
|                                     | Boas                               | 39          | 61          | 74          | 80          |
| Pastagens                           | Pobres, em curva de nível          | 47          | 67          | 81          | 88          |
|                                     | Normais, em curva de nível         | 25          | 59          | 75          | 83          |
|                                     | Boas, em curva de nível            | 6           | 35          | 70          | 79          |
| Campos Permanentes                  | Normais                            | 30          | 58          | 71          | 78          |
|                                     | Esparsas, de baixa transpiração    | 45          | 66          | 77          | 83          |
|                                     | Normais                            | 36          | 60          | 73          | 79          |
|                                     | Densas, de alta transpiração       | 25          | 55          | 70          | 77          |
| Chácaras Estradas de terra          | Normais                            | 56          | 75          | 86          | 91          |
|                                     | Más                                | 72          | 82          | 87          | 89          |
|                                     | De superfície dura                 | 74          | 84          | 90          | 92          |
| Florestas                           | Muito esparsas, baixa transpiração | 56          | 75          | 86          | 91          |
|                                     | Esparsas                           | 46          | 68          | 78          | 84          |
|                                     | Densas, de alta transpiração       | 26          | 52          | 62          | 69          |
|                                     | Normais                            | 36          | 60          | 70          | 76          |

Tabela 3.6 – Valores do parâmetro CN para bacias urbanas (TUCCI, 2004)

| UTILIZAÇÃO OU COBERTURA DO SOLO   | Solo Tipo A | Solo tipo B | Solo tipo C | Solo tipo D |
|---|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Zonas cultivadas:   |             |             |             |             |
| sem conservação do solo   | 72          | 81          | 88          | 91          |
| com conservação do solo   | 62          | 71          | 78          | 81          |
| Pastagens e terrenos em más condições   | 68          | 79          | 86          | 89          |
| Baldios em boas condições   | 39          | 61          | 74          | 80          |
| Prados em boas condições  | 30          | 58          | 71          | 78          |
| Bosques ou zonas florestais   |             |             |             |             |
| cobertura boa   | 25          | 55          | 70          | 77          |
| cobertura ruim  | 45          | 66          | 77          | 83          |
| Espaços abertos, relvados, parques, campos de golf, cemitérios, em boas condições |             |             |             |             |
| com relva em mais de 75% da área  | 39          | 61          | 74          | 80          |
| com relva de 50 a 75% da área   | 49          | 69          | 79          | 84          |
| Zonas comerciais e de escritórios   | 89          | 92          | 94          | 95          |
| Zonas industriais   | 81          | 88          | 91          | 93          |
| Zonas residenciais  |             |             |             |             |
| lotes de (m <sup>2</sup> )  |             |             |             |             |
| % média impermeável   |             |             |             |             |
| <500  | 65          | 77          | 85          | 90          |
| 1000  | 38          | 61          | 75          | 83          |
| 1300  | 30          | 57          | 72          | 81          |
| 2000  | 25          | 54          | 70          | 80          |
| 4000  | 20          | 51          | 68          | 79          |
| Parques de estacionamentos, telhados, viadutos, etc.                              | 98          | 98          | 98          | 98          |
| Arruamentos e estradas  |             |             |             |             |
| asfaltadas e com drenagem de águas pluviais                                       | 98          | 98          | 98          | 98          |
| Paralelepípedos   | 76          | 85          | 89          | 91          |
| Terra   | 72          | 82          | 87          | 89          |

O processo de estimativa do parâmetro CN passou por mais duas etapas. A primeira foi a adequação da delimitação adotada para a bacia as Figuras 3.20; 3.21 e 3.22. Baseando-se na malha hídrica da bacia e utilizando uma ferramenta CAD se chegou ao resultado exibido na nas Figuras 3.23; 3.24 e 3.25.

A segunda etapa no processo de estimativa do parâmetro CN foi a de verificação de dos tipos de solos existentes na área da bacia e sua correspondência com tipos de solo adotados no método desenvolvido pelo SCS.

A verificação do(s) tipo(s) de solo(s) existente(s) dentro da bacia se deu a partir de um mapa (Figura 3.27) que retrata a distribuição espacial de diferentes tipos de solos ao longo da área da capital alagoana. Este mapa foi produzido pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA *apud* Pedrosa (2008)).



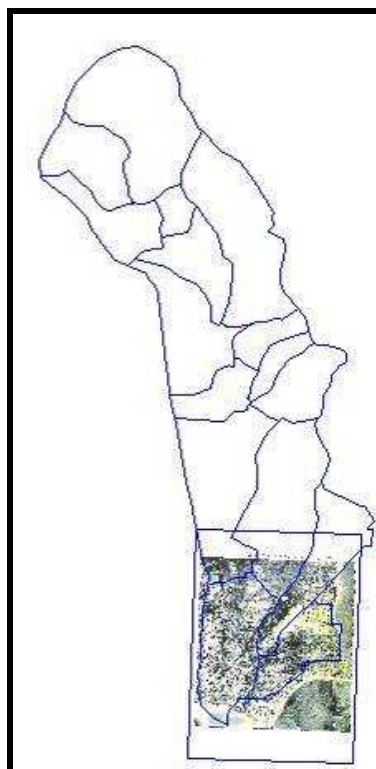


Figura 3.24 - Adequação da delimitação a imagem da década de 60



Figura 3.25 - Adequação da delimitação da bacia a imagem da década de 80





Figura 3.26 – Adequação da delimitação a imagem do ano de 2004

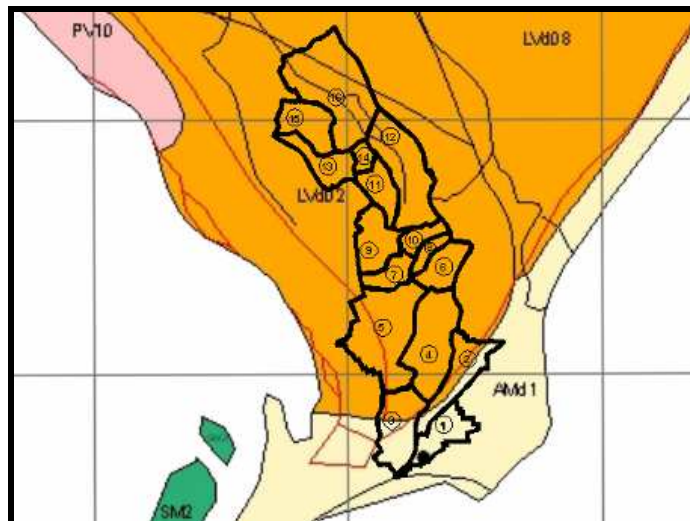


Figura 3.27 – Mapa dos solos na região de Maceió (EMBRAPA *apud* PEDROSA, 2008)

Na Figura 3.27 é possível identificar que dentro da região da bacia predominam dois tipos de solos, um mais a montante, que de acordo com as descrições presentes na Figura 3.27 se enquadra na classificação de um solo tipo C e um segundo localizado numa faixa costeira, que se enquadra na classificação de um solo do tipo B.

Antes do início do processo de estimativa foram feitas algumas considerações. Estas foram motivadas, em sua grande maioria, pela limitação das imagens das décadas de 60 e 80, que não conseguiram abranger toda a área da bacia. Outro problema que motivou a adoção das considerações abaixo colocadas foi a dificuldade de visualização do tipo de pavimento nas imagens das décadas de 60 e 80. Para tentar minimizar os efeitos destas limitações, foram consideradas as seguintes hipóteses:

- em locais onde era visualizada uma ocupação mais consolidada, foi definido que o tipo de pavimento usado na estimativa do parâmetro CN seria do tipo asfáltico e com drenagem de águas pluviais;
- já em regiões onde isto não ocorreu, o tipo de pavimento adotado foi o de terra;
- nas regiões onde não fosse constatada presença de residências, mas que já existissem arruamentos com a indicação de futura implantação das mesmas, foi adotado que lotes eram terrenos baldios em boas condições;
- já quando se verificou a presença de estradas isoladas, o pavimento adotado para as mesmas foi o de terra, sendo que o tipo de uso adotado para estas áreas foi o de zonas cultivadas sem conservação do solo;
- Nas áreas da bacia não englobadas pelas imagens das décadas de 60 e 80 foi adotado um CN igual a 74, correspondente a áreas não ocupadas pela urbanização.

Deve-se observar que a extrapolação da informação de CN igual a 74 para as áreas não cobertas pela imagem, apesar de ser uma simplificação da análise, retrata de forma razoavelmente coerente os padrões de uso e ocupação do solo na área em questão, uma vez que a ocupação da bacia ocorreu de jusante para montante e, nos dois primeiros períodos analisados, estas regiões, de fato, ainda não possuíam ocupação urbana. Desta forma, ainda que a incerteza exista, o valor adotado para o CN retrata um padrão rural de ocupação.

Baseado nas informações apresentadas, o parâmetro CN médio para cada uma das 16 sub-bacias foi estimado, considerando a ponderação por áreas em cada tipo de solo, de uso e ocupação. Esta estimativa utilizou a equação a seguir.

$$CN_{\text{médio}} = \frac{\sum_{i=1}^{\infty} CN_i \times P_i}{A_t}$$

onde,

$CN_{\text{médio}}$  – valor médio estimado do parâmetro CN para a sub-bacia;

$CN_i$  – valor estimado do parâmetro CN para uma determinada área da sub-bacia;

$P_i$  – porcentagem da área da sub-bacia onde se tem o valor estimado do parâmetro CN;

$A_t$  – área total da sub-bacia.

### 3.4 Simulações chuva - vazão

Com os valores do parâmetro CN estimados, as simulações foram iniciadas utilizando como ferramenta o modelo IPH-S1. A escolha deste modelo se deu por que o mesmo já está consagrado no meio científico, pela facilidade no seu manuseio e pela disponibilidade, gratuita e irrestrita..

#### 3.4.1 Modelo IPH-S1

Classificado como um modelo do tipo determinístico e conceitual, o IPH-S1 contém 4 módulos.

1. Escoamento em rios;
2. Propagação em reservatório;
3. Transformação precipitação-vazão; e
4. Entrada soma ou derivação de hidrogramas.

Dentro destes módulos, estão disponíveis diversas rotinas para representação de cada um dos processos hidrológicos que o modelo permite representar, dando ao usuário uma flexibilidade quanto à escolha do melhor método de representação para cada situação. Para este trabalho de simulação chuva-vazão na bacia do riacho Reginaldo, foram utilizadas as seguintes rotinas:

- Precipitação de projeto: fornecida pelo usuário, a partir da chuva calculada através da curva IDF de Otto Pfafstetter.
- Separação do escoamento: a precipitação efetiva foi determinada utilizando-se o método das relações funcionais do modelo SCS (TUCCI, 2004).
- Propagação do escoamento: foi utilizado o modelo de Muskingum-Cunge Linear (TUCCI, 2004), que considera as informações exibidas na Tabela 3.7:

Deve-se observar que os parâmetros hidráulicos referentes aos canais que não tiveram uma definição precisa foram adotados para não gerar armazenamentos ao longo do canal. Esta consideração está relacionada ao fato de que o objetivo maior do trabalho é analisar a geração de escoamento e os impactos da urbanização sobre esta geração. Um refinamento das informações dos canais permitirá detalhar os aspectos relativos à propagação nos canais.

