



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



**HUGO FAGNER DOS SANTOS PEDROSA**

*AVALIAÇÃO DO IMPACTO DA APLICAÇÃO DAS DIRETRIZES DO  
PLANO DIRETOR DE MACEIÓ SOBRE O ESCOAMENTO  
SUPERFICIAL.  
ESTUDO DE CASO: BACIA DO RIACHO REGINALDO*

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**Maceió/AL, Dezembro de 2008**

**HUGO FAGNER DOS SANTOS PEDROSA**

**AVALIAÇÃO DO IMPACTO DA APLICAÇÃO DAS DIRETRIZES DO PLANO  
DIRETOR DE MACEIÓ, SOBRE O ESCOAMENTO SUPERFICIAL.  
ESTUDO DE CASO: BACIA DO RIACHO REGINALDO**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento da Universidade Federal de Alagoas como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento.

Orientador: Prof. Dr. Vladimir Caramori Borges de Souza

Maceió, Dezembro de 2008

**Catálogo na fonte**  
**Universidade Federal de Alagoas**  
**Biblioteca Central**  
**Divisão de Tratamento Técnico**  
**Bibliotecária Responsável: Maria Auxiliadora Gonçalves da Cunha**

- P372a      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 / Hugo Fagner dos Santos Pedrosa, 2008.  
              xi, 71 f. : il.
- Orientador: Vladimir Caramori Borges de Souza.  
              Dissertação (mestrado em Engenharia Civil: Recursos Hídricos e Saneamento) – Universidade Federal de Alagoas. Centro de Tecnologia. Maceió, 2008.
- Bibliografia: f. 68-71.
1. Hidrologia. 2. Drenagem urbana. 3. Escoamento superficial. 4. Solo – Caracterização. 5. Bacia do Riacho Reginaldo – Maceió (AL). I. Título.

CDU: 556.51



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



**AVALIAÇÃO DO IMPACTO DA APLICAÇÃO DAS DIRETRIZES DO PLANO DIRETOR  
DE MACEIÓ, SOBRE O ESCOAMENTO SUPERFICIAL NA BACIA DO RIO  
REGINALDO.**

**HUGO FAGNER DOS SANTOS PEDROSA**

Dissertação submetida à banca examinadora do Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento da Universidade Federal de Alagoas e aprovada no dia 17 do mês de dezembro do ano de 2008.

Banca Examinadora:

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

Prof. Dr. Marllus Gustavo Ferreira Passos das Neves  
CTEC/UFAL

Prof. Dr. Valmir de Albuquerque Pedrosa  
CTEC/UFAL

Prof. Dr. Nilo de Oliveira Nascimento  
UFMG

A mente que se abre a uma nova idéia  
jamais voltará ao seu tamanho original  
(Albert Einstein)

## **DEDICATÓRIA**

À DEUS, primeiramente, por me dar forças nos momentos difíceis e me fazer acreditar que tudo é possível, só basta acreditar que o ser humano é capaz.

Ao meu pai, José Luís Pedrosa, pelo exemplo de carácter e determinação com muito amor e carinho.

À minha mãe, Maria de Fátima dos Santos Pedrosa, razão e o princípio de tudo.

## **AGRADECIMENTOS**

Este trabalho foi desenvolvido no Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento da Universidade Federal de Alagoas, sob a orientação do Prof. Vladimir Caramori Borges de Souza.

Para consolidação deste trabalho foi necessária a colaboração e o apoio de diversas entidades e pessoas que tenho a satisfação de agradecer.

Aos meus pais, José Luís Pedrosa e Maria de Fátima dos Santos Pedrosa, por ministrar a minha vida, nas caminhadas de difíceis definições pessoais e profissionais, tendo forte influência nas opiniões.

Minha noiva, Silvia Lídia de Araújo Silva, pelo apoio e compreensão durante esta trajetória.

Ao Professor Vladimir Caramori Borges de Souza pela orientação e paciência, pois sem sua dedicação não teria sido possível a conclusão deste trabalho.

A República Federativa do Brasil, que é composta por uma sociedade soberana, pela oportunidade de estudar em uma Universidade Pública Federal.

A todos os funcionários do Centro de Tecnologia – CTEC, que abrange um dos mais bem conceituados cursos de Engenharia Civil do País.

A todos os funcionários do Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento – PPGRHS, pela colaboração no desenvolvimento do programa.

Em especial às pessoas envolvidas no projeto Casadinho/CNPq – UFAL-UFMG-EESC/USP: Guilherme Rocha Peplau, Marllus Gustavo Ferreira Passos das Neves e ao Hudson Tiago dos Santos Pedrosa pelo suporte na elaboração deste trabalho.

Aos colegas de convivência diária no Laboratório de informática do Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento – PPGRHS, Turma 2005 - Rubem Izidro da Silva Júnior; Turma 2006 - João de Lima e Silva, Magaly Viera Costa dos Santos, Sebastião Coelho Marinho Falcão e Sérgio Renato Ávila Glasherster da Rocha; Turma 2007 - Claudionor de Oliveira Silva, Irene Maria Chaves Pimentel, Leonardo Lopes de Azeredo Viera, Joceline Costa de Almeida, Josiane Holz e Thaís Tonin de Barros e o

funcionário - José Marcos Romão da Silva. Durante esta jornada foi a família em que permiti conhecer.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Alagoas – FAPAL, pela concessão da bolsa de estudos durante os três primeiros meses de desenvolvimento do mestrado.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, pela concessão da bolsa de estudos durante o desenvolvimento da dissertação.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, pelo apoio financeiro ao projeto “Casadinho/CNPq – UFAL-UFMG-EESC/USP”, através do edital MCT/CNPq/CT-Hidro 14/2005.



## RESUMO

A ocupação da região do Vale do Reginaldo pela área urbana da cidade de Maceió trouxe alguns problemas relacionados à drenagem urbana. Em toda esta bacia, o desenvolvimento do sistema de drenagem ocorreu, assim como o desenvolvimento urbano, de forma desordenada, como acontece na maioria das capitais do Brasil. As regiões baixas da bacia, naturalmente alagáveis, foram ocupadas e impermeabilizadas. O excedente do escoamento passou a causar transtornos freqüentes, inundando boa parte da bacia. Juntamente com as falhas do sistema de drenagem, do ponto de vista quali-quantitativo, ocorre a degradação dos corpos d'água urbanos pelo lançamento de esgoto e lixo. Apesar dessas constatações, pouco se sabe a respeito do comportamento das bacias urbanas de Maceió e, tampouco, os efeitos da urbanização sobre o processo de ocorrência de cheias nestas bacias. Portanto, fez-se, necessário um estudo detalhado, visando à compreensão de seu funcionamento, objetivando o bom planejamento das ações na bacia, que compreendem tanto os aspectos técnicos relacionados ao sistema de drenagem, quanto os relacionados ao urbanismo. Entende-se que a maior parte dos problemas encontrados é resultante de uma quase ausência de planejamento do desenvolvimento urbano, somado ao baixo índice de investimentos em infraestrutura nessas bacias. O presente trabalho teve como objetivo avaliar o impacto da aplicação das Diretrizes do Plano Diretor do município de Maceió na Bacia do Riacho Reginaldo, em conjunto com o código de urbanização, no que diz respeito ao uso e ocupação do solo da Bacia do Riacho Reginaldo em Maceió-AL, sobre o escoamento superficial. Esse trabalho se insere no contexto de um projeto maior, denominado "Definição de critérios para elaboração de plano de gestão ambiental integrada de bacias urbanas. Estudo de caso: Bacia do rio Reginaldo", com financiamento do CNPq através do Edital MCT/CNPq/CT- HIDRO No 14/2005 (Casadinho), desenvolvido em parceria entre a UFAL, UFMG e EESC/USP.

## **ABSTRACT**

The occupation of the Reginaldo Valley region by the urban area of the Maceio city has brought some problems relating to the urban drainage. In all of this basin, the development of the drainage system occurred inappropriately, as well as urban development that happens in most of the Brazil capitals. The low regions of the basin, naturally flooded were occupied and waterproofed. The surplus of flow is the frequent cause of inconvenience, flooding a large zone of the basin. Together with the failures of the draining system, of the qualitative and quantitative point of view, occurs the degradation of the urban bodies of water by the launching of sewer and garbage. Despite these findings, is few what it knows about the behavior of the Maceio urban basins, and nor the effects of the urbanization over the occurrence process of floods in these basins. Therefore, is extremely necessary a detailed study in order to understand its operation, aiming the good planning of the actions in the basin, which include both technical aspects related to the drainage system as well as problems related to the urbanism. It is understood that most of problems encountered is resulting of an almost total absence of urban development planning, coupled to the low rate of investment in infrastructure in these basins. The objective of the present work is to evaluate the impact of the implementation of the Guidelines of the Master Plan of the Maceió city in the Basin of the Reginaldo brook, Together with the urbanization code, in respect to the use and occupation of the ground of Basin of the Reginaldo brook in Maceió-AL, about the superficial draining. This work is inserted in the context of a larger project, entitled “Definition of criteria for elaboration of integrated ambient management of urban basins. Study of case: Basin of the river Reginaldo”, Study of case: Basin of the river Reginaldo”, with financing of the CNPq through the Proclamation MCT/CNPq/CT- HIDRO In the 14/2005 (Casadinho), developed in partnership between UFAL, UFMG and EESC/USP.

# SUMÁRIO

RESUMO .....	V
ABSTRACT.....	VI
INDICE DE FIGURAS.....	VIII
INDICE DE TABELAS.....	X
INDICE DE TABELAS.....	X
LISTA DE SIGLAS.....	XI
<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1 OBJETIVO .....	3
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>4</b>
2.1 URBANIZAÇÃO E OS IMPACTOS SOBRE AS ÁGUAS URBANAS .....	4
2.2 PLANEJAMENTO DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO EM MACEIÓ .....	9
2.3 A REPRESENTAÇÃO DOS PROCESSOS HIDROLÓGICOS EM BACIAS URBANAS .....	16
2.3.1 <i>Análise de chuvas intensas</i> .....	18
2.3.2 <i>Tempo de retorno</i> .....	20
2.3.3 <i>Tempo de Concentração</i> .....	20
2.3.4 <i>Separação do volume escoado</i> .....	22
2.3.5 <i>Propagação do escoamento na bacia</i> .....	25
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>27</b>
3.1 BACIA DO RIACHO REGINALDO .....	29
3.1.1 <i>Características físicas</i> .....	30
3.1.2 <i>Discretização da Bacia</i> .....	35
3.1.3 <i>Tipos de solo da bacia do Riacho Reginaldo e suas relações com o CN</i> .....	36
3.1.4 <i>Sistema de drenagem</i> .....	39
3.2 CENÁRIOS DE ANÁLISE .....	41
3.2.1 <i>Cenário 1: Uso e ocupação do solo com base na Situação atual</i> .....	41
3.2.2 <i>Cenário 2: Uso e ocupação do solo com base nas diretrizes do Plano Diretor e do Código de Urbanismo e Edificações de Maceió</i> .....	47
3.2.3 <i>Cenário 3: Uso e ocupação do solo sem planejamento Urbano</i> .....	55
3.3 COMPARAÇÃO DOS CENÁRIOS .....	56
<b>4 RELAÇÕES CHUVA X VAZÃO NA BACIA DO RIACHO REGINALDO .....</b>	<b>58</b>
4.1 TEMPO DE CONCENTRAÇÃO.....	58
4.2 PRECIPITAÇÃO DE PROJETO .....	59
4.3 SIMULAÇÃO CHUVA X VAZÃO .....	61
<b>5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....</b>	<b>66</b>
<b>6 REFERÊNCIAS.....</b>	<b>68</b>

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Ocupação de encostas e das margens do Riacho Reginaldo em Maceió.....	5
Figura 2 – Crescimento populacional de Maceió ao longo dos anos (IBGE, 2007).....	5
Figura 3 – Expansão urbana em Maceió (ALAGOAS, 2005) .....	6
Figura 4 – Aumento de sedimentos e material sólido.....	7
Figura 5 – Presença de esgoto na galeria de água pluvial.....	7
Figura 6 – Esgoto doméstico lançado diretamente no corpo d’água.....	7
Figura 7 – Foz do Riacho Reginaldo, com alto grau de degradação.....	7
Figura 8 – Alagamento no <i>Campus</i> da Universidade Federal de Alagoas em 2004 .....	8
Figura 9 – Variação do hidrograma de uma região que foi urbanizada .....	9
Figura 10 – (a) Edificações comerciais e (b) Vias pavimentadas .....	10
Figura 11 – Mapa de zoneamento da cidade de Maceió (Maceió, 2006).....	13
Figura 12 – Curvas intensidade - duração - frequência da cidade de Maceió, AL.....	19
Figura 13 – Efeito da forma da bacia de drenagem no hidrograma, DAEE/CETESB 1980 .....	21
Figura 14 – Hidrograma Triangular SCS .....	26
Figura 15 – Foz da bacia do Reginaldo.....	29
Figura 16 – Localização da bacia no município.....	30
Figura 17 – Características Topográficas.....	31
Figura 18 – Área plana no Bairro da Santa Lucia.....	32
Figura 19 – Área íngreme no vale do Riacho Reginaldo .....	32
Figura 20 – Vale principal a montante da bacia .....	33
Figura 21 – vale principal a jusante da bacia .....	33
Figura 22 – Área plana nas regiões costeiras .....	34
Figura 23 – Perfil longitudinal do Riacho Reginaldo e a foz de três de seus principais afluentes (Peplau et al, 2006). .....	34
Figura 24 – Discretização da bacia do Riacho Reginaldo .....	35
Figura 25 – Mapa de solos de Maceió com a bacia do Riacho Reginaldo (EMBRAPA, 2005, Adaptado).....	37
Figura 26 – Acúmulo de sedimento no sistema de drenagem.....	39
Figura 27 – Deterioração do sistema de drenagem .....	39
Figura 28 – Trecho do Riacho Reginaldo, próximo a foz .....	40
Figura 29 – Trecho do Riacho Gulandim, próximo a foz .....	40
Figura 30 – Trecho do Riacho do Sapó, próximo a foz .....	40
Figura 31 – Imagem aérea de Maceió com a bacia do Reginaldo sobreposta. ....	41
Figura 32 – Estratégia das fotos tiradas em campo .....	42
Figura 33 – (a) Mapa da caracterização do uso do solo da bacia do Reginaldo e (b) sistema viário.....	43
Figura 34 – Principais características do uso e ocupação do solo da Bacia do Riacho Reginaldo.....	44
Figura 35 – (a) ocupação de encostas e (b) Ocupação das calhas de inundação .....	44
Figura 36 – Vista de parte do Vale do Reginaldo e suas ocupações indevidas.....	45
Figura 37 – Distribuição percentual do uso e ocupação do solo considerando a situação atual da bacia do Riacho Reginaldo .....	47

Figura 38 – Mapa dos zoneamentos urbano de Maceió com a bacia do Reginaldo .....	47
Figura 39 – Mapa dos zoneamentos urbano da bacia do Reginaldo .....	48
Figura 40 – Esquema resumido das discretizações .....	49
Figura 41 – Bosques ou zonas florestais cobertura ruim e boa da bacia atual	50
Figura 42 – arruamentos da bacia atual.....	51
Figura 43 – Parâmetros utilizados no equacionamento .....	52
Figura 44 – Uso e ocupação do solo considerando as diretrizes do Plano Diretor e o código de urbanismo de Maceió na Bacia do Riacho Reginaldo .....	53
Figura 45 – Distribuição percentual do uso e ocupação do solo sem considerar as diretrizes do Plano Diretor e o código de urbanismo de Maceió na Bacia do Riacho Reginaldo .....	55
Figura 46 – Mapa da caracterização do uso do solo da bacia do Reginaldo ...	55
Figura 47 – Comparativo do uso e ocupação do solo da Bacia do Riacho Reginaldo .....	56
Figura 48 – Chuva de projeto para duração de 155 minutos e tempo de retorno de 2 anos .....	60
Figura 49 – Chuva de projeto para duração de 155 minutos e tempo de retorno de 10 anos .....	60
Figura 50 – Chuva de projeto para duração de 155 minutos e tempo de retorno de 50 anos .....	60
Figura 51 – Esquema da rede de fluxo do programa IPHS1 utilizado para simulação da bacia do Riacho Reginaldo. ....	61
Figura 52 – Hidrogramas no exutório para TR de 2 anos, nos cenários 1, 2 e 3 .....	62
Figura 53 – Hidrogramas no exutório para TR de 10 anos, nos cenários 1, 2 e 3 .....	62
Figura 54 – Hidrogramas no exutório para TR de 50 anos, nos cenários 1, 2 e 3 .....	63

## INDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Crescimento da população urbana no Brasil (IBGE, 2007). .....	5
Tabela 2 – Parâmetros urbanísticos por zonas e corredores de atividades múltiplas .....	15
Tabela 3 – Porcentagem de área permeável de lotes e terrenos.....	15
Tabela 4 – Valores de $\alpha$ e $\beta$ ( <i>Pfafstetter</i> ).....	19
Tabela 5 – Períodos de retorno para diferentes ocupações da área (DAEE/CETESB, 1980).....	20
Tabela 6 – Valores de <i>CN</i> para bacias urbanas e suburbanas .....	25
Tabela 7 – Características das Sub-Bacias (base topográfica digital em escala 1:10.000).....	36
Tabela 8 – Valor do <i>CN</i> adotado para cada sub-bacia.....	38
Tabela 9 – Distribuição percentual da área das sub-bacias em relação ao uso e ocupação do solo considerando a situação atual da bacia do Riacho Reginaldo .....	46
Tabela 10 – Zoneamento urbano das sub-bacias .....	48
Tabela 11 – Distribuição percentual do uso e ocupação do considerando as diretrizes do Plano Diretor e o código de urbanismo de Maceió na Bacia do Riacho Reginaldo .....	54
Tabela 12 – Distribuição percentual do uso e ocupação do solo sem as diretrizes do Plano Diretor e o código de urbanismo de Maceió na Bacia do Riacho Reginaldo.....	56
Tabela 13 – Valor do <i>CN</i> médio para cada sub-bacia.....	57
Tabela 14 – <i>CN</i> médios para cada cenário de uso e ocupação do solo .....	57
Tabela 15 – Média impermeável para cada sub-bacia e cenário .....	58
Tabela 16 – Média impermeável da bacia do Riacho Reginaldo para cada cenário .....	58
Tabela 17 – Tempos de concentração corrigidos para os cenários de urbanização,.....	59
Tabela 18 – Picos de vazão no exutório para o TR = 2 anos.....	63
Tabela 19 – Picos de vazão no exutório para o TR = 10 anos.....	63
Tabela 20 – Picos de vazão no exutório para o TR = 50 anos.....	64
Tabela 21 – Vazão de pico de cada sub-bacia para TR 2anos.....	64
Tabela 22 – Vazão de pico de cada sub-bacia para TR 10anos.....	65
Tabela 23 – Vazão de pico de cada sub-bacia para TR 50anos.....	65

## LISTA DE SIGLAS

ABRH	- Associação Brasileira de Recursos Hídricos
AL	- Alagoas
CETESB	- Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
CN	- <i>Curve Number</i>
SCS	- <i>Soil Conservation Service</i>
DAEE	- Departamento de Águas E Energia Elétrica
EMBRAPA	- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FA	- Fator de ajuste
HEC-I	- Método exponencial
HU	- Hidrograma Unitário
HYMO	- Método de <i>Nash</i>
IBGE	- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDF	- Intensidade-Duração-Frequência
IPH II	- Modelo de <i>Horton</i> modificado
LID	- <i>Low Impact Development</i>
LVd	- Latossolo Vermelho Amarelo
MNT	- Modelos numéricos do terreno
p-d-f	- Precipitação-Duração-Freqüência
PI	- Porcentagem impermeabilizada da bacia
PLM	- Porcentagem do comprimento modificado
SEINFRA	- Secretaria de Infra-Estrutura do Estado de Alagoas
UFAL	- Universidade Federal de Alagoas
UR	- Uso Residencial
ZE	- Zonas de expansão
ZEP	- Zonas especiais de preservação cultural
ZI	- Zona Industrial
ZIAP	- Zonas de interesse ambiental e paisagístico
ZIES	- Zonas especiais de interesse social
ZIT	- Zonas de interesse turístico
ZR	- Zonas Residenciais
ZRA	- Zonas Residenciais Agrícolas

# 1 INTRODUÇÃO

A impermeabilização do solo, gerada pelo processo de urbanização é um dos principais fatores que favorecem a sobrecarga dos sistemas de drenagem pluvial urbana. Essa sobrecarga ocorre pelo aumento dos volumes escoados e das vazões máximas produzidas nas bacias hidrográficas. Ocorre, ainda, uma redução nos tempos de escoamento, tornando as cheias mais rápidas e causando maiores prejuízos.

Agravando esta situação, as soluções adotadas tradicionalmente buscam a eliminação da água, o mais rápido possível, através de galerias, condutos enterrados e canalizações, significando, muitas vezes, a simples transferência da cheia para as seções de jusante. Tais soluções baseiam-se na ampliação do sistema e/ou aumento da eficiência das redes, com custos geralmente elevados. Na maioria das vezes, ainda não são analisadas as causas para a formação dos alagamentos, buscando atuação pontual e desconectada do sistema (bacia de contribuição).

Dentro de uma abordagem de sustentabilidade dos sistemas de drenagem, e visando o controle dos alagamentos de áreas urbanizadas, é necessário que o desenvolvimento urbano aconteça dentro de uma lógica de minimização dos impactos da urbanização sobre os processos hidrológicos predominantes: transformação precipitação x escoamento. Nesse sentido, as técnicas de desenvolvimento de baixo impacto (*LID – Low Impact Development*) se apresentam como soluções eficientes para o controle do escoamento superficial. A aplicação do *LID* se inicia na concepção do urbanismo do empreendimento; buscando a criação de áreas verdes, preservação de áreas naturais de concentração de escoamento pluvial, criação de espaços de amortecimento de vazões e infiltração, assim como na concepção das unidades habitacionais, com a desconexão de calhas de telhados para o sistema de microdrenagem, reaproveitamento de água de chuva para uso em jardins, etc.

O sistema de drenagem a partir das unidades habitacionais, iniciando com as sarjetas de ruas, também deve favorecer o controle do escoamento, não transferindo as águas de chuva para as seções seguintes do sistema.



Soluções de infiltração e/ou amortecimento na microdrenagem devem ser priorizadas.

