



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO

CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

PROGRAMA de Pós Graduação em ENGENHARIA CIVIL

ÁREA DE Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos

**MEDIDAS ESTRUTURAIS E NÃO-
ESTRUTURAIS DE CONTROLE DE
ESCOAMENTO SUPERFICIAL
APLICÁVEIS NA BACIA DO RIO
FRAGOSO NA CIDADE DE OLINDA**

Marcos José Vieira de Melo

Tese de Doutorado

Recife, 04 setembro 2007

Medidas Estruturais e Não-Estruturais de Controle de Escoamento Superficial Aplicáveis na Bacia do Rio Fragoso na Cidade de Olinda

Marcos José Vieira de Melo

TESE APRESENTADA AO CORPO DOCENTE DO CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS À OBTENÇÃO DO GRAU DE DOUTOR EM CIÊNCIAS DE ENGENHARIA CIVIL.

Orientador:

Jaime Joaquim da Silva pereira Cabral, Ph. D.

Co-orientadora:

Suzana Maria Gico Lima Montenegro, Ph. D

**Recife – PE
04 de Setembro de 2007**

M528d

Melo, Marcos José Vieira de

Medidas estruturais e não-estruturais de controle de escoamento superficial aplicáveis na Bacia do Rio Fragoso na cidade de Olinda / Marcos José Vieira de Melo. - Recife: O Autor, 2007.

172 folhas, il : figs., tabs.

Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, 2007.

Inclui bibliografia.

1. Engenharia Civil. 2. Drenagem Urbana. 3. Escoamento Fluvial-Rio Fragoso (Olinda) 4. Recursos Hídricos 5. Tecnologia Ambiental I. Título.

UFPE

624

CDD (22. ed.)

BCTG/2007-123



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO - UFPE
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL
Telefone: (81) 2126-8977 Fax: (81) 2126-8222 www.poscivil.ufpe.br
Rua Acadêmico Hélio Ramos, s/n - Cidade Universitária - Recife - PE - CEP 50740-530

ATA DA DEFESA DE TESE DE DOUTORADO DE MARCOS JOSÉ VIEIRA DE MELO

Aos 04 (quatro) dias do mês de setembro do ano 2007 (dois mil e sete), às 08:00 (oito) horas, no Centro de Tecnologia e Geociências da Universidade Federal de Pernambuco, reuniu-se a Banca Examinadora para a defesa de Tese de Doutorado de **MARCOS JOSÉ VIEIRA DE MELO**, aluno do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Modalidade Doutorado, Área de Concentração **TECNOLOGIA AMBIENTAL E RECURSOS HÍDRICOS**, composta pelos Professores Doutores **JAIME JOAQUIM DA SILVA PEREIRA CABRAL**, Ph. D., Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Orientador e Presidente da Banca Examinadora; **JOSÉ PAULO SOARES DE AZEVEDO**, Ph. D., Examinador Externo, Programa de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro; **TARCISO CABRAL DA SILVA**, D. Sc., Examinador Externo, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal da Paraíba; **JOSÉ ALMIR CIRILO**, D. Sc., Examinador Interno, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco; **SUZANA MARIA GICO LIMA MONTENEGRO**, Ph. D., Co-Orientador e Examinador Interno, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco. Como suplentes foram indicados os Professores Doutores **JOSÉ ROBERTO GONÇALVES DE AZEVEDO**, Ph. D., Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Suplente Interno e **ANTÔNIO CELSO DANTAS ANTONINO**, Ph. D., Departamento de Engenharia Nuclear, Universidade Federal de Pernambuco, Suplente Externo, cujos nomes foram indicados em Reunião do Colegiado da Pós-Graduação de Engenharia Civil. Iniciando a sessão, o Professor **JAIME JOAQUIM DA SILVA PEREIRA CABRAL**, Orientador e Presidente da Banca, apresentou a Banca Examinadora e, em seguida, concedeu ao Doutorando **MARCOS JOSÉ VIEIRA DE MELO**, 40 (quarenta) minutos para a apresentação da Tese de Doutorado intitulada "MEDIDAS ESTRUTURAIS E NÃO-ESTRUTURAIS DE CONTROLE DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL APLICÁVEIS NA BACIA DO RIO FRAGOSO NA CIDADE DE OLINDA". Após a apresentação do Doutorando, o Professor **JAIME PEREIRA CABRAL** passou a palavra ao Professor **JOSÉ PAULO SOARES DE AZEVEDO**, Examinador Externo, que argüiu o doutorando **MARCOS VIEIRA DE MELO** que se defendeu usando a palavra. Prosseguindo, o Professor **JAIME PEREIRA CABRAL** passou a palavra ao Professor **TARCISO CABRAL DA SILVA**, Examinador Externo, que argüiu o doutorando **MARCOS VIEIRA DE MELO** que se defendeu usando a palavra. Depois, o Professor **JAIME PEREIRA CABRAL** passou a palavra ao Professor **JOSÉ ALMIR CIRILO**, Examinador Interno, que argüiu o doutorando **MARCOS VIEIRA DE MELO** que se defendeu usando a palavra. Finalizando, o Professor **JAIME PEREIRA CABRAL** passou a palavra à Professora **SUZANA MARIA GICO LIMA MONTENEGRO**, Examinador Interno e Co-Orientador, que argüiu o doutorando **MARCOS VIEIRA DE MELO** e comentou a Tese. Encerrando a sessão, o Professor **JAIME JOAQUIM DA SILVA PEREIRA CABRAL** fez comentários gerais sobre a dissertação e finalizou a defesa solicitando aos presentes que se retirassem do recinto para que a Banca Examinadora se reunisse. Após 5 (cinco) minutos foi reaberta a sessão e tomado público a menção **APROVADO**, que foi dada por unanimidade pela Banca Examinadora. Eu, **ANDRÉA NEGROMONTE VIEIRA MATOSO**, SECRETÁRIA, lavrei a presente ATA, que dato e assino com quem de direito. Recife, 04 de setembro de 2007.

JAIME JOAQUIM DA SILVA PEREIRA CABRAL

JOSÉ PAULO SOARES DE AZEVEDO

TARCISO CABRAL DA SILVA

JOSÉ ALMIR CIRILO

SUZANA MARIA GICO LIMA MONTENEGRO

MARCOS JOSÉ VIEIRA DE MELO

Jaime Pereira Cabral

José Paulo Soares de Azevedo

Tarciso Cabral da Silva

José Almir Cirilo

Suzana Maria Gico Lima Montenegro

Marcos José Vieira de Melo



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO - UFPE
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL
Telefone: (81) 2126-8977 Fax: (81) 2126-8222 www.poscivil.ufpe.br
Rua Acadêmico Hélio Ramos, s/n – Cidade Universitária – Recife – PE – CEP 50740-530

CERTIFICADO

Certificamos que **MARCOS JOSÉ VIEIRA DE MELO**, aluno do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco, Área de Concentração **TECNOLOGIA AMBIENTAL E RECURSOS HÍDRICOS**, defendeu **TESE de DOUTORADO**, conforme exigências do regulamento para obtenção do grau de **DOUTOR** tendo sido **APROVADO**, no dia 04 de setembro de 2007. A defesa foi realizada no Centro de Tecnologia e Geociências da Universidade Federal de Pernambuco.

A Banca Examinadora foi composta pelos Professores Doutores **JAIME JOAQUIM DA SILVA PEREIRA CABRAL**, Ph. D., Orientador, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco; **SUZANA MARIA GICO LIMA MONTENEGRO**, Ph.D., Co-Orientadora e Examinadora Interna, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco; **JOSÉ ALMIR CIRILO**, D.Sc., Examinador Interno, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco; **TARCISO CABRAL DA SILVA**, D. Sc, Examinador Externo, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal da Paraíba; **JOSÉ PAULO SOARES DE AZEVEDO**, Ph. D , Examinador Externo, Programa de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro;

A Tese de Doutorado intitulada: **“MEDIDAS ESTRUTURAIS E NÃO-ESTRUTURAIS DE CONTROLE DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL, APLICÁVEIS NA BACIA DO RIO FRAGOSO NA CIDADE DE OLINDA”** teve a orientação do Professor Doutor **JAIME CABRAL**.

Recife, 06 de setembro de 2007

Jaime Joaquim da Silva Pereira Cabral
Coordenador Pós-Graduação Engenharia Civil



Jaime Joaquim da Silva Pereira Cabral
Pós-Graduação em Eng^a Civil
Coordenador

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, João Bosco (in memoriam) e Josélia, em retribuição à dedicação e incentivo de suas vidas à educação e formação dos seus filhos;

Aos meus professores, pelo esforço e disposição com que transmitiram seu saber;

À minha esposa, Katia, pela paciência, incentivo e dedicação;

Aos meus filhos, Marcos Junior e Fábio, pela alegria de minha vida.

AGRADECIMENTOS

- ❖ Ao Prof. Dr. Jaime Joaquim da Silva Pereira Cabral, pela dedicação na orientação desse trabalho e pela confiança depositada durante todo o curso e elaboração da tese.
- ❖ À Profa. Dra. Suzana Maria Gico Lima Montenegro, pela atenção, conselhos, orientação, colaboração, incentivo e pela solidariedade nas horas mais difíceis.
- ❖ Aos Professores Jarbas Souza e Terezinha de Jesus Pereira da Silva pelo incentivo.
- ❖ Ao Prof. Dr. Raymundo Nonato Serrano, pelos valiosos ensinamentos, valiosa revisão dos textos, pela mais sincera amizade, apoio e incentivo.
- ❖ À FIDEM - Fundação de Desenvolvimento da Região Metropolitana do Recife, e em especial aos funcionários Cristina Percínio, Maria Paula Santos e Jasmina Câmara que, com paciência e dedicação, nos ajudaram e forneceram o material de pesquisa solicitado.
- ❖ À Secretaria do Grupo de Recursos Hídricos e todo o seu pessoal, pelo apoio e solicitude.
- ❖ A DEUS, por permitir tudo que foi realizado.

ÁGUA

*És mulher
 Banhando a Terra
 Em fartas ondas
 De todos os mares
 Em chuva fina
 Lavando os ares
 Em música serena
 De cachoeiras amenas
 Ou de loucas corredeiras*

*És mulher
 Leveza de gota de orvalho
 Na pétala pálida e incauta
 Que a brisa mais leve abala*

*És mulher
 Luz de arco-íris
 Nebelina na madrugada
 Pó de estrelas e estrada*

*És vida
 Brotando nova
 Semente a germinar*

*És paz
 Noite de lua
 Mulher, és perfeita
 Perfeita és nua
 Nua és leve
 Leve estás no ar
 Água da serra ao mar.*

Medidas estruturais e não-estruturais de controle de escoamento superficial aplicáveis na bacia do rio Fragoso na cidade de Olinda

Marcos José Vieira de Melo

RESUMO

A crescente ocupação urbana, em alguns casos de forma desordenada, sem grandes atenções ao controle do escoamento superficial existente, resultou em problemas de drenagem cada vez maiores para muitas cidades brasileiras. Na maioria dos casos, as bacias urbanas possuem áreas que são assoladas por inundações e alagamentos freqüentes e que trazem todo o tipo de transtorno, de dimensões sociais, políticas e econômicas.

Geralmente, as regiões densamente povoadas são as que passam a sofrer as conseqüências negativas de ações resultantes de uma série de questões, que quando caracterizadas demonstram a fragilidade das medidas adotadas na área de drenagem e que requerem uma nova abordagem conceitual do enfrentamento dos problemas das águas pluviais urbanas para os próximos anos.

A grande mudança decorre que em vez de adotar obras de canalização e soluções pontuais, a nova abordagem passa a aplicar técnicas que tenham como base um planejamento da bacia de forma integrada e que aplique como princípio o “manejo sustentável das águas urbanas”.

São apresentadas medidas estruturais e não-estruturais de controle do escoamento superficial urbano, para bacias de pequeno e médio porte, que podem ser replicadas para minimizar problemas comuns em bacias do mesmo porte em outras cidades brasileiras.

Foi realizado um estudo de caso, na bacia do Rio Fragoso em Olinda, incluindo uma modelagem computacional dos escoamentos fluviais e foi realizada também a análise da utilização de elementos considerados não convencionais, demonstrando ser possível mitigar ou resolver os atuais problemas de drenagem existentes nesta bacia.

Palavras-chave: Drenagem urbana, Manejo sustentável de águas urbanas, Rio Fragoso, Viga de retenção.

Structural and non-structural actions for flood control in Fragoso River basin at Olinda city (Brazil)

Marcos José Vieira de Melo

ABSTRACT

Growing urbanization rates, in many cases without planning, lead to increasing drainage problems at several large cities in Brazil. Generally, low areas of urban basins present flood problems with great economical, political and social consequences.

Dense populated localities in low areas generally suffer flood problems that show the fragility of drainage public policies. New approaches are required to face these problems for either avoiding or minimizing rain urban floods for the coming years.

Instead of designing only point solutions to increase flow capacity, these new approaches think the whole river basin as an integrated system, including infiltration and storing facilities, following the principle of “sustainable management of urban waters”.

Structural and non-structural actions are presented to storm water flow control for either low or medium size river basins. These control actions can be replicated for similar river basins in other Brazilian towns.

A case study has been performed for Fragoso river basin in Olinda city (Brazil) including river flow computational modeling and analyses of non conventional element implementation, showing the possibilities for solving or mitigating Fragoso basin flood problems.

Key-words: **Urban drainage, Urban water sustainable management, Fragoso River, Detention beam.**

SUMÁRIO

1 – INTRODUÇÃO	1
1.1 - OBJETIVO GERAL.....	2
1.1.1 - OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
1.2 - METODOLOGIA.....	4
1.2.1. – A FORMULAÇÃO DO PROBLEMA	4
1.2.2. - EXPLICITAÇÃO DOS PROCEDIMENTOS.....	5
1.2.3. - COLETA DE DADOS.....	5
1.2.4. - ETAPAS DESENVOLVIDAS.....	6
1.3. - DESCRIÇÃO DO CORPO DA TESE.....	7
2 – A EVOLUÇÃO DA DRENAGEM URBANA.....	9
2.1. - HISTÓRICO DA ENGENHARIA DAS ÁGUAS URBANAS	9
2.1.1. - HISTÓRICO DA ENGENHARIA DAS ÁGUAS URBANAS NO MUNDO.....	9
2.1.2. - HISTÓRICO DA ENGENHARIA DAS ÁGUAS URBANAS NO BRASIL	14
2.1.3. - CONCEITOS TRADICIONAIS EM DRENAGEM URBANA	16
2.2. - NOVAS ABORDAGENS NA DRENAGEM URBANA	17
3 - A BACIA DO RIO FRAGOSO	21
3.1 - GENERALIDADES	21
3.2 - CARACTERÍSTICAS FISIOGRAFÍAS	25
3.2.1. - GEOLOGIA.....	27
3.2.2. - COBERTURA VEGETAL	30
3.3. - SUB-BACIAS.....	31
3.3.1 - INFLUÊNCIA DA MARÉ	32
3.4 - ASPECTOS SÓCIO-ECONÔMICOS.....	32
3.5 – ENCHENTES URBANAS NO RIO FRAGOSO.....	33
4 - PLUVIOMETRIA NA RMR E NA BACIA DO RIO FRAGOSO.....	39
4.1 - DESCRIÇÃO DOS PLUVIÔMETROS UTILIZADOS	39
4.2 - LOCALIZAÇÃO DOS PLUVIÔMETROS NA BACIA.....	41
4.3 - COMPARAÇÃO COM OUTROS PLUVIÔMETROS DA RMR.....	41
5 – SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS DE VAZÕES NA BACIA	46
5.1. - MODELO UTILIZADO	46
5.1.1 - CHUVAS INTENSAS E SUA OCORRÊNCIA	47
5.1.2. - CÁLCULO DA PRECIPITAÇÃO EFETIVA.....	48
5.2. – RESULTADOS OBTIDOS.....	49
5.2.1. - SUB-BACIA BULTRINS - RIO DOCE	50
5.2.2. - SUB-BACIA DO RIACHO MIRUEIRA	56
5.2.3. - SUB-BACIA DO RIACHO OURO PRETO	57
5.2.4. SUB-BACIA INCREMENTAL DA BACIA DO FRAGOSO	58
5.2.4. - PROJETO HIDRÁULICO DO CANAL.....	59
6 – VIGAS DE DETENÇÃO COMO ALTERNATIVA DE CONTROLE	69
6.1. – CONCEITO DE VIGA DE DETENÇÃO.....	69
6.2 - COMPORTAMENTO COMO ORIFÍCIO E COMO VERTEDOR.....	70
6.3. - EXPERIMENTO EM LABORATÓRIO	73
6.3.1. - AVALIAÇÃO DAS VAZÕES.....	74
6.3.2. - ESTIMATIVA DE RESSALTO HIDRÁULICO E REMANSO	76
6.4. – APLICAÇÃO DA VIGA DE DETENÇÃO NA BACIA DO RIO FRAGOSO	81