Tabela 3.7 - Parâmetros de entrada do modelo para representar o escoamento em rios

| <b>Parâmetro</b>                        | <b>Descrição</b>  |
|---|---|
| Comprimento do trecho de propagação     | Define o comprimento do trecho que se está tentando representar. O valor tem que ser inserido na unidade de medida metro (m).<br><i>O valor para cada um dos trechos foi estimado a partir da Base Cartográfica do município de Maceió do ano de 2000. Deve-se observar que os trechos foram definidos pela delimitação em sub-bacias</i>   |
| Cota de fundo de montante e de jusante. | Representa a cota do fundo da calha do trecho escolhido a montante e a jusante (m).<br><i>Assim como no parâmetro anterior sua quantificação foi estimada através da Base Cartográfica.</i>   |
| Altura do canal                         | Representa a profundidade média do trecho selecionado. O valor é colocado com a unidade de medida metro (m).<br><i>Utilizou-se um valor médio constante para todos os trechos igual a 10 metros. O valor constante da altura do canal foi adotado para evitar armazenamentos durante o processo de escoamento, uma vez que não foi possível caracterizar com precisão os trechos da rede de drenagem pluvial e/ou os canais e condutos.</i> |
| Largura do canal                        | Representa a largura média do trecho selecionado. O valor é colocado com a unidade de medida metro (m)<br><i>Utilizou-se uma largura constante igual a 10 metros para todos os trechos. Assim como na definição da altura, a largura foi adotada como constante e igual a 10 para se evitar armazenamentos durante o processo de escoamento, pela mesma razão já citada.</i>  |
| Rugosidade dos sub-trechos              | Rugosidade de Manning.<br><i>O valor escolhido para rugosidade foi 0,035, pois apesar de parte da calha do rio ter sido revestida em concreto, esta geralmente está coberta por sedimento, além disso de não ter sido possível realizar a caracterização da calha principal de forma detalhada.</i>   |
| Vazão de referência                     | Foi determinado que o modelo determinasse esta variável automaticamente.  |
| Número de sub-trechos                   | Define o número de sub-trechos que serão adotados em cada um dos trechos selecionados. Este dado de entrada permite que o próprio modelo selecione o número de sub-trechos. Esta possibilidade foi adotada.   |
| Intervalo de tempo de cálculo           | Define o número de intervalos de tempo que serão utilizados durante o processo de estimativa. Assim como o dado de entrada anterior se permitiu que o modelo determinasse automaticamente esta variável.  |

### 3.4.2 Chuva de projeto

O início do trabalho de construção dos hietogramas de projeto tomou como base o trabalho realizado por Pfastertter (1982), que ajustou a equação abaixo para calcular precipitações máximas, a partir de informações de 98 postos em diferentes regiões do Brasil.

$$P = R \times [a \times t + b \times \log(1 + c \times t)]$$

onde,

$P$  é a precipitação máxima em mm;

$t$  é duração da precipitação em horas;

$a$ ,  $b$  e  $c$  são constantes para cada posto; e

$R$  é um fator de probabilidade, definido pela equação a seguir:

$$R = Tr^{\left(\alpha + \frac{\beta}{Tr^\gamma}\right)}$$

onde,

$Tr$  é o tempo de retorno em anos;

$\alpha$  e  $\beta$  são valores que dependem da duração da precipitação, estes são exibidos na Tabela 3.8 e Tabela 3.9 e  $\gamma$  é uma constante (adotada para todos os postos igual a 0,25).

Tabela 3.8 – Valores de  $\alpha$ .

| duração (min.) | $\alpha$ | duração (min.) | $\alpha$ |
|----------------|----------|----------------|----------|
| 15             | 0,122    | 135*           | 0,167    |
| 30             | 0,138    | 150*           | 0,168    |
| 45*            | 0,147    | 165*           | 0,169    |
| 60             | 0,156    | 180*           | 0,170    |
| 75*            | 0,159    | 195            | 0,171    |
| 90*            | 0,161    | 210            | 0,172    |
| 105*           | 0,164    | 225            | 0,173    |
| 120            | 0,166    | 240            | 0,174    |

\*valores encontrados através de interpolação linear.

Tabela 3.9 – Valores de  $\beta$ .

| duração (min.) | $\beta$ | duração (min.) | $\beta$ |
|----------------|---------|----------------|---------|
| 15             | 0,040   | 135            | 0,200   |
| 30             | 0,080   | 150            | 0,200   |
| 45*            | 0,120   | 165            | 0,200   |
| 60             | 0,200   | 180            | 0,200   |
| 75             | 0,200   | 195            | 0,200   |
| 90             | 0,200   | 210            | 0,200   |
| 105            | 0,200   | 225            | 0,200   |
| 120            | 0,200   | 240            | 0,200   |

\*valor encontrado através de interpolação linear.

A partir dos valores exibidos na Tabela 3.8 e na Tabela 3.9 e das Equações 3.2 e 3.3 foram geradas curvas p-d-f para o município de Maceió. Foram escolhidos os tempo de retorno de 2, 10 e 50 anos, pois os dois primeiros são usualmente utilizados para obras de drenagem urbana e o último é o recomendado para dimensionamento em obras de macrodrenagem (TUCCI, 2004).

Na distribuição temporal da chuva de projeto foi utilizado o método do *Bureau of Reclamation*. Este consiste na seguinte seqüência de ações para determinação da ordem dos incrementos de chuva (TUCCI, 2004).

- a) determinação das precipitações correspondentes a diferentes durações;
- b) determinação dos incrementos de chuva correspondente a cada incremento de duração;
- c) arranjar os incrementos de chuva da seguinte forma: 6, 4, 3, 1, 2, 5; essa numeração indicará a ordem de magnitude.



## 4 - RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 Evolução temporal do uso e da ocupação na bacia do riacho Reginaldo

De acordo com a metodologia proposta, a evolução da geração de escoamento nos cenários propostos foi analisada a partir da transformação chuva-vazão utilizando-se o modelo SCS. O principal parâmetro de entrada do modelo (parâmetro CN), que representa as condições de uso e ocupação do solo foi obtido para as 16 sub-bacias para os 4 cenários de análise e estão apresentados na Tabela 4.1, Figura 4.1 e na Figura 4.2, onde se apresentam, também, a variação temporal do parâmetro.

Tabela 4.1 – CN's encontrados para as imagens analisadas

| Sub-bacia | Década de 60 | Década de 80 | Aumento com relação à década de 60 | Ano de 2000 | Aumento com relação à década de 60 | Ano de 2004 | Aumento com relação à década de 60 |
|-----------|--------------|--------------|------------------------------------|-------------|------------------------------------|-------------|------------------------------------|
| 1         | 76,6         | 80,0         | 4,51%                              | 87,6        | 14,40%                             | 83,1        | 8,56%                              |
| Gulandim  | 63,4         | 83,4         | 31,55%                             | 87,6        | 38,12%                             | 82,4        | 29,89%                             |
| Sapo      | 73,6         | 81,9         | 11,28%                             | 91,0        | 23,64%                             | 85,7        | 16,44%                             |
| 3         | 75,1         | 86,9         | 15,72%                             | 89,4        | 19,11%                             | 88,7        | 18,19%                             |
| 4         | 79,2         | 84,3         | 6,51%                              | 89,0        | 12,43%                             | 87,1        | 10,04%                             |
| 5         | 74           | 75,8         | 2,43%                              | 85,5        | 15,58%                             | 80,4        | 8,65%                              |
| 6         | 74           | 80,4         | 8,65%                              | 89,1        | 20,35%                             | 84,1        | 13,65%                             |
| 7         | 74           | 80,3         | 8,51%                              | 89,4        | 20,74%                             | 84,0        | 13,51%                             |
| 8         | 74           | 78,5         | 6,08%                              | 86,2        | 16,54%                             | 85,0        | 14,86%                             |
| 9         | 74           | 81,0         | 9,46%                              | 86,4        | 16,74%                             | 87,5        | 18,18%                             |
| 10        | 74           | 74           | 0,00%                              | 84,3        | 13,91%                             | 86,1        | 16,28%                             |
| 11        | 74           | 74           | 0,00%                              | 83,8        | 13,23%                             | 82,8        | 11,89%                             |
| 12        | 74           | 74           | 0,00%                              | 85,2        | 15,19%                             | 82,0        | 10,81%                             |
| 13        | 74           | 74           | 0,00%                              | 82,3        | 11,23%                             | 82,0        | 10,81%                             |
| 14        | 74           | 74           | 0,00%                              | 80,4        | 8,65%                              | 79,2        | 7,03%                              |
| 15        | 74           | 74           | 0,00%                              | 83,7        | 13,04%                             | 81,2        | 9,73%                              |

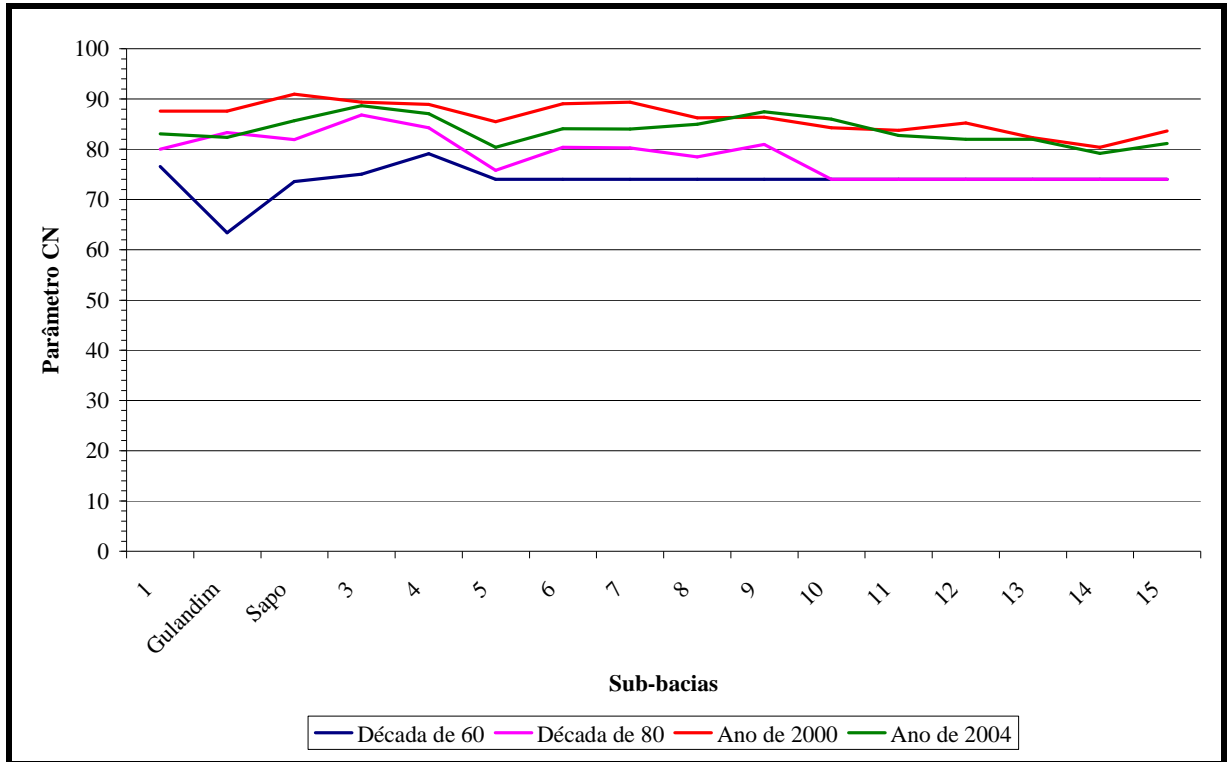


Figura 4.1 – Comparação dos CN's em cada sub-bacia.