Para a aplicação de qualquer técnica sustentável, o principal elemento é o planejamento do desenvolvimento do urbanismo. Diversos autores (TUCCI, 1993; SILVEIRA, 1999; SILVEIRA, 2001; SOUZA, 2001) apresentam a importância do planejamento urbano para o controle dos problemas de inundações, ressaltando o efeito da urbanização sobre a ampliação das inundações. Neste sentido, diversas cidades brasileiras têm trabalhado em seus Planos Diretores de Drenagem Urbana, tais como Porto Alegre, Curitiba, São Paulo, Belo Horizonte, entre outras.

De acordo com Ostrowsky (2003), os Planos Diretores precisam de uma visão integrada da bacia, tendo em vista que os controles de enchentes são criados para resolver problemas isolados. Para tanto, é necessário um bom conhecimento da região em análise, tanto no que se refere aos equipamentos urbanos existentes e à forma como o urbanismo se desenvolve, quanto no que diz respeito aos processos hidrológicos e estruturas hidráulicas existentes.

O monitoramento do sistema é uma das formas de obtenção de informações, permitindo a parametrização dos processos hidrológicos dominantes e a conseqüente transferência dessa informação para outras regiões com características semelhantes.

Faz-se, portanto, necessário um estudo detalhado das bacias urbanas objetivando a obtenção de informações para a gestão integrada de todos os processos envolvidos, dentro do planejamento do desenvolvimento das cidades.

Este trabalho de mestrado se insere no contexto do projeto “Casadinho/CNPq – UFAL-UFMG-EESC/USP”, cujo foco é o estudo da bacia urbana do Riacho Reginaldo, em Maceió-AL, buscando a definição de critérios de desenvolvimento sustentabilidade desse sistema.

## **1.1 OBJETIVO**

Dentro do contexto do projeto “Casadinho/CNPq – UFAL-UFMG-EESC/USP”, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o impacto do uso e ocupação do solo na geração do escoamento superficial, considerando as diretrizes presentes no Plano Diretor do município de Maceió e no Código de Urbanização, através de um estudo de caso feito na bacia do Riacho Reginaldo.

## **1.2 Objetivos Específicos**

Para se alcançar o objetivo principal do trabalho, os seguintes objetivos foram atingidos:

- Análise do Plano Diretor de desenvolvimento urbano de Maceió e identificação dos seus aspectos que interferem no ciclo hidrológico urbano;
- Avaliação do processo de geração de escoamento superficial, a partir da observação de três cenários:
  - Estado atual de urbanização da bacia;
  - Urbanização da bacia observando as diretrizes previstas no plano diretor;
  - A urbanização de toda a bacia sem controle do uso e ocupação dos lotes.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

A urbanização está associada à concentração de muitas pessoas em um espaço restrito (a cidade), e também, na substituição das atividades de agropecuária por atividades indústrias e outros serviços. Nesse sentido só ocorre urbanização quando o percentual de aumento da população urbana é superior a da população rural.

O crescimento urbano é um processo dinâmico e inevitável e os seus impactos são significativos em todos os aspectos da infra-estrutura urbana. Uma das formas de minimizar tais impactos é planejar as ações a partir da análise de cenários futuros de desenvolvimento das cidades. Desta forma, a simulação dos processos urbanos através de modelagem de possíveis cenários de desenvolvimento é uma das formas de auxiliar na tomada de decisões. Nos itens que se seguem, serão abordadas as questões referentes aos padrões de crescimento das cidades e suas implicações sobre os processos hidrológicos, assim como as formas de representação destes processos.

### **2.1 Urbanização e os impactos sobre as águas urbanas**

A falta de infra-estrutura é um dos principais e mais graves problemas urbanos enfrentados na atualidade pelas cidades brasileiras. Em cem anos (1900-2000) a população urbana do Brasil aumentou expressivamente (Tabela 1), tanto com a taxa de natalidade alta como também as pessoas que continuam a migrar do meio rural para áreas urbanas (GEIGER apud TASSI, 2002). Atualmente, cerca de 12 milhões de brasileiros vivem em habitações impróprias (CORDEIRO et al, 2003), como encostas e calhas de rios entre outros lugares (Figura 1).

Tabela 1 – Crescimento da população urbana no Brasil (IBGE, 2007).

Ano	População (habitantes)	% População urbana
1900	17.438.434	9,40
1920	30.635.605	10,70
1940	41.236.315	31,24
1950	51.944.397	36,16
1960	70.191.370	44,93
1970	93.139.037	55,92
1980	119.002.706	67,59
1990	146.825.475	75,59
2000	166.112.500	81,23
*2020	187.500.000	92,51

\*População estimada



Figura 1 – Ocupação de encostas e das margens do Riacho Reginaldo em Maceió

De acordo com os dados do IBGE (2007), Maceió também cresce em ritmo acelerado, assim como as principais capitais brasileiras, principalmente, a partir da década de 60, quando o ritmo acelerou (Figura 2).

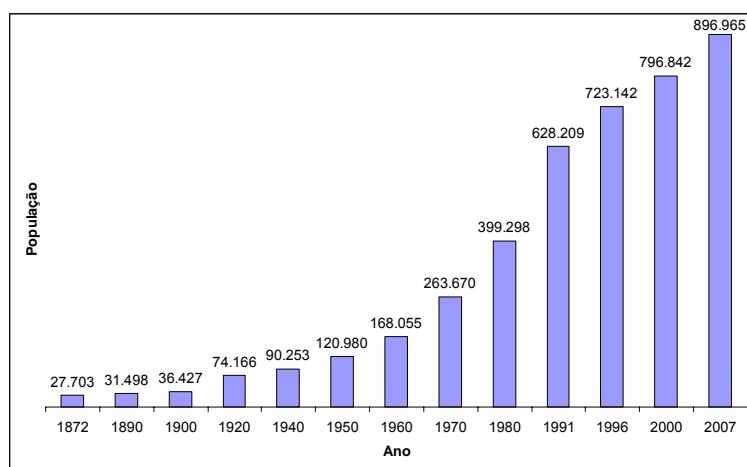


Figura 2 – Crescimento populacional de Maceió ao longo dos anos (IBGE, 2007)

Em 2007, a população da capital alagoana atingiu aproximadamente 900 mil habitantes, divididos em 511 km<sup>2</sup>, que resulta em uma densidade demográfica de aproximadamente 1761 hab/km<sup>2</sup>. Deve-se considerar que esta densidade foi calculada para toda a área municipal e não só para a área urbana, o que significa que a densidade na área urbana deve ser bem superior a este número.

Esse crescimento populacional provoca a expansão da área urbana, conforme apresentado na Figura 3, que representa a expansão urbana em Maceió de 1982 a 1998, de acordo com Alagoas (2005).



Figura 3 – Expansão urbana em Maceió (ALAGOAS, 2005)

Junto ao crescimento urbano desordenado surgem os chamados bolsões de pobreza urbana, que são os lugares onde inexistente saneamento básico, provocando grandes impactos ambientais nos corpos hídricos, como: aumento de sedimentos e material sólido (Figura 4) e contaminação de águas superficiais, através da má utilização dos sistemas de drenagens (Figura 5, Figura 6, Figura 7).



Figura 4 – Aumento de sedimentos e material sólido



Figura 5 – Presença de esgoto na galeria de água pluvial



Figura 6 – Esgoto doméstico lançado diretamente no corpo d'água



Figura 7 – Foz do Riacho Reginaldo, com alto grau de degradação

O acúmulo de resíduos e de sedimentos distribuídos nas áreas, junto ao escoamento das águas pluviais, formam a poluição difusa. Porto (1995) argumenta que a poluição difusa é complexa e provém de diversas fontes, tais como freios de automóveis, resíduos de pneus, resíduos de pinturas em geral, fezes de animais, resíduos de ferro, zinco, cobre e alumínio de materiais de construção, deposição seca e úmida de particulados de hidrocarbonetos, restos de vegetação, derramamentos, erosão fuligem, poeira, enxofre, metais, pesticidas, nitritos e nitratos, cloretos, fluoretos silicatos, cinzas, compostos químicos e resíduos sólidos, entre outros. Portanto a quantidade de poluentes carregados pelo escoamento urbano está relacionada à quantidade de chuva, às condições de limpeza dos pavimentos e ao processo de urbanização, dentre outros.

As principais consequências das alterações no regime hidrológico, devido à urbanização desordenada, são as inundações. Este processo corresponde ao extravasamento das águas de um curso d'água para as áreas de várzeas. A Figura 8 mostra um evento de alagamento que ocorreu no campus da Universidade Federal de Alagoas – UFAL em 2004.



Figura 8 – Alagamento no *Campus* da Universidade Federal de Alagoas em 2004

A Figura 9 representa o hidrograma de uma determinada região que sofreu processo de urbanização, onde são observadas as alterações mais típicas no regime hidrológico (TUCCI, 1993):

- Acréscimo dos volumes escoados;

- Acréscimo da freqüência de vazões extremas;
- Redução da infiltração;
- Redução do tempo de pico, combinado com uma redução do tempo de concentração através da implantação das redes de drenagem;
- Perda de armazenamento.

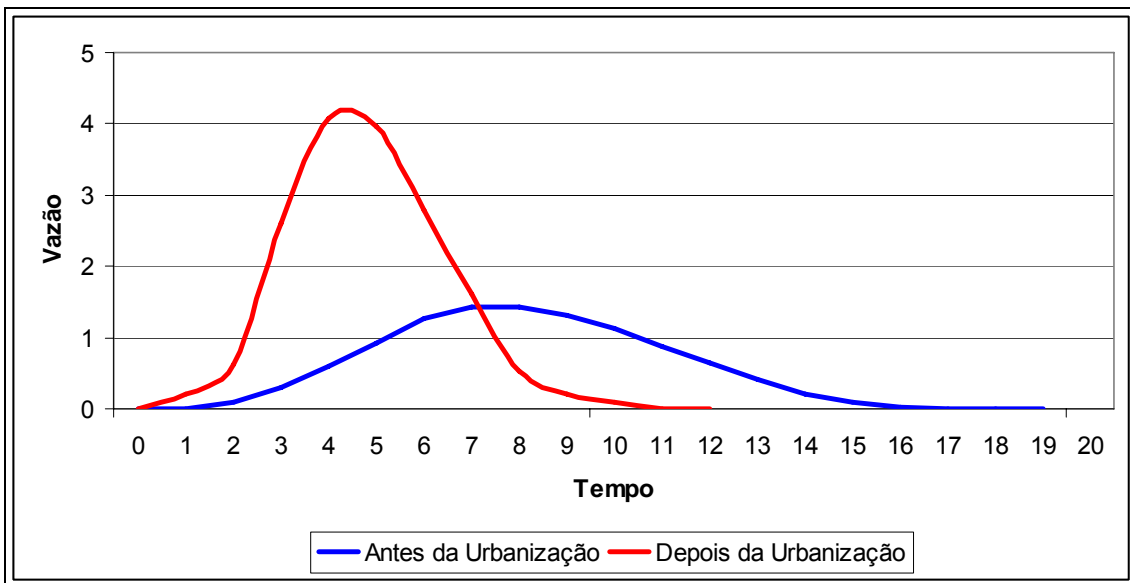


Figura 9 – Variação do hidrograma de uma região que foi urbanizada

## 2.2 Planejamento do uso e ocupação do solo em Maceió

O planejamento do uso e ocupação do solo urbano é o processo que ordena a ocupação do espaço, buscando garantir a preservação da qualidade do ambiente e da convivência da população com este ambiente. Busca-se a melhoria de certos aspectos dentro de uma determinada área urbana ou do planejamento de uma nova área urbana em uma determinada região através de idealização, criação e desenvolvimento de soluções, tendo como objetivo principal proporcionar aos habitantes uma melhoria na qualidade de vida.

A falta de planejamento na ocupação das áreas urbanas mais as ocupações informais ou desordenadas resultam em alterações significativas nos processos hidrológicos decorrentes da nova ocupação do solo. O solo passa a ter revestida uma grande parte de sua área. Esse revestimento, que se reflete através de edificações (Figura 10-a), vias pavimentadas (Figura 10-b), calçadas, entre outras formas, modifica o ciclo hidrológico.



A cobertura e tipo de solo influenciam diretamente na capacidade de infiltração (CLARKE apud SILVA 2001), já que a porcentagem da água que infiltra é reduzida, uma vez que as novas superfícies são impermeáveis ou quase impermeáveis. Os pontos de detenção superficial são eliminados nas áreas construídas, a rugosidade das superfícies é reduzida, os pequenos canais da drenagem natural são substituídos por tubulações subterrâneas ou retificados e revestidos e os planos de escoamento superficial são pequenos (GENZ apud TASSI, 2002).



Figura 10 – (a)Edificações comerciais e (b) Vias pavimentadas

O Plano Diretor é um instrumento de política urbana usado para o planejamento das cidades, estabelecendo diretrizes para a ocupação da mesma, previsto na Constituição Federal de 1988. Em seu capítulo da Política Urbana, dispõe que compete aos municípios executar a política de desenvolvimento urbano, através de diretrizes gerais fixadas em lei municipal, visando ordenar o pleno desenvolvimento das funções sociais da cidade e garantir o bem-estar de seus habitantes (BRASIL, 1988).

Através do plano diretor são feitos estudos para identificar e analisar as características físicas, as atividades predominantes e as vocações da cidade, os problemas e as potencialidades.

Dentre outros objetivos também consta no Plano Diretor, para a ordenação do uso e ocupação do solo:

- Promover a integração de toda a população aos benefícios decorrentes da urbanização;

- Garantir o desenvolvimento sustentável no uso e ocupação do solo;
- Distribuir as atividades no território, de modo a evitar incompatibilidades ou inconveniências para a vizinhança;

Em síntese, o Plano Diretor tem como objetivo o planejamento do crescimento regular urbano. Através dele é possível avaliar o tipo de uso e ocupação do solo que cada região da cidade pode ter.

O Plano Diretor de Maceió (MACEIÓ, 2005), em seu Artigo 120, seção II, divide a cidade em macrozonas, para fins de uso e ocupação de solo, onde são determinadas as diretrizes de cada macrozona.

Cada macrozona possui suas próprias características e diretrizes para uso e ocupação do solo. Essas macrozonas estão representadas por mapas anexos ao Plano Diretor, que será uma das fontes de dados para a caracterização de uso e ocupação do solo.

Segundo o Plano Diretor, são diretrizes específicas para o uso e a ocupação do solo na área urbana de Maceió:

- Adequação da legislação urbanística às especificidades locais;
- Adensamento controlado nas áreas com maior potencial de infra-estrutura urbana;
- Controle ao adensamento nos bairros onde o potencial de infra-estrutura urbana é insuficiente;
- Restrição à ocupação nas áreas de mananciais, de captação de água para abastecimento da cidade e de recarga dos aquíferos de Maceió;
- Controle à ocupação nas áreas não servidas por redes de abastecimento de água e esgotamento sanitário, evitando altas densidades populacionais;
- Requalificação dos bairros da região sul da cidade, como Ponta Grossa, Trapiche, Prado, Vergel do Lago, Pontal da Barra e Centro;
- Incentivo à ocupação dos vazios urbanos situados em áreas com infra-estrutura urbana;
- Descentralização de atividades, ordenando centros de comércio e serviços na cidade;

- Compatibilização do adensamento ao potencial de infraestrutura urbana e aos condicionantes ambientais;
- Promoção de um sistema eficiente de acompanhamento da dinâmica urbana.

Entre as Diretrizes do Plano Diretor constam também em seus artigos 125 e 126 a necessidade de adequação à legislação urbanística e especificidades locais. Ou seja, a complementação do Plano Diretor pelo Código de Urbanismo e Edificações (MACEIÓ, 2006) é indispensável. O mesmo, em seu Art. 2 dispõe as suas diretrizes a compatibilização do uso, da ocupação e do parcelamento do solo:

A partir desta necessidade, o Código de Urbanismo, no capítulo que trata sobre o zoneamento urbano, define o uso e ocupação do solo para fins de aplicação das normas. A área Urbana definida no Plano Diretor Municipal é inserida nos limites do perímetro urbano, onde é levado em consideração o tipo de unidade de ocupação existente, que se divide em:

- Zonas residenciais – (ZR-1 a ZR-9);
- Zonas residenciais agrícolas – (ZRA-1 a ZRA-3);
- Zonas de interesse turístico – (ZIT-1 a ZIT-2);
- Zonas de expansão – (ZE-1 a ZE-3);
- Zonas especiais de preservação cultural – (ZEP-1 a ZEP-5);
- Zonas de interesse ambiental e paisagístico – (ZIAP-1 a ZIAP-8);
- Zonas especiais de interesse social – (ZEIS);
- Zona Industrial – (ZI)

Vale ressaltar que a bacia do Riacho Reginaldo possui todas as macrozonas citadas, exceto as agrícolas e de expansão intensiva. A Figura 11 representa o mapa de Maceió e os respectivos zoneamentos que foram definidos pelo Código de Urbanismo e Edificações da cidade Maceió.

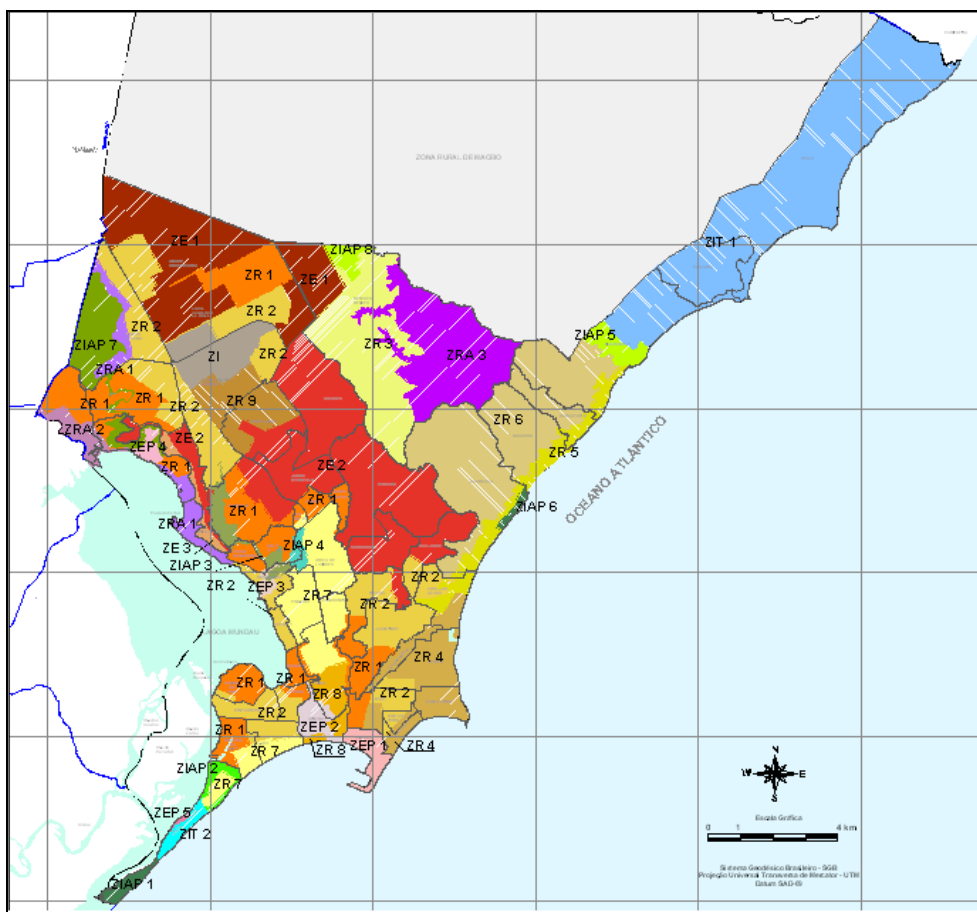


Figura 11 – Mapa de zoneamento da cidade de Maceió (Maceió, 2006)

Para fins de caracterização das zonas descritas, são levadas em consideração as características de ocupação populacional, físico-territorial e sócio-econômica. De mesmo modo para evitar o agravo do crescimento urbano desordenado, o Código de Urbanismo veta o parcelamento do solo urbano nas seguintes situações:

*I – em glebas ou terrenos alagadiços e sujeitos as inundações, antes de tomadas providências para assegurar o escoamento das águas;*

*II – em glebas ou terrenos que tenham sido aterrados com material nocivo à saúde pública, sem que sejam previamente saneados;*

*III – em glebas ou terrenos com declividade igual ou superior a 30% (trinta por cento), salvo se o empreendedor apresentar soluções técnicas que garantam a segurança contra deslizamentos de terra e erosão;*

*IV – em glebas ou terrenos sujeitos aos deslizamentos de terra e erosão, antes de tomadas às providências necessárias para garantir a estabilidade geológica e geotécnica;*

No parcelamento do solo urbano serão observadas as determinações da legislação federal, estadual e municipal vigente quanto à reserva das seguintes faixas de proteção não edificáveis:

- I. 15,00 m (quinze metros) ao longo de cada margem dos cursos d'água, salvo maiores exigências da legislação ambiental;*
- II. 15,00 m (quinze metros) ao longo de cada lado das linhas de drenagem natural, incluindo fundos de vales, salvo quando o órgão ambiental responsável admitir largura inferior;*

Nos loteamentos, o código considera que, será obrigatória a transferência ao Município de, no mínimo, 35% (trinta e cinco por cento) da área loteável da gleba a ser parcelada, destinadas a áreas públicas, sendo:

- I. 20% (vinte por cento) destinados às vias públicas;*
- II. 10% (dez por cento) destinados às áreas livres de lazer;*
- III. 5% (cinco por cento) destinados à implantação de equipamentos comunitários.*

Com relação à aplicação das normas de uso e ocupação do solo nas Zonas Urbanas e Corredores Urbanos, consideram-se os seguintes usos:

*I – residencial destinado à moradia de caráter permanente, unifamiliar, multifamiliar ou coletivo, nas seguintes modalidades:*

- a) Uso Residencial 1 (UR-1), quando na gleba ou no lote for implantada uma unidade residencial unifamiliar;*
- b) Uso Residencial 2 (UR-2), quando na gleba ou no lote forem implantadas 2 (duas) unidades residenciais unifamiliares;*
- c) Uso Residencial 3 (UR-3), quando na gleba ou lote for implantada uma vila, segundo as características que lhe são aplicáveis;*
- d) Uso Residencial 4 (UR-4), quando na gleba ou no lote forem implantadas 3 (três) ou mais unidades residenciais de uso UR-1, e/ou 2 (duas) ou mais unidades de uso UR-5;*

e) *Uso Residencial 5 (UR-5), quando na gleba ou lote for implantada 1 (uma) edificação multifamiliar com 3 (três) ou mais pavimentos.*

*II – comercial destinado à comercialização de mercadorias;*

*III – de serviços, destinado à prestação de serviços e ao apoio às atividades comerciais e industriais.*

Dentro dessas classificações, o Código de Urbanismo e Edificações de Maceió define diferentes padrões de ocupação, de taxa de permeabilidade, entre outros padrões de uso do solo, que serão identificados para a bacia do Riacho Reginaldo.