7 – OUTRAS MEDIDAS DE CONTROLE EM BACIAS URBANAS.....	86
7.1. - RESERVATÓRIOS DE DETENÇÃO EM ÁREAS PÚBLICAS.....	86
7.2. - CANAL DE EXTRAVASAMENTO	91
7.3. - ESTRUTURAS DE CONTROLE EM ÁREAS DO LOTE	94
7.3.1. - RESERVAÇÃO	94
7.3.2. - DETENÇÃO	103
7.3.3. - DESENVOLVIMENTO URBANO DE BAIXO IMPACTO.....	107
7.3.4. - INFILTRAÇÃO E PERCOLAÇÃO	116
8 – MEDIDAS NÃO-ESTRUTURAIS POSSÍVEIS DE SEREM ADOTADAS..	133
8.1. - MELHOR CONTROLE DO USO DO SOLO	135
8.1.1. - AS CONSEQÜÊNCIAS DA FALTA DE CONTROLE NA MIGRAÇÃO.....	135
8.1.2. - A URBANIZAÇÃO E O MEIO AMBIENTE	136
8.1.3. - O CRESCIMENTO POPULACIONAL E A OCUPAÇÃO DOS ESPAÇOS.....	139
8.1.4. - O DISCIPLINAMENTO DO USO DO SOLO	140
8.1.5. - A PROTEÇÃO DOS MANANCIAIS NA RMR EM PERNAMBUCO	141
8.1.6. - A PROTEÇÃO DAS ÁREAS DE RISCO EM BARREIRAS E VÁRZEAS PRÓXIMAS ÀS NASCENTES	143
8.1.7. - SUGESTÕES PARA O ORDENAMENTO DA MIGRAÇÃO.....	145
8.2. - O ZONEAMENTO.....	147
8.3. - SEGURO INUNDAÇÃO.....	148
8.4. - DISPOSITIVOS DE CONVIVÊNCIA COM INUNDAÇÃO NO LOTE .	149
8.4.1. - PROGRAMA DE MANUTENÇÃO E INSPEÇÃO	150
8.5. - A LEGISLAÇÃO URBANÍSTICA X DRENAGEM URBANA NO LOTE	152
8.5.2. - LEGISLAÇÃO FEDERAL.....	155
9 – CONSIDERAÇÕES FINAIS	158
9.1. - CONCLUSÕES	158
9.2. - RECOMENDAÇÕES	160
10. – REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS	162

LISTA DE FIGURAS

Figura 2. 1 - Imagem do aqueduto de Segóvia (Foto do autor).....	11
Figura 2. 2 - Tubos em pedra (Foto do autor).	11
Figura 2. 3 - Arcos da Lapa período colonial e atual (LINHARES, 2006).....	12
Figura 2. 4 - Volume de água potável por ano por pessoa (UNESCO, apud YAZAKI, 2006).	20
Figura 3. 1 – Exemplo esquemático da correlação dos níveis no Porto do Recife (FIDEM, 2007).....	25
Figura 3. 2 – Bacias Hidrográficas de Pernambuco (GI1) realce Rio Frágoso. Em destaque azul escuro, o Rio Frágoso.	26
Figura 3. 3 – Mapa de Situação da Bacia do Rio Frágoso.....	27
Figura 3. 4 – Unidades Litoestratigráficas da Faixa Sedimentar Norte (PE) Seção Geológica Esquemática Leste – Oeste Bacia do Rio Frágoso adaptado (BELTRÃO, 1995).	28
Figura 3. 5 – Mapa da Cobertura Vegetal (Fonte: FIDEM 1985).....	31
Figura 3. 6 – Limites das Sub-Bacias Hidrográficas do Rio Frágoso.	32
Figura 3. 7 – Mapa das áreas alagáveis e alagadas na Bacia do Rio Frágoso (Fonte: BELTRÃO et al. 1995).	33
Figura 3. 8 – Avenida Getúlio Vargas, uma das principais de Olinda.....	35
Figura 3. 9 – Trecho da Rua Elesbão de Castro, em Olinda.	36
Figura 3. 10 – Conjunto habitacional recentemente construído em Olinda.	37
Figura 3. 11 – Acesso às ruas do Bairro de Jardim Frágoso.....	37
Figura 3. 12 – Rua Pintor Manoel Bandeira, em Casa Caiada.....	38
Figura 4. 1 – Equipamento automático adotado.....	40
Figura 4. 2 – Pluviômetro UFPE/ Frágoso1, no mês de junho de 2006.	42
Figura 4. 3 – Pluviômetro UFPE/ Frágoso2, no mês de junho de 2006.	42
Figura 4. 4 – Pluviômetro do INMET A301 Recife/PE, no mês de junho de 2006.	43
Figura 4. 5 – Pluviômetro do ITEP Recife/PE, no mês de junho de 2006.	43
Figura 4. 7 - Chuvas foram as maiores registradas no ano (foto da Folha de Pernambuco 08/06/2006 mostrando o alagamento ocorrido no dia anterior)...	45
Figura 5. 1 – Representação gráfica da equação de chuva intensa.....	48
Figura 5. 2 – Limites das sub-bacias do Rio Frágoso sobre imagem de satélite da região	49
Figura 5. 3 – Detalhe da sub-bacia do Canal dos Bultrins/Rio Doce, entre a nascente na mata do quartel do Exército e a foz no rio Frágoso.	50
Figura 5. 4 – Início do trecho de canal em estudo.....	51
Figura 5. 5 – Foz do Canal dos Bultrins/Rio Doce no rio Frágoso.....	52
Figura 5. 6 – Seção atual do Canal dos Bultrins/Rio Doce na altura da Rua Dr. Milton Pina.....	52
Figura 5. 7 – Trecho do Canal dos Bultrins ao lado do Supermercado Extrabom (Fonte: foto do autor).....	53
Figura 5. 8 – Localização das seções topobatimétricas na foz do Canal dos Bultrins com a confluência da sub-bacia incremental do Rio Frágoso (Fonte: arquivo do autor).....	53

Figura 5. 9 – Parâmetros e hidrograma unitário obtido (Grupo 1 de Diaz e Tucci).	55
Figura 5. 10 – Hidrograma de projeto – Canal dos Bultrins/Rio Doce.	55
Figura 5. 11 – Parâmetros e hidrograma unitário obtido do Riacho Mirueira (Diaz e Tucci, 1989).	56
Figura 5. 12 – Hidrograma de projeto Riacho Mirueira.....	57
Figura 5. 13 – Hidrograma de projeto Riacho Ouro Preto.	58
Figura 5. 14 – Hidrograma de projeto do trecho incremental.	59
Figura 5. 15 – Domínio $x \times t$, discretizado com as linhas de condições iniciais e de contorno.	61
Figura 5. 16 – Hidrograma de cheia de projeto – seção de montante no trecho do rio Fragoso em análise.....	62
Figura 5. 17 – Hidrograma de cheia de projeto com retenção de parte do escoamento nas sub-bacias.....	63
Figura 5. 18 – Perfis máximos de elevação da água simulados ao longo do trecho do rio Fragoso com retenção de parte do escoamento.	65
Figura 5. 19 – Perfis máximos de elevação da água simulados ao longo do trecho do rio Fragoso sem retenção.....	65
Figura 6. 1 - Trecho do Rio Doce na Bacia do Rio Fragoso em Olinda (Foto do autor).....	69
Figura 6. 2 - Vista em corte e frontal da estrutura da viga de detenção (Fonte: o autor).	71
Figura 6. 3 - Vista em corte da estrutura da viga de detenção trabalhando de forma mista (Fonte: o autor).	72
Figura 6. 4 - Viga de detenção e canal (Adaptado de NETTO e ALVAREZ, 1973).	73
Figura 6. 5 - Canal do laboratório com viga de detenção (Foto do autor).	74
Figura 6. 6 - Variações devido ao ressalto hidráulico (Fonte: o autor).	78
Figura 6. 7 - Viga de detenção funcionando como orifício (Foto do autor).....	80
Figura 6. 8 - O nível da água se encontra no limite do nível superior da viga (Foto do autor).....	80
Figura 6. 9 - O nível da água a montante ultrapassou o limite da viga, passando a verter por sobre a mesma (Foto do autor).....	81
Figura 6. 10 - Área da Bacia com possibilidades de uso de vigas de detenção e barragem na bacia do Rio Fragoso (Fonte: o autor).	82
Figura 6. 11 - Área da sub-bacia do Canal dos Bultrins com a localização da aplicação de viga de detenção (Fonte: o autor).	83
Figura 6. 12 - Trecho da sub-bacia do Canal dos Bultrins da aplicação de viga de detenção (Fonte: o autor).....	83
Figura 6. 13 - Imagem do local da aplicação futura de viga de detenção(Foto do autor).....	84
Figura 6. 14 - Detalhes do corte da viga de detenção no Canal dos Bultrins (Fonte: o autor).....	84
Figura 6. 15 - Hidrograma na condição natural e com a aplicação da viga de detenção no Canal dos Bultrins.....	85
Figura 7. 1 - Área da bacia definidas para a aplicação de vigas de detenção e reservatórios de detenção.	91

Figura 7. 2 - Sugestão do posicionamento de estruturas de infiltração com possibilidade de extravasamento (Fonte: acervo do autor).....	93
Figura 7. 3 - Sugestão de estrutura de canal de extravasamento com possibilidade de funcionar como estruturas de infiltração/percolação (Fonte: acervo do autor).	93
Figura 7. 4 - Dispositivo de Captação Inicial de Água Chuva e sua aplicação em reservatório comum (patente solicitada pelo autor).....	100
Figura 7. 5 - Propostas dos pesquisadores da Hidroyd para moradias de baixa renda (PAOLETTI, 2005).....	101
Figura 7. 6 - Fachadas e teto verde em projeto de trabalho Final de Graduação em arquitetura (CISNEIRO, 2006).....	114
Figura 7. 7 - Fachadas lateral e teto verde em projeto de trabalho final de Graduação em arquitetura (CISNEIRO, 2006).	114
Figura 7. 8 - Construção palafita em alvenaria na área de várzea da Bacia do Rio Fragoso em Olinda/PE, 2005, protegendo a casa e deixando espaço para as águas no período de inundações (Foto do autor).....	115
Figura 7. 9 - Valeta de infiltração aberta.	120
Figura 7. 10 - Sistema de captação e remoção de partículas sólidas das águas pluviais.	131
Figura 8. 1 - Área de margem de riacho em área urbana, com destaque para invasões em suas duas margens (Fonte: arquivo do autor).....	144
Figura 8. 2 - Trecho de rio parcialmente regularizado (Fonte: arquivo do autor).	144
Figura 8. 3 - Trechos do rio Fragoso, com a área em amarelo indicando invasão por pessoas de baixa renda e em vermelho, a construção de supermercado em desobediência às leis vigentes de uso e ocupação dos solos municipal, estadual e federal.....	145

LISTA DE QUADROS

Quadro 3. 1 - Alteração do uso do solo na transição de uso rural para uso urbano e seus efeitos hidrológicos (adaptado do PQA, SECTMA, 1997)	23
Quadro 3. 2 - Alterações devido à transição de estágio inicial de urbanização para o médio e seus efeitos hidrológicos (adaptado do PQA, SECTMA, 1997)	24
Quadro 3. 3 - Alterações devido à transição de estágio médio de urbanização para avançado e seus efeitos hidrológicos (adaptado do PQA, SECTMA, 1997)	24
Quadro 3. 4 - Bairros drenados pela bacia do Rio Fragoso.	29
Quadro 3. 5 – Características hidrológicas básicas da Bacia do Rio Fragoso.	30
Quadro 3. 6 – Comprimento e área de drenagem das Sub-Bacias do Rio Fragoso.	31
Quadro 4. 1 – Localização dos postos em coordenadas geográficas.	41
Quadro 5. 1 - Principais parâmetros físicos da bacia do Canal dos Bultrins/Rio Doce.	54
Quadro 5. 2 - Principais parâmetros físicos da bacia do Riacho da Mirueira. ..	56
Quadro 5. 3 - Principais parâmetros físicos da sub-bacia do riacho do Ouro Preto.	57
Quadro 5. 4 - Principais parâmetros físicos da sub-bacia Incremental.	58
Quadro 7. 1 – Estruturas de controle de detenção e ou retenção e suas características principais.	88
Quadro 7. 2 – Vantagens e desvantagens das estruturas de reservatórios de detenção e retenção de menor porte, em áreas urbanizadas.	89
Quadro 7. 3 – Características de algumas bacias de detenção no estado de São Paulo (CANHOLI, 2005).	90
Quadro 7. 4 – Comparação entre atributos hidrológicos de práticas de DUBI - Desenvolvimento Urbano de Baixo Impacto x sistema convencional (Adaptado do DEPARTMENT OF ENVIRONMENT RESOURCES, 1999).	109
Quadro 7. 5 – Classificação Geral dos Dispositivos de Infiltração (adaptado de NAKAMURA, 1988)	118
Quadro 7. 6 – Experimento em superfícies urbanas (GENZ, 1994)	124
Quadro 7. 7 – Resultados das simulações de chuva nas superfícies estudadas (ARAÚJO, 1999).	127
Quadro 8. 1 - Principais medidas não-estruturais (Fonte:BARTH, 1997).	134
Quadro 8. 2 - Zoneamento (TUCCI, 2006).	148
Quadro 8. 3 - Atividades de inspeção e manutenção segundo (WALECH, 1989)	151

LISTA DE TABELAS

Tabela 5. 1 – Condições estabelecidas para diferentes seções de escoamento no trecho do canal estudado, da nascente à foz.	67
Tabela 6. 1 - Dados adotados.	77
Tabela 6. 2 - Valores Obtidos.....	77
Tabela 6. 3 - Variação de hr a jusante do experimento.....	79
Tabela 6. 4 - Variação de hr a jusante da seção simulada na área em estudo.	85
Tabela 8. 1 - Crescimento e taxa de urbanização da população brasileira (IBGE, 2000).	139

1 – INTRODUÇÃO

O salto no desenvolvimento científico e tecnológico nas últimas décadas foi a resposta aos grandes desafios que se apresentaram para a raça humana, principalmente no tocante ao uso e cuidados com a água, surgindo inclusive o conceito de desenvolvimento sustentado, como reforço ao tão desejado equilíbrio entre a economia, a sociedade e o ambiente.

O embate entre as tecnologias de ponta e a maior produção versus o direito natural ao acesso à água, do crescimento exponencial da população humana, suas necessidades e demandas versus o equilíbrio ecológico, são pontos de conflito, de interesses e de valores que se refletem na bacia hidrográfica.

Na natureza tudo tem seu custo, e a crescente urbanização tem o seu, cobrando dos seus usuários o preço alto devido às alterações negativas impostas ao ciclo hidrológico natural.

A bacia hidrográfica de uma região como unidade de estudo, por conta da sua fragilidade aos impactos das alterações físicas, responde de forma imediata ou ao longo do tempo, a todas as agressões sofridas por mudanças naturais e mais ainda por ações antrópicas.