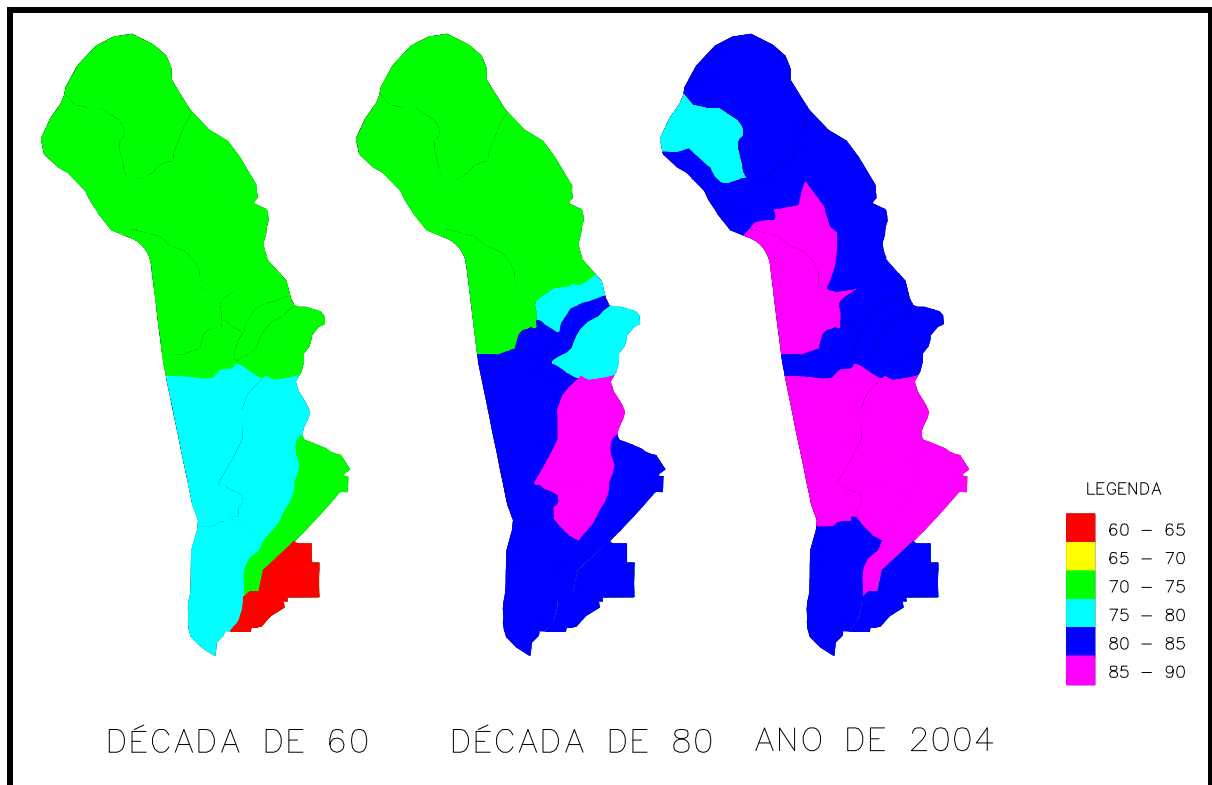


Figura 4.2 – Mapa temático da variação do parâmetro CN ao longo da bacia nos cenários analisados

A média de aumento do CN nas cinco sub-bacias que puderam ser analisadas entre as décadas de 60 e 80 foi de 13,91%. Existem dois fatos a serem destacados: o primeiro é o grande avanço no uso e ocupação verificado na sub-bacia do riacho do Gulandim, que atingiu mais de 31% de variação, e o segundo é o baixo aumento do CN nas sub-bacias 1 e 4 ficando pouco abaixo da metade da média global.

O motivo para a pequena variação observada na área 1 é a boa ocupação que havia na mesma já na década de 60. Já na sub-bacia 4, o processo de urbanização já havia sido iniciado entre a Avenida Fernandes Lima e a margem esquerda do rio principal da bacia, o mesmo ainda não tinha ocorrido na margem direita.

Já na análise dos CN's estimados com base na imagem da década de 80 e na base cartográfica do ano de 2000, foi verificado um aumento médio de pouco mais de 8%. Durante este período o que chama atenção é o aumento do CN nas sub-bacias mais a montante que em média obtiveram um aumento de mais de 10% enquanto que as mais a jusante só cresceram em média cerca de mais de 6%. Essa diferença de aumento de CN entre as regiões ocorreu porque a população que crescia na cidade ocupou os bairros mais a montante da bacia, muito provavelmente tendo como motivos a facilidade de deslocamento gerada pela Avenida Fernandes Lima e o alto grau de ocupação, vindo junto com a valorização, das áreas mais a jusante.

Já no período de análise entre os anos de 2000 e 2004 observa-se uma diminuição no valor do CN na maioria das sub-bacias. Tal comportamento tem explicação no método de determinação do CN. Como já foi informado anteriormente a análise deste parâmetro feita na bacia no ano de 2000 foi fundamentada na base cartográfica do município de Maceió deste ano. Como consequência pela escolha desta fonte algumas limitações foram encontradas no momento do cálculo do CN. Por exemplo, na definição do uso e ocupação de alguns lotes ocorreu dúvida por causa do fato que na base cartográfica não é possível observar se a ocupação precisa dos espaços. Desta forma, neste cenário, todo espaço onde havia arruamento foi considerado como ocupado, dentro dos padrões médios da região. Em função destas incertezas, os resultados deste cenário não foram levados em consideração na comparação dos resultados.

Um outro fato que chamou a atenção foi que nas sub-bacias mais a montante ocorreu uma variação menor no decréscimo do CN. Isto se deve a possibilidade maior destas áreas não estarem realmente ocupadas. Estas regiões têm uma ocupação menor quando comparadas às áreas mais a jusante da bacia. Da mesma forma, alguns detalhes de caracterização foram melhorados em relação a trabalhos anteriores como os de Sena et al. (2006) como, por

exemplo, uma melhor definição do tipo de solo, a partir da obtenção de informações mais precisas. Sena (2006) classificou o solo de toda bacia como sendo do tipo C (menos permeável) enquanto que, para este trabalho, na região mais a jusante da bacia o solo foi classificado como sendo do tipo B (mais permeável). Esta mudança ocasionou uma estimativa de valores de CN para mais nas regiões onde ocorreu a diferença.

Observando a evolução do uso e ocupação, levando em conta todas as imagens, é possível constatar que o maior avanço ocorreu entre as décadas de 60 e 80. O principal motivo para que este evento acontecesse foi o grande aumento das populações nas capitais brasileiras nesse período. Outra constatação foi a forte tendência de aumento de ocupação na região mais a montante da bacia, pois as áreas mais a jusante já estão mais densamente ocupadas.

#### 4.2 Densidade demográfica X Parâmetro CN

A partir dos resultados encontrados para o parâmetro CN para a imagem de 2004 e da informação da população de cada bairro da capital alagoana no ano de 2000 (IBGE, 2007) foi feita uma tentativa de relacionar a densidade demográfica e parâmetro CN, conforme apresentado na Figura 4.3. Este cenário foi escolhido por ter sido considerado que apresentou as melhores informações para obtenção do CN e, conseqüentemente, com as menores incertezas em seus resultados.

Inicialmente foram calculados o número de habitantes em cada uma das 16 sub-bacias, considerando a população de cada bairro e a área do bairro inserida na bacia. Com esta informação e com as áreas das sub-bacias se calculou a densidade demográfica. As duas informações citadas foram calculadas com base nas equações a seguir.

$$\text{Pop}_{\text{sub-bacia}} = \sum_{i=1}^{\infty} A_i \times P_i$$
$$D_{\text{sub-bacia}} = \frac{\text{Pop}_{\text{sub-bacia}}}{A_{\text{sub-bacia}}}$$

onde,

$\text{Pop}_{\text{sub-bacia}}$  – população da sub-bacia;

$A_i$  – porcentagem do bairro que está dentro da sub-bacia;

$P_i$  – população do bairro;

$A_{\text{sub-bacia}}$  – área da sub-bacia; e

$D_{\text{sub-bacia}}$  – densidade demográfica da sub-bacia.

A curva gerada com as informações obtidas das equações acima e com os valores de CN para as sub-bacias é exibida na Figura 4.3.

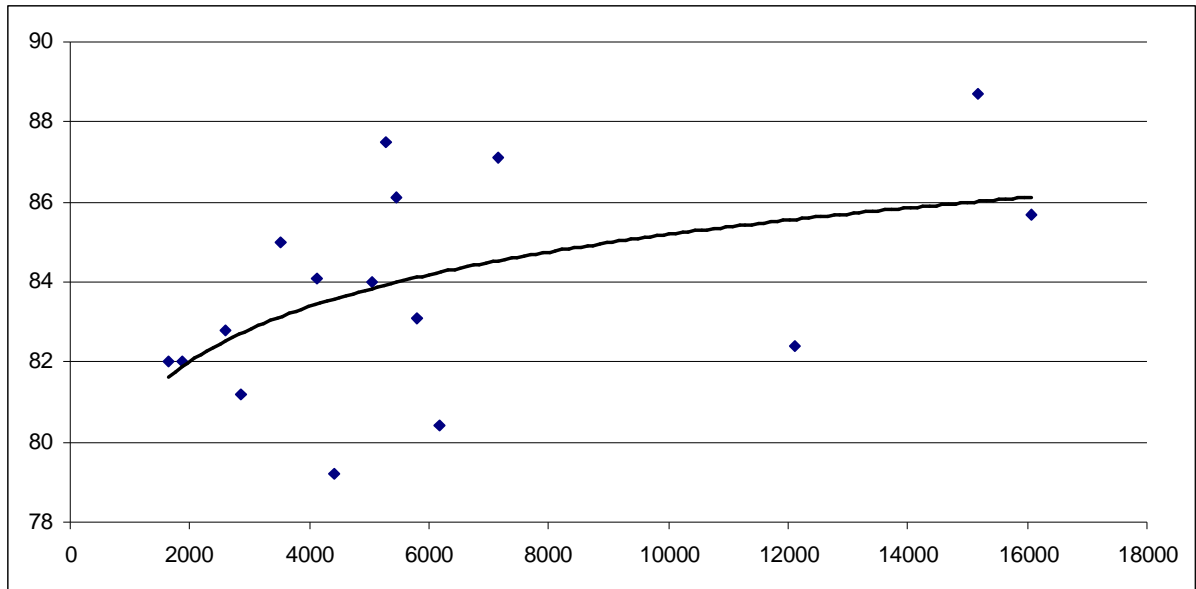


Figura 4.3 –Relação entre CN e densidade demográfica na bacia do Riacho Reginaldo

O resultado apresenta um valor de coeficiente de determinação  $R^2$  baixo, mas com uma tendência, sendo que das 16 sub-bacias, 4 apresentam pontos mais dispersos. Porém quando se retira os pontos ligados as sub-bacias Gulandim, 5, 9 e 14, o valor de  $R^2$  vai para 0,67, aumentando com isso a representatividade da curva com relação aos pontos. A nova curva, após a retirada dos pontos mencionados, é exibida na Figura 4.4.