No Código de Urbanismo da cidade de Maceió foram anexadas tabelas para todas as Zonas Urbanas e Corredores Urbanos citados acima, a Tabela 2 é um exemplo das mesmas:

**Tabela 2 – Parâmetros urbanísticos por zonas e corredores de atividades múltiplas**

Zonas	Usos	Taxa de Ocupação do Terrena Máxima	Altura Máxima da Edificação (n° pavtos)	Testada Mínima do Lote (m)	Área mínima do Lote (m²)	Recuo Mínimo		Coeficiente de Aproveitamento do Terreno	Vagas de Estacionamento
						Frontal (m)	Laterais/ fundos (m)		
ZR-1	UR-1	90%	2	...	...	...	...	2	Isenta
	UR-3	70%	2	...	Art.408	Art.408	Art.408	2	Isenta
	UR-2/ UR-5	60%	4	...	...	5	2,50	2	AC: -Até 60m²: Vagas para 30% das unidades; -acima de 60m²: 1vaga p/ cada unidade.
	Comercial Serviço Industrial Grupo I e II	AC até 70m²: 90% AC até 300m²: 80%	2 <sup>(*)</sup>	...	...	5	Art.473	3,5	AC: -até 50m²: Isenta; -até 300m²: 1 vaga p/ cada 150m²

AC – Área construída  
 (\*) – Exceto nos corredores de atividade múltiplas das avenidas Durval de Góes Monteiro, Deputado Serzedelo Barros Correia e Menino Marcelo (BR 316), onde se admitem 9 pavimentos, obedecendo aos demais parâmetros urbanísticos previstos para UR-5 a partir do 3º pavimento.  
 Na ZR – 1, para os novos parcelamentos a testada mínima do lote é de 5m e a área mínima do lote é de 125m².

Fonte: Maceió, 2006

Nas Zonas Urbanas e Corredores Urbanos previstos nestes mesmos quadros é considerada uma taxa de permeabilidade mínima para terrenos ou lotes (Tabela 3).

**Tabela 3 – Porcentagem de área permeável de lotes e terrenos**

Área (m²)	Permeabilidade Mínima (%)
< 1200	livre
1200 -1800	5
1800 - 2400	10
> 2400	15

Fonte: Maceió, 2006

## 2.3 A representação dos processos hidrológicos em bacias urbanas

Os modelos matemáticos são ferramentas extremamente úteis, pois permitem, através de equacionamentos, representar, entender e simular o comportamento de um determinado sistema (TUCCI, 1998).

Os processos ambientais no mundo real são geralmente bastante complexos, tipicamente tridimensionais e dependentes do tempo. Tal complexidade pode incluir comportamentos não lineares e componentes estocásticos sobre múltiplas escalas de tempo e espaço. Pode haver um entendimento qualitativo de um processo particular, mas o entendimento quantitativo pode ser limitado. A possibilidade de expressar os processos físicos como um conjunto de equações matemáticas detalhadas pode não existir, ou as equações podem ser muito complicadas, exigindo simplificações para seu uso (*GOODCHILD* apud *TASSI*, 2002).

O estudo dos sistemas de drenagem pode ser desenvolvido a partir de modelos capazes de representar as condições de funcionamento desses sistemas. Como exemplo destes modelos, pode-se citar o IPH-S1 (*VILLANUEVA et al.*, 2004), que foi usado neste trabalho de dissertação, para representar o processo de transformação chuva-vazão. Sua utilização depende, basicamente, de uma boa caracterização do sistema, da obtenção de parâmetros representativos e da determinação de precipitações críticas para o funcionamento do sistema.

Vale ressaltar que os modelos hidrológicos são, nos melhores casos, apenas representação dos processos do mundo real. Logo, os modelos não substituem a realidade dos processos, só os representam.

A estrutura dos modelos Hidrológicos Chuva-Vazão se baseia nos seguintes elementos (TUCCI, 1998):

- Discretização da bacia hidrográfica: utilizando critério de subdivisões espaciais para representar a bacia;
- Variáveis de entrada: as variáveis de entrada geralmente utilizadas pelos modelos são as precipitações e a características físicas da bacia em estudo;

- Estrutura básica da integração dos processos: apresenta um fluxograma da estrutura no qual os processos são integrados para representar esta parte do ciclo hidrológico (Chuva-Vazão);
- Aquisição dos dados físicos das bacias: a grande variabilidade das características naturais e do uso do solo, para serem usados como informações a serem transferidas para o modelo.

Os principais usos deste tipo de metodologia são:

- Melhor entender o comportamento dos fenômenos hidrológicos na bacia;
- Análise de consistência e preenchimento de falhas;
- Previsão de vazão em tempo atual;
- Dimensionamento e previsão de cenários de planejamento;
- Avaliar os efeitos resultantes da modificação do uso do solo.

Segundo Garcia (2005), as bacias hidrográficas urbanas caracterizam-se pela sua grande heterogeneidade e variabilidade temporal. O acompanhamento das variações ocorridas na bacia é essencial para conduzir esta a um desenvolvimento sustentável, prevendo os impactos futuros. Desta forma, uma grande ferramenta é a utilização do geoprocessamento, que proporciona agilidade na obtenção de informações, qualificando os dados necessários para o estudo, como: uso do solo, levantamento digital do terreno entre outros. Vale ressaltar que a utilização dessas informações tem grande utilidade na elaboração de projetos de drenagem e estudos de impacto em bacias urbanas.

Buscando compreender o comportamento de algumas bacias em Maceió, vários autores já trabalharam com simulação chuva-vazão e simulações de qualidade da água em alguns corpos d'água da Região Metropolitana. Destacam-se entre eles: o projeto do Sistema de Macrodrenagem do grande Tabuleiro (SEINFRA, 2003), Estudos de Impacto Ambiental do projeto de macrodrenagem do Tabuleiro dos Martins (AGRA et al, 1999), Avaliação hidrológica do projeto de macrodrenagem do Tabuleiro dos Martins – Maceió-AL (AGRA et al., 2002), O controle da urbanização na



macrodrenagem de Maceió: Tabuleiro dos Martins (PEDROSA, 1996), Simulação Quali-quantitativa da bacia do rio Jacarecica (LINS, 2003), influência da Variação da Urbanização nas vazões de drenagem na bacia do rio Jacarecica em Maceió-AL (PEPLAU, 2005), Avaliação do impacto do lançamento da macrodrenagem do Tabuleiro dos Martins sobre o escoamento na bacia do rio Jacarecica (PEDROSA, 2006) e Avaliação do impacto da aplicação das diretrizes do Plano diretor de Maceió, referentes ao uso e ocupação do solo, sobre a geração do escoamento superficial (ACCIOLY, 2007).

Para representação dos processos hidrológicos urbanos se fazem necessárias as seguintes análises:

- Análise de chuva,
- Tempo de retorno
- Tempo de concentração,
- Separação do escoamento,
- Propagação do escoamento na bacia.

### 2.3.1 Análise de chuvas intensas

A análise de chuvas intensas, através das curvas de Intensidade-Duração-Frequência (IDF), é de fundamental importância para projetos de obras hidráulicas, tais como vertedouros de barragens, sistemas de drenagem, galerias pluviais, dimensionamento de bueiros, entre outros.

Para a cidade de Maceió, existem duas curvas IDF disponíveis: Pfafstetter (1982) e Denardin e Freitas (apud PRUSKI et al., 2006). Para este trabalho será analisada apenas a equação de *Pfafstetter* (equação 1) visto que ela é a equação mais utilizada nos projetos de drenagem na cidade de Maceió.

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

Onde:

- $P$  = a precipitação máxima em mm;
- $t$  = duração da precipitação em horas;

- **a**, **b** e **c** são constantes para cada posto onde a equação foi ajustada;
- $R$  = fator de probabilidade definido como:

$$R = Tr^{\left(\alpha + \frac{\beta}{Tr^\gamma}\right)} \quad (2)$$

Sendo,

- $Tr$  = tempo de retorno em anos, que para este caso foram adotados os tempos de 2, 4, 5, 10, 20, 50 anos;
- $\gamma$  uma constante adotada para todos os postos igual a 0,25;
- $\alpha$  e  $\beta$  são valores que dependem da duração da precipitação que são apresentados na seguinte Tabela 4:

Tabela 4 – Valores de  $\alpha$  e  $\beta$  (Pfafstetter).

Duração (min)	$\alpha$	$\beta$
5	0,108	0
15	0,122	0,04
30	0,138	0,08
60	0,156	0,2
120	0,166	0,2
240	0,174	0,2

Fonte: Pfafstetter apud Tucci (1993)

A partir destes dados foram encontradas as curvas i-d-f (intensidade-duração-freqüência), que estão apresentados na Figura 12 abaixo:

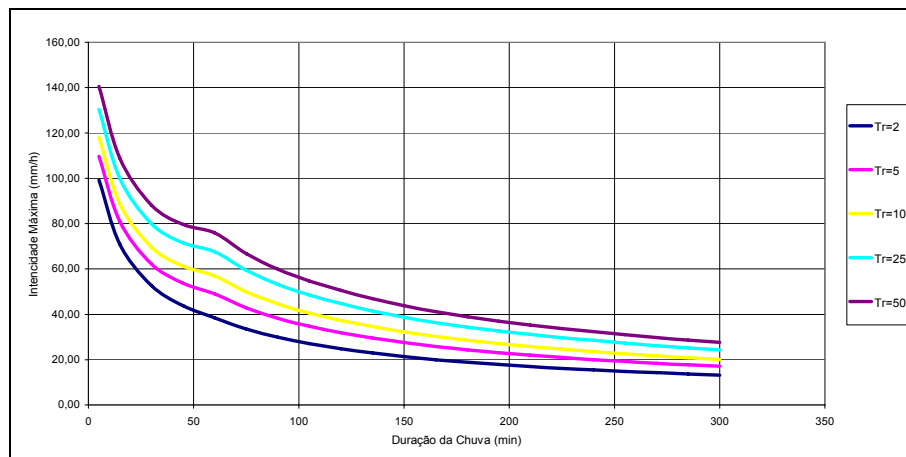


Figura 12 – Curvas intensidade - duração - freqüência da cidade de Maceió, AL.

Deve-se observar que, na duração de 60 minutos, ocorre uma inflexão na curva IDF de *Pfaffstetter*, provocada por uma mudança nos padrões da constante  $\beta$ , que passa a assumir um valor constante a partir desta duração. Essa inflexão provoca, sobretudo para tempos de retorno mais altos, um duplo pico na chuva de projeto construída considerando o método dos blocos alternados para a distribuição temporal.

### 2.3.2 Tempo de retorno

O tempo de retorno ( $T_r$ ) da precipitação é um dos principais parâmetros de dimensionamento de obras de drenagem, pois ele está associado à probabilidade de falha da estrutura em um ano qualquer. O valor adotado para  $T_r$  varia em função das dimensões da estrutura hidráulica, de sua importância e dos riscos associados à sua falha (Tucci, 1993). Para a definição deste valor, o DAEE/CETESB (1980) recomenda a análise do tipo de sistema onde a estrutura será construída, assim como a característica da ocupação no seu entorno, conforme Tabela 5.

Tabela 5 – Períodos de retorno para diferentes ocupações da área (DAEE/CETESB, 1980)

Sistema	Característica	Intervalo
Microdrenagem	Residencial	2
	Comercial	5
	Áreas com edifícios de serviços ao Público	5
	Aeroportos	2 – 5
	Áreas Comerciais e Artérias de tráfego	5 – 10
Macro-drenagem	Áreas comerciais e residenciais	10 – 100
	Áreas de importância específica	500

### 2.3.3 Tempo de Concentração

O tempo de concentração é o tempo necessário para que toda a água proveniente da precipitação na bacia hidrográfica passe a contribuir na seção em estudo. Logo, este parâmetro é de fundamental importância para a modelagem, na determinação da posição do pico de vazão no tempo; nele estão contidas as informações do efeito da forma da bacia no hidrograma (Figura 13).

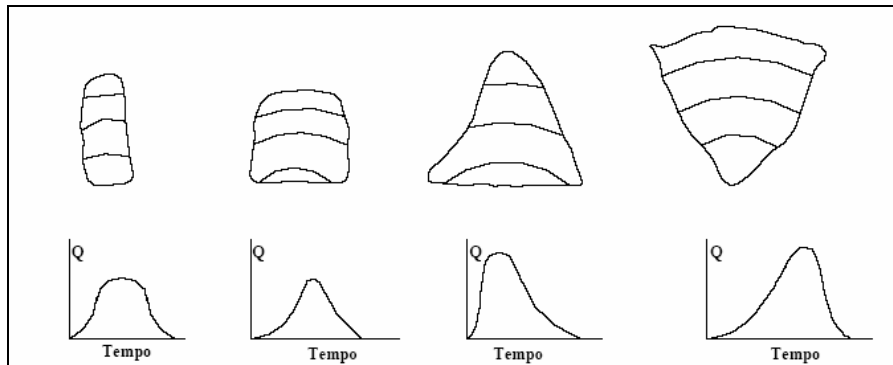


Figura 13 – Efeito da forma da bacia de drenagem no hidrograma, DAEE/CETESB 1980

Nos casos de pequenas bacias urbanas, o tempo de concentração é um parâmetro importante para a estimativa de vazões de cheia, seu valor pode ser determinado por várias fórmulas, a maioria empírica. Um dos métodos é o de *Kirpich*, apresentado na equação 3:

$$t_c = 57 \left( \frac{L^3}{\Delta H} \right)^{0,385} \quad (3)$$

Sendo:

$t_c$ : tempo de concentração [min];

$L$ : comprimento total da bacia, medido ao longo do talvegue principal até o divisor de águas [km];

$\Delta H$ : diferença de nível entre o ponto mais a montante da bacia e seu exutório, em [m].

Embora as informações que a fórmula necessita ( $L$  e  $S$ ) seja uma indicação de que ela reflete o escoamento em canais, o fato de ter sido desenvolvida para bacias pequenas é uma indicação que os parâmetros devem representar o escoamento em superfícies.

Apesar de a fórmula de *Kirpich* ter sido obtida em pequenas bacias rurais com canais bem definidos e declividades altas, é bastante usada em bacias urbanas, apesar de possuir algumas limitações, visto que a formulação não possui parâmetros para caracterizar o efeito da urbanização. O tipo do solo

e sua ocupação, que representam o efeito da urbanização, são fatores que influenciam na velocidade da partícula de água, variando assim o tempo de concentração da bacia.

O efeito da urbanização pode ser que não seja considerado em equações desenvolvidas para meios rurais, logo para aplicação em bacias urbanas o *Soil Conservation Service* (SCS) sugere procedimentos para ajuste em função da área impermeabilizada e da parcela dos canais que sofreram modificações. O SCS propõe a seguinte fórmula para ajuste de tempo de concentração (TUCCI, 1993):

$$FA = 1 - PRCT(-6789 + 335CN - 0,4298CN^2 - 0,02185CN^3).10^{-6} \quad (4)$$

Onde:

*FA*: Fator de Ajuste;

*PRCT*: Porcentagem do comprimento do talvegue modificado ou a porcentagem da bacia impermeável;

*CN*: *Curve Number*.

#### 2.3.4 Separação do volume escoado

A precipitação que chega até o solo pode ter varias destinações: uma parte é devolvida diretamente a atmosfera por evaporação; outra parte infiltra, isto é, penetra no interior do solo, subdividido numa parcela que se acumula em sua parte superior e pode voltar à atmosfera por evapotranspiração e noutra que caminha em profundidade até atingir os lençóis aquíferos e vai constituir os escoamentos subterrâneos e outros excedem superficialmente formando o escoamento que será trabalhado.

Para a determinação do volume de escoamento superficial ou precipitação efetiva, um dos métodos tradicionais em drenagem urbana é o método do SCS, citado por vários autores (incluindo Tucci em 1993), cuja precipitação efetiva é dada pela equação 5.

$$Q = \frac{(P - Ia^2)}{P + S - Ia} \quad (5)$$

Onde:  $Q$  – Lâmina superficial acumulada em milímetros (mm);

$P$  – Precipitação total acumulada em mm;

$I_a$  – Perdas iniciais;

$S$  – Armazenamento no solo.

Tanto o armazenamento quanto a translação do escoamento dependem significativamente dos tipos de solo, seu uso e ocupação. Na determinação do armazenamento do solo ou a capacidade máxima da camada superior do solo ( $S$ ), relaciona-se esse parâmetro com um fator *Curve Number* ( $CN$ ).

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (6)$$

Vale ressaltar que esta equação (TUCCI, 1993) contém critérios para a separação do escoamento, onde é determinada a relação de chuva-vazão superficial, quando a precipitação ( $P$ ) for maior que  $0,2S$ , ou seja, 20% do armazenamento são interceptados. Se a precipitação for menor ou igual a  $0,2S$ , o escoamento superficial estimado será zero, pois, subentende-se que o total precipitado foi interceptado ou infiltrado.

Para determinar a capacidade máxima ( $S$ ) é necessário determinar o valor do parâmetro  $CN$ , que apresenta as condições do tipo de solo e da sua cobertura. Este valor foi estabelecido numa escala de 1 a 100, que são representadas características da cobertura do solo (Tabela 6) variando desde zonas cultivadas, espaços abertos, zonas totalmente impermeabilizadas, entre outros. Os valores de  $CN$  foram agrupados de acordo com o tipo de solo e seu uso e ocupação e podem ser facilmente encontrados na literatura (TUCCI, 1993).

Entre as principais propriedades do solo destacam-se a resistência à ação erosiva das águas, sua estrutura e sua permeabilidade. Os solos são classificados em quatro tipos distintos (Tabela 6): A, B, C e D, do mais permeável (altamente arenoso) para o menos permeável (altamente argiloso).

Observa-se na Tabela 6 que o valor do parâmetro CN é função do tipo de solo e da taxa de impermeabilização, representada, neste caso, pelos padrões de uso e ocupação do solo. Deve-se observar, também, que o método do SCS combina as condições de umidade antecedentes com as características apresentadas no uso e ocupação da bacia. Desta forma, quanto mais úmido o solo estiver no início da análise, maior deverá ser o valor do CN. Esta condição é representada em três situações, dependendo da lâmina precipitada nos 5 dias antecedentes à análise. Para este trabalho, será considerada apenas a condição média, denominada no método por AMC II (situação média, em que os solos correspondem à umidade da capacidade de campo).

O tipo de cobertura existente na área da bacia influencia na quantidade de água às calhas dos rios. Por exemplo, a cobertura vegetal, facilita a infiltração das águas pluviais, o que reduz a quantidade de água que poderia chegar rapidamente às calhas dos rios. Por outro lado, ao impermeabilizarem ou diminuírem a permeabilidade do solo, aumenta-se o escoamento superficial e, conseqüentemente, a quantidade de água pluvial que chega às calhas de rios, contribuindo, assim, para expressivas inundações.

Prandini et al (1976, 1982) admitem que o escoamento superficial seja desprezível nas condições de florestas densas e que a cobertura vegetal também dificulta a penetração profunda da água no solo. Entretanto, não se deve generalizar tal comportamento, dado que os fatores intervenientes, solo, relevo, clima, flora, são muitos variáveis, no espaço e no tempo. Assim, o papel da cobertura vegetal, na distribuição das águas fluviais, deve ser estudado, especificamente, em cada região.

Tabela 6 – Valores de CN para bacias urbanas e suburbanas

<b>Utilização ou cobertura do solo</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>
Zonas Cultivadas: sem conservação do solo	72	81	88	91
com conservação do solo	62	71	78	81
Pastagens ou terrenos em más condições	68	79	86	89
Baldios em boas condições	39	61	74	80
Prado em boas condições	30	58	71	78
Bosques ou zonas Florestais: cobertura ruim	45	66	77	83
cobertura boa	25	55	70	77
Espaços abertos, relvados, parques, campos de golf, cemitérios, 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 residências				
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
84				
Parques de estacionamento, 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

Fonte: Tucci (1993)

### 2.3.5 Propagação do escoamento na bacia

O escoamento superficial é a parcela de água precipitada que não é infiltrada ou evaporada e permanece na superfície do terreno, sujeita à ação da gravidade que a conduz para os níveis mais baixos da bacia hidrográfica. De acordo com a característica de seu deslocamento, as águas superficiais podem provocar a erosão dos solos, inundações de várzeas, etc.



Segundo Tucci (1993), a propagação do escoamento superficial através da bacia pode ser realizada através do volume gerado pela separação do escoamento, propagado até o rio através de um Hidrograma Unitário (HU).

O hidrograma unitário sintético do SCS foi desenvolvido baseado na análise de um grande número de bacias de diferentes tamanhos e localidades geográficas, tendo sido aplicado em muitos países em bacias de tamanho médio (PEDROSA, 1996). Este hidrograma, determinado para uma chuva unitária equivalente a 1 cm, possui forma triangular (Figura 14) e apresenta a seguinte formulação:

$$qp = \frac{(2,08A)}{[(tr / 2) + 0,6tc]} \quad (7)$$

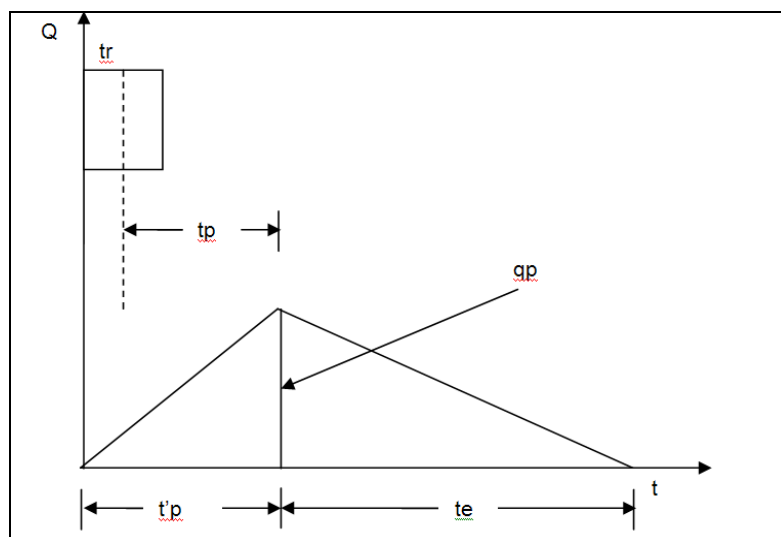


Figura 14 – Hidrograma Triangular SCS

Onde temos as variáveis da equação e figura supracitada:

$qp$  = vazão unitária de pico ( $m^3/s$ );

$A$  = área da bacia ( $km^2$ );

$tr$  = duração da precipitação (h);

$tc$  = tempo de concentração da bacia (h);

$Tb = t'p + te$  = tempo de base do HU (h);

$Tp$  = tempo ao pico do HU (h);

$t'p = tr/2 + 0,6 tc$  = tempo de ascensão do hidrograma;

$te$  = tempo de recessão do hidrograma.