As situações de risco para a população, decorrentes de efeitos da precária drenagem urbana, na maioria das vezes resultam de ações tais como:

- a) Substituição de superfícies permeáveis e irregulares por superfícies pouco permeáveis ou impermeáveis e regulares;
- b) Áreas de cobertura vegetal por cobertura predial;
- c) Canais e córregos naturais por canais retificados, revestidos e impermeabilizados;
- d) Áreas drenadas da natureza pela captação e direcionamento dos cursos de água por tubulações ou outras estruturas artificialmente criadas;
- e) Áreas sujeitas a inundação aterradas e ocupadas indevidamente;
- f) Alta exploração de aquíferos.

Tem-se hoje consciência dos efeitos negativos obtidos, quando não se respeita a natureza.

Um dos mais sérios e comuns efeitos das alterações em uma bacia hidrográfica é percebido por conta do aumento do escoamento superficial quando das fortes chuvas. Têm-se então as inundações.

Um processo de inundação traz entre seus impactos principais, o prejuízo material e humano, a interrupção parcial ou total das atividades econômicas desenvolvidas na área atingida e no seu entorno, um aumento significativo de contaminação por doenças de veiculação hídrica, erosão, transporte e deposição de resíduos sólidos tóxicos ou não.

De acordo com Tucci (2003). “É ingenuidade do homem, imaginar que poderá controlar totalmente as inundações; as medidas adotadas sempre visam minimizar as suas conseqüências”.

Para enfrentar o problema das inundações que aflige parte da população da maioria das cidades brasileiras igualmente a de Olinda em Pernambuco nos dias atuais, faz-se necessária a adoção de soluções estruturais e não estruturais para minimizar os efeitos negativos na drenagem urbana decorrentes da crescente e desordenada ocupação do solo observada em seu território.

Em vista deste panorama, neste trabalho, procura-se analisar os pontos críticos do sistema de macrodrenagem da bacia do rio Frágoso, na cidade de Olinda, em Pernambuco, propondo possíveis soluções compensatórias para os problemas de drenagem que afligem de forma freqüente a área em questão.

Os resultados foram avaliados e a sua análise é apresentada ao longo deste texto, juntamente com possíveis soluções adotando o emprego e uso de elementos estruturais convencionais e não-convencionais, em conjunto com elementos não estruturais que, associadas às já existentes, poderão reduzir o problema que aflige a população atingida pelas cheias do Rio Frágoso.

1.1 - OBJETIVO GERAL

O objetivo principal deste trabalho é analisar as técnicas mais modernas de medidas estruturais e não-estruturais de controle das águas urbanas de acordo com as características encontradas de escoamento urbano,

selecionando entre os já conhecidos mecanismos e os inovadores, aqueles aplicáveis à maioria das bacias de médio e pequeno porte.

Será tomando como base de pesquisa e de comparação a Bacia do Rio Fragoso em Olinda, acrescentando elementos de inovação estrutural e não-estrutural aos métodos de controle do escoamento superficial atualmente existentes.

1.1.1 - OBJETIVOS ESPECÍFICOS

A partir do objetivo geral foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

- Analisar as possíveis alternativas estruturais usualmente adotadas em situações de bacias urbanas semelhantes à da bacia do Rio Fragoso em Olinda/PE;
- Analisar as possibilidades de aplicação de elementos estruturais e não estruturais de acordo com experimentos realizados por pesquisadores, que mais apresentem efetiva redução de efeitos negativos da urbanização.
- Destacar o uso de sistemas de captação, de retenção, de infiltração e percolação capazes de mitigar os efeitos negativos das enchentes observados durante os períodos de chuvas intensas e que melhor se adaptem às áreas urbanizadas de influência da micro e macrodrenagem de bacias de pequeno e médio porte;
- Fornecer subsídios para aprimoramento de código de obras e criação de manual de drenagem urbana para os municípios de Olinda e do Paulista, incluindo medidas para o aumento da infiltração e retenção dentro dos lotes e nas calçadas, em locais de baixa declividade;
- Identificar os pontos de risco existentes em bacias urbanas em estudo de caso, com as características que os definam como pontos a serem trabalhados de acordo com a

necessidade de medidas emergenciais, medidas de controle de médio prazo e medidas de longo prazo estrutural e não-estrutural;

- Propor soluções para os problemas das áreas atuais de risco de inundações da Bacia do Rio Fragoso em Olinda/PE.

Tentar-se-á assim atender às recomendações feitas quanto ao sistema de drenagem, em que as entidades públicas responsáveis pelo planejamento da drenagem urbana, face à nova ordem de desenvolvimento sustentável, apresentam-se cada vez mais preocupadas em demonstrar capacidade de gerenciar seus recursos adotando um conjunto sistêmico avançado de normas técnicas e legislação, para a obtenção de melhores resultados (MELO, 2003).

1.2 - METODOLOGIA

1.2.1. – A FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

A formulação do problema partiu da observação de que as tecnologias adotadas na maioria das cidades brasileiras seguem um padrão de sistema considerado higienista, onde o conceito filosófico que predomina ainda é o da tradicional de canalização, resolvendo o problema pontual e lançando o mesmo para jusante.

A intensão da presente tese é de resgatar através de pesquisa e desenvolvimento de solução inovadoras respostas que adotem o conceito mais moderno denominado de ambientalista.

Os métodos pesquisados oferecem várias respostas que dependem das características da bacia onde será aplicado. No entanto, confirmam através de experiências desenvolvidas e testadas em outros países a sua capacidade de favorecer a resolução ou redução dos problemas detectados.

Como estudo de caso para permitir uma seqüência lógica de aplicação, adotou-se a bacia do Rio Fragoso (Olinda/PE) que já apresenta sérios problemas de drenagem e que corre o risco de ter os problemas ampliados se não forem adotadas medidas adequadas.

1.2.2. - EXPLICITAÇÃO DOS PROCEDIMENTOS.

Inicialmente procurou-se identificar, caracterizar e observar as análises hidrológicas da área estudada. Em seguida, pesquisaram-se as melhores e mais modernas técnicas de controle estrutural e não-estrutural de drenagem urbana, levando-se em conta a precária condição financeira do município para o enfrentamento de tamanho problema.

Durante o decorrer do texto serão sugeridos elementos estruturais inovadores capazes de contribuir de forma simples e econômica com o conjunto de elementos de controle apresentados.

Além da sugestão do emprego de técnicas usuais para solução dos problemas do caso estudado, destaca-se os estudos feitos em laboratório da “viga de retenção”, elemento este que acredita-se, venha a ser um instrumento a mais para redução e controle do escoamento e fluxo da água na drenagem das cidades.

Tem-se então, uma visão do emprego de técnicas modernas que certamente podem contribuir para mitigar os efeitos negativos da deficiência de drenagem observados em cidades de pequeno e médio porte semelhantes ao caso pesquisado.

1.2.3. - COLETA DE DADOS

Para o desenvolvimento dos trabalhos, foram adotadas consultas às fontes históricas e geográficas existentes, em confronto com os dados de ocupação e pluviometria coletados em campo.

Com a visão completa da situação da bacia, procurou-se identificar os principais problemas enfrentados pelos técnicos das secretarias de Meio Ambiente das cidades de Olinda e do Paulista, e de sua população, para que fosse possível uma sistematização de impactos negativos na Bacia do Rio Fragoso e as respectivas possibilidades de solução.

Para caracterização da Bacia do Rio Fragoso, se fez necessário registrar os fatos através da utilização de técnicas padronizadas de coleta de dados em órgãos e entidades governamentais, além de informações físicas da bacia hidrográfica, com a exploração de todo o seu curso de água, desde sua

nascente principal, demais cursos de água até sua foz, e com o acompanhamento das principais ocorrências verificadas nos últimos quatro anos na região.

O estudo foi delimitado pelo universo que compreende a Bacia do Rio Fragoso e seu entorno, compreendido pelos Municípios de Olinda e do Paulista.

Os instrumentos de coletas de dados compreenderam:

- a) Observação direta “in loco”, buscando esclarecer os motivos que levaram ao estado de degradação atual em que se encontra a bacia;
- b) Análises documentais, utilizando-se fontes primárias e pesquisas bibliográficas, coletadas nas principais instituições, tais como; o Arquivo Público Municipal de Olinda, a SEMA/OLINDA - Secretaria de Meio Ambiente da Cidade de Olinda, a SEMA/PAULISTA - Secretaria do Meio Ambiente da Cidade do Paulista, a FIDEM - Fundação de Desenvolvimento Municipal, a UFPE – Universidade Federal de Pernambuco, o IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, em revistas especializadas, periódicos e anais nacionais e internacionais (em que foram abordados temas pertinentes), nas teses e dissertações aprovadas, bem como nas informações disponibilizadas na Internet;
- c) Coletas de dados de casos semelhantes, encontrados em literatura descritiva de situações que se assemelham às da cidade em estudo e utilização das modernas ferramentas tecnológicas, ecologicamente corretas, empregadas em sua solução ou mitigação dos efeitos.

1.2.4. - ETAPAS DESENVOLVIDAS

Na primeira etapa da pesquisa, acompanhou-se, como colaborador e pesquisador por um período de um ano, os trabalhos desenvolvidos pela equipe da SEMA/OLINDA - Secretaria de Meio Ambiente da Prefeitura Municipal de Olinda nas ações de avaliação do sistema de drenagem e gestão ambiental.

Na segunda etapa, foram realizadas visitas de pesquisa aos órgãos públicos que figuraram como fontes de informação, com destaque para a

FIDEM, e para a CPRH – Companhia Pernambucana de Controle da Poluição Ambiental e de Administração dos Recursos Hídricos, atual Agência Estadual do Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Após a individualização do cenário de estudo, buscou-se reunir os materiais cartográficos e documentais de interesse para a tese.

Na terceira etapa, foram coletados mapas já digitalizados ou por reproduzir em meio digital, que nos permitiram melhor visão espacial da bacia.

Na quarta etapa, buscou-se conhecer a bacia com visitas de campo e com acompanhamento das calamidades ou problemas mais críticos que aconteceram nos anos de 2001 a 2005. Foram registradas imagens dos impactos provocados pelo mau uso e ocupação do solo e a deterioração do estado atual da microdrenagem existente.

Na quinta etapa do processo, com o aprimoramento do conhecimento de informações sobre a bacia, seus diversos aspectos de drenagem e do meio ambiente durante os últimos três anos, foram identificados os principais problemas, cujos registros fazem a história da constante evolução do estudo e do desenvolvimento desta bacia.

Na sexta etapa, fez-se o acompanhamento dos dados obtidos de estações pluviométricas instaladas na área da bacia do rio Fragoso, comparado-os com os de outras estações da região Metropolitana de Recife.

Por último se fez uma condensação dos conhecimentos adquiridos, os estudos laboratoriais e formulações possíveis para serem apresentados no decorrer do texto.

1.3. - DESCRIÇÃO DO CORPO DA TESE

A tese é apresentada de acordo com a seguinte estrutura de capítulos:

a) Evolução da Drenagem Urbana; com uma abordagem histórica até o momento atual, no capítulo sete;

b) A bacia do Rio Fragoso; com suas características e tendências no capítulo três;

c) Pluviometria na RMR e na Bacia do Rio Frágoso; estudos de campo, cobrindo a falta de dados existentes específicos sobre a bacia, no capítulo quatro;

d) Simulação Computacional de Vazões da Bacia do Rio Frágoso; em que demonstra-se a viabilidade da aplicação de simulações para a compreensão dos aspectos matemáticos capazes de auxiliar na compreensão dos fenômenos atuantes na bacia, no capítulo cinco;

e) Apresenta-se estudos da adoção de “Vigas de Detenção” como um elemento inovador de controle estrutural para drenagem, no capítulo seis;

f) Faz-se a sugestão das principais medidas estruturais aplicáveis a nível de lote e em áreas públicas, que deveriam se somar às já existentes, no capítulo sete;

g) Destaca-se as medidas não-estruturais de fácil aplicação que ofereceriam melhores condições ao conjunto de munícipes atingidos pelos efeitos negativos de fortes chuvas na bacia, no capítulo oito;

h) E as considerações finais, que em conjunto com os demais dão forma a mais um contributo para uma maior conscientização de todos os atores envolvidos na área da bacia com a solução dos problemas existentes no capítulo nove.

A meta consiste em contribuir para a correta preservação e otimização da drenagem existente, revitalizadas pelo poder público, com repercussão efetiva e dinâmica na população como um todo. Consiste ainda, na proteção do comércio e indústria estabelecida e no aprendizado dos jovens, técnicos e gestores aos quais caberão a melhoria e conservação do patrimônio de recursos hídricos existentes para as futuras gerações, que ocupam áreas de bacias de médio e pequeno porte semelhantes ao caso em estudo.

2 – A EVOLUÇÃO DA DRENAGEM URBANA

A história do homem sempre esteve ligada diretamente à água em função da necessidade de sobrevivência. As exigências biológicas humanas de proximidade e convivência com a água forçaram desde o princípio a sua interação com o meio ambiente em que se encontrava e com as características hidrológicas existentes.

Naturalmente, sua primeira necessidade básica foi atendida ao saciar a sede. Em seguida, a limpeza do corpo. Entretanto, quando o ser humano passou a deslocar a água de seu fluxo natural para seu local de refeição - sua caverna ou abrigo qualquer - foi necessário se livrar da água utilizada. Nada mais natural do que drenar através de simples sulco na terra este líquido de forma a transferir o mesmo para longe do local de uso.

Drenar a água foi um dos primeiros passos dados pela humanidade no sentido de oferecer maior conforto ao local de sua existência e assim iniciar o uso corrente da água para diversos fins.

2.1. - HISTÓRICO DA ENGENHARIA DAS ÁGUAS URBANAS

2.1.1. - HISTÓRICO DA ENGENHARIA DAS ÁGUAS URBANAS NO MUNDO

Arqueólogos e antropólogos perceberam que houve uma alteração significativa no desenvolvimento humano, a partir da constatação da permanência de grupos no mesmo local onde implantaram suas primeiras residências fixas.

Dados históricos estabelecem o surgimento das primeiras aldeias por volta de 8500 a.C. ao norte e a leste da Mesopotâmia, entre os rios Tigre e Eufrates, respectivamente. O rio Tigre entrava a fundo na terra, mas era de navegação difícil e acidentada. O Eufrates, por outro lado, é caudaloso e regular, tornando possível a navegação e a construção de canais para irrigação. Nessa região, casas foram abastecidas de água e sistemas de drenagem foram implantados por meio de canalizações cerâmicas há cerca de sete mil anos.

O desenvolvimento humano foi crescente provavelmente a partir dessa era, pois surgiram focos de aglomerações humanas em várias partes do mundo, possivelmente devido às grandes variações climáticas que colocaram em risco a sobrevivência de contingentes humanos maiores e mais desenvolvidos e a própria evolução natural da espécie. Na Ásia, há lendas chinesas que falam de vastos projetos de controle de inundação há seis milênios.

Sítios escavados em Mohenjo-Daro, no vale da Índia, e em Harappa, no Punjab, indicam a existência de ruas alinhadas, pavimentadas e drenadas com esgotos canalizados em galerias subterâneas de tijolos argamassados a pelo menos 50 centímetros abaixo do nível da rua. Nas residências constatou-se a existência de banheiros com esgotos canalizados em manilhas cerâmicas rejuntadas com gesso. Isso há mais de 3000 aC.

Naturalmente, este passo importante na civilização humana marca o início da drenagem superficial, por conta da impermeabilização do solo por tempo prolongado, além da remoção da vegetação natural e da criação de canais de irrigação. Presume-se que a partir desses registros o homem passou a desenvolver ações para o controle do fluxo da água (CIRILO, 2005).

Não se poderia falar sobre drenagem sem citar obras de engenharia como os aquedutos. O aqueduto mais antigo foi construído na Grécia, possivelmente há cerca de 2500 anos. Era um túnel com 1280 metros de comprimento. Situava-se próximo de Atenas. Os romanos, que também construíram muitos aquedutos por todo o seu império, construíram o maior de todos em Cartago, na atual Tunísia, possuindo 141,0 km de comprimento, ainda existente até os dias atuais. Encontram-se restos de aquedutos romanos bem conservados em Mérida e Segóvia (Espanha), Nimes (França) e em Roma, dentre outros. O aqueduto de Segóvia foi construído no século primeiro (Figura 2.1.). É o cartão-postal da cidade de Segóvia, tendo sido utilizado até o século 19.