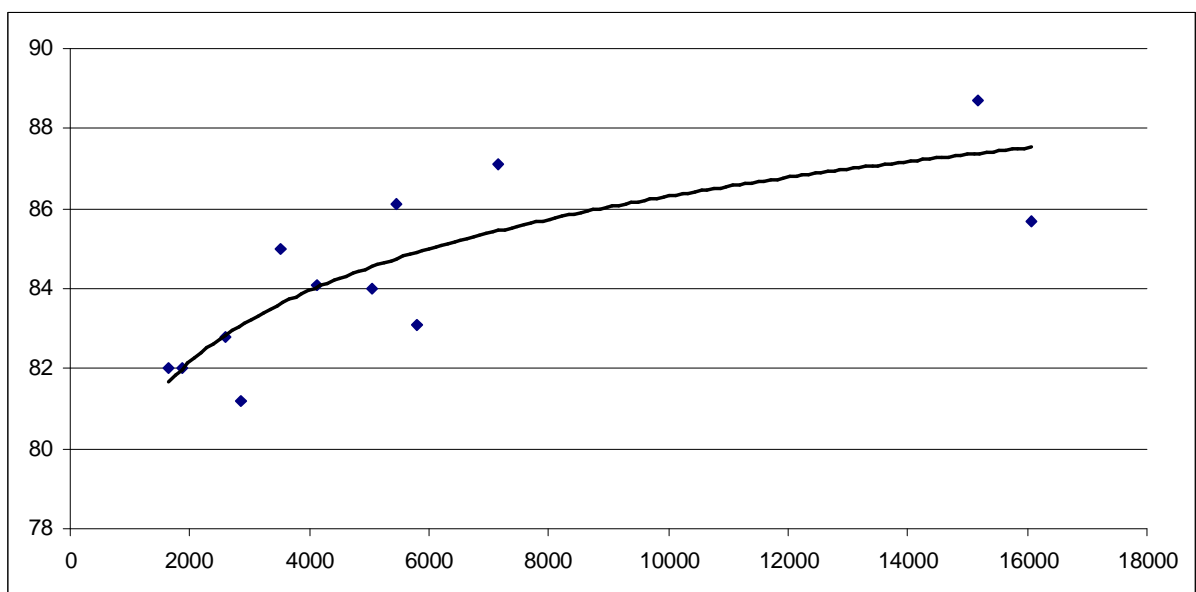


Figura 4.4 – Curva Densidade Demográfica x Parâmetro CN com  $R^2$  igual a 0,67

O baixo valor de  $R^2$  da curva exibida na Figura 4.3 pode ser justificado pela adoção de uma distribuição populacional homogênea ao longo de toda área dos bairros. Nos bairros mais a montante da bacia isso não se confirma, pois os mesmos, diferentemente dos bairros localizados mais próximos do litoral, não estão totalmente ocupados, ou seja, existem áreas dentro dos bairros onde a densidade demográfica é muito baixa comparada a outras onde se localizam os “bolsões” de ocupação. Esta consideração pode ter ocasionado uma estimativa de densidade demográfica das sub-bacias tendenciosa, causando a dispersão dos pontos visualizada na Figura 4.3.

Deve-se observar que a construção desta relação é apenas uma tentativa de estabelecer tal relação e que, para que se passe a utilizar uma curva na estimativa do parâmetro CN, dentro da bacia, é de extrema importância que os valores encontrados para a densidade demográfica em cada uma das sub-bacias seja revistos e atualizados, com base nos setores censitários. Além disso, é importante que a curva seja atualizada periodicamente, para que a informação contida nela seja o mais consistente possível.

### **4.3 Simulações chuva-vazão**

Baseado na metodologia descrita no item 0 determinou-se a chuva de projeto para três tempos de retorno: 2, 10 e 50 anos e com duração igual a 240 minutos. A Figura 4.5, Figura 4.6 e Figura 4.7 exibem as referidas chuvas de projeto.

Deve-se observar que as chuvas de projeto apresentam dois picos. Este resultado é decorrente da consideração de valor constante para as constantes  $\alpha$  e  $\beta$  da curva IDF de Pfafstetter a partir da duração 60 minutos.

Uma vez determinadas as chuvas de projeto e o parâmetro CN, foram realizadas simulações chuva-vazão no modelo hidrológico IPH-S1, para tentar quantificar as conseqüências, do ponto de vista hidrológico, decorrentes da ocupação da bacia hidrográfica ao longo das últimas 4 décadas.



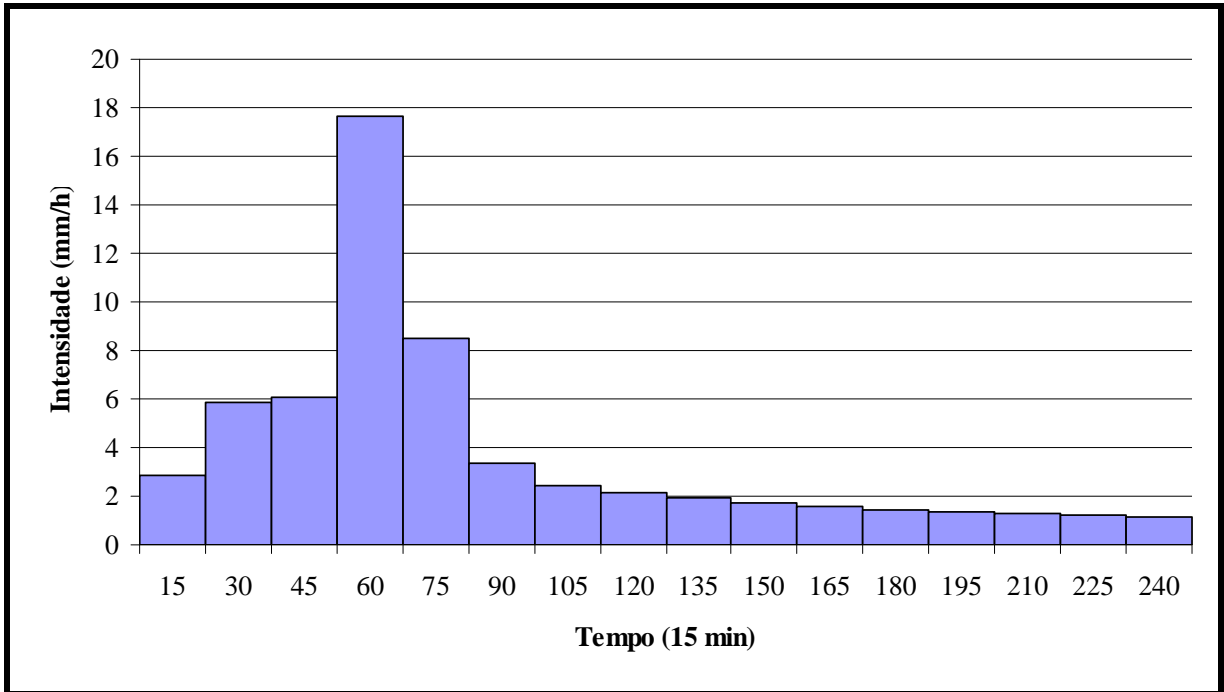


Figura 4.5 – Chuva de projeto para um tempo de retorno de 2 anos

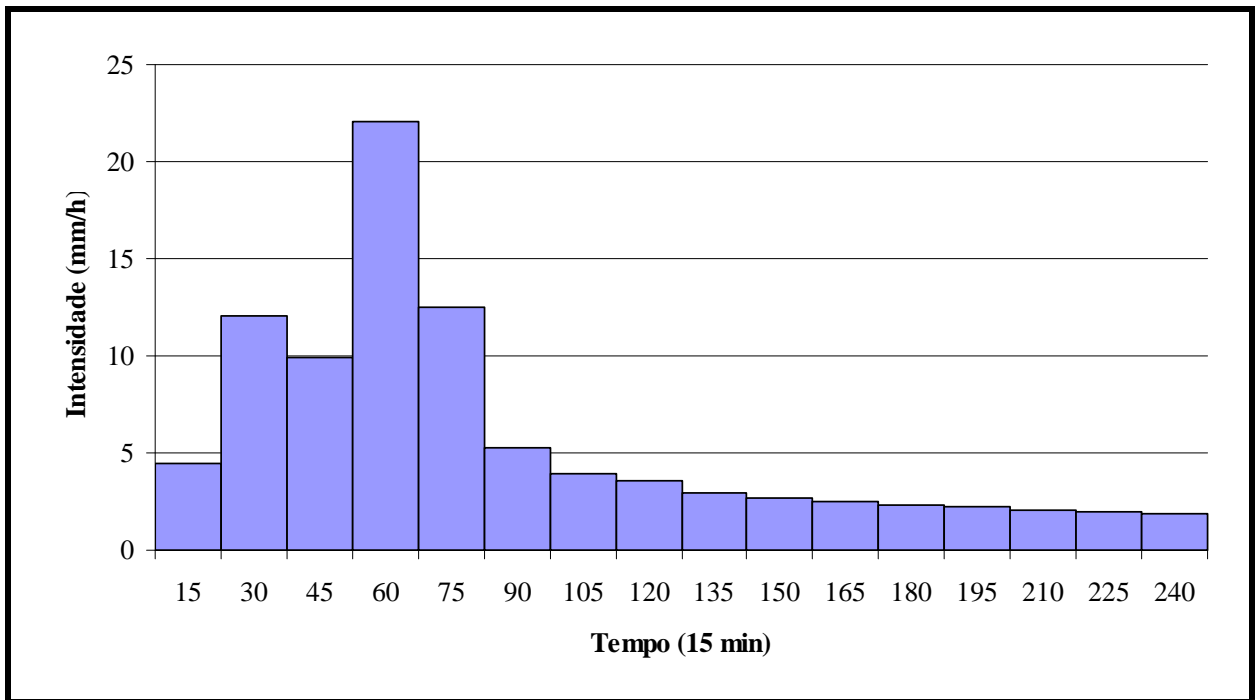


Figura 4.6 - Chuva de projeto para um tempo de retorno de 10 anos

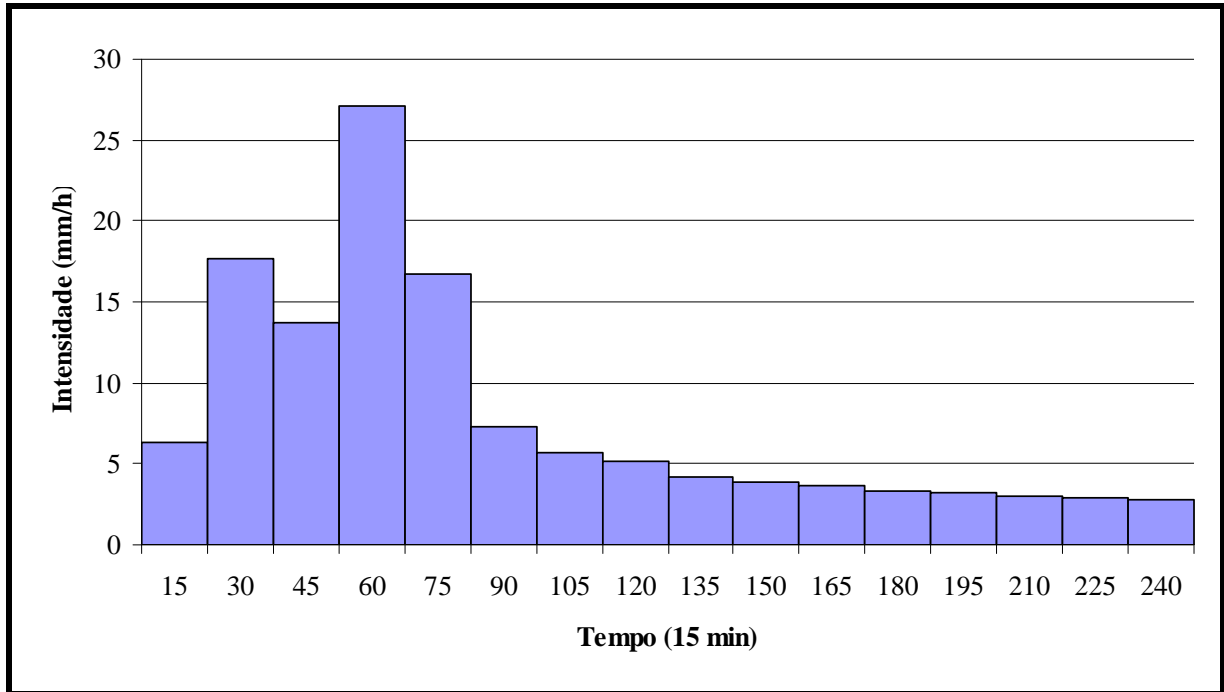


Figura 4.7 - Chuva de projeto para um tempo de retorno de 50 anos

Os resultados destas simulações são exibidos na Tabela 4.2, Tabela 4.3, e Tabela 4.4.