### **3 MATERIAIS E MÉTODOS**

Este trabalho trata da avaliação do impacto do desenvolvimento urbano sobre a geração do escoamento superficial, para a bacia do Riacho Reginaldo em Maceió - AL. Para a realização do trabalho foram desenvolvidas as seguintes atividades, que serão detalhadas a seguir:

1. Identificação dos elementos do Plano Diretor e do Código de Urbanismo de Maceió que interferem na geração do escoamento superficial:

Nesta etapa do trabalho foram feitos levantamentos, buscando a identificação de diretrizes que influenciam no escoamento superficial, referentes à caracterização de uso e ocupação do solo e aos esquemas urbanísticos existentes.

2. Caracterização física do sistema:

Discretização em sub-bacias, com caracterização física detalhada do sistema, buscando identificar aspectos físicos tais como: área de drenagem da bacia, comprimento dos afluentes, cota máxima e mínima da bacia, declividades, entre outras. Esta caracterização foi feita a partir de cartas topográficas em escala 1:10.000 e 1:2000 e por imagens aéreas.

Para auxiliar no detalhamento de informações que as cartas digitais não contêm, visitas de campo foram conduzidas. Nestas visitas, buscou-se identificar e caracterizar as principais estruturas hidráulicas existentes, característica do uso e ocupação do solo e a complementação das avaliações feitas a partir do Plano Diretor e código de urbanização da cidade.

3. Caracterização do uso e ocupação do solo:

Três cenários de simulação foram estabelecidos para avaliar a geração do escoamento superficial:

- 1) Situação atual de escoamento, ou seja, o que se tem hoje em termos de características e ocupação do solo. Buscou-se identificar aspectos de caracterização de uso e ocupação do solo da região da bacia do Riacho Reginaldo tais como: terrenos baldios, prados, bosques ou florestas, espaços abertos, relvados, campos de grama, cemitérios, zonas comerciais, zonas

industriais, zonas residenciais, parques de estacionamento, viadutos, telhados, arruamentos e estradas, entre outras. Foi feita uma caracterização a partir de cartas topográficas em escala 1:10.000, sobreposta em uma imagem aérea de satélite (Digital Globe, 2005). As visitas de campo também foram utilizadas para esta caracterização.

2) previsão do comportamento da bacia a partir da implementação do Plano Diretor e o Código de Urbanização da Cidade de Maceió. A identificação dos zoneamentos urbanos nos quais a bacia do Reginaldo está inserida foi feita a partir de cartas topográficas em escala 1:10.000 e 1:2000 sobreposta em um mapa de zoneamento urbano da cidade de Maceió.

3) previsão do comportamento da bacia a partir da urbanização da região sem considerar as Diretrizes do Plano Diretor e o código de urbanismo da cidade, partindo da suposição que em um crescimento desordenado não são respeitadas as diretrizes do plano e seu respectivo código de urbanismo. Neste caso teremos um aumento das zonas comerciais, zonas industriais, zonas residenciais, parques de estacionamento, viadutos, telhados, arruamentos e estradas, entre outras. Da mesma forma uma diminuição das áreas tais como: terrenos baldios, prados, bosques ou florestas, espaços abertos, relvados e campos de grama.

#### 4. Construção e montagem do diagrama de fluxos na região de estudos:

A geração de escoamento superficial foi avaliada a partir dos cenários construídos, através do processo de transformação chuva-vazão, utilizando um modelo hidrológico aplicável a bacias urbanas do *Soil Conservation Service* (SCS).

#### 5. Simulações e Análise dos resultados:

A partir dos cenários construídos, foram analisados os processos de transformação chuva-vazão na bacia. Os resultados obtidos a partir dos cenários definidos foram confrontados através de comparações de características de uso e ocupação do solo, tempo de concentração, pico de vazão, volume escoado, hidrograma, entre outros. O estudo de impacto da

urbanização no que se refere ao que pode acontecer daqui a alguns anos na região da bacia do Riacho Reginaldo em relação aos eventos hidrológicos, nos dará embasamentos para futuros diagnosticados, no que se refere aos possíveis transtornos causados pela urbanização, como, pontos de alagamentos entre outros.

### 3.1 Bacia do Riacho Reginaldo

A bacia hidrográfica do Riacho Reginaldo está totalmente inserida na área urbana de Maceió, apresentando um desenvolvimento crescente do processo de urbanização e possuindo uma relevante variação quanto ao tipo de uso e ocupação do solo. Tem sua extremidade ao norte com a bacia endorreica do Tabuleiro dos Martins e continua sobre o limite leste fazendo fronteira com as bacias do Jacarecica e o Riacho das águas de Ferro (Figura 16). A bacia tem suas nascentes no município de Maceió, na região do Tabuleiro dos Martins, mais precisamente no bairro de Santa Lúcia e Antares, drena a área urbana de 17 bairros (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) da capital alagoana, e desemboca na praia da Avenida próxima à região portuária (Figura 15).

Um dos aspectos importantes a destacar na bacia é o seu alto grau de degradação, com lançamento de efluente e grande quantidade de lixo na praia da Avenida



Figura 15 – Foz da bacia do Reginaldo

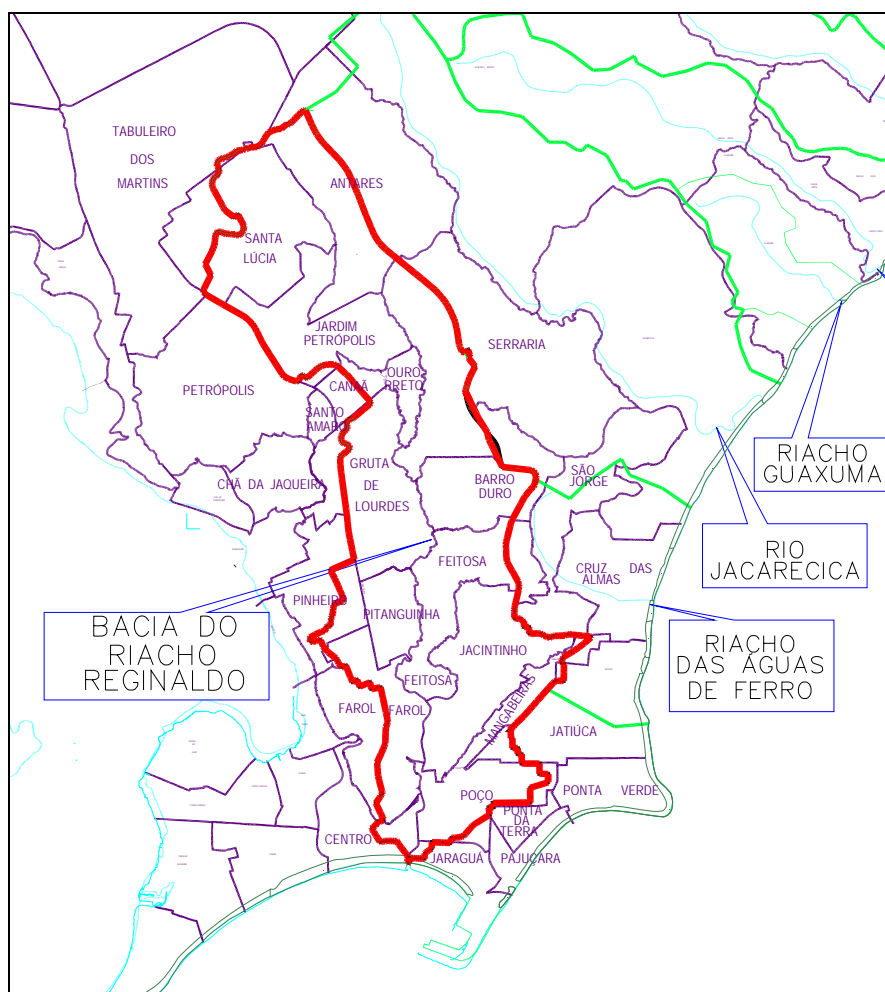


Figura 16 – Localização da bacia no município

### 3.1.1 Características físicas

As características físicas são representadas pelo tipo de relevo, forma, orientação e declividade da bacia de drenagem. Essas características físicas da bacia delimitada pelos divisores topográficos da bacia são de fundamental importância no comportamento hidrológico da bacia.

A bacia hidrográfica do Riacho Reginaldo tem 26,5km<sup>2</sup>, com cota mínima de 0m (nível do mar) e cota máxima de 98m, encontra-se intensamente urbanizada (sendo a mais populosa do município), restando nas áreas altas um mínimo de vegetação nativa. Embora seu curso d'água principal tenha vazão durante todo período de estiagem, esta é praticamente resultante do despejo de esgotos domésticos. Os principais afluentes estão na margem esquerda, destacando-se que os afluentes da parte baixa da bacia (Sapo e o Gulandim)

estão canalizados toda a sua extensão. Nesta região, correspondendo à planície litorânea, o Reginaldo passa a ser chamado de Riacho Salgado, com alto nível de degradação (UFAL, 2008).

Como características gerais, a bacia apresenta os seguintes aspectos:

- Área total: 26,5km<sup>2</sup>;
- Perímetro da bacia: 34,78km;
- Comprimento do maior curso d'água: 14,8km;
- Declividade média: 0,007m/m do rio principal;
- Cota máxima: 98m;
- Cota mínima: ao nível do mar.

Vale destacar que a bacia possui características peculiares em relação à sua topografia (Figura 17): uma região plana na sua parte alta, talwegues bem definidos tanto no curso principal quanto em alguns afluentes.



Figura 17 – Características Topográficas

Com relação aos aspectos fisiográficos da bacia do Riacho Reginaldo, existem algumas peculiaridades resumidas abaixo:

- Forma alongada: característica física que amortece o pico de vazão;
- Áreas planas de tabuleiro: áreas que se estendem desde o vale até o divisor, principalmente à margem direita nos bairros do Farol, Pitanguinha, Gruta de Lourdes, Canaã e Santa Lúcia, apresentando cotas elevadas com baixas declividades (Figura 18);



Figura 18 – Área plana no Bairro da Santa Lucia

- Áreas íngremes: áreas de drenagem que abrangem as regiões do Ouro Preto, Barro Duro e principalmente o Feitosa onde está localizado o vale do Riacho Reginaldo, apresentando grandes declividades com formação de grotas (Figura 19).



Figura 19 – Área íngreme no vale do Riacho Reginaldo

- Vale principal bem definido (Figura 20 e Figura 21): o talvegue do Riacho Reginaldo é “encravado” entre encostas bastante íngremes, que definem a sua seção principal;



Figura 20 – Vale principal a montante da bacia



Figura 21 – vale principal a jusante da bacia

- Áreas planas costeiras (Figura 22): constituídas principalmente pelos bairros do Poço e Mangabeiras e parte da Jatiúca, são



áreas de baixíssima declividade que contribuem com os riachos afluentes Sapo e Gulandim, cuja identificação da área de contribuição ao escoamento do Reginaldo só é possível através de dados de cadastramento de redes de drenagem.



Figura 22 – Área plana nas regiões costeiras

A partir do mapa topográfico digital, foi determinado o perfil longitudinal dos principais rios do Riacho Reginaldo e a foz de três de seus principais afluentes, Figura 23.

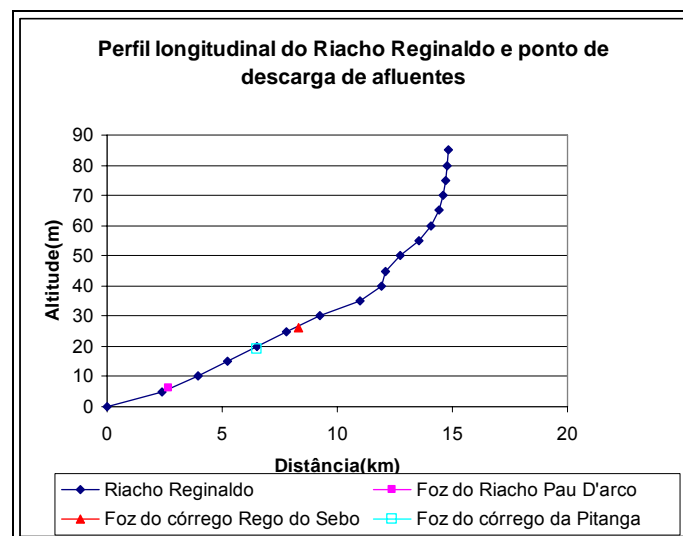


Figura 23 – Perfil longitudinal do Riacho Reginaldo e a foz de três de seus principais afluentes (Peplau et al, 2006).

Estes aspectos irão influenciar em fatores hidrológicos, velocidade de escoamento superficial e tempos de concentração.

### 3.1.2 Discretização da Bacia

A bacia foi trabalhada a partir da sua discretização em 16 sub-bacias, definidas considerando os seguintes aspectos:

- Pontos de interesse para avaliação do escoamento superficial;
- Uso e ocupação do solo, considerando aspectos como o sistema de drenagem atribuído à região;
- Topografia.

A Figura 24 apresenta a discretização da bacia do Riacho Reginaldo em 16 sub-bacias, cujas características são apresentadas na Tabela 7.

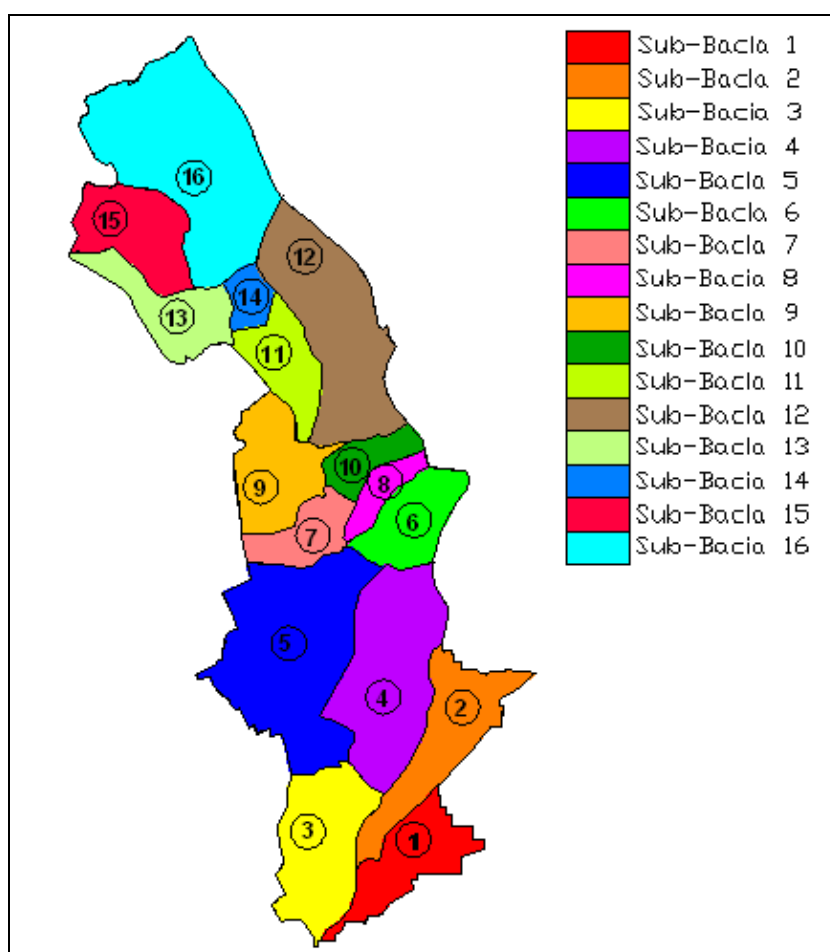


Figura 24 – Discretização da bacia do Riacho Reginaldo

Tabela 7 – Características das Sub-Bacias (base topográfica digital em escala 1:10.000)

Sub-bacia	Área (km <sup>2</sup> )	Área (%)	Comprimento do rio (km)	Comprimento total (km)	Cota inferior (m)	Cota superior (m)	Declividade (m/km)
1	1,267	4,78	2,386	2,713	1	6	1,84
2	1,723	6,50	2,533	2,533	4	65	24,08
3	1,932	7,29	3,880	4,028	0	43	10,68
4	2,738	10,33	3,853	3,853	7	65	15,05
5	3,644	13,75	2,156	2,302	6	55	21,29
6	1,078	4,07	0,893	0,893	20	69	54,87
7	0,788	2,97	1,320	1,476	20	56	24,39
8	0,432	1,63	0,871	0,871	20	67	53,96
9	1,456	5,49	1,103	1,361	23	52	21,31
10	0,565	2,13	2,514	2,514	26	71	17,90
11	1,002	3,78	3,733	4,075	28	70	10,31
12	2,848	10,75	0,966	4,906	28	84	11,41
13	1,145	4,32	0,603	5,018	34	91	11,36
14	0,362	1,36	1,562	1,091	39	83	40,32
15	1,396	5,27	3,157	5,163	39	91	10,07
16	4,120	15,55	3,168	9,414	38	86	5,10

### 3.1.3 Tipos de solo da bacia do Riacho Reginaldo e suas relações com o CN

A EMBRAPA (2005) realizou um levantamento dos solos da cidade e confirmou a predominância do Latossolo Vermelho Amarelo (LVd) em quase toda a bacia do Riacho Reginaldo, exceto em toda a sub-bacia 1 e na metade das sub-bacias 2 e 3 (Figura 25), onde são considerados como areia quartzosas marinhas.

Sartori (2004) faz uma relação entre a classificação pedológica de solos e as características dos grupos hidrológicos do solo apresentado pelo SCS. Sartori classifica a formação pedológica Argiloso Vermelho – Amarelo com textura médio / argilosa, como sendo do grupo hidrológico C do SCS, onde está localizada a maior parte da bacia do Riacho Reginaldo, com exceção das sub-bacias 1, 2 e 3, que pertencem parcialmente ou totalmente ao grupo hidrológico A do SCS.

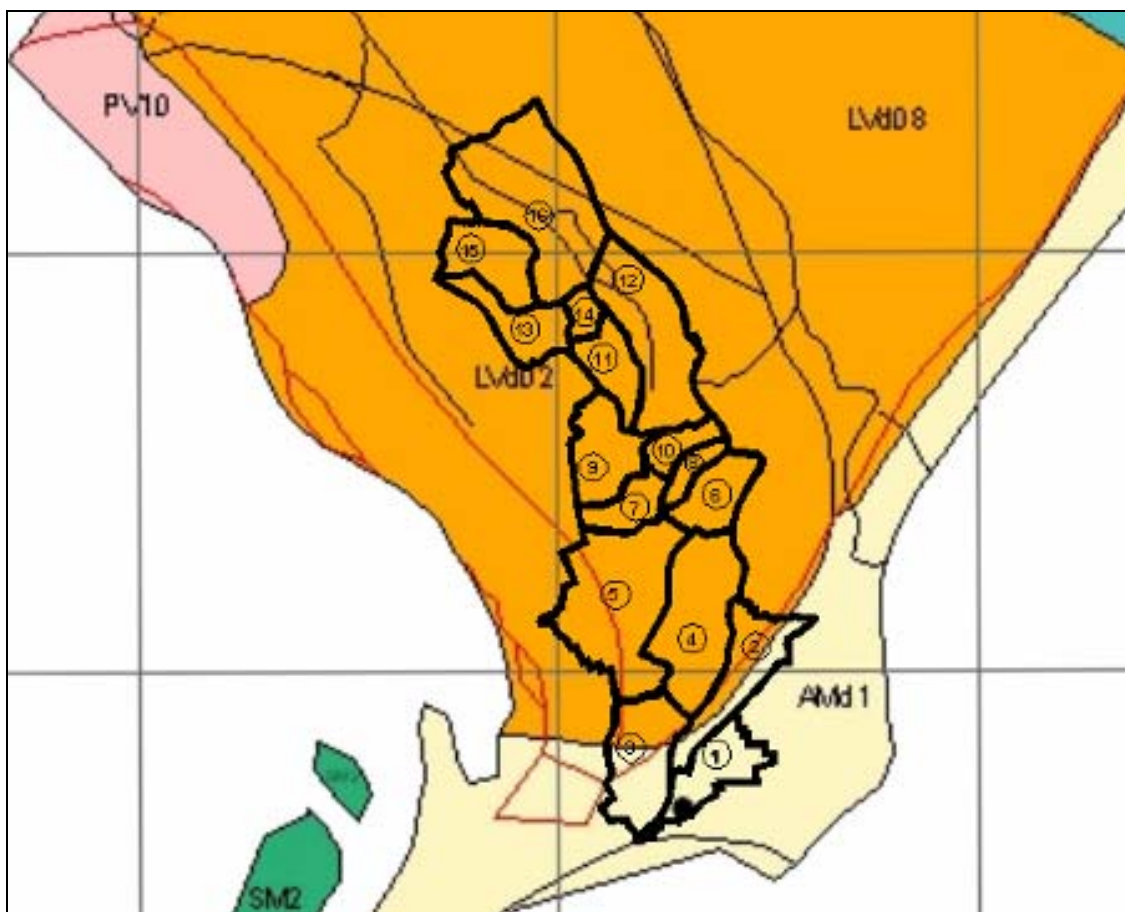


Figura 25 – Mapa de solos de Maceió com a bacia do Riacho Reginaldo (EMBRAPA, 2005, Adaptado)

A Tabela 8 apresenta os CNs adotados para cada tipo de solo, a ser aplicado na determinação da separação do escoamento e no cálculo dos hidrogramas. A estes valores, será aplicado o percentual de cada tipo de uso e ocupação do solo, de acordo com o cenário analisado, para cada sub-bacia. Vale ressaltar que na composição do CN médio dos lotes, observou-se o padrão de ocupação na bacia em função das dimensões médias dos lotes. Desta forma, para este cenário, o CN dos lotes será determinado a partir de uma ponderação de CN's das áreas consideradas completamente impermeáveis (como os telhados) e das áreas complementares dos lotes. Neste sentido, para os lotes pequenos (predominantes na bacia), considerou-se que a ocupação efetiva do lote é da ordem de 85% e a composição do CN médio cujo método adotado será apresentado no item 3.2.2.