Já no ano 1 d.C. as diversas formas de drenagem adotadas pelos romanos permitiam o tráfego dos cidadãos nas cidades durante as fortes chuvas. Permitiam também o uso coletivo de prédios e de grandes áreas públicas. A água era drenada por canais e tubos executados em pedras que se uniam sem qualquer elemento de ligação (Figura 2.2.).

Segundo Cirilo (2005), como ciência, a Hidráulica tem sua origem há cerca de dois mil e quatrocentos anos, no curso da civilização grega com a apresentação das teorias de Aristóteles (384-322 a.C.), sendo que a maior contribuição à Hidráulica no período veio de Arquimedes, (físico, matemático e engenheiro de Siracusa, 287-212 a.C.), com sua célebre experiência sobre imersão e flutuação de corpos, imortalizada pelo grito do “Eureka!”.



Figura 2. 1 - Imagem do aqueduto de Segóvia (Foto do autor).



Figura 2. 2 - Tubos em pedra no Museu da Água em Portugal (Foto do autor).

Promovida pelo governador Ayres Saldanha e considerada a mais importante obra do Rio de Janeiro colonial, o Aqueduto da Carioca foi construído em 1723, popularmente conhecido como Arcos da Lapa (Figura 2.3.), e tinha como objetivo levar as águas do rio Carioca até o Largo da Carioca, sanando o problema de falta de água na cidade.

A água abastecia o famoso chafariz do Largo da Carioca, que passou a ser ponto de encontro de escravos e mercantes, e centro da vida urbana da época (LINHARES, 2006).



Figura 2. 3 - Arcos da Lapa período colonial e atual (LINHARES, 2006).

Com a finalidade de manter as ruas mais limpas e transitáveis, na segunda metade do século XII, introduziu-se a prática da pavimentação. Paris, já com mais de 100 mil habitantes, foi a primeira cidade a iniciar a pavimentação sistemática de suas ruas (1185). Seguiram-se Praga (1331), Nuremberg (1368), Basiléia (1387) e Augsburg (1416) (FERNANDES, 2002).

A partir de 1760, primeiro em Londres, e depois em outras grandes cidades, desenvolveram e efetivaram esquemas para melhoramentos públicos na arquitetura urbana. Derrubavam-se prédios deteriorados ou que impediam a circulação, pavimentavam-se, drenavam-se e iluminavam-se ruas. Vias estreitas e tortuosas foram alargadas e tornadas planas e retificadas. Prédios de alvenaria substituíram casas de madeira, modernizando áreas urbanas mais antigas e insalubres, dotando-as de suprimento de água e canalizações de esgotamentos, reduzindo o lançamento de águas de esgoto nas sarjetas. O exemplo de Londres se espalhou pelas províncias, e outras cidades empreenderam melhorias (Clark et al, apud FERNANDES, 2002).

Porém até o século XVIII, as latrinas continuavam raras e eram instalações de ricos. Só a partir dos anos 1780, o sistema de dejetos e resíduos carregados pela água começou a se tornar comum, com o desenvolvimento de projetos hidráulicos mais eficientes. Antoine Chezy (1718-1798), engenheiro e matemático francês natural de Châlons-sur-Marne, e operador do sistema sanitário de Paris, foi o precursor da fórmula moderna para velocidade relativa de fluxo e perda de carga devido à fricção em fluxo de canal aberto em 1775 (FERNANDES, 2002).

A generalização do sistema de drenagem por carreamento pela água logo originou mais problemas: as fossas raramente eram limpas e seu conteúdo se infiltrava pelo solo, saturando grandes áreas do terreno e poluindo fontes e poços usados para o suprimento de água. Além disso, era ilusoriamente fácil eliminar a água de esgoto, permitindo-a alcançar os canais de esgotamento existentes sob muitas cidades. Como esses canais de esgotamento se destinavam a carrear água de chuva, a generalização dessa prática levou os rios de cidades maiores a se transformarem em esgotos a céu aberto, um dos maiores desafios enfrentados pelos reformadores sanitários do século XIX. Muitas cidades como Paris, Londres e Baltimore adotaram o emprego de fossas, mas os resultados foram desastrosos (idem, 2002).

Algumas datas são importantes para o desenvolvimento dos estudos e inovações que tiveram reflexo direto na drenagem urbana, tal como 1815, ano em que foi autorizado em Londres o lançamento de efluentes domésticos em galerias de águas pluviais da cidade. Já em 1847, foi autorizado em Londres o lançamento de todas as águas residuais nas galerias públicas, sendo criado assim o primeiro sistema unitário de esgotos de que se tem registro (CETESB, 1977).

A drenagem das águas pluviais passou a partir destas inovações a ter sua caracterização e aplicação, independente das águas consideradas servidas. O projeto e a construção destes dois sistemas, costumam ser realizados por diferentes grupos de especialistas (engenheiros sanitários no caso dos esgotos sanitários, e engenheiros hidráulicos ou mais ligados a recursos hídricos no caso das redes de drenagem). Os municípios se encarregam do sistema de drenagem pluvial e o Estado dos esgotos, na maioria dos casos.

2.1.2. - HISTÓRICO DA ENGENHARIA DAS ÁGUAS URBANAS NO BRASIL

Em 1857, a cidade do Rio de Janeiro passa a ser servida por rede de esgotos, sendo considerada uma das primeiras capitais do mundo a possuir tal sistema. Na cidade de São Paulo a primeira rede de esgotos foi construída em 1876, tendo sido adotado um sistema misto (separador parcial).

Em 1879 utilizou-se pela primeira vez o sistema de separação absoluta entre as águas de esgotos e as águas pluviais. O Coronel George Waring é considerado seu criador. O militar aplicou tal sistema na cidade de Memphis no Tennessee /EUA. O mesmo processo foi introduzido no Brasil em 1911(CETESB, 1977).

Olinda, como em todas as Vilas brasileiras no seu nascimento, tinha que atender às três exigências básicas dos colonizadores portugueses: bom local para defesa, bom porto para o comércio e um bom abastecimento d' água.

A primeira referência feita ao abastecimento d' água de Pernambuco data de 1537, no documento conhecido como Foral de Olinda. Estabelecia que “todas as fontes e ribeiras ao redor desta Vila, dois tiros de besta, são para serviço da dita Vila” (MELLO, 1991).

Durante o período de desenvolvimento de Olinda, até a invasão holandesa, para se remediar a falta de água, utilizava-se mão de obra escrava no transporte do precioso líquido dos poços ou cacimbas e das fontes naturais, como a do Rosário (conservada até nos dias atuais), para as residências de seus senhores. A drenagem das casas era feita, em sua maioria, para o quintal ou para as valetas que passavam na parte de trás dos quintais.

Durante a invasão holandesa (1630-1654), que destruiu Olinda, o abastecimento de água se tornou desde cedo um objetivo militar prioritário. Uma das primeiras providências dos batavos foi construir o “Forte Frederik Hendrik”, para proteção de cacimbas. Era chamado pelos portugueses “Forte das Cacimbas”, Depois, por sua forma pentagonal, “Forte das Cinco Pontas”, conservado até hoje. A drenagem da água permanece semelhante às realizadas pelos portugueses.

Após a expulsão dos Holandeses, os problemas continuaram os mesmos e em maiores proporções. O Recife, que durante a invasão passou a ter uma importância maior e se encontrava em franca expansão, juntamente com

Olinda que por sua vez, tinha sido reconstruída e voltara a se utilizar dos sistemas de abastecimento d' água anteriormente existentes, igualmente ao uso do sistema de drenagem incipiente cuja única função era o de retirar de áreas de reunião e aglomeração, os excessos de água através de canais a céu aberto, direto para os córregos existentes (MELLO, 1991).

Com relação aos esgotos residenciais, as cidades brasileiras demoraram a realizar obras de desenvolvimento. Os esgotos eram transportados por escravos à noite com barricas, que recolhiam os dejetos guardados em vasilhames durante o dia.

Em virtude do altíssimo grau de mortandade e sujeira existente no Recife, em 1858 foi assinado um contrato entre a Município e o engenheiro Carlos Luiz Cambronne para a criação de um sistema de esgotamento que utilizasse canos de ferro ou de grés que escoassem as águas servidas para os rios. Quanto às matérias sólidas, eram depositadas em caixas de madeira revestidas de metal hermeticamente fechadas. Eram entregues em cada domicílio. Possuíam capacidade para o uso de 15 pessoas e eram recolhidas de quinze em quinze dias, por carros especiais ou por pessoas contratadas.

Em relação ao abastecimento de água, iniciou-se a canalização da água proveniente do açude do Prata no bairro de Dois Irmãos, que em 1831 atingia a povoação do Monteiro, e no entanto só alcançou o centro do Recife em 1846 (Idem, 1991).

Inicia-se então o período higienista a partir de 1864 com a implantação, no Rio de Janeiro, das primeiras canalizações de esgoto (SANTOS, 1928). Chegam as idéias que prevalecem até a presente data: de implementação de reformas urbanísticas e de drenagem que visavam retirar o mais rápido possível as águas já usadas ou de chuva, direcionando-as para um curso de água receptor.

Em 1909, no governo de Herculano Bandeira em Pernambuco, foi criada a Comissão de Saneamento, que teve como dirigente o engenheiro Francisco Saturnino Rodrigues de Brito, que realizou projetos de abastecimento d' água e seu esgotamento, atenuando heroicamente as constantes epidemias existentes na cidade e lançando a pedra fundamental para o desenvolvimento das obras de saneamento do Recife e de todo o Estado.

Em 1914 a cidade de Porto Alegre recebe sua primeira tubulação destinada à coleta e drenagem de águas pluviais (WEIMER, 1993).

Em 1915 no Recife, estavam concluídos e em funcionamento 113 km de esgotos sanitários. Em 1918, foi solucionado o sistema de abastecimento de água da cidade, com a construção da barragem de Gurjaú e de uma linha adutora de 37,20 km de tubos de 750 mm, com uma rede de abastecimento de 26,4 km assentada e funcionando. Esse sistema é utilizado até os nossos dias.

Vale ressaltar a preocupação do engenheiro Saturnino de Brito já naquela época, de transformar em legítimos cidadãos os habitantes da nossa cidade que, por condição humilde moravam em “MOCAMBOS”, sem fornecimento de água e esgotamento. Além da modificação para casas de alvenaria, tentou e conseguiu praticamente erradicar as precárias condições de saneamento existentes na época. Tais condições se revelaram principalmente na proliferação de doenças e na deterioração da vida humana.

A abordagem por Saturnino de Brito de um método de cálculo de vazão de projeto para redes de águas pluviais em 1898 no opúsculo “Saneamento de Santos”, inicia no Brasil a etapa denominada de período da Racionalização ou Normalização (SILVEIRA, 2000).

Silveira (2000) denomina Científico-ambiental o período que se estende dos anos 70 do século XX, até hoje, com o enfoque dado à hidrologia urbana e ao cuidado com o meio ambiente.

Percebe-se, no entanto, que existe muito ainda por fazer e que as calamidades, devidas às insuficientes condições de drenagem urbana, são uma constante, principalmente em grandes cidades do país tais como: Recife, Belo Horizonte, Rio de Janeiro, São Paulo e muitas mais, onde todos os períodos de fortes chuvas apresentam situações de transtorno urbano devido às seqüenciais enchentes e alagamentos.

2.1.3. - CONCEITOS TRADICIONAIS EM DRENAGEM URBANA

É considerado como conceito higienista o período que se iniciou na Europa do século XIX e que preconizava a eliminação sistemática das águas paradas como medida fundamental para a saúde pública. Em termos hidrológicos, são estabelecidas as primeiras formulações empíricas definindo

as relações quantitativas entre precipitação, escoamento e o dimensionamento de estruturas de obras de remoção e transporte.

O período denominado de racionalização e normalização considera ter o seu início em 1898 no Brasil do século XIX, tendo com marco deste novo período, o lançamento por Saturnino de Brito de seu opúsculo “Saneamento de Santos”, que mantém a sistemática de evacuação rápida porém, procura estabelecer melhor os cálculos hidrológicos para o dimensionamento das obras hidráulicas.

A etapa denominada de período da revolução tecnológica ocorre entre os anos 60/70, com o surgimento dos cálculos computacionais.

2.2. - NOVAS ABORDAGENS NA DRENAGEM URBANA

Esta nova etapa que também é considerada do período da abordagem científico ambiental sofre uma pressão grande para a melhoria da proteção dos recursos hídricos como um todo, com uma maior conscientização ecológica e evolução tecnológica.

A partir da compreensão do ciclo hidrológico, o estudo da drenagem volta-se exclusivamente para melhor entender os fenômenos pertinentes ao escoamento superficial. Evidentemente, todos os eventos que ocorrem após a precipitação da chuva e ou intervenção humana na captação uso e eliminação de água superficial ou subsuperficial existente, repercutem nas situações a serem estudadas.

Um sistema de drenagem urbana é um conjunto ordenado de estruturas naturais e de engenharia que permite escoar as águas superficiais numa determinada área, de tal modo que sejam preservadas as qualidades naturais de conforto e de harmonia necessárias para o fluxo dos cursos de água, sem que venha a produzir impactos negativos para o homem.

Atualmente, se avança para uma melhor compreensão dos fenômenos atuantes em um sistema de drenagem urbana, com a percepção e entendimento de que a consciência ecológica e o grande desenvolvimento tecnológico podem definir novas maneiras de interação humana com a natureza, reduzindo ou mesmo eliminando os impactos antrópicos e naturais negativos, observados nos grandes aglomerados urbanos.

Conceitos de engenharia como os que prevaleciam até bem pouco tempo, que tinham como fundamento básico a remoção rápida e imediata do volume de água em excesso das áreas afetadas, por modificações da capacidade de armazenamento ou outro qualquer motivo, para áreas a jusante, sem estudar as conseqüências e resultados futuros estão sendo revistos. Isso porque o que ocorria era a simples transferência do problema para jusante.

Alem disso, a poluição das águas pluviais, só recentemente, foi reconhecida cientificamente pelas nações mais desenvolvidas, como de grande risco de degradação ambiental, devido ao seu alto potencial de contaminantes prejudiciais à saúde humana e animal. A aludida poluição é considerada potencialmente igual ou superior àquela dos esgotos domésticos. Aumentou a pressão em todo o mundo para seu estudo e tratamento de forma mais objetiva e direta, principalmente pelas conseqüências danosas aos cursos de água e de forma conseqüente aos oceanos.

A preocupação com a defesa dos recursos hídricos tornou cada vez mais importante a identificação dos fatores que influenciam sua qualidade. As redes de drenagem urbana constituem uma das principais fontes de degradação das características físicas, químicas e biológicas do ecossistema. A remoção ou adição de substâncias nos cursos de água, através do transporte de cargas poluentes difusas e acidentais de todos os tipos e categorias provocam sérios impactos negativos de poluição hídrica.

O planejamento, construção e operação dos sistemas de drenagem pluvial sempre estiveram no Brasil, em geral, sob a responsabilidade direta dos próprios municípios, sobre os quais um controle externo praticamente não é exercido.

O reconhecimento do grau de importância, principalmente na análise da qualidade das águas de drenagem pluvial e seu destino, faz parte de um contexto atual, inclusive com propostas de um Plano Nacional de Águas Pluviais. Este tem o objetivo de reduzir a vulnerabilidade da população às inundações ribeirinhas e a minimização dos impactos ambientais através de uma política que envolva os elementos institucionais, econômicos, ambientais e técnicos. Pretende-se gerir as águas pluviais em conjunto com os outros elementos do desenvolvimento urbano das cidades brasileiras. Tal proposta está sendo desenvolvida pelo Ministério das Cidades e Secretaria Nacional de

Saneamento Ambiental, através do Programa de Modernização do Setor Saneamento - PMSS.