Tabela 4.2 – Resultados obtidos para o cenário da década de 60

| Sub-bacia | CN    | Tc <sup>†</sup> (min.) | Tr = 2 anos         |                           | Tr = 10 anos |                           | Tr = 50 anos |                           |
|-----------|-------|------------------------|---------------------|---------------------------|--------------|---------------------------|--------------|---------------------------|
|           |       |                        | Tp <sup>‡</sup> (h) | Qpico (m <sup>3</sup> /s) | Tp(h)        | Qpico (m <sup>3</sup> /s) | Tp(h)        | Qpico (m <sup>3</sup> /s) |
| 1         | 76,55 | 34,35                  | 1,50                | 7,22                      | 1,50         | 17,58                     | 1,50         | 29,57                     |
| Gulandim  | 63,40 | 74,27                  | 2,75                | 0,58                      | 2,25         | 2,15                      | 2,25         | 4,58                      |
| Sapo      | 73,60 | 56,12                  | 1,75                | 2,57                      | 1,75         | 6,99                      | 1,75         | 12,57                     |
| 3         | 75,05 | 55,66                  | 1,75                | 4,91                      | 1,75         | 12,67                     | 1,75         | 22,22                     |
| 4         | 79,15 | 86,29                  | 2,25                | 5,51                      | 2,00         | 12,53                     | 2,00         | 20,98                     |
| 5         | 74,00 | 34,16                  | 1,50                | 2,25                      | 1,50         | 6,03                      | 1,50         | 10,58                     |
| 6         | 74,00 | 33,49                  | 1,50                | 1,63                      | 1,50         | 4,34                      | 1,50         | 7,60                      |
| 7         | 74,00 | 19,61                  | 1,25                | 0,94                      | 1,25         | 2,64                      | 1,25         | 4,65                      |
| 8         | 74,00 | 19,71                  | 1,25                | 1,19                      | 1,25         | 3,33                      | 1,25         | 5,86                      |
| 9         | 74,00 | 26,04                  | 1,50                | 3,87                      | 1,25         | 9,95                      | 1,25         | 18,04                     |
| 10        | 74,00 | 82,40                  | 2,25                | 1,58                      | 2,00         | 4,10                      | 2,00         | 7,37                      |
| 11        | 74,00 | 61,74                  | 2,00                | 4,51                      | 1,75         | 11,95                     | 1,75         | 21,47                     |
| 12        | 74,00 | 8,32                   | 1,25                | 0,97                      | 1,25         | 2,38                      | 1,00         | 4,17                      |
| 13        | 74,00 | 38,24                  | 1,50                | 2,23                      | 1,50         | 6,06                      | 1,50         | 10,75                     |
| 14        | 74,00 | 30,58                  | 1,50                | 2,87                      | 1,50         | 7,57                      | 1,50         | 13,16                     |
| 15        | 74,00 | 52,74                  | 1,75                | 5,26                      | 1,75         | 14,01                     | 1,75         | 24,88                     |

<sup>†</sup> Tempo de concentração.

<sup>‡</sup> Tempo de pico do hidrograma.

Tabela 4.3 – Resultados obtidos para o cenário da década de 80

| Sub-bacia | CN    | Tc(min.) | Tr = 2 anos |              | Tr = 10 anos |              | Tr = 50 anos |              |
|-----------|-------|----------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|           |       |          | Tp(h)       | Qpico (m³/s) | Tp(h)        | Qpico (m³/s) | Tp(h)        | Qpico (m³/s) |
| 1         | 80,00 | 28,71    | 1,50        | 9,78         | 1,25         | 21,22        | 1,25         | 34,79        |
| Gulandim  | 83,34 | 47,88    | 1,50        | 4,18         | 1,50         | 8,67         | 1,50         | 13,67        |
| Sapo      | 81,90 | 53,77    | 1,75        | 5,25         | 1,75         | 11,00        | 1,75         | 17,48        |
| 3         | 86,85 | 45,48    | 1,50        | 13,37        | 1,50         | 25,16        | 1,50         | 37,82        |
| 4         | 84,30 | 61,91    | 1,75        | 9,71         | 1,75         | 19,43        | 1,75         | 30,25        |
| 5         | 75,80 | 18,33    | 1,25        | 3,11         | 1,25         | 7,92         | 1,25         | 13,37        |
| 6         | 80,40 | 21,41    | 1,25        | 3,15         | 1,25         | 6,91         | 1,25         | 10,97        |
| 7         | 80,30 | 10,16    | 1,25        | 1,99         | 1,00         | 4,10         | 1,00         | 6,60         |
| 8         | 78,50 | 11,03    | 1,25        | 2,25         | 1,25         | 4,85         | 1,00         | 7,70         |
| 9         | 81,00 | 18,34    | 1,25        | 8,17         | 1,25         | 17,09        | 1,25         | 26,61        |
| 10        | 74,00 | 82,40    | 2,25        | 1,58         | 2,00         | 4,10         | 2,00         | 7,37         |
| 11        | 74,00 | 61,74    | 2,00        | 4,51         | 1,75         | 11,95        | 1,75         | 21,47        |
| 12        | 74,00 | 8,32     | 1,25        | 0,97         | 1,25         | 2,38         | 1,00         | 4,17         |
| 13        | 74,00 | 38,24    | 1,50        | 2,23         | 1,50         | 6,06         | 1,50         | 10,75        |
| 14        | 74,00 | 30,58    | 1,50        | 2,87         | 1,50         | 7,57         | 1,50         | 13,16        |
| 15        | 74,00 | 52,74    | 1,75        | 5,26         | 1,75         | 14,01        | 1,75         | 24,88        |

Tabela 4.4– Resultados obtidos para o cenário no ano de 2004

| Sub-bacia | CN    | Tc(min.) | Tr = 2 anos |              | Tr = 10 anos |              | Tr = 50 anos |              |
|-----------|-------|----------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|           |       |          | Tp(h)       | Qpico (m³/s) | Tp(h)        | Qpico (m³/s) | Tp(h)        | Qpico (m³/s) |
| 1         | 83,10 | 29,97    | 1,50        | 12,21        | 1,25         | 24,69        | 1,25         | 38,80        |
| Gulandim  | 82,35 | 43,61    | 1,50        | 4,16         | 1,50         | 8,75         | 1,50         | 13,86        |
| Sapo      | 85,70 | 42,20    | 1,50        | 7,83         | 1,50         | 15,00        | 1,50         | 22,71        |
| 3         | 88,70 | 35,31    | 1,50        | 17,13        | 1,25         | 30,11        | 1,25         | 44,49        |
| 4         | 87,10 | 61,54    | 1,75        | 11,79        | 1,75         | 22,07        | 1,75         | 33,24        |
| 5         | 80,40 | 19,79    | 1,25        | 4,56         | 1,25         | 9,87         | 1,25         | 15,59        |
| 6         | 84,10 | 19,16    | 1,25        | 4,43         | 1,25         | 8,50         | 1,25         | 12,73        |
| 7         | 84,00 | 11,19    | 1,25        | 2,62         | 1,00         | 5,06         | 1,00         | 7,67         |
| 8         | 85,00 | 11,57    | 1,25        | 3,55         | 1,00         | 6,72         | 1,00         | 10,05        |
| 9         | 87,45 | 15,27    | 1,25        | 13,58        | 1,25         | 23,18        | 1,25         | 32,92        |
| 10        | 86,05 | 49,95    | 1,50        | 4,97         | 1,50         | 9,65         | 1,50         | 14,75        |
| 11        | 82,80 | 41,00    | 1,50        | 11,03        | 1,50         | 22,86        | 1,50         | 35,90        |
| 12        | 82,00 | 4,02     | 1,00        | 1,78         | 1,00         | 3,67         | 1,00         | 5,57         |
| 13        | 82,00 | 20,67    | 1,25        | 5,28         | 1,25         | 10,92        | 1,25         | 16,90        |
| 14        | 79,20 | 19,22    | 1,25        | 5,20         | 1,25         | 11,67        | 1,25         | 18,73        |
| 15        | 81,20 | 34,13    | 1,50        | 11,94        | 1,50         | 25,07        | 1,50         | 39,36        |

Entre as décadas de 60 e 80, para todos os tempos de retorno, é verificado um aumento médio da vazão de pico dos hidrogramas da ordem de 4,70 m<sup>3</sup>/s. Na sub-bacia 3 foi onde ocorreu o maior aumento, (8,46 m<sup>3</sup>/s para Tr = 2 anos, 12,49 m<sup>3</sup>/s para Tr = 10 anos e 15,60 m<sup>3</sup>/s para Tr = 50 anos).

Diante destes números algumas preocupações apareceram: a primeira foi relacionada com a pequena variação do tempo de pico do hidrograma, principalmente para o tempo de retorno de 2 anos (que são precipitações que tem possibilidade de ocorrer com mais frequência). Um exemplo preocupante da combinação aumento de vazão adicionada a diminuição ou manutenção do tempo de pico foi o da sub-bacia 3. Nesta o tempo de pico sofreu um redução de 15 minutos. Esta diminuição veio acompanhada de um aumento de vazão de 8,46 m<sup>3</sup>/s (Figura 4.8); a segunda preocupação foi relacionada com o aumento de vazão ocorrido na sub-bacia Gulandim. A vazão na década de 60 era 0,58 m<sup>3</sup>/s e de 4,18 m<sup>3</sup>/s na década de 80. Esse aumento foi verificado também para as outras chuvas de projeto. Só que nestes casos a intensidade foi menor.