Tabela 8 – Valor do CN adotado para cada sub-bacia

Sub-Bacias	Uso do solo											
	Baldios (boas condições)	Prados (boas condições)	Bosques ou zonas florestais		Espaços abertos, relvados, Campos de grama e cemitérios	Zonas Comerciais	Zonas Residenciais		Parques de estac., telhados, viadutos	Arruamentos e estradas		
			(Cobert. Ruim)	(Cobert. Boa)			Lotes <500m <sup>2</sup>	Lotes 1000m <sup>2</sup>		Asfálticas	Calçadas	Terra
1	39,0	30,0	45,0	25,0	39,0	89,0	90,65	61,0	98,0	98,0	76,0	72,0
2	56,5	50,5	61,0	47,5	56,5	91,5	92,90	72,0	98,0	98,0	82,5	79,5
3	56,5	50,5	61,0	47,5	56,5	91,5	92,90	72,0	98,0	98,0	82,5	79,5
4	74,0	71,0	77,0	70,0	74,0	94,0	94,40	83,0	98,0	98,0	89,0	87,0
5	74,0	71,0	77,0	70,0	74,0	94,0	95,15	83,0	98,0	98,0	89,0	87,0
6	74,0	71,0	77,0	70,0	74,0	94,0	95,15	83,0	98,0	98,0	89,0	87,0
7	74,0	71,0	77,0	70,0	74,0	94,0	95,15	83,0	98,0	98,0	89,0	87,0
8	74,0	71,0	77,0	70,0	74,0	94,0	95,15	83,0	98,0	98,0	89,0	87,0
9	74,0	71,0	77,0	70,0	74,0	94,0	95,15	83,0	98,0	98,0	89,0	87,0
10	74,0	71,0	77,0	70,0	74,0	94,0	95,15	83,0	98,0	98,0	89,0	87,0
11	74,0	71,0	77,0	70,0	74,0	94,0	95,15	83,0	98,0	98,0	89,0	87,0
12	74,0	71,0	77,0	70,0	74,0	94,0	95,15	83,0	98,0	98,0	89,0	87,0
13	74,0	71,0	77,0	70,0	74,0	94,0	95,15	83,0	98,0	98,0	89,0	87,0
14	74,0	71,0	77,0	70,0	74,0	94,0	95,15	83,0	98,0	98,0	89,0	87,0
15	74,0	71,0	77,0	70,0	74,0	94,0	95,15	83,0	98,0	98,0	89,0	87,0
16	74,0	71,0	77,0	70,0	74,0	94,0	95,15	83,0	98,0	98,0	89,0	87,0

### 3.1.4 Sistema de drenagem

A bacia do Riacho Reginaldo é composta basicamente por sistema de drenagem próximo da foz, onde está instalado o sistema de bombeamento, que capta os efluentes vindo de riachos fora da bacia e de emissários que provocam o despejo de esgoto bruto no Riacho Reginaldo e em seus afluentes e são lançados para o emissário submarino na praia do Sobral. Esse despejo de efluente e sedimentos na bacia provoca o assoreamento dos canais de drenagem, pois a rede de drenagem é utilizada como ponto de lançamento de todo tipo de resíduo (lixo, entulho, esgoto, etc.).

Desta forma, boa parte do sistema se encontra com a capacidade de escoamento reduzida em função dessas obstruções (Figura 26).

Outros fatores que contribuem para o acúmulo de sedimento e alagamentos são as deterioração do sistema de drenagem (Figura 27).



Figura 26 – Acúmulo de sedimento no sistema de drenagem



Figura 27 – Deterioração do sistema de drenagem

A pequena cobertura do cadastro de redes para a maior parte da bacia dificulta a identificação do sistema de drenagem. Dessa forma, até o momento estão identificados, apenas, os elementos que compõem a macrodrenagem, composta, sobretudo, pelos seguintes canais: Riacho Reginaldo (corpo d'água principal), riacho do Sapo, Gulandim, Sebo, Pitanga, Pau d'Arco, que são os afluentes principais. Destaca-se, entretanto, que a delimitação da parte baixa da bacia só foi possível a partir da identificação dos condutos de drenagem, uma vez que a região é muito plana.

Destaca-se que apenas trechos do riacho Reginaldo (Figura 28), todo o riacho Gulandim (Figura 29) e todo o riacho do Sapo (Figura 30), encontram-se canalizados.



Figura 28 – Trecho do Riacho Reginaldo,  
próximo a foz



Figura 29 – Trecho do Riacho Gulandim,  
próximo a foz



Figura 30 – Trecho do Riacho do Sapo, próximo a foz

As regiões baixas da bacia, naturalmente alagáveis, foram ocupadas e impermeabilizadas. Juntamente com as falhas do sistema de drenagem, do ponto de vista quantitativo, ocorre a degradação dos corpos d'água urbanos pelo lançamento de esgoto e lixo.

Entre os grandes problemas da expansão, existem os sistemas de drenagem que vão se tornando insuficientes à medida que aumenta a ocupação, tornando a bacia cada vez mais impermeável.

## 3.2 Cenários de Análise

Foram analisados três cenários, visando identificar como o Plano Diretor de Maceió interfere nos processos hidrológicos da bacia do Riacho Reginaldo. Estes cenários são apresentados a seguir.

### 3.2.1 Cenário 1: Uso e ocupação do solo com base na Situação atual

Através da imagem (Figura 31) e do Plano Diretor, apesar de a bacia possuir pontos de vegetação a montante e na sua área a jusante com prados em boas condições, bosques ou zonas florestais, espaços abertos, entre outros, a bacia do Riacho Reginaldo é considerada como uma bacia completamente urbana. Assim a parametrização (obtenção do *CN*) foi baseada nas características das bacias urbanas.



Figura 31 – Imagem aérea de Maceió com a bacia do Reginaldo sobreposta



Visitas de campo foram conduzidas de forma a detalhar informações que as imagens e cartas digitais não continham. Nestas visitas, buscou-se identificar e caracterizar a compatibilidade do uso do solo com as imagens, através de fotos dos locais identificados por suas coordenadas em UTM, em quatro ângulos de 90°, aproximadamente, totalizando 360° (Figura 32). Os pontos de visita foram captados através de imagem, onde existiam dúvidas em relação às características do uso e ocupação do solo.

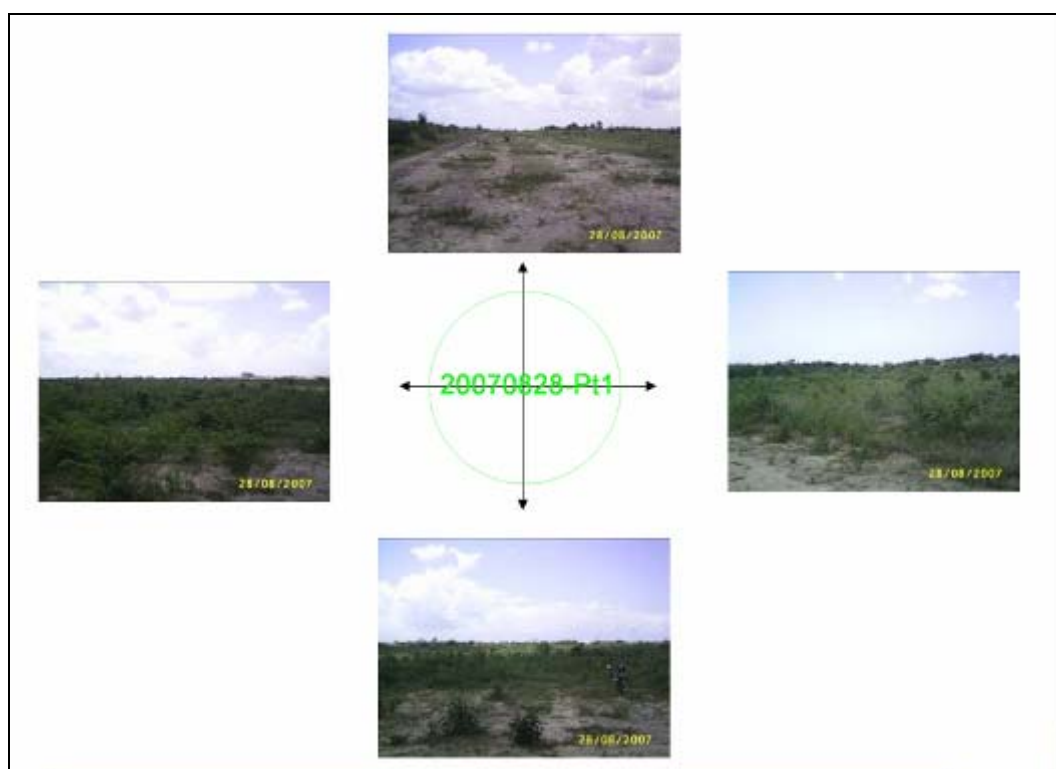


Figura 32 – Estratégia das fotos tiradas em campo

A Figura 33 mostra toda a caracterização do uso e ocupação do solo nas condições atuais da região da bacia do Reginaldo. Cada cor (pena) representa um tipo de uso e ocupação do solo que está especificado na legenda. Cabe ressaltar que a imagem de vias (asfaltadas, paralelepípedos e terra) foi separada da imagem de uso e ocupação do solo para melhor visualização.

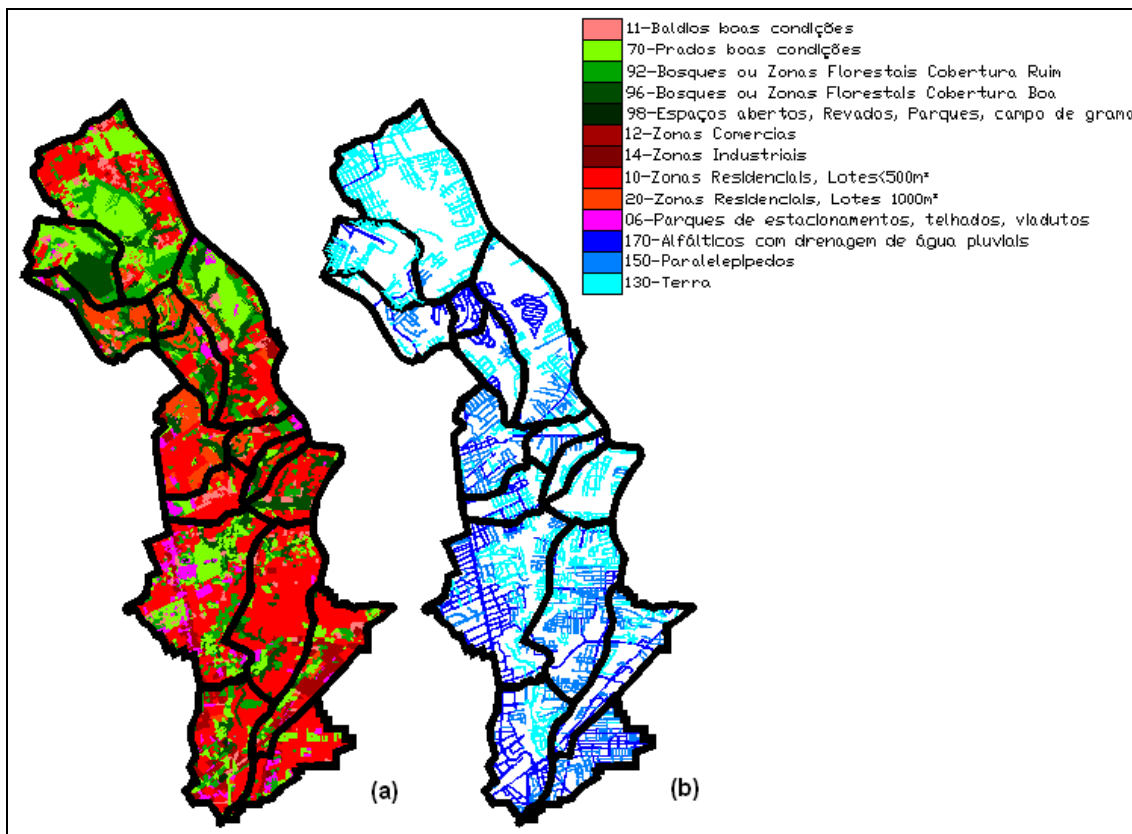


Figura 33 – (a) Mapa da caracterização do uso do solo da bacia do Reginaldo e (b) sistema viário

A bacia vem sendo impermeabilizada sem controle em todos os tipos de ocupação, seja público ou privado. Os estacionamentos dos grandes centros comerciais são asfaltados, assim como as principais avenidas e ruas dos bairros. A maior parte da bacia é ocupada por lotes menores que 500m<sup>2</sup>, onde inexistem espaços permeáveis, pois, praticamente as casas são juntas umas das outras, não havendo fiscalização do controle da área impermeável dos lotes, onde os proprietários comumente pavimentam áreas que poderiam ser utilizadas para jardins ou espaços abertos.

Pode-se também observar a falta de planejamento do crescimento urbano na bacia devido à construção de residências em encostas (Figura 35-a), onde antes existiam vegetações ou solo menos impermeável, causando a união de fatores primordiais para a contribuição do aumento do escoamento superficial, proporcionando situação desfavorável quanto à estabilidade dos taludes no período de chuvas. Vale ressaltar que a bacia do Riacho Reginaldo também é ocupada por residências que invadem a calha de inundação (Figura 35-b) aumentando o risco de enchentes.

A Figura 34 destaca algumas características do uso e ocupação do solo citadas.

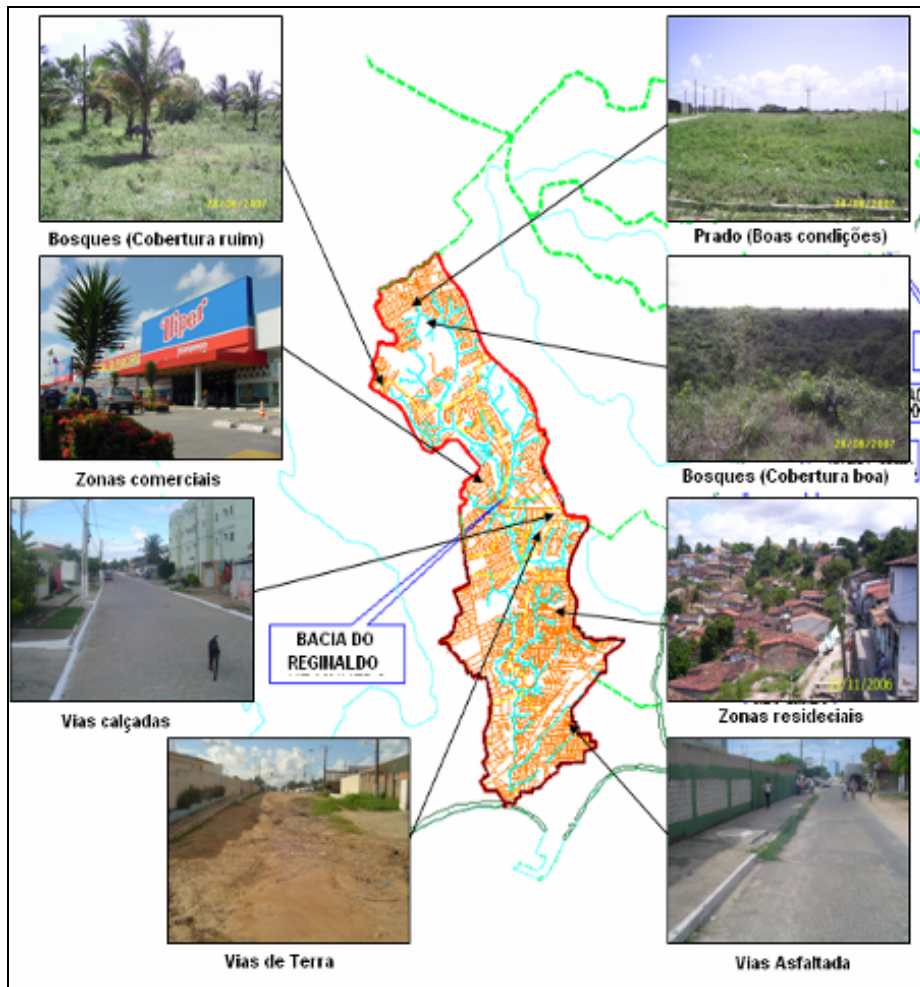


Figura 34 – Principais características do uso e ocupação do solo da Bacia do Riacho Reginaldo



(a)



(b)

Figura 35 – (a) ocupação de encostas e (b) Ocupação das calhas de inundação

Os bairros a montante, Santa Lúcia, Antares, Jardim Petrópolis e Ouro Preto, possuem uma área considerável de vegetação de prados e bosques. Estes bairros também possuem a maior parte de suas ruas em terra, junto com o Feitosa, Barro Duro e Jacentinho.

Todos os bairros da bacia do Riacho Reginaldo, com exceção dos bairros do jardim Petrópolis, Gruta de Lourdes e Jatiúca, possuem praticamente todos os lotes abaixo de 500m<sup>2</sup> de área.

Nas áreas planas de tabuleiro existem desde habitações simples até condomínios. Sua vazão de tempo seco é fortemente acrescida por despejos de esgotos domésticos ao longo de todo o percurso do riacho e seus afluentes, já que imensas áreas em seu curso foram ocupadas desordenadamente e/ou sem a devida instalação de redes de infra-estrutura de saneamento adequadas.



Figura 36 – Vista de parte do Vale do Reginaldo e suas ocupações indevidas

A Tabela 9 e a Figura 37 mostram a distribuição percentual do uso e ocupação do solo, considerada para as Sub-Bacias do Riacho Reginaldo na situação atual.

Tabela 9 – Distribuição percentual da área das sub-bacias em relação ao uso e ocupação do solo considerando a situação atual da bacia do Riacho Reginaldo

Sub-Bacias	Uso do solo											
	Baldios (boas condições)	Prados (boas condições)	Bosques ou zonas florestais		Espaços abertos, relvados, Campos de grama e cemitérios	Zonas Comerciais	Zonas Residenciais		Parques de estac., telhados, viadutos	Arruamentos e estradas		
			(Cobert. Ruim)	(Cobert. Boa)			Lotes <500m <sup>2</sup>	Lotes 1000m <sup>2</sup>		Asfálticas	Calçadas	Terra
1	0,3%	6,6%	3,5%	0,0%	0,0%	8,1%	62,5%	0,0%	2,4%	7,4%	8,7%	0,4%
2	3,0%	7,9%	9,9%	0,8%	0,2%	19,7%	42,9%	2,6%	2,9%	5,0%	3,3%	1,7%
3	1,5%	6,5%	7,9%	4,2%	0,7%	18,4%	44,8%	1,8%	2,0%	7,2%	2,7%	2,4%
4	1,4%	4,9%	4,0%	6,8%	0,0%	3,2%	65,7%	0,6%	1,4%	3,1%	5,3%	3,7%
5	2,4%	14,6%	7,7%	6,1%	0,2%	6,2%	44,0%	0,0%	7,2%	5,7%	2,6%	3,2%
6	5,5%	6,5%	5,3%	34,9%	0,0%	4,5%	32,8%	0,0%	1,1%	1,8%	0,8%	7,0%
7	5,6%	9,2%	5,2%	6,3%	0,0%	0,0%	50,4%	4,7%	4,7%	6,4%	0,0%	7,5%
8	1,9%	5,6%	6,9%	21,6%	0,0%	6,9%	43,8%	1,8%	1,2%	2,9%	1,6%	5,7%
9	1,9%	6,5%	4,9%	9,6%	0,2%	4,8%	29,4%	24,6%	4,5%	4,5%	7,4%	1,8%
10	8,0%	4,4%	14,1%	16,2%	1,2%	6,3%	25,6%	8,2%	4,2%	3,1%	3,4%	5,2%
11	2,3%	5,3%	13,1%	23,7%	1,4%	0,8%	20,1%	20,1%	4,1%	4,1%	0,9%	4,2%
12	4,5%	20,7%	12,3%	19,3%	0,0%	5,2%	21,4%	4,7%	2,1%	3,8%	2,1%	3,9%
13	2,1%	11,2%	7,3%	32,2%	0,0%	4,5%	3,0%	25,1%	3,9%	5,1%	2,2%	3,5%
14	2,8%	7,9%	7,4%	19,9%	0,8%	0,0%	0,0%	46,6%	1,2%	13,4%	0,0%	0,0%
15	1,6%	28,8%	11,7%	27,0%	0,0%	1,0%	11,3%	4,1%	2,3%	1,3%	0,7%	10,3%
16	3,8%	31,3%	16,6%	8,6%	0,0%	3,7%	24,2%	1,4%	0,7%	0,7%	0,3%	8,8%

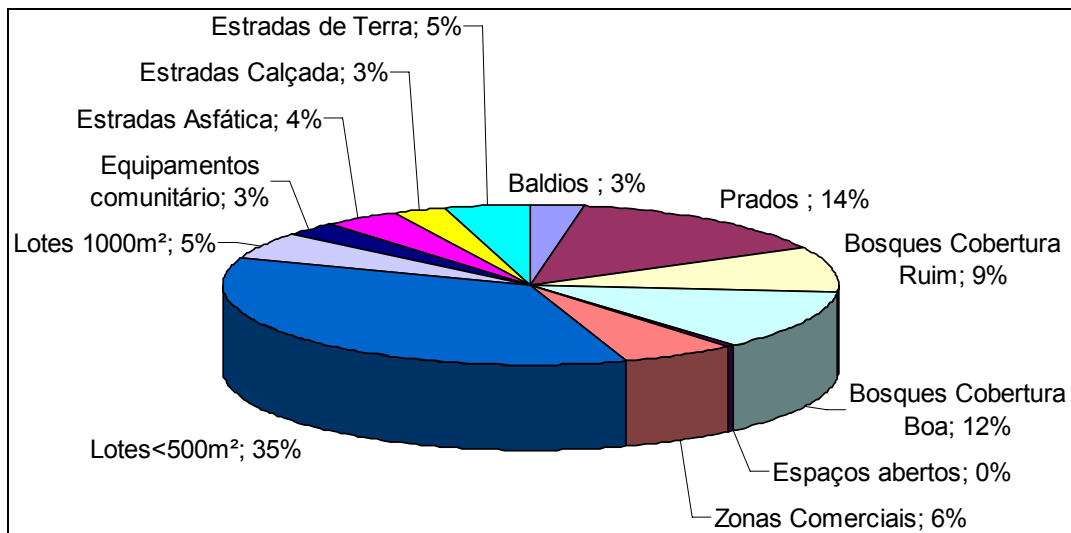


Figura 37 – Distribuição percentual do uso e ocupação do solo considerando a situação atual da bacia do Riacho Reginaldo

### 3.2.2 Cenário 2: Uso e ocupação do solo com base nas diretrizes do Plano Diretor e do Código de Urbanismo e Edificações de Maceió

A partir da sobreposição do mapa de zoneamentos da cidade de Maceió e a bacia do Riacho Reginaldo, foram identificados quais os zoneamentos urbanos que a bacia do Reginaldo está inserida (Figura 38 e Figura 39).