Muitas cidades brasileiras têm avançado no tratamento dos esgotos de origem doméstica e industrial, mas é também evidente que muito falta a ser feito. O passo seguinte e imediato é o tratamento dos esgotos pluviais. Este é o caminho futuro para o pleno desenvolvimento com equilíbrio ambiental, através do constante aperfeiçoamento de pesquisas e desenvolvimento de novas soluções da drenagem urbana.

Para o Ministério da Integração Nacional do Governo Brasileiro, dentre os seus atuais programas e ações desenvolvidos no ano passado, destaca-se o Programa de Drenagem Urbana Sustentável, ligado à Secretaria de Infra-Estrutura Hídrica, cuja justificativa pela sua execução é defendida pelos motivos que seguem:

- O aumento dos prejuízos causados por enchentes em cidades brasileiras;
- A baixa capacitação institucional e técnica dos municípios, resultando na concepção inadequada das ações de drenagem urbana e baixa sustentabilidade das mesmas;
- A insuficiência na oferta de infra-estrutura de drenagem urbana;
- A escassez de recursos para a implementação de ações que visem à gestão do escoamento das águas nas cidades e dos impactos de enchentes urbanas e ribeirinhas, que degradam a saúde pública, o ambiente e a qualidade de vida nas cidades;
- A crônica ausência de mecanismos de controle social na prestação dos serviços (MIN, 2006).

A drenagem urbana se insere cada vez mais em um contexto mundial em que se observa à necessidade de melhor utilização das águas de chuva, dentre eles a falta de condições do atendimento de abastecimento de água de grande parte da população em condições ideais nas grandes cidades. Na Figura 2.5.,

tem-se um gráfico onde se percebe claramente um declínio grave do volume de água disponível por pessoa no mundo.

A dificuldade de acesso à água potável está patente neste início de século XXI e nos força a repensar os conceitos de estabilidade, dependência e responsabilidade, assim como a percepção sobre a sustentabilidade do planeta e das futuras gerações.

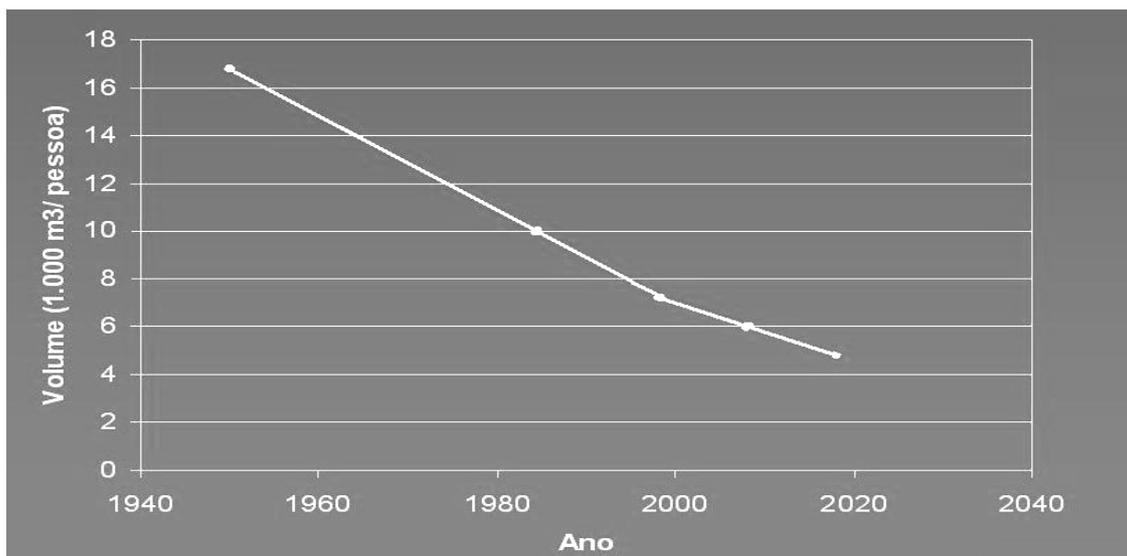


Figura 2. 4 - Volume de água potável por ano por pessoa (UNESCO, apud YAZAKI, 2006).

Há também o dilema ético que aflora e exige mais que qualquer outra situação de adversidade já apresentada aos seres humanos, na concepção urbanística das cidades e aglomerados. Esta situação se apresenta com a preocupação primordial de ser capaz de racionalizar o uso da água e ajustar este desafio ético a suas dimensões políticas e econômicas, como instrumento de desenvolvimento e cooperação entre os diversos atores envolvidos em cada bacia hidrográfica.

Daí o emprego da nova terminologia técnica que passou da simples “drenagem urbana” para “manejo sustentável das águas urbanas”. No meio científico, isso corresponde a um novo conceito filosófico do enfrentamento dos problemas de drenagem para os próximos anos (YASAKI, 2006).

3 - A BACIA DO RIO FRAGOSO

3.1 - GENERALIDADES

Apesar de Olinda ter sido povoada desde sua fundação em 1535-1537 e transformada em poucos anos no maior centro urbano dos territórios ocupados por Portugal, a degradação do ecossistema que circundava a Bacia do Rio Fragoso só é registrada a partir de meados de 1930, quando de sua expansão urbana.

No decorrer dos anos foi observado o aumento da freqüência e magnitude das cheias, resultado da impermeabilização de grandes áreas, implicando maior escoamento, menores perdas por infiltração e queda da capacidade de amortecimento natural da bacia.

Como ocorre em outras cidades urbanas no Brasil esses problemas se tornam cada vez mais crônicos, chegando ao ponto crítico de ocorrência de cheias em chuvas de pouca intensidade.

Esse cenário foi criado ao longo dos anos, principalmente pela gerência inadequada do planejamento da drenagem, pela falta de projetos de engenharia em consonância com as novas realidades que se apresentam e pela gestão deficiente do crescimento desordenado de áreas ocupadas com o conseqüente descontrole da ampliação do escoamento superficial.

No caso específico das cheias de Olinda, as áreas de maior densidade populacional são as mais afetadas. Tem-se a paralisação comercial local, o isolamento de ruas e avenidas e comprometimento de toda a infra-estrutura urbana, com prejuízos materiais e econômicos locais e regionais com o aprisionamento dos munícipes com atividades em outras cidades e que perdem o seu direito de ir e vir em cada chuva de inverno.

As enchentes urbanas de Olinda constituem-se, atualmente, um dos impactos ambientais mais acentuados de que resulta prejuízos e desgastes para a população, destacando-se em mídia como o principal desafio para a nova gestão que se inicia.

A dificuldade para os Engenheiros, Arquitetos e demais profissionais envolvidos na tarefa de assegurar uma boa qualidade de vida aos munícipes, consiste no emprego adequado de obras estruturais e não-estruturais de

drenagem urbana. Esta deve ser aplicada com suas várias alternativas de uso dos conhecimentos e progressos desenvolvidos neste campo de conhecimento, para que, mesmo com todas as adversidades conhecidas, seja assegurada a inexistência de cheias urbanas.

Para se ter uma idéia das melhores propostas de solução para os problemas básicos de um sistema de drenagem, se faz necessário o conhecimento integral da bacia em estudo, com destaque para sua hidrologia e em alguns casos como o abordado, as influências das marés.

A comparação entre possíveis soluções estruturais convencionais e/ou não-convencionais, mistas e não-estruturais, torna-se fundamental para que se possa resolver de forma otimizada os problemas no período de tempo e nas condições econômicas e sociais que a região necessita e pode responsabilizar-se, respondendo aos anseios da população.

A denominada planície aluvionar do Recife, região formada pelas partes inferiores das bacias dos rios Capibaribe, Beberibe, Tejipió, Fragoso e Paratibe, conta com um sistema de drenagem natural fragilizado por uma topografia desfavorável, onde as baixas declividades dos álveos, as cotas reduzidas e a existência de depressões nos terrenos naturais, formam sua principal característica. Esta, por sua vez, tende a dificultar o escoamento das águas superficiais para os talwegues e destes para os corpos receptores maiores, tais como os grandes rios, lagoas ou o próprio oceano.

Com o decorrer do tempo, a viabilização da ocupação de parcelas menos favoráveis dessa planície tem proporcionado grandes alterações, sobretudo na topografia natural, devido a aterramentos, muitas vezes indiscriminados.

O manejo inadequado do solo, aliado aos baixos gradientes dos canais e rios principais da planície, é responsável pela potencialização dos extravasamentos da rede hídrica, função também do assoreamento das calhas (com grande contribuição dos esgotos e do lixo lançado nos canais) que diminuem as seções de escoamento e criam singularidades hidráulicas (obstruções de bueiros e pontes e estreitamentos do leito).

Os Quadros 3.1., 3.2 e 3.3 apresentados em seguida, adaptados do PQA (Fonte: Alterações e complementações efetuadas sobre o original "Urban Growth and the Water Regimen", Savini e Kommerer Geological Survey and Water Supply Paper - n. 1519A – 1961, SECTMA, 1997), buscam efetuar uma

análise ambiental da causa-efeito que em diferentes níveis afeta a questão da drenagem urbana de toda a planície de Recife e Olinda.

No caso da bacia do rio Frágoso na cidade de Olinda, a situação descrita no quadro 3.1 foi ocorrendo gradativamente ao longo do século XVI até o início do século XX. A situação descrita no Quadro 3.2 ocorreu ao longo de algumas décadas do século XX e por último a situação do Quadro 3.3, teve início aproximadamente nas três últimas décadas do século XX e continua ocorrendo em ritmo acelerado.

As condições de maré a jusante são aspectos importantes a analisar. Com efeito, todos os cursos de água da planície de Recife estão sob forte influência das oscilações e avanços das marés, que nas situações de máximas, ditam, ou influenciam, o comportamento do escoamento pelas calhas fluviais. Os níveis de influências dependem da situação hidrológica das bacias em um momento anterior ou concomitante com a atuação das marés máximas.

Na faixa litorânea da RMR a maré é do tipo semi-diurno com duas preamares e duas baixamares por dia lunar (24 horas e 50 minutos em média). A amplitude da maré (diferença entre uma baixamar e uma preamar) varia regularmente com as posições relativas da lua e do sol. Esta amplitude é máxima em marés de águas vivas de um a quatro ou cinco dias após as sizígias (lua cheia ou lua nova) e é mínima em marés de águas-mortas, de um a quatro ou cinco dias após as quadraturas (quartos crescentes ou minguantes). As amplitudes das marés são variáveis sendo que as marés de águas vivas produzidas nos equinócios (fins de março e de setembro) possuem as maiores amplitudes do ano.

Quadro 3. 1 - Alteração do uso do solo na transição de uso rural para uso urbano e seus efeitos hidrológicos (adaptado do PQA, SECTMA, 1997)

FASE	CARACTERÍSTICAS	CONSEQÜÊNCIAS
Transição do uso rural para o urbano	Remoção de vegetação	Decréscimo na evapotranspiração Acréscimo nas vazões nas chuvas Aumento de erosão
	Construções de casas Limpeza do terreno Abertura de ruas	Acréscimo na descarga sólida Acréscimo no assoreamento Aumento do escoamento superficial.
	Construção de poços para captação de água	Abaixamento do lençol Freático.
	Construção de fossas Efluentes a céu aberto	Acréscimo na umidade do solo Elevação do lençol freático Poluição do solo e da água superficial

Quadro 3. 2 - Alterações devido à transição de estágio inicial de urbanização para o médio e seus efeitos hidrológicos (adaptado do PQA, SECTMA, 1997)

FASE	CARACTERÍSTICAS	CONSEQÜÊNCIAS
Transição do estágio inicial de urbanização para o médio	Movimentos de terra Arruamentos em maior escala	Acumulação da erosão Acréscimo do assoreamento Aumento relativo das enchentes
	Casas em quantidade Pavimentação de ruas Construção de sarjetas	Diminuição da evapotranspiração Decréscimo da infiltração Abaixamento do nível dos aquíferos Aumento relativo das vazões de cheias
	Construção de barragens p/ abastecimento público	Elevação do nível do lençol subterrâneo Decréscimo nas vazões dos rios à jusante.

Quadro 3. 3 - Alterações devido à transição de estágio médio de urbanização para avançado e seus efeitos hidrológicos (adaptado do PQA, SECTMA, 1997)

FASE	CARACTERÍSTICAS	CONSEQÜÊNCIAS
Transição do estágio médio para o avançado	Maior densidade de urbanização	Redução da infiltração Abaixamento do lençol freático Picos de cheias mais altos Redução nas vazões de base
	Mais detritos e águas residuais descarregados nos cursos d'água	Acréscimo na poluição do solo e água Prejuízo para a vida aquática Adicional deterioração da qualidade da água para uso a jusante Aumento do assoreamento.
	Abandono dos poços em conseqüência da poluição	Elevação do nível do lençol de água subterrânea.
	Novas fontes de suprimento de água (mais distantes)	Acréscimo nas vazões dos cursos d'água locais, se o suprimento vier de outras bacias.
	Retificação de canais Obras de aceleração da passagem das águas	Aumento dos danos das enchentes Propagação de efeitos para jusante
	Construção de redes de esgotamento sanitário Construção de estações de tratamento de efluentes	Remoção de água e redução da infiltração e da recarga dos aquíferos.
	Construção de sistemas de galerias de águas pluviais	Redução de alagamentos Redução da recarga dos aquíferos Sobrecarga dos cursos d'água receptores das descargas Redução do tempo de concentração das bacias.
	Recuperação de águas usadas (reuso)	Recarga dos aquíferos. Uso mais eficiente da água
	Oscilação acentuada e freqüente do nível do lençol subterrâneo	Problemas para fundações dos prédios Problemas de insalubridade (umidade) para as edificações

Para a faixa litorânea da RMR, a maior amplitude das grandes águas-vivas é calculada forma que a cota 2,80 a partir do zero da marinha, pode ser adotada como referencial para estudos hidráulicos na RMR.

É importante ressaltar que as cotas de marés alta e baixa, e as de maior enchente, são geralmente referenciadas ao zero Hidrográfico da Marinha que possui correlação com outras referências de nível definidas pelo esquema da Figura 3.1.



CNG- Conselho Nacional de Geografia; DHN- Diretoria de Hidrografia e Navegação;
DNPVN- Departamento Nacional de Portos e Viação Náutica.

Figura 3. 1 – Exemplo esquemático da correlação dos níveis no Porto do Recife (FIDEM, 2007).

3.2 - CARACTERÍSTICAS FISIOGRÁFIAS

A ANA – Agência Nacional de Águas, considera a Bacia do Rio Fragoso, como fazendo parte do conjunto de muitos pequenos rios da região, de importância singular em relação à ocupação urbana, apesar da pouca extensão e vazão de seus corpos d'água, localizando esta bacia específica, entre as bacias do Oriental de Pernambuco, pertencente à Região Hidrográfica Costeira do Nordeste Oriental.

A Bacia do Rio Fragoso se encontra inserida na Mesorregião Metropolitana do Recife, mais especificamente na Unidade de Planejamento

Hídrico UP-14 – GL1, do grupo dos pequenos rios litorâneos, no que se refere às regiões geográficas do Estado de Pernambuco (Figura 3.2.). Está compreendida entre os paralelos 7°57'33,1" e 8°00'20" de latitude sul, e os meridianos 34°54'31,3" e 34°49'50,4" de longitude, a Oeste de Greenwich.

REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DOS CORPOS D'ÁGUA DO GRUPO DE BACIAS DE PEQUENOS RIOS LITORÂNEOS - GI1

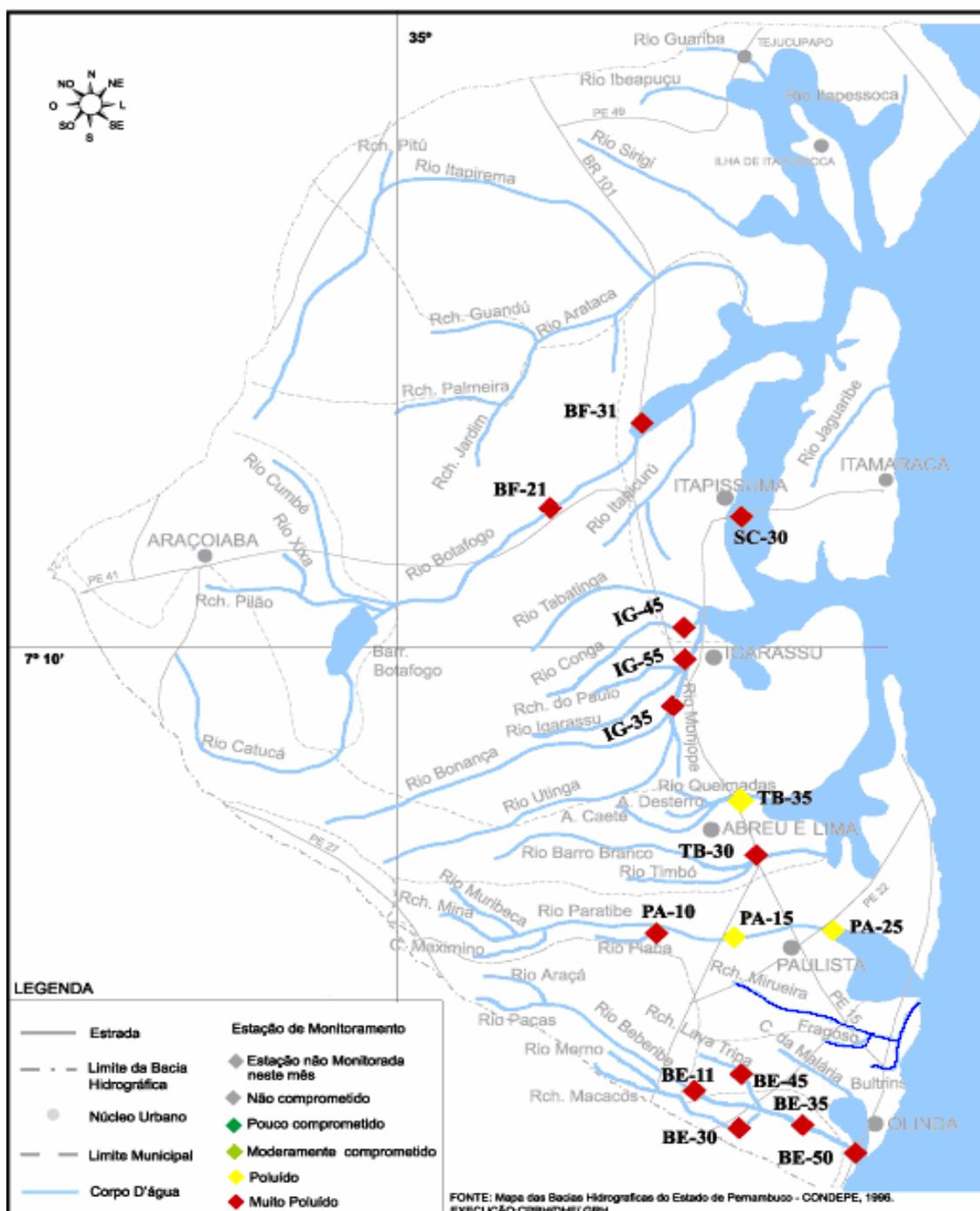


Figura 3. 2 – Bacias Hidrográficas de Pernambuco (GI1) realce Rio Frágoso. Em destaque azul escuro, o Rio Frágoso.

A Bacia situa-se a maior parte no município de Olinda e uma parte na área rural do município de Paulista. Está inserida na Região Metropolitana do Recife, como bem se pode observar na Figura 3.3.

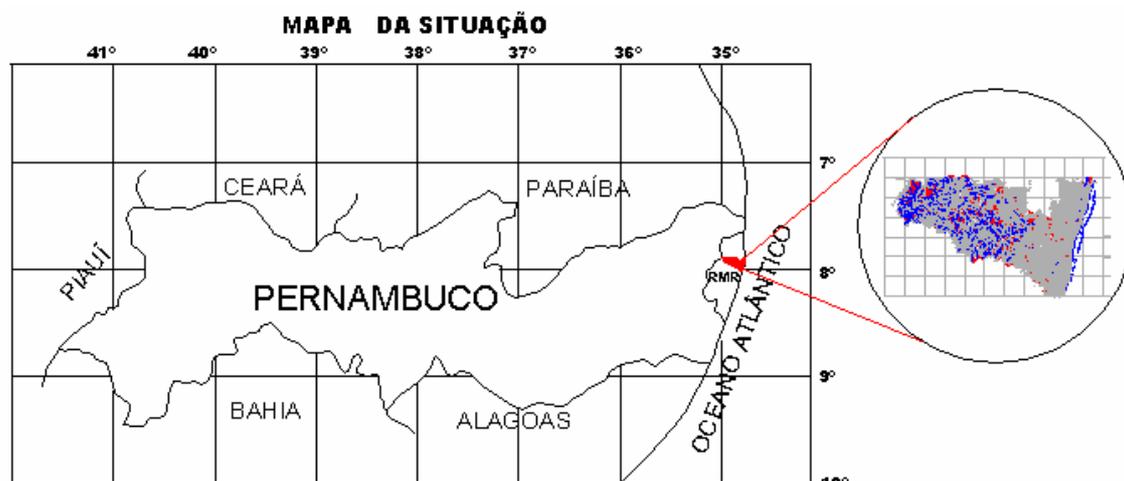


Figura 3. 3 – Mapa de Situação da Bacia do Rio Fragoso.

3.2.1. - GEOLOGIA

A Bacia do Rio Fragoso está geologicamente localizado na Faixa Sedimentar Cretácea Paleocênica, na Faixa considerada Sedimentar Norte de Pernambuco.

Segundo estudos geofísicos, a Faixa Sedimentar Norte de Pernambuco é afetada por falhas paralelas e normais à costa, conferindo uma compartimentação irregular de blocos nivelados. Trata-se de uma sucessão de blocos, cujas camadas estão dotadas de uma horizontalidade, que mergulham, de maneira suave, na direção do oceano, com inclinação entre 5 e 25 m/km.

A largura média dessa faixa sedimentar, excluindo as coberturas areno-argilosas pleistocênicas do Grupo Barreiras, varia de 25 a 35 km, em quanto que sua espessura máxima ao nível da orla atual é de 390m (BELTRÃO, 1995).

A figura 3.4 apresenta uma visualização das seções geológicas existentes no trecho da Bacia, ressaltando os Depósitos Quaternários, representados pelos sedimentos de aluviões dos rios e do Grupo Barreiras, que de um modo

geral são desfavoráveis ao parcelamento urbano e sua ocupação por edificações.

A predominância da fração de argila na composição destes sedimentos, no caso de barreiras, potencia problemas geotécnicos, principalmente em épocas chuvosas, em função da sua grande capacidade de absorção de água e de redução quer de sua capacidade de suportar carga superficial quer de sua tensão de cisalhamento.

Já nas planícies de aluviais, encontra-se o nível da água a poucos metros da superfície, com solos moles, caracterizando-se por oferecer pouca estabilidade para obras de engenharia, além dos problemas constantes de inundações (BELTRÃO, 1995).

A divisão em sub-bacias foi feita com o auxílio das curvas de nível elaboradas nas ortofotocartas da FIDEM. Parâmetros da bacia e da calha fluvial como áreas, comprimentos, declividades, etc foram definidos a partir de cartas também da FIDEM, com o auxílio de técnicas de geoprocessamento.

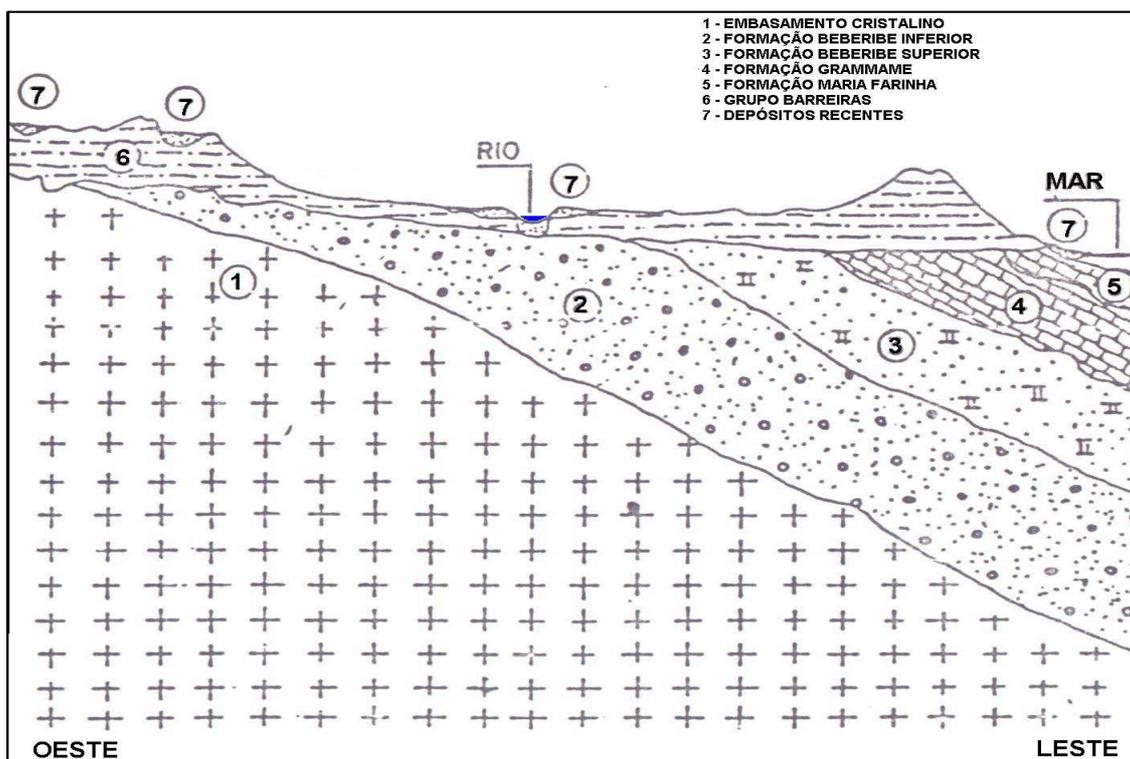


Figura 3. 4 – Unidades Litoestratigráficas da Faixa Sedimentar Norte (PE) Seção Geológica Esquemática Leste – Oeste Bacia do Rio Fragoso adaptado (BELTRÃO, 1995).

O Rio Fragoso tem o comprimento de cerca de 8.080 m, considerando os meandros do seu percurso desde a nascente que se localiza no Município de Olinda, até a desembocadura de seu estuário em conjunto com o Rio Paratibe, e sua área total de drenagem é de aproximadamente de 29,29 km².

A Bacia abrange os Municípios de Olinda e do Paulista, ocupando 13 bairros. Ao Norte encontram-se os bairros do Rio Doce, Jardim Atlântico, Fragoso de Olinda e Fragoso do Paulista, Tabajara de Olinda e Tabajara do Paulista, Torres Galvão do Paulista e Mirueira do Paulista; a Oeste, o Bairro do Córrego do Caboclo; ao Sul, os bairros do Jatobá, Ouro Preto, Bultrins e Alto da Nação; e ao Leste, os bairros do Bairro Novo e Casa Caída (Quadro 3.4.).

Quadro 3. 4 - Bairros drenados pela bacia do Rio Fragoso.

REGIÃO	BAIRRO	MUNICÍPIO
Norte	Rio Doce	Olinda
	Jardim Atlântico	Olinda
	Fragoso	Olinda
	Fragoso	Paulista
	Tabajara	Olinda
	Tabajara	Paulista
	Tôrres Galvão	Paulista
	Mirueira	Paulista
	Oeste	Córrego do Caboclo
Sul	Jatobá	Olinda
	Ouro Preto	Olinda
	Bultrins	Olinda
	Alto da Nação	Olinda
	Bairro Novo	Olinda
	Casa Caiada	Olinda

A Bacia do Rio Fragoso encontra-se em sua totalidade inserida na Zona Fisiográfica do Litoral de Pernambuco, caracterizando-se por um regime permanente em quase todo o seu percurso e em todos os seus afluentes.

O clima dominante na área é o As`, clima quente úmido do tipo pseudo tropical na classificação de Köpenn, ou seja, quente e úmido, com chuvas de outono e inverno, distribuídas de março a agosto, com temperatura no mês mais frio superior a 18º C.

O período chuvoso da bacia é o mesmo da Costa Oriental do Nordeste, outono–inverno de abril a julho, e tem lugar sob a ação de ciclones da frente polar atlântica (FPA) que, nesta época do ano, atinge com vigor máximo a costa nordestina brasileira. O período mais seco corresponde aos meses de setembro outubro, novembro e dezembro, nos anos considerados normais (Quadro 3.5.) (BRAGA, 2001).

Os dados pluviométricos e pluviográficos, normalmente utilizados até a presente data para obras de engenharia, são os obtidos nos postos de Igarassu (1911 - 1942) e Recife (1911 - 1985) e Olinda (1926 – 1954), aplicáveis a toda Região Metropolitana do Recife, após a apresentação da proposta do Plano Diretor da Macrodrenagem da Região Metropolitana da Cidade do Recife em 1985 pela ACQUAPLAN.

Quadro 3. 5 – Características hidrológicas básicas da Bacia do Rio Fragoso.

CARACTERÍSTICAS	DADOS
Precipitação Média Anual	1.783,00 mm
Precipitação Máxima Mensal	775,00 mm
Precipitação Média Máxima Mensal	294,60 mm
Dias de Chuva por ano	185 dias
Período mais chuvoso	Abril a Julho
Período mais seco	Setembro a Dezembro
Temperatura Média Anual	26º C
Umidade Relativa Média Mensal	80 %

3.2.2. - COBERTURA VEGETAL

A cobertura vegetal da área era inicialmente constituída pela Floresta Atlântica, do tipo Ombrófila Densa, e seus ecossistemas associados aos manguezais e restingas.

Lamentavelmente a Mata Atlântica é considerada inexpressiva em nosso Estado de Pernambuco, no entanto restam como testemunha de sua existência primitiva, a Mata do Ronca e a Mata do Quartel 7º GAC/EX, todas localizadas nas nascentes da Bacia (Figura 3.5.). Mesmo estes resquícios de florestas vêm sendo gradativamente eliminados por ações antrópicas, como será observado no capítulo em que serão apresentadas fotos recentes de degradação das nascentes e das matas ciliares.

Imagens de satélite foram utilizadas neste trabalho, como mostrado adiante, para se ter uma avaliação mais atual do uso e ocupação do solo na bacia.

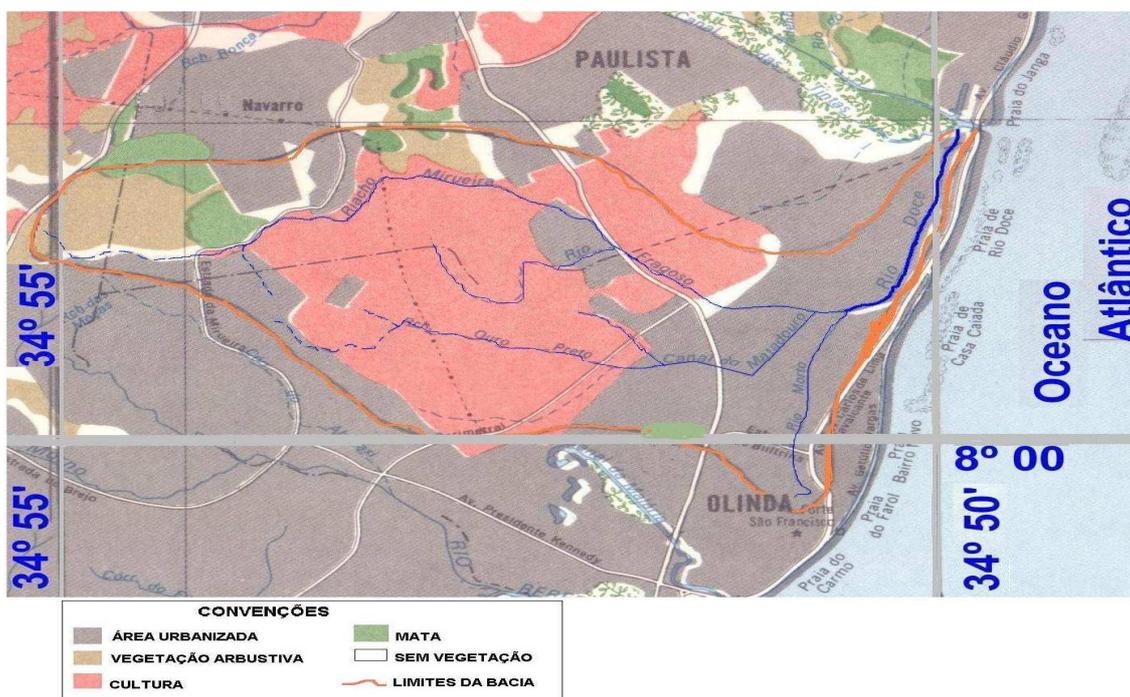


Figura 3. 5 – Mapa da Cobertura Vegetal (Fonte: FIDEM 1985)

3.3. - SUB-BACIAS

Na sua margem direita, são encontrados o Riacho Ouro Preto e o Canal do Rio Doce (Riacho dos Bultrins, do Rio Morto ou do Rio Tapado) (Quadro 3.6) e na sua margem esquerda, o Riacho da Mirueira (Figura 3.6.).