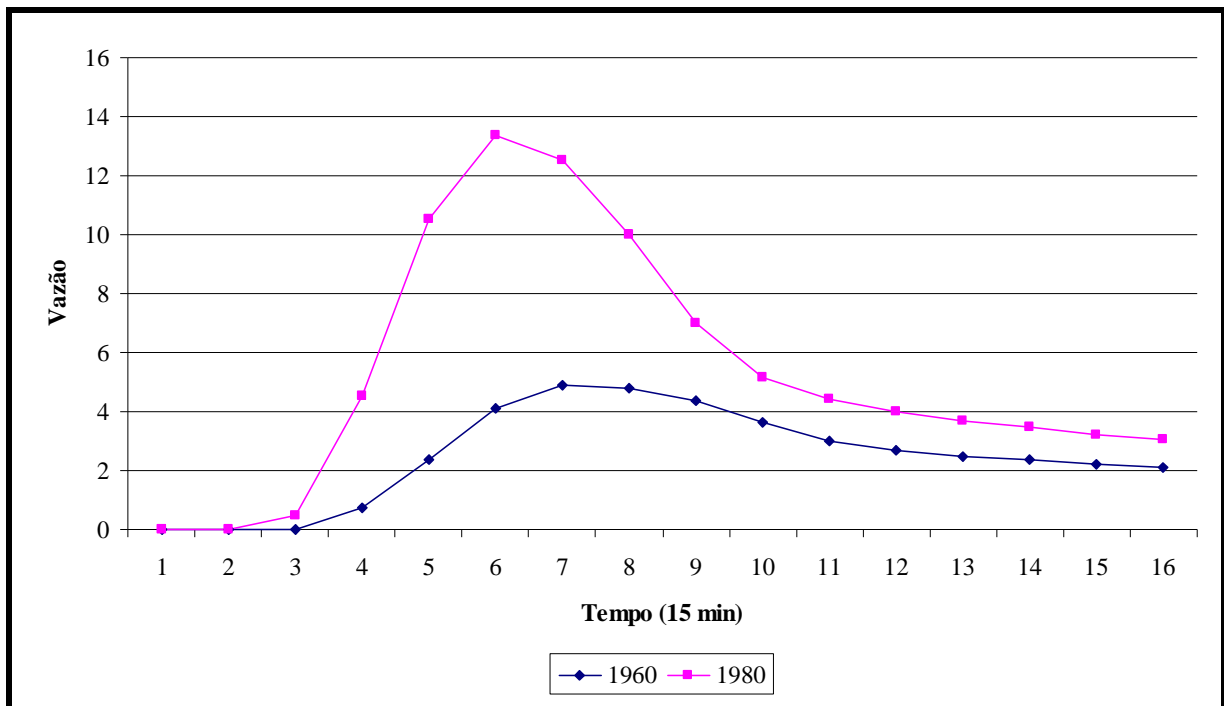


Figura 4.8 - Evolução do hidrograma da sub-bacia 3 entre as décadas de 60 e 80 para uma chuva com tempo de retorno de 2 anos

Nas duas sub-bacias citadas no parágrafo anterior as situações ocorridas podem ter tido motivação na intensa ocupação ocorrida nas mesmas entre as décadas de 60 e 80. O parâmetro CN na sub-bacia 3 que era de 75,05 na década de 60 foi para 86,85 na década de 80. Já na sub-bacia Gulandim este aumento foi ainda maior, o CN que era de 63,40 na década

de 60 foi para 83,34 na década de 80. Esta ocupação tem como principais características a pavimentação de praticamente a totalidade das ruas e a execução de residências com praticamente 100% de ocupação do lote.

Entre as imagens da década de 80 e o ano de 2004, foi verificado um aumento médio da vazão de pico de 3,98 m<sup>3</sup>/s. Neste período, como no anterior, o aumento da vazão de pico de uma sub-bacia chamou mais a atenção, a de número 10 (3,39 m<sup>3</sup>/s para Tr = 2 anos, 5,55 m<sup>3</sup>/s para Tr = 10 anos e 7,38 m<sup>3</sup>/s para Tr = 50 anos). Apesar de ter sido o menor, o aumento que mais chamou atenção foi o ocorrido para o tempo de retorno de 2 anos. Para este tipo de precipitação foi registrado um aumento de mais de 215% na vazão de pico do hidrograma. Aliado a este aumento de vazão ocorreu uma redução brusca do tempo de pico. Este que era de 2,25 horas na década de 80, passou para 1,50 h no ano de 2004.

Esta variação foi causada pela ocupação da região em estudo entre a década de 80 e o ano de 2004. A comprovação desta ocupação é verificada quando se observa os números do CN na região. Na sub-bacia em questão o CN que era de 74,00 na década de 80 foi para 86,05 no ano de 2004. Esta tendência é verificada quando se observa os números das outras sub-bacias (11, 12, 13, 14 e 15) pertencentes à mesma região (Tabela 4.5).

Tabela 4.5 - Comparação do tempo e da vazão das sub-bacias 10, 11, 12, 13, 14 e 15 para o tempo de retorno de 2 anos

| Sub-bacia | 1980  |       |                           | 2004  |       |                           |
|-----------|-------|-------|---------------------------|-------|-------|---------------------------|
|           | CN    | Tp(h) | Qpico (m <sup>3</sup> /s) | CN    | Tp(h) | Qpico (m <sup>3</sup> /s) |
| 10        | 74,00 | 2,25  | 1,58                      | 86,05 | 1,50  | 4,97                      |
| 11        | 74,00 | 2,00  | 4,51                      | 82,80 | 1,50  | 11,03                     |
| 12        | 74,00 | 1,25  | 0,97                      | 82,00 | 1,00  | 1,78                      |
| 13        | 74,00 | 1,50  | 2,23                      | 82,00 | 1,25  | 5,28                      |
| 14        | 74,00 | 1,50  | 2,87                      | 79,20 | 1,25  | 5,20                      |
| 15        | 74,00 | 1,75  | 5,26                      | 81,20 | 1,50  | 11,94                     |

Quando os hidrogramas são analisados para a totalidade da bacia, em sua foz, observa-se que de forma geral as vazões de pico passaram por grande mudança ao longo dos anos, em outras palavras, houve um aumento das mesmas da ordem de 42 m<sup>3</sup>/s para uma chuva com Tr igual a 2 anos, de 64 m<sup>3</sup>/s para chuvas com Tr igual a 10 anos e de 74 m<sup>3</sup>/s para uma chuva com Tr igual a 50 anos). Este aumento está ligado ao crescimento do parâmetro CN na bacia. Deve-se observar, também, que ocorre uma importante redução nos tempos de pico com o aumento da ocupação. A Figura 4.9, a Figura 4.10 e a Figura 4.11 mostram esta mudança.

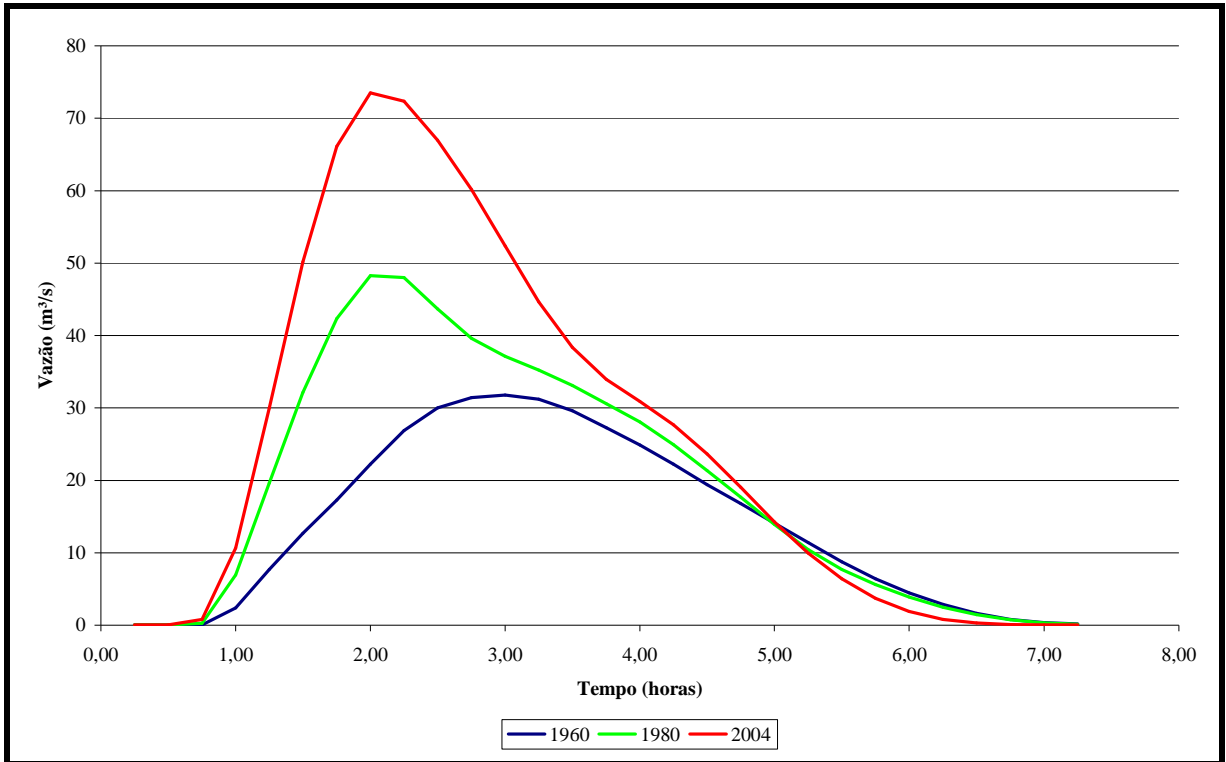


Figura 4.9 - Comparação do hidrograma na foz na década de 60 e 80 e no ano de 2004 para uma chuva com tempo de retorno de 2 anos

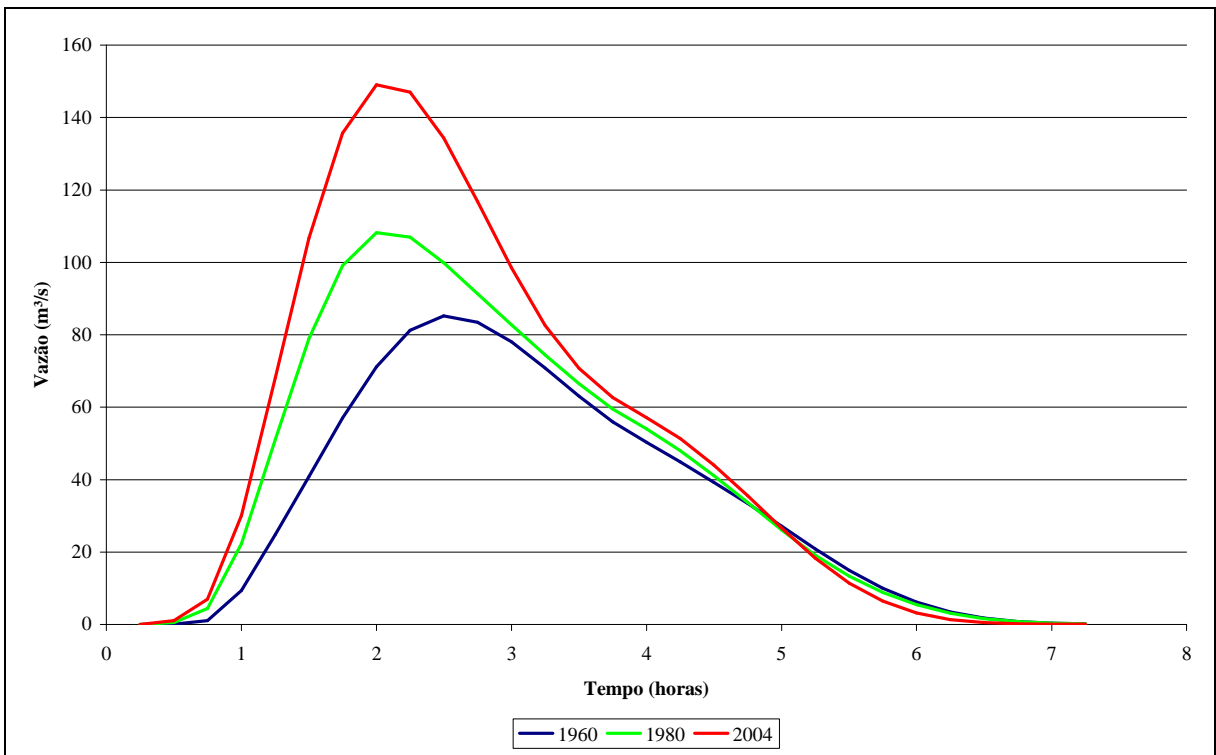


Figura 4.10 – Comparação do hidrograma na foz na década de 60 e 80 e no ano de 2004 para uma chuva com tempo de retorno de 10 anos