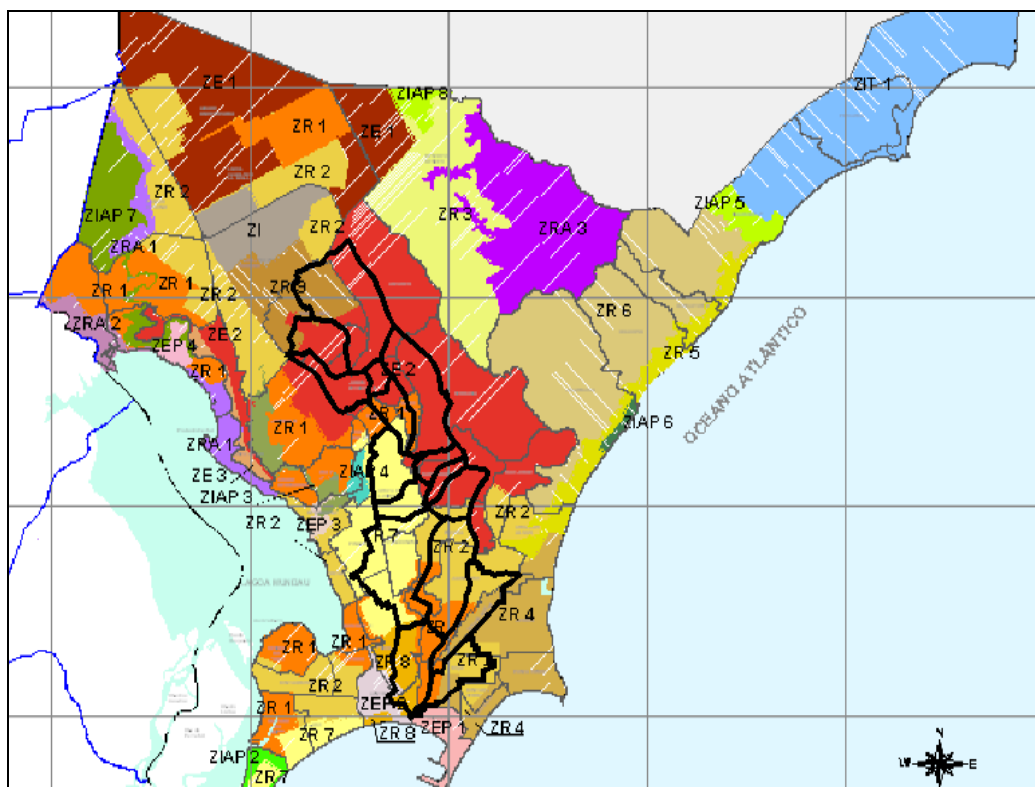


Figura 38 – Mapa dos zoneamentos urbano de Maceió com a bacia do Reginaldo

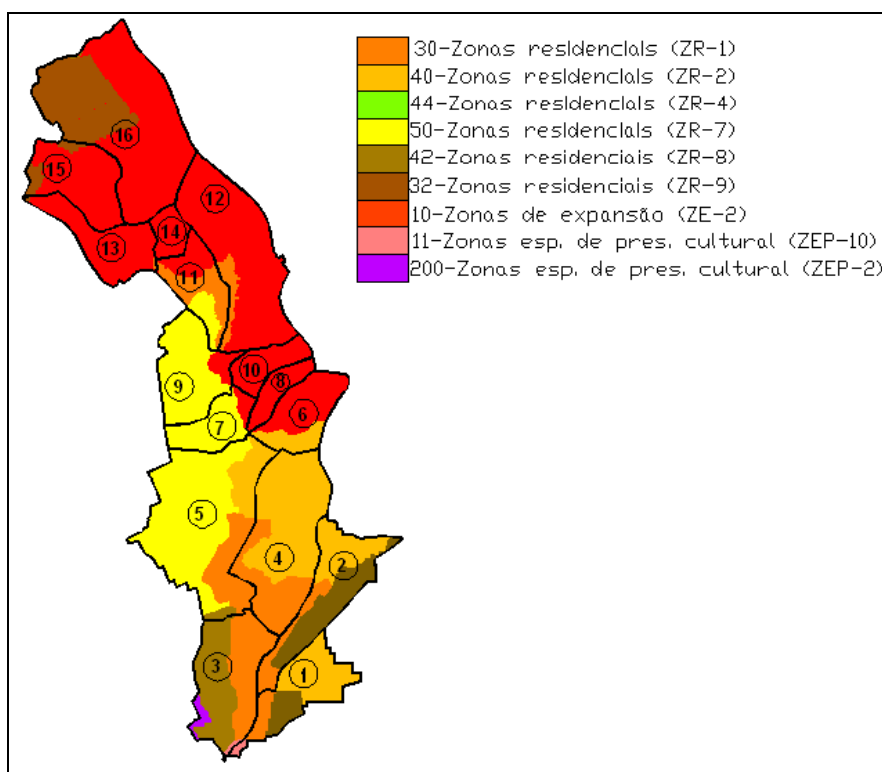


Figura 39 – Mapa dos zoneamentos urbano da bacia do Reginaldo

Como podemos identificar no mapa do zoneamento urbano de Maceió, a bacia do Riacho Reginaldo está inserida em 9 áreas zoneadas: 6 residenciais, 1 de expansão, 2 especiais de preservação cultural (Figura 39).

A Tabela 10 apresenta o zoneamento urbano que está contido em cada sub-bacia do Riacho do Reginaldo.

Tabela 10 – Zoneamento urbano das sub-bacias

Sub-bacias	ZR-1	ZR-2	ZR-4	ZR-7	ZR-8	ZR-9	ZE-2	ZEP-1	ZEP-2
1	13,78%	61,47%	21,67%					3,04%	
2	17,80%	33,33%	48,88%						
3	45,14%				49,89%			1,06%	3,88%
4	31,75%	68,25%							
5	16,89%	13,15%		68,23%	1,72%				
6		26,57%					73,43%		
7				84,35%			15,65%		
8							100%		
9				89,87%			10,13%		
10							100%		
11	49,48%			19,29%			31,24%		
12	8,35%						91,65%		
13	0,50%						99%		
14							100%		
15						13,39%	86,61%		
16		0,14%				35,55%	64,31%		

A bacia foi discretizada em 16 (dezesesseis) sub-bacias, cada uma foi dividida em zonas urbanas, que por vez cada zona urbana possui uma característica de uso residencial e comercial (Figura 40) conforme o Código de Urbanismo.

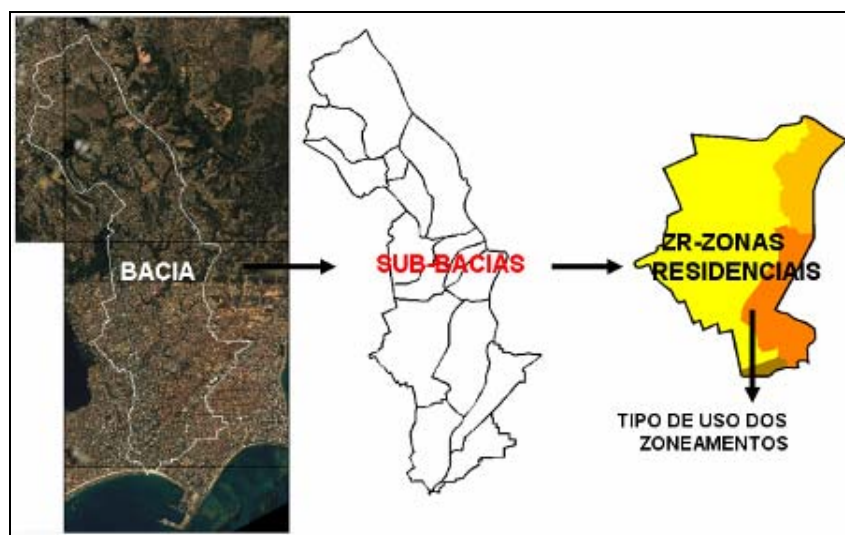


Figura 40 – Esquema resumido das discretizações

Buscando identificar aspectos de caracterização de uso e ocupação do solo da região da bacia do Reginaldo com a implantação do Plano Diretor da cidade de Maceió em conjunto com o código de urbanismo da mesma, foram feitas considerações para a adequação com o uso e ocupação das condições atuais (terrenos baldios, prados, bosques ou florestas, espaços abertos, relvados, campos de grama, cemitérios, zonas comerciais, zonas industriais, zonas residenciais, parques de estacionamentos, viadutos, telhados, arruamentos e estradas), entre outras.

Ao longo das margens dos afluentes da bacia do Reginaldo existe cobertura de bosques ou zonas florestais, logo os 15m de faixa de proteção destinados a domínio para reserva em cada margem dos cursos d'água, terão as seguintes formulações:

$$\text{Área de Bosques} = \text{comprimento do corpo d'água} \times 30m \quad (8)$$



Através do mapa do uso e ocupação do solo atual, foi feita a distribuição entre bosques ou zonas florestais com cobertura boa e bosques ou zonas florestais com cobertura ruim.

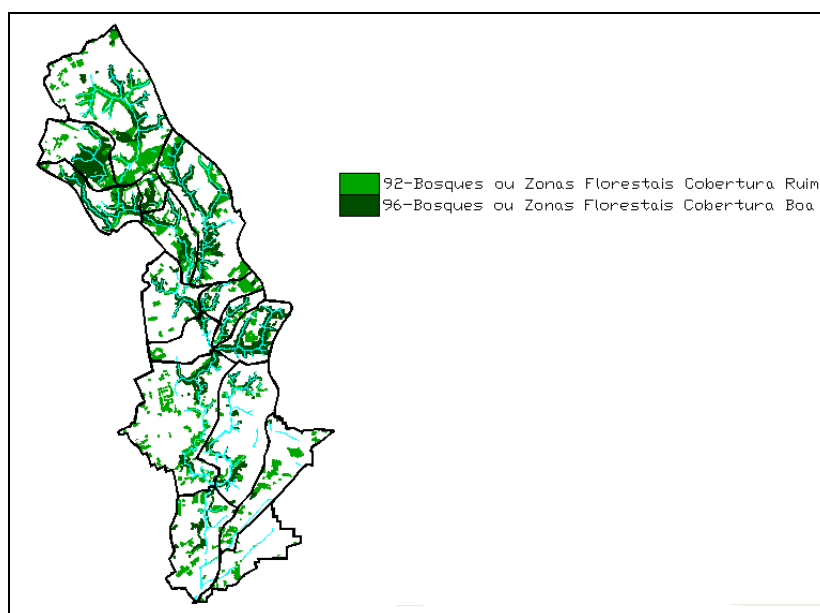


Figura 41 – Bosques ou zonas florestais cobertura ruim e boa da bacia atual

De acordo com o Código de Urbanismo da Cidade de Maceió, 35% da área da bacia terá que ser transferida ao município, que destinará as áreas públicas.

Para o cálculo de 20% destinados às vias públicas, foram consideradas as seguintes formulações:

$$\text{Área (vias públicas)} = 20\% \text{ Área Sub-Bacia} \quad (9)$$

Sendo que para ruas asfaltadas, temos,

$$\text{Área (Asfalto)} = \% (\text{Área de asfalto da bacia atual}) \times \text{Área (vias públicas)} \quad (10)$$

Desta forma, o restante da área (vias públicas) será destinado a vias calçadas, uma vez que o Plano Diretor e o Código de Urbanismo consideram que todas as ruas existentes na região são asfaltadas ou calçadas. Logo, a parcela de ruas de terra foi distribuída, uma parte para o tipo asfalto e o restante para calçamento, obedecendo às características da sub-bacia em proporção.

$$\text{Área (Calçamento)} = \text{Área (vias públicas)} - \text{Área (Asfalto)} \quad (11)$$

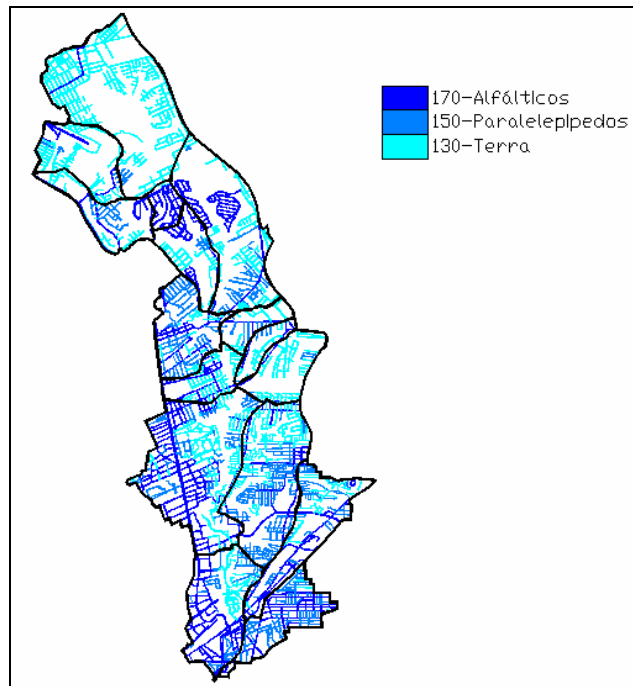


Figura 42 – arruamentos da bacia atual

Dos 35% da área destinada ao município, serão destinados às áreas livres de lazer 10%, logo:

$$\text{Área (livres)} = 10\% \text{ Área Sub-Bacia} \quad (12)$$

O restante dos 35% da área destinada ao município, ou seja, 5% serão destinados à implantação de equipamentos comunitários, assim:

$$\text{Área (Equip.)} = 5\% \text{ Área Sub-Bacia} \quad (13)$$

Portanto toda área de uso comum da bacia, que será o somatório das áreas de bosques ou zonas florestais, vias públicas (Asfalto e Paralelep&edilpedo), livre de lazer e equipamentos comunitários. Logo, o total de área destinado a usos residenciais, será a subtração da área total da sub-bacia menos a soma das áreas de uso comum da sub-bacia.

Como cada sub-bacia possui áreas comerciais, faz-se necessária a relação com o uso e ocupação do solo atual, logo:

$$UR5\text{-}Comerciais\_Industriais = \% (\acute{A}rea\ comercial\ da\ bacia\ atual) * \acute{A}rea\ do\ ZR(14)$$

Logo temos,

$$URs = \acute{A}rea\ do\ ZR - UR5 \quad (15)$$

Este parâmetro representa o tipo de uso residencial de cada zona residencial.

Vale ressaltar que para o cálculo da área destinada a uso residencial, foi mantida a ocupação atual, visto que as diretrizes adotadas no Plano Diretor não obrigam à desocupação de lotes implantados anteriores a criação do mesmo, mais as parcelas excedentes dos outros usos, mantidas as devidas proporções para zonas comerciais, residenciais e vias públicas da ocupação atual.

Para fins de cálculo, o Código de Urbanismo e Edificações de Maceió define diferentes padrões de ocupação, de taxa de permeabilidade, entre outros padrões de uso do solo. A Figura 43 mostra os parâmetros definidos para o cálculo da separação da taxa de ocupação de cada zona.

Zonas	Usos	Taxa de Ocupação do Terreno Máxima	Altura Máxima da Edificação (nº pavtos)	Testada Mínima do Lote (m)	Área mínima do Lote (m²)	Recuo Mínimo		Coeficiente de Aproveitamento do Terreno	Vagas de Estacionamento
						Frontal (m)	Laterais/fundos (m)		
ZR-1	UR-1	90%	2	...	...	...	...	2	Isenta
	UR-3	70%	2	...	Art.408	Art.408	Art.408	2	Isenta
	UR-2/ UR-5	60%	4	...	...	5	2,50	2	AC: -Até 60m²: Vagas para 30% das unidades; -acima de 60m²: 1 vaga p/ cada unidade.
	Comercial Serviço Industrial Grupo I e II	AC até 70m²: 90% AC até 300m²: 80%	2 <sup>(*)</sup>	...	...	5	Art.473	3,5	AC: -até 50m²: Isenta; -até 300m²: 1 vaga p/ cada 150m²

AC – Área construída  
 (\*) – Exceto nos corredores de atividade múltiplas das avenidas Durval de Góes Monteiro, Deputado Serzedelo Barros Correia e Menino Marcelo (BR 316), onde se admitem 9 pavimentos, obedecendo aos demais parâmetros urbanísticos previstos para UR-5 a partir do 3º pavimento.  
 Na ZR – 1, para os novos parcelamentos a testada mínima do lote é de 5m e a área mínima do lote é de 125m².

Figura 43 – Parâmetros utilizados no equacionamento

$$\acute{A}rea(Construída) = \frac{\acute{A}rea(total) * C.A * T.Ocupação}{n^{\circ} Pav.} \quad (16)$$

De acordo com o Código de Urbanismo e Edificações da cidade de Maceió, no seu artigo 281, os lotes com área até 1200 m<sup>2</sup> estão isentos da obrigatoriedade de manutenção de área permeável.

Entretanto, para a composição do CN médio dos lotes, observou-se o padrão de ocupação na bacia em função das dimensões médias dos lotes. Desta forma, para este cenário, o CN dos lotes será determinado a partir de uma ponderação de CN's das áreas consideradas completamente impermeáveis (como os telhados) e das áreas complementares dos lotes. Neste sentido, para os lotes pequenos (predominantes na bacia), considerou-se que a ocupação efetiva do lote é da ordem de 85% e a composição do CN médio será feita conforme a equação 17.

$$CN = 0,85.A + 0,15.B \quad (17)$$

Sendo,

$A = 98$ , que corresponde ao CN de Parques de estacionamento, telhados, viadutos, etc.

$B = 79$ , que corresponde ao CN de Espaços abertos, relvados, parques, campos de golf, cemitérios, boas condições, Com relva de 50 a 75% da área.

A Figura 44 e a Tabela 11 mostram a distribuição percentual do uso e ocupação do solo considerada para as Sub-Bacias do Riacho Reginaldo, considerando as diretrizes e o código de urbanismo de Maceió.

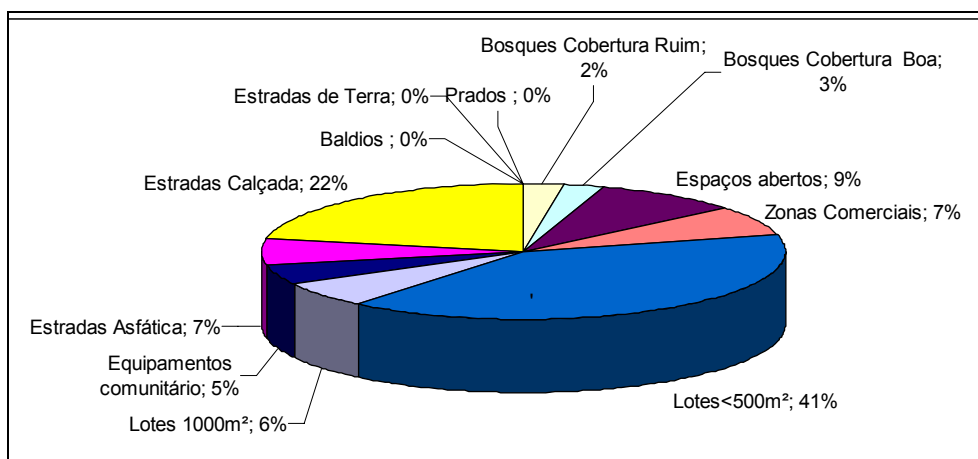


Figura 44 – Uso e ocupação do solo considerando as diretrizes do Plano Diretor e o código de urbanismo de Maceió na Bacia do Riacho Reginaldo

Tabela 11 – Distribuição percentual do uso e ocupação do considerando as diretrizes do Plano Diretor e o código de urbanismo de Maceió na Bacia do Riacho Reginaldo

Solo	Bosques ou zonas florestais		Espaços abertos, Relvados, Campos de grama e cemitérios	Zonas Comerciais	Zonas Residenciais		Parques de estac., Telhados, viadutos	Arruamentos e estradas	
	(Cobert. Ruim)	(Cobert. Boa)			Lotes <500m <sup>2</sup>	Lotes 1000m <sup>2</sup>		Asfálticas	Calçadas
Sub-Bacias	Área	Área	Área	Área	Área	Área	Área	Área	Área
1	3,4%	0,0%	7,0%	7,9%	61,2%	0,0%	4,6%	7,2%	8,8%
2	4,0%	0,2%	9,9%	20,4%	44,5%	2,7%	4,6%	5,7%	8,0%
3	4,1%	1,1%	8,6%	20,3%	45,3%	2,0%	4,8%	5,7%	7,9%
4	1,6%	1,0%	6,2%	3,5%	71,7%	0,6%	3,9%	3,8%	7,6%
5	0,7%	0,3%	9,6%	7,6%	54,2%	0,0%	17,4%	4,1%	6,1%
6	0,3%	2,3%	10,2%	5,5%	40,3%	0,0%	11,3%	12,9%	17,1%
7	2,3%	3,5%	10,2%	0,0%	45,3%	4,2%	5,7%	11,1%	18,9%
8	1,1%	8,0%	7,5%	5,2%	33,2%	1,4%	5,3%	16,5%	23,6%
9	0,9%	1,3%	8,6%	5,3%	32,4%	24,8%	10,5%	6,9%	9,3%
10	5,4%	10,9%	9,9%	5,5%	22,2%	7,1%	4,6%	14,5%	21,3%
11	1,6%	10,5%	8,9%	0,9%	21,9%	22,0%	9,2%	9,9%	15,1%
12	0,8%	1,5%	9,8%	7,5%	30,6%	6,8%	30,3%	5,1%	7,6%
13	0,8%	10,6%	9,6%	5,4%	3,6%	30,4%	17,1%	9,4%	13,0%
14	0,0%	14,2%	10,0%	0,0%	0,0%	33,3%	5,0%	18,5%	21,9%
15	4,8%	4,5%	10,0%	1,3%	40,6%	5,6%	7,8%	7,3%	18,0%
16	4,6%	0,5%	9,7%	5,2%	41,0%	1,9%	23,0%	2,6%	11,4%

### 3.2.3 Cenário 3: Uso e ocupação do solo sem planejamento Urbano

A Figura 46 mostra toda a caracterização do uso e ocupação do solo, exceto para as áreas que continham terrenos baldios, prados, bosques ou florestas, espaços abertos, relvados e campos de grama, que foram substituídas por zonas comerciais, zonas industriais, zonas residenciais, parques de estacionamento, viadutos, telhados, arruamentos e estradas, respeitando a linha de percentagem já distribuída no uso e ocupação atual.