Quadro 3. 6 – Comprimento e área de drenagem das Sub-Bacias do Rio Fragoso.

SUB-BACIA	Comprimento desde sua nascente (m)	Área de drenagem (km ²)
Riacho Ouro Preto	5.920,00	6,79
Riacho dos Bultrins	3.700,00	3,96
Trecho Incremental	8.080,00	7,55
Riacho da Mirueira	6.180,00	11,00

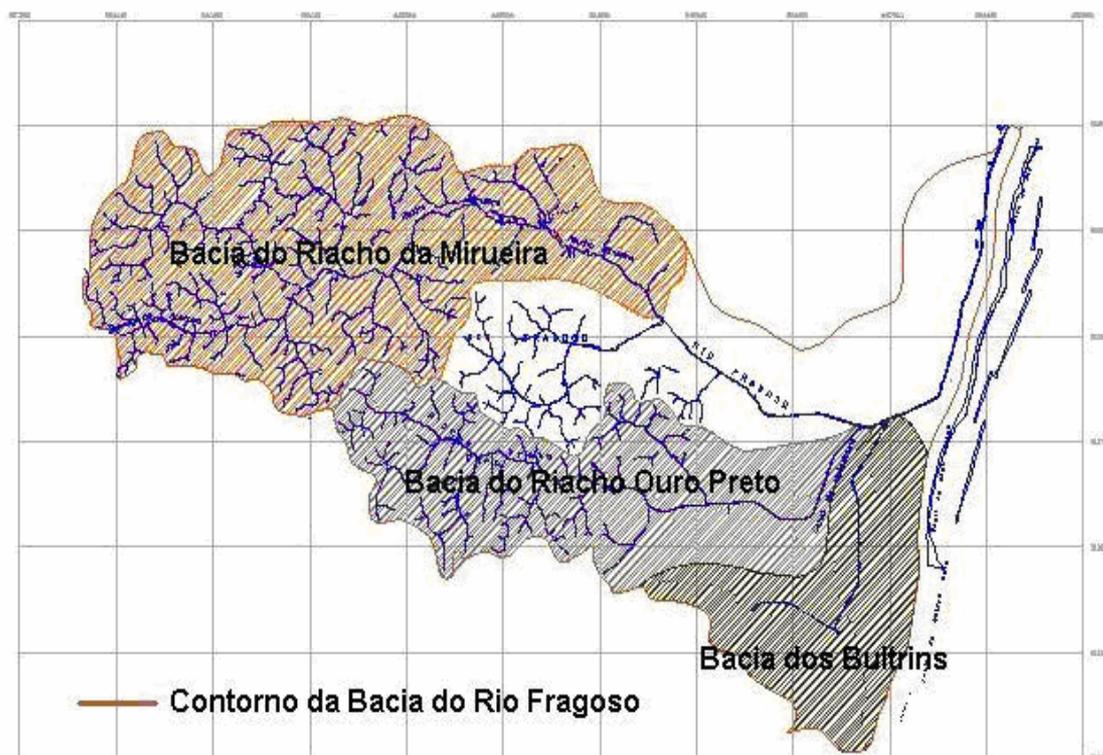


Figura 3. 6 – Limites das Sub-Bacias Hidrográficas do Rio Fragoso.

3.3.1 - INFLUÊNCIA DA MARÉ

O Canal do Rio Doce tem sua foz no estuário do rio Fragoso, que por sua vez sofre em seu trecho final a influência das marés, influência essa que se propaga para montante.

3.4 - ASPECTOS SÓCIO-ECONÔMICOS

Os aspectos sócio-econômicos mais importantes no contexto deste estudo estão essencialmente associados ao município de Olinda, que tem a bacia do Rio Fragoso inserida em seus limites, com percentual muito pequeno da sub-bacia do Mirueira nos limites do Município do Paulista.

A cidade de Olinda é considerada a terceira maior cidade de Pernambuco em população e abriga em seus 40,83 quilômetros quadrados de extensão territorial uma população de 367.902 habitantes, o que significa uma densidade demográfica de 9,010 habitantes por quilômetro quadrado, segundo o Censo Demográfico de 2000. Da área total, cerca de 1,20 km² é de área tombada pelo Patrimônio Histórico e 10,4 km² corresponde à área de preservação.

A taxa de urbanização é de 98%, o que faz de Olinda um município eminentemente urbano. A maioria dos chefes de família (44,96%) possui renda de até dois salários mínimos e a totalidade da população uma renda média mensal de 3,787 salários mínimos, segundo o Censo 2000. Cada família possui em média 4,41 membros. Vinte seis por cento da população desenvolvem atividades econômicas ligadas à área de serviços, mas a maior taxa de ocupação (27%) está em áreas de atividades não-especificadas pelo IBGE, no Censo 2000.

A taxa de analfabetismo na faixa etária de 11 a 14 anos caiu de 13,6%, em 1991, para 6,46%, em 2000. Na faixa acima dos 15 anos, a queda foi de 14,8%, em 1991, para 9,93%, em 2000.

3.5 – ENCHENTES URBANAS NO RIO FRAGOSO

Inundações acontecem ao longo do Canal Bultrins (Rio Morno) e na confluência dos afluentes Riacho Ouro Preto e Rio Morno (Canal do Matadouro) com o leito principal do Rio Fragoso, conforme identifica o mapa da Figura 3.7., onde se podem observar as áreas alagadas de forma permanente e temporária, a partir dos estudos realizados para o diagnóstico ambiental de Olinda.



Figura 3. 7 – Mapa das áreas alagáveis e alagadas na Bacia do Rio Fragoso (Fonte: BELTRÃO et al. 1995).

Essa situação, ao invés de minorada, em decorrência dos levantamentos, obras de engenharia executadas e informações já obtidas, agravou-se cada vez mais.

A dinâmica do vale fluvial que envolve a atuação do curso d'água e os processos morfogenéticos atuantes no desenvolvimento das formas de relevo de seus cursos, recebe a influência das ações antrópicas que, geralmente, atuam de forma contrária às da natureza. Esta luta para que os obstáculos criados sejam vencidos e o leito do rio e suas várzeas retornem ao processo natural.

Desse modo, o vale não se restringe a receber as influências do fluxo para ali escoado, mas expressa as influências advindas das forças morfogenéticas e antrópicas que atuam nas suas margens e interferem, também, na dinamização das suas vertentes.

Hoje, o que se busca é a situação de equilíbrio ecológico. Para que isto ocorra, obras de engenharia que envolvem o estudo da macro e microdrenagens são fundamentais. Só através do correto emprego dos conhecimentos tecnológicos e hidrológicos na área, pode ser obtida uma convivência harmoniosa entre a urbanização e os processos naturais de escoamento dos nossos rios.

Em maio de 2003, Olinda, mais uma vez, foi severamente castigada pelo excesso de chuva, como vem ocorrendo na maioria dos anos considerados normais. É necessário enfatizar o drama vivido pela população que se instala de forma precária em regiões que deveriam ser preservadas para o escoamento eventual do excesso de águas pluviais. Igualmente atribulada fica a administração municipal para suplantar as calamidades acontecidas. E o que dizer dos munícipes nativos de Olinda que, como contribuintes de fato, serão responsabilizados pelos custos da manutenção gerencial decorrentes dos eventos?

A Figura 3.8. mostra trechos da Avenida Getúlio Vargas totalmente tomada pela água. A rede de microdrenagem não funciona de forma adequada. Isso decorre de vários fatores. O maior deles é o mau funcionamento da macrodrenagem, que veio se degradando ano a ano.

Os efeitos da urbanização sobre a rede hidrográfica estão intimamente ligados ao aumento da vazão máxima, à antecipação do pico de vazão e ao aumento do volume do escoamento superficial.

Têm ocorrido inundações em Olinda em anos seguidos. Os registros fotográficos, jornalísticos e técnicos são fundamentais para balizar estudos a serem desenvolvidos.



Figura 3. 8 – Avenida Getúlio Vargas, uma das principais de Olinda.

A contribuição das figuras apresentadas a seguir, como todas as demais inseridas neste trabalho, deverá ser somada à do acervo técnico existente na Secretaria de Meio Ambiente de Olinda, para serem comparadas para uma análise mais acurada do aumento gradativo dos impactos provocados pelas fortes chuvas anuais.

A Figura 3.9. mostra o volume de água na R. Elesbão de Castro, que liga a Av. Gov. Carlos de Lima Cavalcante à Av. Getúlio Vargas.

Na Figura 3.10., observam-se construções em solo onde não deveriam existir edificações, em área considerada de risco, no local onde existe o encontro entre o Rio Fragoso e seus afluentes do sul.

O Bairro de Jardim Fragoso, como bem se observa na Figura 3.11., merece um estudo mais apurado sobre as soluções técnicas de

macrodrenagem a serem implementadas e definição de níveis atuais de alagamento.

As ruas que margeiam o Rio Fragoso na altura do Bairro de Casa Caiada, tanto na margem esquerda como na direita são as mais edificadas. A área sofre com a obstrução provocada pelas obras de engenharia que funcionam como barragens. A figura 3.12 mostra uma das ruas alagadas no bairro de Casa Caiada.



Figura 3. 9 – Trecho da Rua Elesbão de Castro, em Olinda.



Figura 3. 10 – Conjunto habitacional recentemente construído em Olinda.



Figura 3. 11 – Acesso às ruas do Bairro de Jardim Fragoso.



Figura 3. 12 – Rua Pintor Manoel Bandeira, em Casa Caiada.

4 - PLUVIOMETRIA NA RMR E NA BACIA DO RIO FRAGOSO

O principal objetivo de um posto de medição de chuvas é o de obter uma série ininterrupta de dados de precipitações ao longo dos anos, principalmente das variações das intensidades de chuvas ao longo das tormentas. Quanto menor o intervalo de tempo capaz de ser detectado por um pluviômetro registrador, melhor e mais preciso serão os dados colhidos.

Porém, o uso da precipitação média de áreas vizinhas de outras bacias da região, ou de dados desatualizados, poderá apresentar variações acentuadas que demonstram a necessidade clara de uma cobertura mais densa de postos de observação dentro do território da bacia em estudo e um intenso acompanhamento das informações.

Levando em consideração estes princípios, constata-se que os dados de precipitação adotados para a bacia do Rio Fragoso precisarão ser atualizados levando-se em conta as novas informações que vêm sendo obtidas nos últimos anos na presente pesquisa e em outras pesquisas correlatas.

Para comprovação desta afirmativa, na presente pesquisas, foram instalados dois pluviômetros registradores localizados na bacia do Rio Fragoso. Foi feita uma análise a partir dos dados coletados no período de maior intensidade de chuva em alguns meses de 2006, comparando com dois pluviômetros localizados em outras bacias da região.

Os resultados dos pluviômetros externos a área da bacia é que historicamente são os mais adotados para estudos para toda a RMR - Região Metropolitana do Recife. No entanto, levando em conta a variabilidade espacial encontrada nos eventos chuvosos é necessário dispor de mais pluviógrafos, visando produzir estimativas espacialmente distribuídas de precipitação a serem aplicadas nos estudos e projetos.

4.1 - DESCRIÇÃO DOS PLUVIÔMETROS UTILIZADOS

O pluviômetro adotado nas estações da UFPE, localizadas na bacia do Rio Fragoso é do tipo registrador com Logger da Onset Computer Corporation. É composto de um coletor de dados de bateria interna, inteiramente acondicionada e protegida das intempéries com um sistema de gravação que

incluem um gravador de dados do evento integrado a um sistema de calibragem da chuva tipo caçamba báscula. Este modelo grava automaticamente até 80.000 dados, que podem ser usados em determinadas taxas, tempos e duração da precipitação (Figura 4.1).

Os loggers de dados (família H7 da Onset Computer Corporation) gravam quando os eventos momentâneos do contato-fechamento acontecem, armazenando a hora e a data de cada evento. Somente uma vez por evento é armazenada, para minimizar o uso da memória, para as aplicações onde a duração do evento não  necessária.

O sistema de gravação de eventos do equipamento utilizado (Hobo) registra as informações das precipitações ocorridas de acordo com as especificações:

- A hora e a data são armazenadas para cada báscula realizada para análise detalhada;
- Exatidão do tempo: ± 1 minuto por semana em a 20 °C;
- Definição do selo de tempo: 0,5 segundos;
- Escala de temperatura de operação do logger: 0 °C a 50 °C
- A captação da chuva têm 15,4 cm (anel de 6,06 in) e o coletor  do tipo caçamba.



Figura 4. 1 – Equipamento automático adotado.

4.2 - LOCALIZAÇÃO DOS PLUVIÔMETROS NA BACIA

Os postos pluviométricos foram instalados na bacia do rio Fragoso em área plana, distante de obstáculos (árvores e prédios). A boca de captação foi posicionada a 1,50 m do solo, tendo sido regulada a horizontalidade da boca coletora. Para evitar ação de vândalos, um dos pluviômetros foi instalado numa unidade militar do exército e o outro foi instalado no quintal de uma residência. As localizações dos postos em coordenadas geográficas encontram-se no Quadro 4.1.

Quadro 4.1 – Localização dos postos em coordenadas geográficas.

UFPE		INMET	ITEP
Fragoso1	Fragoso2	A301 Recife	Recife
285.035,854 E	288.745,996 E	285.203,722 E	287.891,267 E
9.122.564,188 N	9.115.207,204	9.087.536,308 N	9.108.074,699 N
Lat.: 7°56' S	Lat.: 8°00' S	Lat.: 8°15' S	Lat.: 8°03'52" S
Long.: 34°57' W	Long.: 34°55' W	Long.: 34°57' W	Long.: 34°55'29" W
285.035,854 E	288.745,996 E	285.203,722 E	287.891,267 E

Verifica-se que, nem o posto do INMET nem o posto do ITEP exercem qualquer influência sobre a Bacia do Rio Fragoso. Assim, torna-se imprescindível o acompanhamento das séries históricas dos postos Fragoso 1 e Fragoso 2.

4.3 - COMPARAÇÃO COM OUTROS PLUVIÔMETROS DA RMR

Devido ao abatimento espacial da chuva, descrito por alguns autores para outras cidades e verificado experimentalmente na bacia do rio fragoso, existe a necessidade de uma cobertura mais densa de postos de observação dentro do território da bacia em estudo e um intenso acompanhamento das informações.

A comparação foi feita a partir dos dados coletados no período de chuva no ano de 2006 pelos pluviômetros anteriormente citados. A comparação foi

feita com os dados do mês de junho, um mês de uma intensidade de chuva comuns no período na bacia em estudo (Figuras 4.2., 4.3., 4.4. e 4.5.).