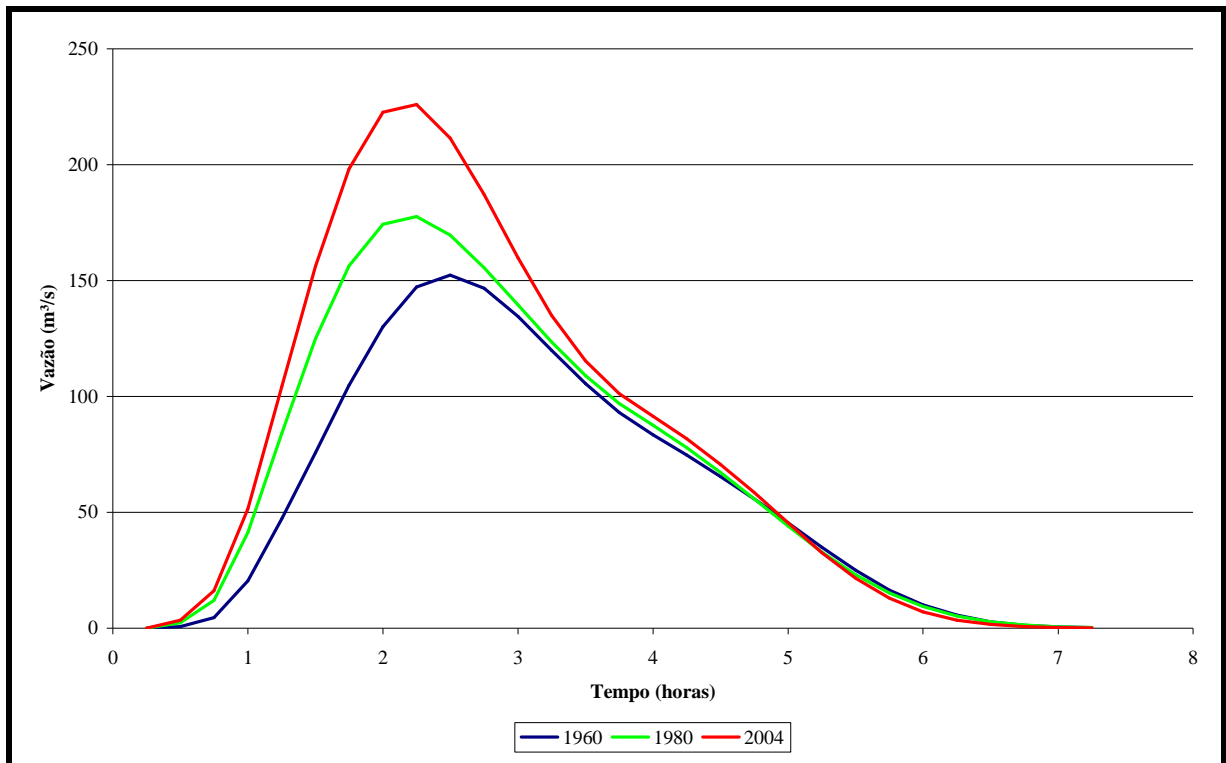


Figura 4.11 – Comparação do hidrograma na foz na década de 60 e 80 e no ano de 2004 para uma chuva com tempo de retorno de 50 anos

Outro ponto importante a ser levantado é o do tempo de pico do hidrograma, principalmente para as chuvas com tempo de retorno de 2 anos, nestes, quando se analisa os hidrogramas na foz do rio principal da bacia é verificado que ocorre uma diminuição de 60 minutos em conjunto com um aumento de mais de 100% na vazão de pico. Esta informação nos mostra a perda de capacidade de retenção de água que a bacia sofreu, ou seja, esta deixou de absorver em sua área todo este volume de água.

Deve-se destacar que Pedrosa (2008) realizou um trabalho semelhante com simulações chuva-vazão considerando o cenário 2004 como base e analisando alterações previstas no Plano Diretor de Maceió. Para o cenário 2004, mesmo com metodologias diferentes para determinação de alguns parâmetros, o autor encontrou resultados de mesma ordem de grandeza aos obtidos neste trabalho.



## 5 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A cidade de Maceió/AL passou, nos últimos anos, por um intenso processo de urbanização, cujas conseqüências no sistema de drenagem pluvial são semelhantes às de outras cidades brasileiras, como alagamentos mais freqüentes, poluição do esgoto pluvial por águas residuárias, entre outras. Estes acontecimentos geraram danos e muitos prejuízos. Como causa deste problema pode-se citar: a) o processo de urbanização descontrolado; b) a falta de acompanhamento da infra-estrutura de saneamento ao processo de urbanização ocorrido; c) a não sensibilização da população com o problema ligado a drenagem urbana da cidade; d) a falta de estudos na área, que possibilitassem um melhor entendimento da mesma.

Neste contexto está a bacia hidrográfica do riacho do Reginaldo, com 27 km<sup>2</sup> e inteiramente inserida na cidade de Maceió. Ela inicia-se na parte alta de tabuleiros da cidade, nos bairros Santa Lúcia e Antares, e tem seu exutório na praia da Avenida, próximo ao Porto, numa área plana onde o riacho recebe o nome de Salgadinho. Composta de 17 bairros, alguns deles de grande importância e de atividades diversas, pode ser considerada como representativa da cidade, no que diz respeito aos problemas ambientais.

Destaca-se na bacia hidrográfica do Reginaldo o vale do Reginaldo, localizado entre o trecho médio e a foz, onde ocorre grande ocupação da população nas encostas. A bacia passou, ao longo das últimas décadas, por muitas transformações que afetaram o escoamento superficial. Grande parte de sua vegetação nativa foi retirada para a implantação de empreendimentos e estes, na maioria das vezes não levaram em consideração os impactos causados ao escoamento superficial. Além disso, esta substituição trouxe outro problema: a aparição dentro da área da bacia de pontos de erosão. Os sedimentos são carreados para os corpos d'água, provocando assoreamento e exigindo trabalhos permanentes de dragagem na parte mais plana próxima à foz.

A maior parte da área ocupada na bacia não possui saneamento básico. Esta condição, aliada à falta de conhecimento e sensibilidade dos moradores, faz com que os mais variados tipos de resíduos (líquidos e sólidos) sejam despejados nos corpos d'água sem nenhum tipo de tratamento, provocando obstruções no sistema de drenagem, causando alagamentos.

Diante do exposto, esta dissertação teve como objetivo geral identificar e caracterizar a evolução temporal da urbanização da bacia do riacho Reginaldo e seus impactos sobre a geração de escoamento superficial: (a) fazendo um levantamento do processo histórico de urbanização da bacia, destacando os aspectos que podem interferir nos processos

hidrológicos; (b) identificando e caracterizando os elementos da bacia que interferem na geração de escoamento superficial (caracterização física e de uso e ocupação do solo); e (c) avaliando as alterações no escoamento superficial da bacia considerando quatro cenários diferentes: décadas de 60, década de 80, ano de 2000 e ano de 2004.

Para que os objetivos fossem obtidos, realizaram-se: caracterização física da bacia, obtenção de dados na Prefeitura Municipal de Maceió como o cadastro de redes, delimitação mais apropriada da bacia e divisão em sub-bacias, observação da situação atual de ocupação em visitas técnicas, participação em reuniões e encontros promovidos por órgãos públicos, obtenção do parâmetro CN do modelo SCS para cada uma das sub-bacias, estimando seu valor para quatro cenários temporais diferentes e simulação dos cenários utilizando o modelo hidrológico IPH-S1.

As análises foram feitas a partir da geração de hidrogramas, a partir de chuvas de projeto, para os seguintes quatro cenários (década de 60, década de 80, ano 2000 e ano 2004), que serviram como base para análise de como o processo de ocupação na área da bacia interferiu no escoamento superficial ao longo dos anos. A estimativa do parâmetro CN se baseou em fotos aéreas, mapas com a malha urbana e imagens de satélite.

Durante a caracterização da bacia, observou-se que boa parte das residências na área da bacia ocupa quase 100% dos lotes, aumentando a área impermeabilizada, com isso diminuindo a parcela de infiltração e aumentando o escoamento superficial. Esta característica foi verificada principalmente em bairros na região mais a jusante da bacia.

Algumas dificuldades foram importantes na condução do trabalho. Merecem destaque: (a) cadastro de rede incompleto e deficiente; (b) imagens aéreas da bacia incompletas e de baixa qualidade. Destaca-se que existem imagens de boa qualidade, mas estas não foram disponibilizadas. É recomendável que se continue à busca por estas e no momento em que as mesmas forem obtidas, se refaça o processo de estimativa do parâmetro CN. Os fatores citados anteriormente trouxeram dificuldades na etapa de delimitação, esta foi iniciada levando em consideração somente características físicas da região e o tipo de uso e ocupação da mesma. A delimitação utilizada foi resultado de um refinamento obtido através de um cadastro técnico da região mais costeira da bacia, esta possibilitou que fosse realizada uma nova delimitação seguindo os arruamentos. A falta de cadastro técnico atualizado e completo é uma realidade encontrada em toda a cidade de Maceió. Atualmente só foi realizado em uma pequena área litorânea da cidade. É necessário que futuramente quando o mesmo já tiver contemplado áreas maiores, sejam refeitas algumas análises como, por exemplo, a delimitação da bacia e a simulação chuva-vazão.

A mudança causada no uso e ocupação da área da bacia e as conseqüências no escoamento foram estudadas de duas formas: a primeira com a estimativa do parâmetro CN do modelo SCS e a segunda através de simulações feitas no modelo hidrológicos IPH-S1. O estudo dos valores de CN mostrou que este variou cerca de 30% em algumas áreas da bacia ao longo dos últimos anos. De forma geral a maior variação média do parâmetro ocorreu entre as décadas de 60 e 80 (cerca de 14%). As simulações mostraram que os maiores aumentos de vazão ocorrem em chuvas com tempo de retorno de 2 anos, ou seja, chuvas mais freqüentes passam a causar mais problemas. Nesta situação o aumento registrado do hidrograma chegou a ser de 617%.

Buscou-se, também, estabelecer uma relação preliminar entre o CN e a Densidade Populacional. Observou-se que os resultados indicam uma boa correlação, mas é necessário que sejam realizados estudos mais detalhados a respeito da população que realmente está dentro da bacia e sua distribuição com relação às áreas das sub-bacias.

É necessária a preservação das áreas ainda não ocupadas, principalmente nos vales, pois o processo de substituição da vegetação na bacia está avançado e causa vários problemas ligados a processos erosivos e conseqüente assoreamento dos canais. Em trabalhos futuros é recomendável novas simulações mais refinadas com o intuito de observar o comportamento dos canais das áreas mais planas com relação ao “efeito de remanso”.

É importante que inicie um processo de saneamento de toda área da bacia, pois atualmente boa parte da mesma não é contemplada com serviços de coleta e tratamento de esgoto, isto causa doenças de veiculação hídricas a população que tem contato com as águas poluídas.