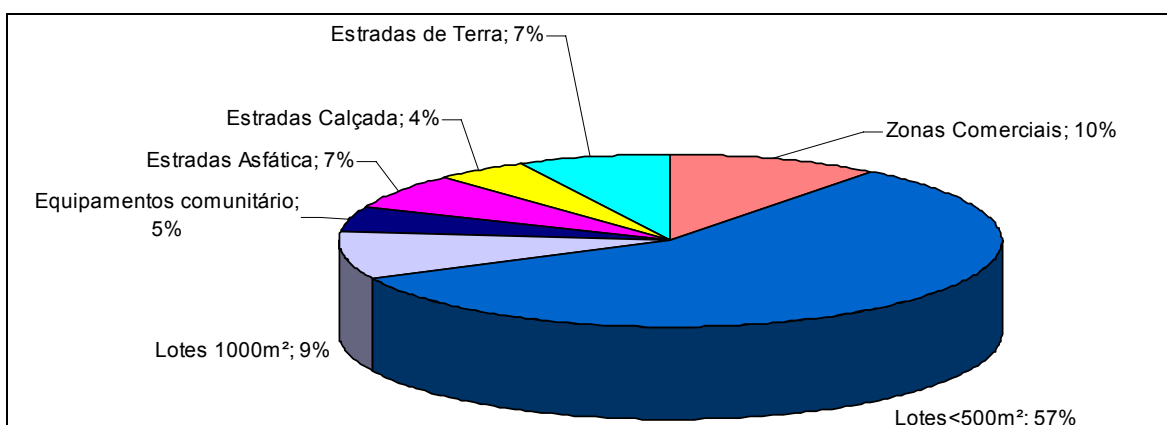


Figura 45 – Distribuição percentual do uso e ocupação do solo sem considerar as diretrizes do Plano Diretor e o código de urbanismo de Maceió na Bacia do Riacho Reginaldo

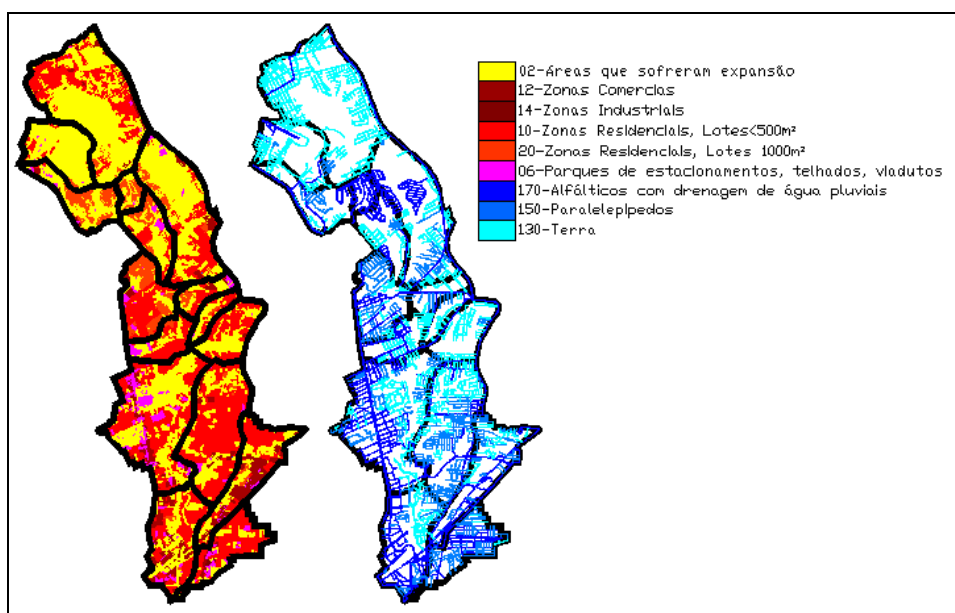


Figura 46 – Mapa da caracterização do uso do solo da bacia do Reginaldo

Tabela 12 – Distribuição percentual do uso e ocupação do solo sem as diretrizes do Plano Diretor e o código de urbanismo de Maceió na Bacia do Riacho Reginaldo

Uso do Solo	Zonas Comerciais	Zonas Residenciais		Parques de estac., telhados, viadutos	Arruamentos e estradas		
		Lotes <500m <sup>2</sup>	Lotes 1000m <sup>2</sup>		Asfálticas	Calçadas	Terra
Sub-Bacias	Área	Área	Área	Área	Área	Área	Área
1	9,0%	69,8%	0,0%	2,7%	8,2%	9,7%	0,4%
2	25,2%	54,9%	3,3%	3,7%	6,4%	4,3%	2,2%
3	23,3%	56,5%	2,3%	2,5%	9,1%	3,4%	3,0%
4	3,9%	79,1%	0,7%	1,7%	3,7%	6,4%	4,4%
5	9,0%	63,8%	0,0%	10,4%	8,3%	3,8%	4,7%
6	9,3%	68,6%	0,0%	2,3%	3,7%	1,6%	14,6%
7	0,0%	68,4%	6,4%	6,4%	8,6%	0,0%	10,2%
8	10,7%	68,4%	2,9%	1,9%	4,6%	2,6%	9,0%
9	6,2%	38,2%	31,9%	5,8%	5,9%	9,6%	2,4%
10	11,3%	45,7%	14,6%	7,6%	5,5%	6,1%	9,3%
11	1,5%	37,0%	37,1%	7,6%	7,5%	1,6%	7,8%
12	12,0%	49,5%	10,9%	4,9%	8,8%	4,9%	8,9%
13	9,4%	6,3%	53,1%	8,3%	10,8%	4,6%	7,5%
14	0,0%	0,0%	76,2%	2,0%	21,8%	0,0%	0,0%
15	3,1%	36,6%	13,1%	7,5%	4,3%	2,1%	33,2%
16	9,3%	60,9%	3,4%	1,8%	1,8%	0,8%	22,1%

### 3.3 Comparação dos cenários

A Figura 47 apresenta a evolução comparativa dos cenários de uso e ocupação do solo junto com a Tabela 13 que apresenta os CN's médios de cada sub-bacia, obtidos através da caracterização de campo em relação a valores padronizados (Tucci, 1993) e multiplicando pela percentagem proporcional de cada item relacionado com a sub-bacia em estudo.

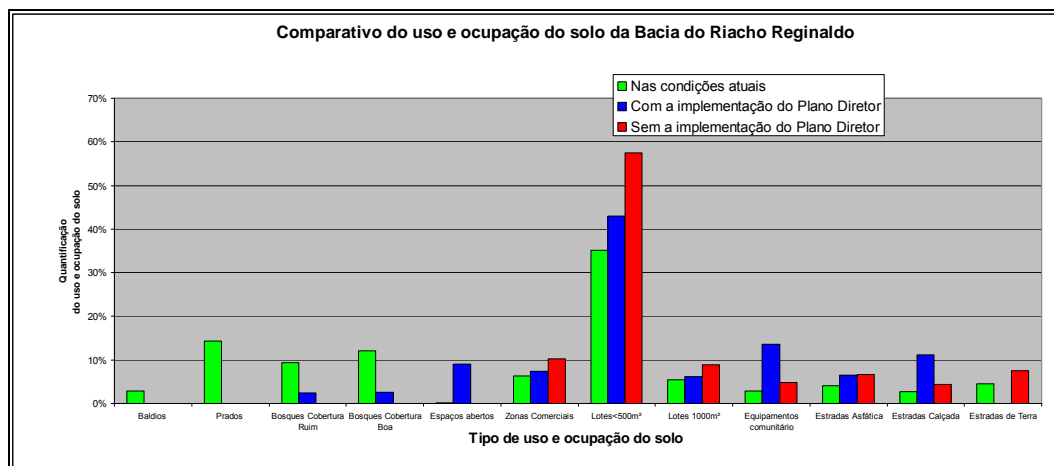


Figura 47 – Comparativo do uso e ocupação do solo da Bacia do Riacho Reginaldo

Como a evolução da urbanização da bacia não retroage, logo os processos de evolução dos CN's são ascendente (Tabela 13) e (Tabela 14), independentemente do cenário futuro que se analisa.

Tabela 13 – Valor do CN médio para cada sub-bacia

Sub-Bacias	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
1	84,08	85,02	89,80
2	83,85	86,79	91,64
3	84,19	86,93	91,93
4	90,16	92,18	93,83
5	88,02	92,14	94,96
6	82,10	91,41	93,93
7	88,34	90,73	93,97
8	85,95	90,66	93,97
9	86,46	89,19	90,75
10	83,99	87,92	92,49
11	82,15	86,89	90,33
12	81,20	89,92	93,05
13	79,31	85,43	88,24
14	80,88	85,34	86,57
15	77,66	87,86	91,02
16	80,71	89,70	92,88

A Tabela 14 mostra que a bacia do Riacho Reginaldo, na situação atual, encontra-se em condições mais favoráveis à interceptação do volume escoado, comparado com a implantação do Plano Diretor. Da mesma forma se considerar um crescimento urbano, poderemos chegar a um aumento médio de aproximadamente 6,35% em relação às diretrizes do Plano Diretor e ao Código de Urbanismo da Cidade de Maceió. Assim com um aumento de 10,2%, considerado um crescimento desordenado. Observa-se, desta forma, que o Plano Diretor ainda permite intervenções na bacia que provocarão importante alteração nas condições de escoamento superficial.

Tabela 14 – CN médios para cada cenário de uso e ocupação do solo

Cenários	CN médio
Na situação atual	83,95
Com a implantação do Plano Diretor da Cidade	89,28
Sem a implantação do Plano Diretor da Cidade	92,50



## 4 RELAÇÕES CHUVA x VAZÃO NA BACIA DO RIACHO REGINALDO

Para que ocorra a simulação chuva x vazão, é necessário que sejam feitas algumas considerações com relação ao evento de chuva que será usado, visto que as outras variáveis da simulação já foram obtidas, característica física e de uso e ocupação do solo, para cada cenário e sub-bacia.

### 4.1 Tempo de concentração

Para cada sub-bacia e cenário, foi estimado um CN de acordo com a porcentagem média impermeável sugerida pelo SCS (Tabela 15).

Tabela 15 – Média impermeável para cada sub-bacia e cenário

Sub-Bacias	Média impermeável (%)		
	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
1	89,50	89,77	99,57
2	76,45	85,94	97,82
3	76,90	86,18	96,97
4	79,31	91,25	95,56
5	65,81	89,38	95,30
6	40,87	87,17	85,44
7	66,18	85,10	89,84
8	58,22	85,15	91,02
9	75,14	89,23	97,64
10	50,78	75,11	90,72
11	50,05	79,02	92,20
12	39,33	87,81	91,06
13	43,63	78,95	92,52
14	61,22	78,63	100,00
15	20,62	80,68	66,78
16	30,92	85,16	77,94

Tabela 16 – Média impermeável da bacia do Riacho Reginaldo para cada cenário

Cenários	Média impermeável
Na situação atual	56,61%
Com a implantação do Plano Diretor da Cidade	87,81%
Sem a implantação do Plano Diretor da Cidade	92,53%

A partir da porcentagem de área impermeável, foram calculados os parâmetros *FA* assim corrigindo os tempos de concentração para cada sub-bacia (Tabela 17).

Tabela 17 – Tempos de concentração corrigidos para os cenários de urbanização,

Sub-Bacias	Tempo de concentração (min)			
	Kirpich	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
1	86,14	44,88	44,76	41,25
2	61,87	36,34	33,47	31,30
3	45,12	26,63	24,60	23,24
4	69,24	47,78	44,97	44,48
5	70,73	49,93	44,22	44,22
6	33,88	25,95	20,50	20,49
7	78,55	55,74	50,05	50,04
8	24,05	17,11	14,50	14,48
9	35,66	22,69	20,54	19,60
10	37,86	27,53	23,15	21,98
11	62,47	44,60	35,51	33,48
12	68,53	52,68	39,60	39,60
13	32,62	23,83	17,59	16,22
14	22,84	14,54	12,42	10,17
15	51,97	45,11	33,23	33,22
16	56,60	46,17	35,33	35,22

## 4.2 Precipitação de projeto

Para a análise da geração de escoamento superficial em cada cenário, foram consideradas as precipitações de projeto a partir da curva IDF de *Pfaffstetter* (1980) para Maceió, com períodos de retorno de 2, 10 e 50 anos. A duração da precipitação foi a mesma para os três cenários e foi obtida de acordo com o tempo de concentração estimado pelo método *Kirpich* para toda a bacia. Esta duração foi igual a 155 minutos, com discretização de 5 minutos.

As figuras abaixo (Figura 48, Figura 49 e Figura 50) apresentam a precipitações de projeto determinadas para duração de 155 minutos e tempo de retorno de 2, 10 e 50 anos, utilizando blocos alternados para a distribuição temporal, com o pico no centro do hietograma.

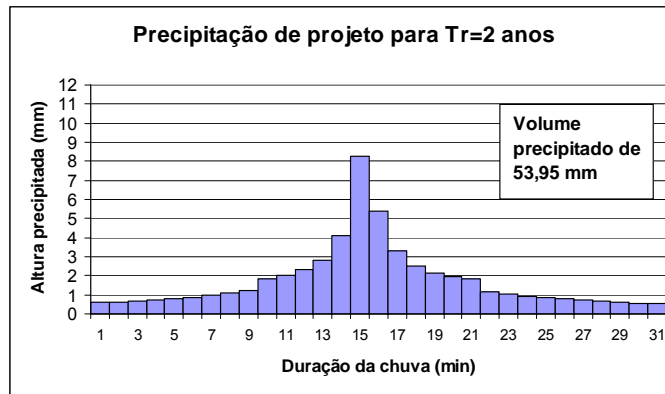


Figura 48 – Chuva de projeto para duração de 155 minutos e tempo de retorno de 2 anos

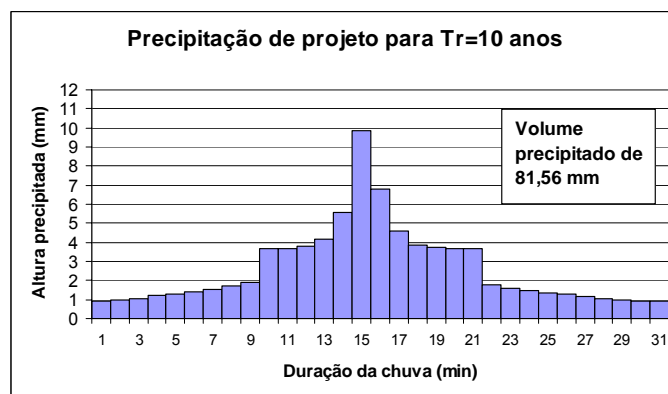


Figura 49 – Chuva de projeto para duração de 155 minutos e tempo de retorno de 10 anos

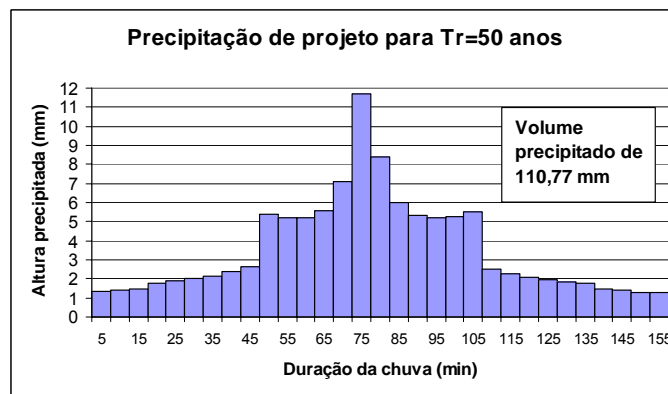


Figura 50 – Chuva de projeto para duração de 155 minutos e tempo de retorno de 50 anos

Deve-se destacar que a precipitação de projeto para tempo de retorno de 50 anos apresenta 3 picos, em função da inflexão na curva IDF de Pfafstetter causada pela mudança no valor do parâmetro  $\beta$ , que permanece constante a partir da duração de 60 minutos.

### 4.3 Simulação Chuva X Vazão

Para a simulação utilizou-se o modelo IPH-S1 (VILLANUEVA et al., 2004), que é um sistema computacional modulado que permite ao usuário a determinação do hidrograma de projeto através de alternativas de combinações de alguns algoritmos/modelos existentes na literatura para representar os processos hidrológicos urbanos, permitindo que a composição do modelo esteja adaptada ao problema que se deseja representar.

Neste sentido, para este trabalho, foi utilizado o método do Soil Conservation Service (SCS) para separação do escoamento e para cálculo dos hidrogramas em cada sub-bacia e o modelo Muskingum-Cunge para a propagação dos hidrogramas em canal. A Figura 5 mostra a rede de fluxo da bacia do Riacho Reginaldo para simulação no modelo IPH-S1.

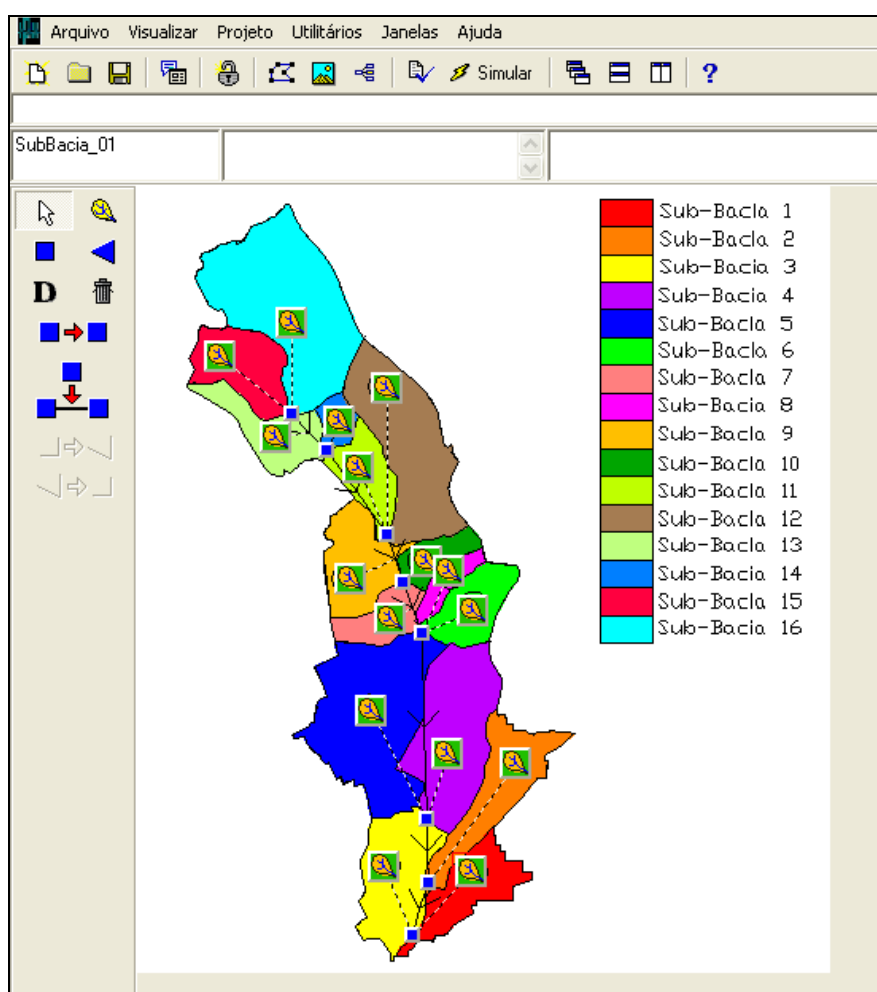


Figura 51 – Esquema da rede de fluxo do programa IPHS1 utilizado para simulação da bacia do Riacho Reginaldo.

Da simulação, foram extraídos os resultados dos hidrogramas resultantes na foz do Riacho Reginaldo para os três cenários de análise. Deve-se observar que, por falta de informações precisas sobre a rede de drenagem da bacia, as suas características foram estimadas apenas para que houvesse a soma dos hidrogramas, sem permitir armazenamento ao longo dos canais. As Figuras abaixo (Figura 52, Figura 53 e Figura 54) apresentam as vazões de saída no exutório da bacia do Riacho Reginaldo para os três cenários citados anteriormente com uma chuva de 155 min e um tempo de retorno de 2, 10 e 50 anos.

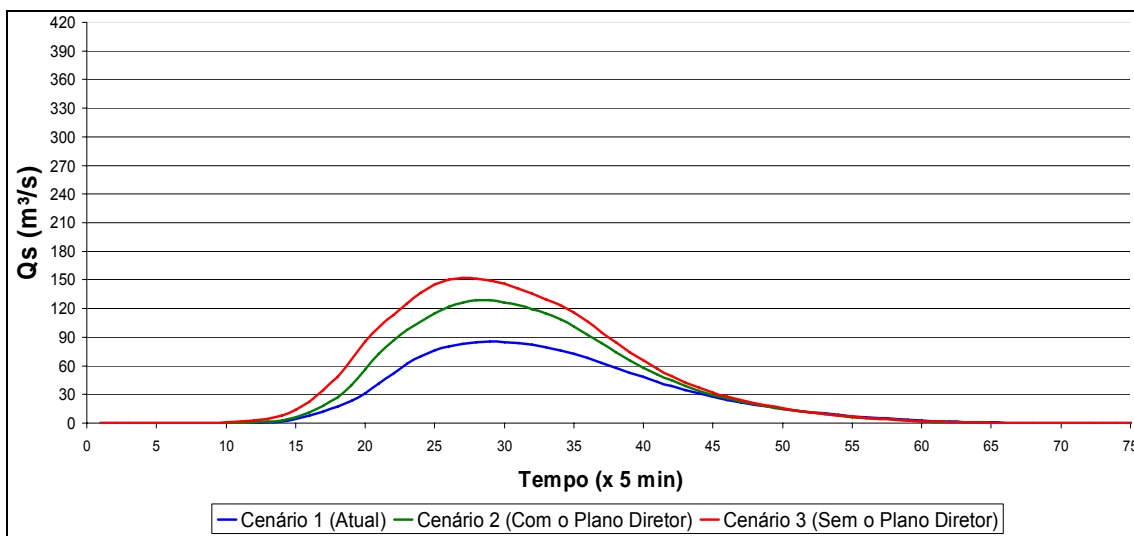


Figura 52 – Hidrogramas no exutório para TR de 2 anos, nos cenários 1, 2 e 3

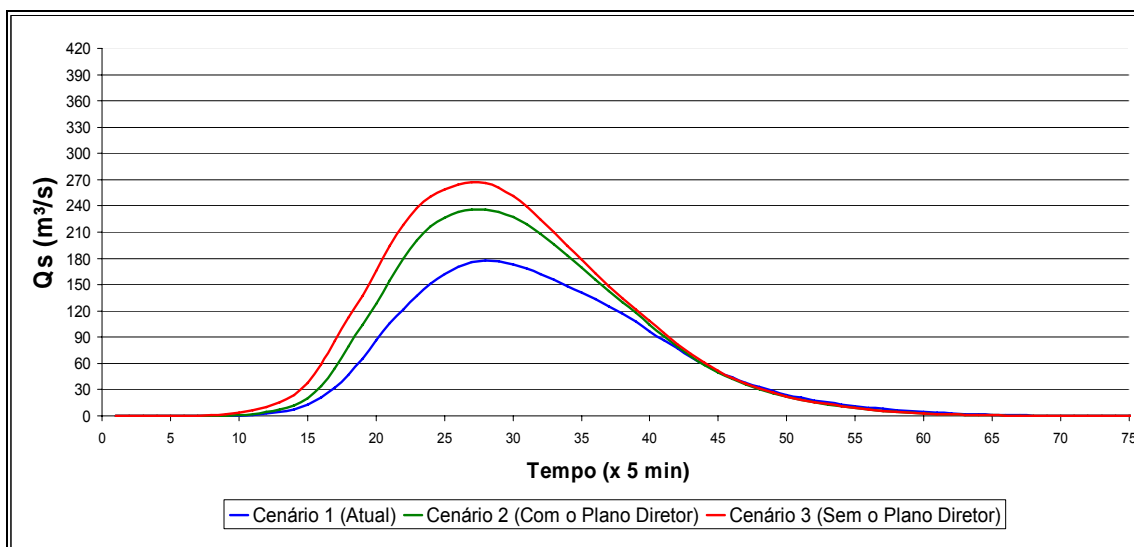


Figura 53 – Hidrogramas no exutório para TR de 10 anos, nos cenários 1, 2 e 3

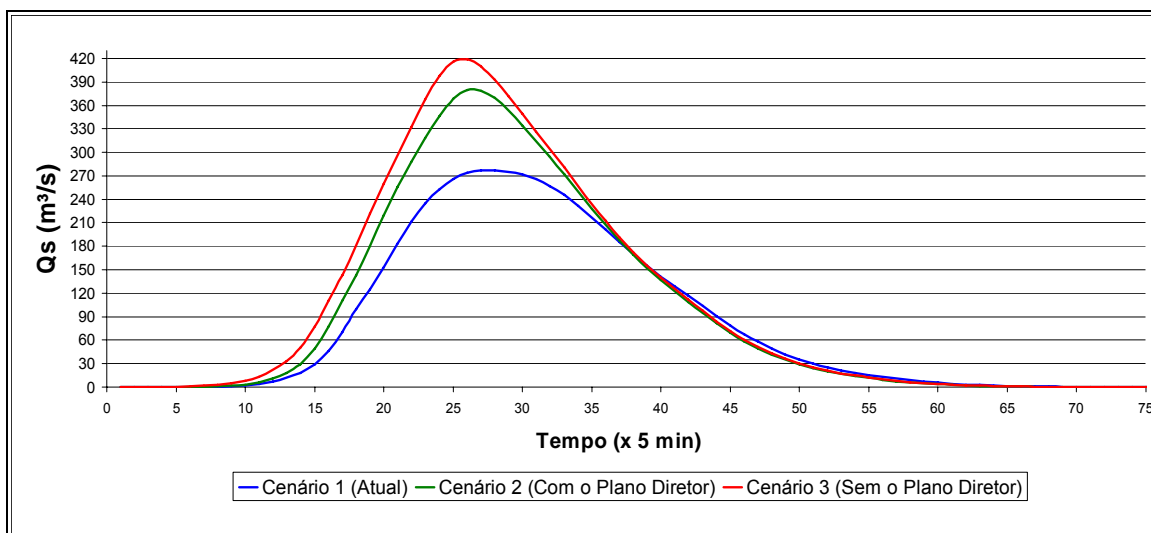


Figura 54 – Hidrogramas no exutório para TR de 50 anos, nos cenários 1, 2 e 3

Nas Tabela 18 a Tabela 20 estão apresentados os valores absolutos dos máximos de vazão com seus respectivos tempo de ocorrência para cada tempo de retorno e as diferenças entre as vazões máximas expressadas em porcentagem no exutório em relação à situação atual da bacia (cenário 1):

Tabela 18 – Picos de vazão no exutório para o TR = 2 anos

CENÁRIO	Tempo de pico (min)	Vazão Máxima (m³/s)	Diferença
Na situação atual	150	85,02	x
Com a implantação do Plano Diretor da Cidade	140	128,5	51,14%
Sem a implantação do Plano Diretor da Cidade	135	152,4	79,25%

Tabela 19 – Picos de vazão no exutório para o TR = 10 anos

CENÁRIO	Tempo de pico (min)	Vazão Máxima (m³/s)	Diferença
Na situação atual	140	177,87	x
Com a implantação do Plano Diretor da Cidade	140	235,91	32,26%
Sem a implantação do Plano Diretor da Cidade	135	267,03	50,13%

Tabela 20 – Picos de vazão no exutório para o TR = 50 anos

<b>CENÁRIO</b>	<b>Tempo de pico (min)</b>	<b>Vazão Máxima (m³/s)</b>	<b>Diferença</b>
Na situação atual	145	276,92	x
Com a implantação do Plano Diretor da Cidade	130	379,68	37,11%
Sem a implantação do Plano Diretor da Cidade	130	418,72	51,21%

As Tabelas abaixo (Tabela 21, Tabela 22 e Tabela 23) apresentam as vazões de saída no exutório e as respectivas vazões específica de cada sub-bacia do Riacho Reginaldo para os três cenários citados anteriormente com uma chuva de 155 min e um tempo de retorno de 2, 10 e 50 anos.

Tabela 21 – Vazão de pico de cada sub-bacia para TR 2anos

<b>Sub-Bacia</b>	<b>Área (km²)</b>	<b>Atual</b>		<b>Com PD</b>		<b>Sem PD</b>	
		<b>Qp (m³/s)</b>	<b>qp (m³/s/km²)</b>	<b>Qp (m³/s)</b>	<b>qp (m³/s/km²)</b>	<b>Qp (m³/s)</b>	<b>qp (m³/s/km²)</b>
1	1,27	6,40	5,05	6,81	5,37	9,57	7,55
2	1,72	9,48	5,50	11,84	6,87	16,40	9,52
3	1,93	12,27	6,35	15,24	7,89	21,13	10,94
4	2,74	19,70	7,20	22,89	8,36	25,32	9,25
5	3,64	22,47	6,17	30,63	8,41	35,95	9,87
6	1,08	5,98	5,55	12,19	11,31	13,97	12,96
7	0,79	4,67	5,93	5,71	7,24	6,90	8,75
8	0,43	3,62	8,38	5,17	11,97	6,21	14,38
9	1,46	11,41	7,84	14,38	9,88	15,92	10,94
10	0,56	3,51	6,22	4,83	8,56	6,58	11,66
11	1,00	4,47	4,46	6,40	6,39	8,62	8,60
12	2,85	10,89	3,82	22,21	7,80	26,58	9,33
13	1,15	5,30	4,63	9,21	8,04	11,20	9,78
14	0,36	2,20	6,09	3,34	9,24	3,61	9,99
15	1,40	4,47	3,20	10,33	7,40	12,55	8,99
16	4,12	16,29	3,95	33,28	8,08	40,28	9,78

Tabela 22 – Vazão de pico de cada sub-bacia para TR 10anos

Sub-Bacia	Área (km <sup>2</sup> )	Atual		Com PD		Sem PD	
		Qp (m <sup>3</sup> /s)	qp (m <sup>3</sup> /s/km <sup>2</sup> )	Qp (m <sup>3</sup> /s)	qp (m <sup>3</sup> /s/km <sup>2</sup> )	Qp (m <sup>3</sup> /s)	qp (m <sup>3</sup> /s/km <sup>2</sup> )
1	1,27	12,49	9,85	13,00	10,26	16,21	12,79
2	1,72	18,21	10,57	21,01	12,19	25,81	14,98
3	1,93	22,48	11,64	25,85	13,38	32,06	16,59
4	2,74	33,61	12,28	37,21	13,59	39,53	14,44
5	3,64	40,38	11,08	49,67	13,63	54,76	15,03
6	1,08	11,49	10,66	18,38	17,06	19,94	18,50
7	0,79	8,41	10,67	9,68	12,28	10,88	13,80
8	0,43	6,06	14,03	7,75	17,94	8,65	20,03
9	1,46	19,47	13,38	22,00	15,11	24,25	16,66
10	0,56	6,48	11,48	8,01	14,19	9,78	17,32
11	1,00	9,12	9,10	12,12	12,10	14,05	14,02
12	2,85	23,01	8,08	37,35	13,11	41,79	14,67
13	1,15	10,90	9,52	15,65	13,66	18,06	15,77
14	0,36	4,21	11,65	5,58	15,44	5,88	16,26
15	1,40	10,26	7,35	17,79	12,74	20,12	14,41
16	4,12	34,61	8,40	55,47	13,46	62,47	15,16

Tabela 23 – Vazão de pico de cada sub-bacia para TR 50anos

Sub-Bacia	Área (km <sup>2</sup> )	Atual		Com PD		Sem PD	
		Qp (m <sup>3</sup> /s)	qp (m <sup>3</sup> /s/km <sup>2</sup> )	Qp (m <sup>3</sup> /s)	qp (m <sup>3</sup> /s/km <sup>2</sup> )	Qp (m <sup>3</sup> /s)	qp (m <sup>3</sup> /s/km <sup>2</sup> )
1	1,27	19,13	15,09	19,18	15,13	23,17	18,28
2	1,72	27,71	16,08	31,63	18,36	35,56	20,64
3	1,93	33,49	17,33	38,37	19,86	43,23	22,38
4	2,74	48,19	17,60	53,79	19,65	54,15	19,78
5	3,64	59,43	16,31	70,19	19,26	74,06	20,33
6	1,08	17,53	16,27	24,65	22,87	26,08	24,20
7	0,79	12,38	15,71	14,10	17,89	14,98	19,01
8	0,43	8,67	20,07	10,40	24,08	11,14	25,79
9	1,46	28,07	19,28	34,18	23,48	32,78	22,52
10	0,56	9,66	17,11	12,15	21,52	13,05	23,12
11	1,00	14,30	14,27	19,60	19,56	19,67	19,63
12	2,85	36,81	12,92	55,19	19,38	57,38	20,15
13	1,15	17,20	15,02	26,21	22,88	25,09	21,91
14	0,36	6,41	17,73	8,49	23,48	8,51	23,54
15	1,40	17,03	12,20	27,26	19,53	27,94	20,01
16	4,12	55,43	13,45	80,52	19,54	85,27	20,70



## 5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Embora as Diretrizes do Plano e do Código de Urbanismo terem considerado artifícios importantes para o controle do crescimento urbano desordenado, os estudos apresentados nos mostram que, a princípio, a aplicação destes instrumentos não impede o aumento da impermeabilização do solo, sobretudo em função do tipo de restrição (apenas para lotes maiores que 300 m<sup>2</sup>) e do padrão de ocupação de Maceió, sobretudo com lotes pequenos. Desta forma, apesar da preocupação com os impactos do crescimento urbano sobre os processos hidrológicos, incluindo a obrigatoriedade de manutenção de áreas permeáveis nos lotes, esta medida se mostra ineficiente no caso da bacia do Riacho Reginaldo para controlar o aumento do escoamento superficial.

Quando comparados os resultados obtidos nos diferentes cenários aplicados ao estudo, fica clara a diferença encontrada para os valores do CN médio da situação atual em relação a implementação dos cenários com o Plano Diretor e sem o Plano diretor. Já os valores obtidos para os cenários com a aplicação do Plano Diretor e sem o Plano Diretor são próximos, mostrando que a bacia do Riacho Reginaldo encontra-se, atualmente, em condições mais favoráveis à interceptação do volume precipitado, quando comparada a aplicação dos demais cenários.

Outro fator importante para a comparação dos cenários aplicados ao trabalho é o ajuste do tempo de concentração. Este mostrou que na situação atual a bacia tende a atenuar os eventos críticos (vazões de cheia), isto se deve ao fato de que no cenário atual as áreas impermeáveis são menores do que outros cenários apresentados, dificultando a contribuição do escoamento superficial na foz em um curto espaço de tempo. Já nos cenários futuros são bem próximo, chegando a serem iguais em algumas sub-bacias.

Com a aplicação do Plano Diretor, ocorrerão grandes alterações nos processos hidrológicos, que são decorrentes da nova ocupação do solo, visto que o mesmo não impede agravamento das ocupações. Desta forma a vazão de escoamento superficial teve um aumento considerável, chegando a 51%, quando comparados os cenários atual e da aplicação das Diretrizes do Plano Diretor. Vale ressaltar que os hidrogramas já contêm valores elevados,

causando sérios problemas de inundação nos locais de baixos níveis da bacia, como o Vale do Reginaldo, entre outros. Já o aumento do escoamento superficial quando aplicado o uso e ocupação desordenado, em relação ao Plano Diretor, chegou a 79,25%.

Recomenda-se que sejam feitos estudos mais detalhados, com relação ao uso e ocupação do solo que influenciam no escoamento superficial, contidos nas Diretrizes do Plano Diretor, visto que a aplicação do Plano Diretor se mostrou insuficiente na preservação de áreas permeáveis para o controle das vazões de enchentes. Vale ressaltar que o controle da impermeabilização do solo, devido ao planejamento, é de extrema necessidade ao desenvolvimento urbano dentro de uma lógica de minimização dos impactos da urbanização sobre os processos hidrológicos na transformação de precipitações em escoamento superficial.

Destaca-se, ainda, que estudos mais detalhados na bacia exigem maiores e melhores informações a respeito dos condutos de drenagem, não havendo cadastros de rede disponíveis com informações que permitam a simulação destes elementos.

Da mesma forma, 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 que permitam intervenções do poder público mais efetivas.

Neste sentido, destaca-se que atualmente a bacia conta com uma rede de monitoramento pluviométrico que deverá ser utilizada nas simulações futuras. Deve-se, da mesma forma, monitorar as vazões em alguns pontos da bacia para a calibração mais precisa dos modelos.

## 6 REFERÊNCIAS

- ACCIOLY, P. Avaliação do Impacto da Aplicação das Diretrizes do Plano Diretor de Maceió, Referentes ao Uso e Ocupação do Solo, sobre a Geração do Escoamento Superficial. Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Civil – Universidade Federal de Alagoas, Alagoas, 2007.
- AGRA, S. G.; DA SILVA JÚNIOR, O. B.; CARVALHO, G. S.; SOUZA, R. C.; PEDROSA, V. A. Estudo de Impacto Ambiental do Projeto de Macrodrenagem do Tabuleiro dos Martins – Estudos Hidrológicos. Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Civil – Universidade Federal de Alagoas, Alagoas, 1999.
- AGRA, S. G.; SILVA JR., O. B.; CARVALHO, G. S. Avaliação Hidrológica do Projeto de Macrodrenagem do Tabuleiro dos Martins – Maceió/AL. In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 6. Maceió. CD-ROM. ABRH, 2002.
- ALAGOAS. 2005. Prefeitura Municipal. Secretaria Municipal de Planejamento e Desenvolvimento. Plano Diretor da Região Hidrográfica do Pratagy. 2005.
- BRASIL. 1988. Constituição da República Federativa do Brasil. Edição atualizada em 2002.
- CORDEIRO, A.; SZÜCS, Carolina; Avaliação Funcional de Habitações autoconstruídas – um estudo de caso em Maceió – AL – Caderno de Arquitetura e Urbanismo. Belo Horizonte: 2003.
- DAEE/CETESB. Drenagem Urbana. Segunda Edição. São Paulo, 1980.
- DENARDIN, J.L.; FREITAS, P.L. Características Fundamentais da Chuva no Brasil. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.17, n.10, p.1409-1416, 1982.
- DIGITAL GLOBE. 2005. Imagem de satélite Quickbird. Disponibilizada para Prefeitura Municipal de Maceió em arquivo digital JPEG comprimido para o formato JPEG. 2007.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias. Diagnóstico Ambiental do Município de Maceió – Anexo I-f – Levantamento Semi-detalhado de Solos, 2005.

- GARCIA, I. J., MONITORAMENTO HIDROLÓGICO E MODELAGEM DA DRENAGEM URBANA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO ARROIO CANCELA – Dissertação de Mestrado. Santa Maria: UFSM, 2005.
- IBGE. 2007. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas, Censo 2002. Disponível on-line em [www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br). Acessado em maio de 2007.
- LINS, R. C.; Simulação Quali-Quantitativa da Bacia do Rio Jacarecica – Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Civil. Maceió: UFAL. 2003.
- MACEIÓ. 2005. Prefeitura Municipal. Secretaria Municipal de Planejamento e Desenvolvimento. Plano Diretor do Município de Maceió, Maceió. 2005.
- MACEIÓ. 2006. Prefeitura Municipal. Secretaria Municipal de Planejamento e Desenvolvimento. Código de Urbanismo e edificações. Maceió. 2006.
- OSTROWSKY, M. S. B. Sistemática Integrada para Controle de Inundações em Sub-bacias Hidrográficas Urbanas. Estudo de Caso: A Bacia do Córrego Pirajuçara Sob o Enfoque da Integração de Obras com Ações de Educação e Percepção Ambiental In: XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Curitiba-PR, 2003.
- PEDROSA, H. Avaliação do Impacto do Lançamento da Macrodrenagem do Tabuleiro dos Martins sobre o Escoamento na Bacia do Rio Jacarecica. Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Civil – Universidade Federal de Alagoas, Alagoas, 2006.
- PEDROSA, V. O controle da urbanização na macrodrenagem de Maceió: Tabuleiro dos Martins – Dissertação de Mestrado. Porto alegre: IPH-UFRGS. 1996.
- PEPLAU, G. R. Influência da variação da urbanização nas vazões de drenagem na Bacia do Rio Jacarecica em Maceió-AL – Dissertação de Mestrado. UFPE. Recife, 2005.
- PEPLAU, G. R.; SILVA J., R. I.; PEDROSA, H. T. S.; SENA, M. C. R.; CAVALCANTE, B. L. C.; SOUZA, V. C. B. CABRAL, J. J. S. P., 2006. Caracterização de bacias urbanas para implantação de estrutura de monitoramento. Estudo de caso: Riacho Reginaldo – MACEIÓ/AL. VIII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, 2006.
- PORTO, M. F.; Aspectos qualitativos do escoamento superficial em áreas urbanas. In: Porto Alegre: ABRH e Editora da UFRGS, 1995.

- PRADINI, F. L.; GUIDICINI, G.; BOTTURA, J. A.; PONÇANO, W. L. E SANTOS, A. R. 1976. Atuação de cobertura vegetal na estabilidade de encostas – CONGRESSO BRASILEIRO DE FLORESTAS TROPICAIS, 2, Mossoró, 1976.
- PRADINI, F. L.; Iwasa, O. Y. e Oliveira, A. M. S. A cobertura vegetal nos processos e evolução do relevo: o papel da floresta. – CONGRESSO BRASILEIRO DE ESSÊNCIAS NATIVAS, Campos do Jordão, 1982.
- PRUSKI, F. F. ; TEIXEIRA, Alessandro Freitas ; SILVA, Demetrius David da ; CECÍLIO, Roberto Avelino ; SILVA, José Márcio Alves da . PLUVIO 2.1: chuvas intensas para o Brasil. 2006. Disponível em <http://www.ufv.br/>, acessado em 29 de julho de 2008.
- SARTORI, A. Avaliação da classificação hidrológica do solo para a determinação do excesso de chuva do método do serviço de conservação do solo dos Estados Unidos. Campinas. Dissertação de Mestrado – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo – Universidade Estadual de Campinas, 2004.
- SECRETARIA DE INFRA-ESTRUTURA (SEINFRA); Projeto Definitivo da Macrodrenagem do Grande Tabuleiro – Maceió-AL, Bahia. 2003.
- SILVA, O. Análise da escala das variáveis hidrológicas e do uso do solo na bacia do Potiribu – RS, - Dissertação de Mestrado. Porto Alegre: Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2001.
- SILVEIRA, A. L. L. Impactos hidrológicos da urbanização em Porto Alegre. – SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 13., 2001. Belo Horizonte. Anais. [Porto Alegre]: ABRH. 1 CD. 1999.
- SILVEIRA, A.L.L. Ciclo Hidrológico e Bacia Hidrográfica. – TUCCI, C.E.M. Hidrologia: Ciência e Aplicação. Porto Alegre: Editora da UFRGS: ABRH. p.25-31. 2001.
- SOUZA, V. C. B. Estudo experimental de trincheiras de infiltração no controle da geração do escoamento superficial – Tese de doutorado. Porto Alegre: Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2001.
- TASSI, R. Efeito dos Microrreservatórios de Lote Sobre A Macrodrenagem Urbana – Dissertação de Mestrado. Porto Alegre: IPH-UFRGS, 2002.

- TUCCI, Carlos E.M. Hidrologia Ciência e Aplicação. In: TUCCI, Carlos E.M., 1993.
- TUCCI, C. E. M. Modelos Hidrológicos. Porto Alegre. Editora da Universidade.  
In: TUCCI, Carlos E.M., 1998.
- UEHARA, K. et al. Pequenas bacias hidrográficas do estado de São Paulo: estudo de vazões médias e máximas. São Paulo, 1980.
- UFAL. 2008. Definição de critérios para elaboração de plano de gestão ambiental integrada de bacias urbanas. Estudo de caso: bacia do Riacho Reginaldo. Relatório final de pesquisa. Projeto Casadinho UFAL-UFMG-EESC/USP. Edital MCT/CNPq/CT- HIDRO No 14/2005.
- VILLANUEVA, A. ALLASIA D.; NEVES M.; TASSI R.; BERNHARDT S.; Iphs1 Manual de Fundamentos. Porto Alegre: UFRGS. 2004.