Reforçando Predrosa (2008), dados de monitoramento chuva-vazão são importantes para permitir uma melhor caracterização dos processos hidrológicos urbanos. Eventos críticos observados na bacia devem ser utilizados como base para simulações mais específicas, buscando identificar pontos críticos na bacia e indicadores de vulnerabilidade.

Este trabalho foi desenvolvido no âmbito do projeto “Casadinho/CNPq” através do edital MCT/CNPq/CT-Hidro 14/2005, cujo título é: “Definição de critérios para elaboração de plano de gestão ambiental integrada de bacias urbanas: Estudo de caso - Bacia do riacho Reginaldo”, envolvendo as seguintes Instituições Federais de Ensino Superior – IFES: UFAL/UFMG/EESC-USP. Neste contexto, as respostas obtidas podem ser utilizadas como parâmetros para o estabelecimento de padrões de ocupação menos impactantes do ponto de vista do escoamento superficial.

## 6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

**AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA)**. Disponível em <<http://www.ana.gov.br>>  
Acesso em: 20 out. 2007.

AGRA, Sidnei Gusmão. **Estudo experimental de microreservatórios para controle do escoamento superficial**. Porto Alegre. 2001. 122f. Dissertação (Mestre em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

ALBUQUERQUE, Ramón Lúcio Barros de. **Avaliação dos aspectos ambientais da bacia do riacho do Reginaldo com vistas a sua classificação trófica**. Maceió. 2007. 46f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2007.

ARAÚJO, Abraão Gomes de. **Um estudo do Vale do Reginaldo: Poluição e Saneamento**. Maceió. 2005. 200f. Dissertação (Mestre em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2005.

BEDAN, Erik S.; CLAUSEN John C. Stormwater runoff quality and quantity from traditional and low impact development watersheds. **Journal of the American Water Resources Association**, v.45, n.4, p.998-1008, Aug. 2009.

BOLLMAN, Harry Alberto. **Relação da densidade populacional sobre variáveis de qualidade físico-química das águas superficiais em microbacias hidrográficas urbanas sem cobertura sanitária em Porto Alegre-RS**. Porto Alegre. 2003. 159f. Tese (Doutorado em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

BRITO, Fausto; HORTA, Cláudia J. G.; AMARAL, Ernesto F. L. Urbanização recente no Brasil e as aglomerações metropolitanas. In: GENERAL POPULATION CONFERENCE, 24, 2001. **Proceedings**. Salvador. 2001.

BURIAN, Steven J.; EDWARDS Finlay G. Historical perspectives of urban drainage. In: International Conference on Urban Drainage, 9, 2002. **Proceedings**. Oregon, 2002.

CAMPANA, Nestor A.; TUCCI, Carlos E. M. Previsão da vazão em macrobacias urbanas: arroio dilúvio em Porto Alegre. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 4, n. 1, p. 19-33, Porto Alegre, mar. 1999.

**CIVES – Centro de Informação em Saúde para Viajantes**. Disponível em:  
<<http://www.cives.ufrrj.br/informacao/leptospirose/lep-iv.html>> Acesso em 20 jan. 2009.

COMITÊ DA BACIA DO RIO PRATAGY. **Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Pratygy**. Maceió, 2006.

COOMBES, Peter J. et al. An evaluation of the benefits of source control measures at the regional scale. **Urban Water Journal**,[S.l.], p.307-320, Dec. 2002.

**DEFESA CIVIL DO ESTADO DE SANTA CATARINA** . Disponível em <<http://www.desastre.sc.gov.br/>> Acesso em 13 jun. 2009.

DIGITAL GLOBE. **Imagem de satélite Quickbird**. 2007. (Documento disponibilizado pela Prefeitura de Maceió em arquivo digital GEOTIFF comprimido para o formato JPEG).

FERREIRA NETO, José Vicente. **Relatório ambiental simplificado da PCH Gustavo Paiva**. Maceió: CEMAPPU, 2004.

FONTES, Andréa Regina Martins; BARBASSA, Ademir Paceli. Diagnóstico e prognóstico da ocupação e da impermeabilização urbanas. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 8, n. 2, p.137-147, jun. 2003.

GALSTER, Joshua C.; PAZZAGLIA, Frank J.; GERMANOSKI, Dru. Measuring the impact of urbanization on channel widths using historic aerial photographs and modern surveys. **Journal of the American Water Resources Association**,[S.l.], v. 44, n. 2, p. 948-960, Aug. 2008.

GEIGER, W. F. **Sustainable urban drainage concept for Beijing** : global solutions for urban drainage. 2002.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Séries Estatísticas & Séries Históricas**. Disponível em: <<http://seriesestatisticas.ibge.gov.br/Default.aspx?op=0>>. Acesso em 12 set. 2009.

PIB do Brasil em dólares subiu a US\$ 1,3 trilhão em 2007, segundo estimativa do BC. **Jornal O Globo**, Rio de Janeiro, 2008. Disponível em: <[http://oglobo.globo.com/economia/mat/2008/02/21/pib\\_do\\_brasil\\_em\\_dolares\\_subiu\\_us\\_1\\_3\\_trilhao\\_em\\_2007\\_segundo\\_estimativa\\_do\\_bc-425756864.asp](http://oglobo.globo.com/economia/mat/2008/02/21/pib_do_brasil_em_dolares_subiu_us_1_3_trilhao_em_2007_segundo_estimativa_do_bc-425756864.asp)> Acesso: 14 dez. 2008.

Prefeitura de Maceió. **Fotografia aérea**.1984. (Documento disponibilizado pela Prefeitura de Maceió em papel e posteriormente digitalizada para arquivo em formato JPEG).

MAPLAN. **Base cartográfica da cidade de Maceió**. (Documento disponibilizado pela Prefeitura Municipal de Maceió em arquivo digital no formato DWG). 2006.

MILOGRANA, Jussana et al. Instrumentos para gestão das inundações urbanas. In: ENCONTRO NACIONAL DE ÁGUAS URBANAS, 6. **Anais...** Belo Horizonte, 2005.

NEVES, Marllus Gustavo Ferreira Passos das. **Caracterização de uma bacia hidrográfica urbana como suporte para gerenciamento integrado** : relatório científico. Maceió : Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de Alagoas, 2008.

OLIVEIRA, Francisco, DEFEE Buren B. Urbanization and its effect on runoff in the whiteoak bayou Watershed. **Journal of the American Water Resources Association**, [S.l.], p. 170-182, Feb. 2007.

OSTROWSKY, Maria de Sampaio Bonafé; ZMITROWICZ, Witold. Urbanização e controle de enchentes: O caso de São Paulo: Seus conflitos e inter-relações. **Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP (BT/PCC/50)**. São Paulo, 1991.

PALEN, J. John. **O Mundo Urbano**. Rio de Janeiro: Forense, 1975. 530p.

PEDROSA, Hugo Fagner dos Santos. **Avaliação do impacto da aplicação das diretrizes do Plano Diretor de Maceió sobre o escoamento superficial. Estudo de caso: Bacia do Riacho Reginaldo**. Maceió, 2008, 86p. Dissertação (Mestre em Recursos Hídricos e Saneamento) – Universidade Federal de Alagoas. Maceió, 2008.

PEPLAU, Guilherme Rocha. **Influência da variação da urbanização nas vazões de drenagem na bacia do Rio Jacarecica em Maceió-AL**. Recife, 2005, 163p. Dissertação (Mestre em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 2005.

PETROBRAS. **Fotografia aérea**. (Documento disponibilizado pela PETROBRAS em papel e posteriormente digitalizada para arquivo em formato JPEG). 1964.

PFSTETTER, Otto. **Chuvvas Intensas no Brasil: relação entre precipitação, duração e frequência de chuvas registradas com pluviógrafos em 98 postos meteorológicos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Departamento Nacional de Obras de Saneamento, 1982. 426p.

PIMENTEL, I. M. C.; CALLADO, N. H.; PEDROSA, V. A. Drenagem urbana e balneabilidade das praias de Maceió/AL. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 16, **Anais...** João Pessoa, 2005.

POMPÊO, César Augusto. Drenagem Urbana Sustentável. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 5, n. 1, p. 15-23, Porto Alegre, mar. 2000.

SANTOS, Milton. **A urbanização brasileira**. 2. ed. São Paulo, 2004.

SECRETARIA DE ESTADO DO PLANEJAMENTO E DO ORÇAMENTO. PIB municipal aponta riqueza produzida no Estado. Maceió, 2004 Disponível em: <  
<http://www.planejamento.al.gov.br/sala-de-imprensa/noticias-1/2006/dezembro-2006/pib-municipal-aponta-riqueza-produzida-no-estado/> > Acesso em: 10 fev. 2009.

SENA, Maria Cecília R. et al. Metodologia de obtenção do parâmetro CN do modelo SCS: Estudo de caso: bacia do riacho do Reginaldo, Maceió-AL. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE,8, 2006. Gravatá. **Anais...** Gravatá, 2006.

SILVEIRA, André Luis Lopes da. Desempenho de fórmulas de Tempo de Concentração em bacias urbanas e rurais. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 10, n. 1, p. 5-23, Porto Alegre, mar. 2005.

SILVEIRA, André Luis Lopes da. Provável efeito urbano nas relações IDF das chuvas de Porto Alegre. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 2, n. 2, p. 93-107, Porto Alegre, dez. 1997.

SOUZA, Christopher Freire. **Mecanismos Técnico-Institucionais para a sustentabilidade da drenagem urbana**. Porto Alegre, 2005, 193p. Dissertação (Mestre em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

TASSI, Rutinéia. **Efeito dos microreservatórios de lote sobre a macrodrenagem urbana**. Porto Alegre, 2002, 156p. Dissertação (Mestre em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

TUCCI, Carlos E. M. Gerenciamento de drenagem urbana. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 7, n. 1, p. 5-27, Porto Alegre, mar. 2002.

\_\_\_\_\_; CLARKE, Robin T. Impacto das mudanças da cobertura vegetal no escoamento: revisão. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 2, n. 1, p. 135-152, Porto Alegre, jun. 1997.

\_\_\_\_\_; VILLANUEVA, Adolfo O. N. Flood control measures in União da Vitória and Porto União: structural vs. non-structural measures. **Urban Water Journal** [S.l.], p. 307-320, dez. 2000.

\_\_\_\_\_; Carlos E. M.; GENZ, F. Controle do impacto da urbanização. In: \_\_\_\_\_.; PORTO, R. L.; BARROS, M. T. **Drenagem urbana**, Porto Alegre: Editora da UFRS, 1995.

\_\_\_\_\_. et al. (Coord.). **Manual de fundamentos do IPH-S1**. Porto Alegre, 2004.

\_\_\_\_\_. et al. (Orgs). **Hidrologia**. 3. ed. Porto Alegre, 2004.

VIEGAS FILHO, João Soares et al. **Manual do usuário do IPH-S1** : versão 2.11. Porto Alegre, 2005.

WIKIPÉDIA. Capitalismo. Disponível em:

< [http://pt.wikipedia.org/wiki/Capitalismo#Hist.C3.B3ria\\_do\\_Capitalismo](http://pt.wikipedia.org/wiki/Capitalismo#Hist.C3.B3ria_do_Capitalismo)> Acesso em: 14 jan. 2009.

ZAIZEN, M. et al. The collection of rainwater from domes stadiums in Japan. **Urban Water Journal** , p. 355-359, Nov. 1999.