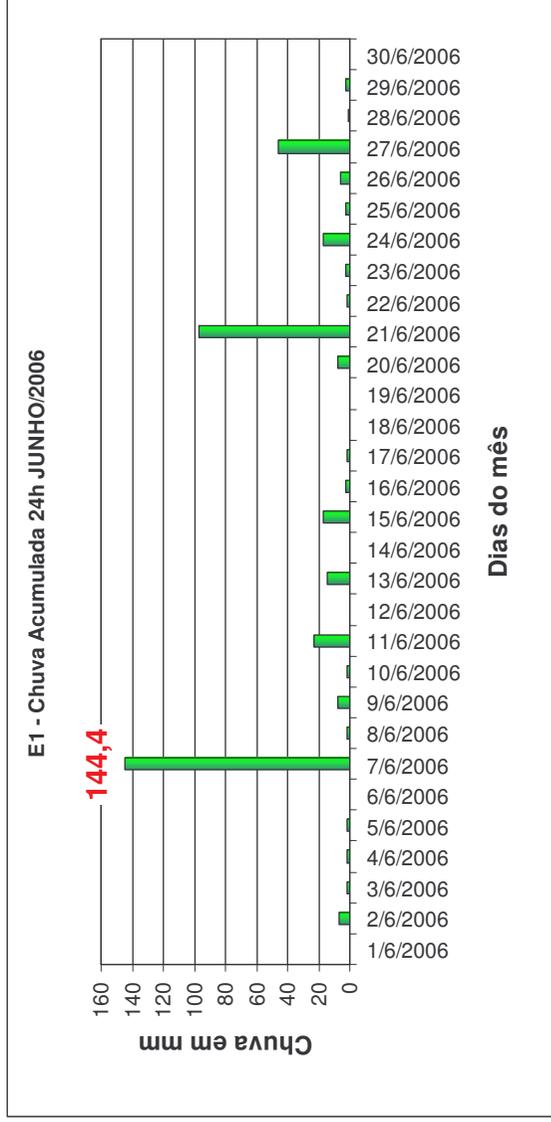


Figura 4.2 – Pluviômetro UFPE/ Fragoso1, no mês de junho de 2006.

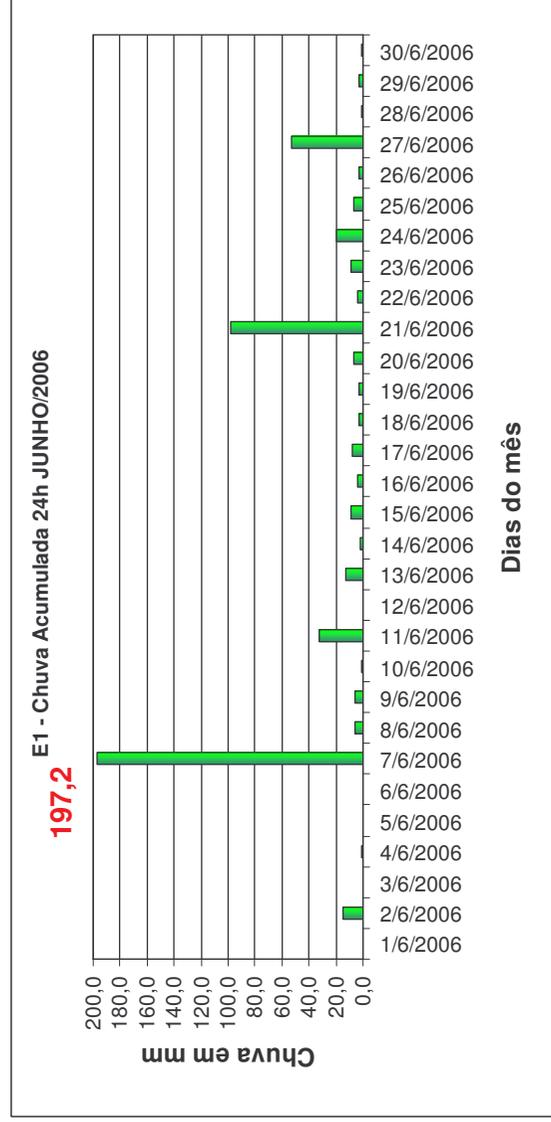


Figura 4.3 – Pluviômetro UFPE/ Fragoso2, no mês de junho de 2006.

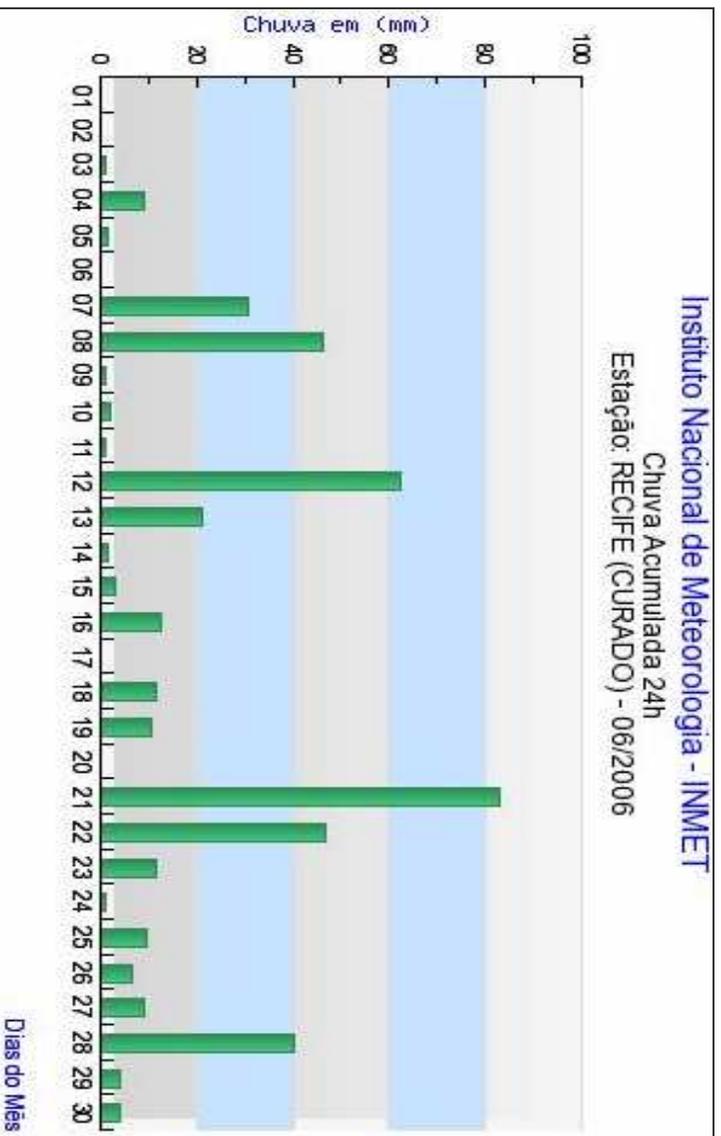


Figura 4. 4 – Pluviômetro do INMET A301 Recife/PE, no mês de junho de 2006.

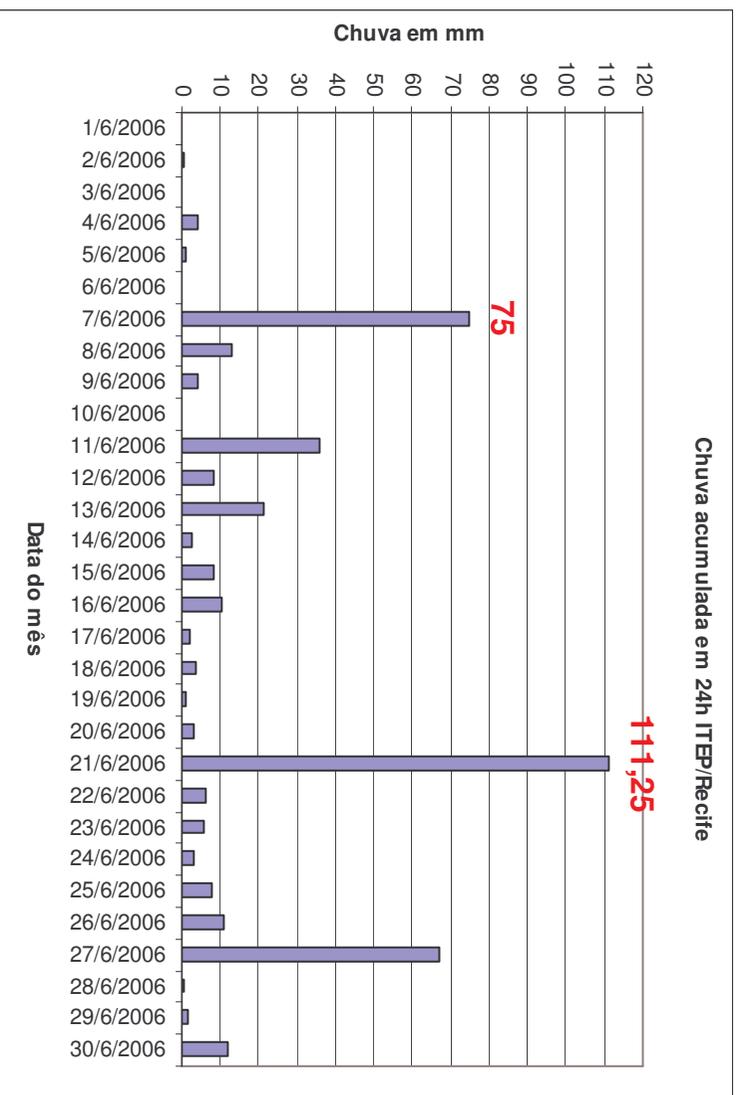


Figura 4. 5 – Pluviômetro do ITEP Recife/PE, no mês de junho de 2006.

Verifica-se portanto que a tormenta teve intensidade variável ao longo de Recife e Olinda, sendo que o pico da precipitação de acordo com os valores disponibilizados ocorreu na área do pluviômetro UFPE / Fragoso 2.

Os totais pluviométricos decresceram gradativamente a medida que aumentava a distância em torno da área de pico. Os dados do pluviômetro UFPE / Fragoso1, que se encontra a apenas 4,00 km de distância do UFPE / Fragoso 2 demonstra uma precipitação em torno de 70% do valor do pico obtido no Fragoso 2, enquanto o posto do ITEP, distando em torno de 12 km registrou uma precipitação muito menor.

Para o cálculo da precipitação média em uma superfície qualquer, é necessário utilizar as observações dentro dessa superfície e nas suas vizinhanças. Geralmente se aceita a precipitação média como sendo uma lâmina de água de altura uniforme sobre toda a área considerada, associada a um período de tempo dado, o que não deixa de ser uma abstração (Sanchez, 1986), pois a chuva real obedece a distribuições espaciais e temporais variáveis.

A Coordenadoria de Defesa Civil do Recife (CODECIR) contabilizou 147 milímetros das 19h da terça-feira (06/06/2006) até a tarde de (07/06/2006).

Os transtornos causados por conta das fortes chuvas foram muitos. Ruas alagadas, moradores ilhados sem poder sair de casa, carros quebrados, além da suspensão do fornecimento de energia em várias localidades da Região Metropolitana do Recife (RMR).

Em Olinda, algumas pessoas tiveram que andar com água na altura da cintura. Por conta do grande volume da precipitação, as defesas civis dos municípios vizinhos à capital pernambucana intensificaram as vistorias nas áreas de morro. Também houve a retirada de algumas famílias de regiões consideradas de alto risco.

Os olindenses amanheceram em situações graves devido às fortes chuvas. Os motoristas que trafegaram pelas principais vias da cidade passaram por vários transtornos, no dia 07/06/2006, por conta dos vários pontos de alagamento. Nos corredores onde o fluxo de veículos é intenso, notou-se uma lentidão maior que a normal, isso porque os condutores ficavam receosos em passar com os veículos pelas avenidas repletas de água, por medo de quebrar os automóveis (Figura 4.7.).



Figura 4. 6 - Chuvas foram as maiores registradas no ano (foto da Folha de Pernambuco 08/06/2006 mostrando o alagamento ocorrido no dia anterior).

Os valores mais próximos da intensidade da chuva que efetivamente caiu na sub-bacia do canal dos Bultrins do rio Fragoso é o da UFPE / Fragoso 2 com 197,2 mm de chuva em 24 horas, que corresponde ao trecho da planície de Recife e Olinda onde a ocorrência dos efeitos da tormenta foram os maiores.

Conclui-se que é necessário um número maior de dados pluviométricos na região metropolitana do Recife, em suas bacias específicas, com a instalação de uma rede de pluviógrafos para a obtenção de uma série de dados ininterruptos ao longo dos anos que possibilitem o estudo mais detalhado nas ocorrências das chuvas mais intensas.

No entanto, os dados compilados, servirão como base de estudos comparativos futuros, em uma área carente de dados pluviométricos específicos, principalmente com a intenção de um contínuo acompanhamento de séries nos postos instalados da UFPE.

5 – SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS DE VAZÕES NA BACIA

Neste capítulo, procura-se analisar os pontos críticos do sistema de macrodrenagem da bacia do Rio Fragoso, na cidade de Olinda, em Pernambuco, para assim poder propor possíveis soluções compensatórias para os problemas de drenagem que afligem, de forma freqüente, a área em questão. É composto de parte dos trabalhos realizados para a Prefeitura Municipal de Olinda/PE (CIRILO, 2006), com a participação do autor.

Os estudos para definição das ações de macrodrenagem na área em foco incluem, em linhas gerais:

- Determinação das vazões de cheia nos diferentes segmentos da bacia;
- Definição das áreas habitáveis, tendo em vista as restrições de cotas e necessidades de aterro.

Os objetivos citados foram desdobrados nas seguintes atividades:

Análise da pluviometria e definição de chuva de projeto: intensidade, duração e freqüência;

Avaliação das metodologias mais apropriadas para definição de vazões de projeto. Cálculo da vazão de projeto para período de retorno de 20 anos;

Caracterização da calha atual do Canal do Rio Doce e de parte do Rio Fragoso: seções, perfil longitudinal, obstáculos pontuais, características de resistência ao escoamento;

Alimentação de modelo hidrodinâmico de simulação do escoamento superficial para as condições de projeto;

Definição das áreas habitáveis, tendo em vista as restrições de cotas e necessidades de aterro.

5.1. - MODELO UTILIZADO

A elaboração de estudos hidrológicos para a área em questão tem o propósito de embasar a racionalização, a melhor distribuição dos investimentos, a serem programados para as intervenções na calha fluvial, e o planejamento para as ações na área da bacia como um todo.

Nos estudos, foram confrontados os métodos: Racional, SCI e Diaz/Tucci (DIAS E TUCCI, 1989), de acordo com a disponibilidade de dados e informações secundárias e com as particularidades da área urbana em que se insere a rede de canais da macrodrenagem da RMR.

5.1.1 - CHUVAS INTENSAS E SUA OCORRÊNCIA

A equação da chuva intensa estabelecida para a região é dada pelas seguintes equações (5.1 e 5.2, respectivamente), válidas para curtas e longas durações de chuva (AQUAPLAN, 1980).

$$i_1 = \frac{456.768 * (T - 1.5)^{0.117}}{(t_1 + 6)^{0.58111}} * (1 - 4.54 * 10^{-21} * t_1^8)$$

(5.1)

$$i_2 = \frac{72.153 * (T - 1.75)^{0.173}}{(t_2 + 1)^{0.74826}}$$

(5.2)

Onde:

T = Tempo de retorno em anos;

t₁ = tempo de duração da chuva em minutos;

t₂ = tempo de duração da chuva em horas;

i₁ e i₂ = intensidade da precipitação, mm/h.

Sendo adotado como resultado final:

i = máximo entre i₁ e i₂.

A Figura 5.1, ilustra a variação da intensidade de chuva para diferentes durações e períodos de retorno de 10 e 20 anos.

5.1.2. - CÁLCULO DA PRECIPITAÇÃO EFETIVA

Para partição das chuvas, na parcela que representam as perdas por infiltração, interceptação e evapotranspiração e na parcela remanescente que se transforma em escoamento superficial, foi utilizada a metodologia desenvolvida pelo U.S. Soil Conservation Service, comumente conhecida por Método SCS, onde a precipitação efetiva é calculada pelas equações 5.3 e 5.4:

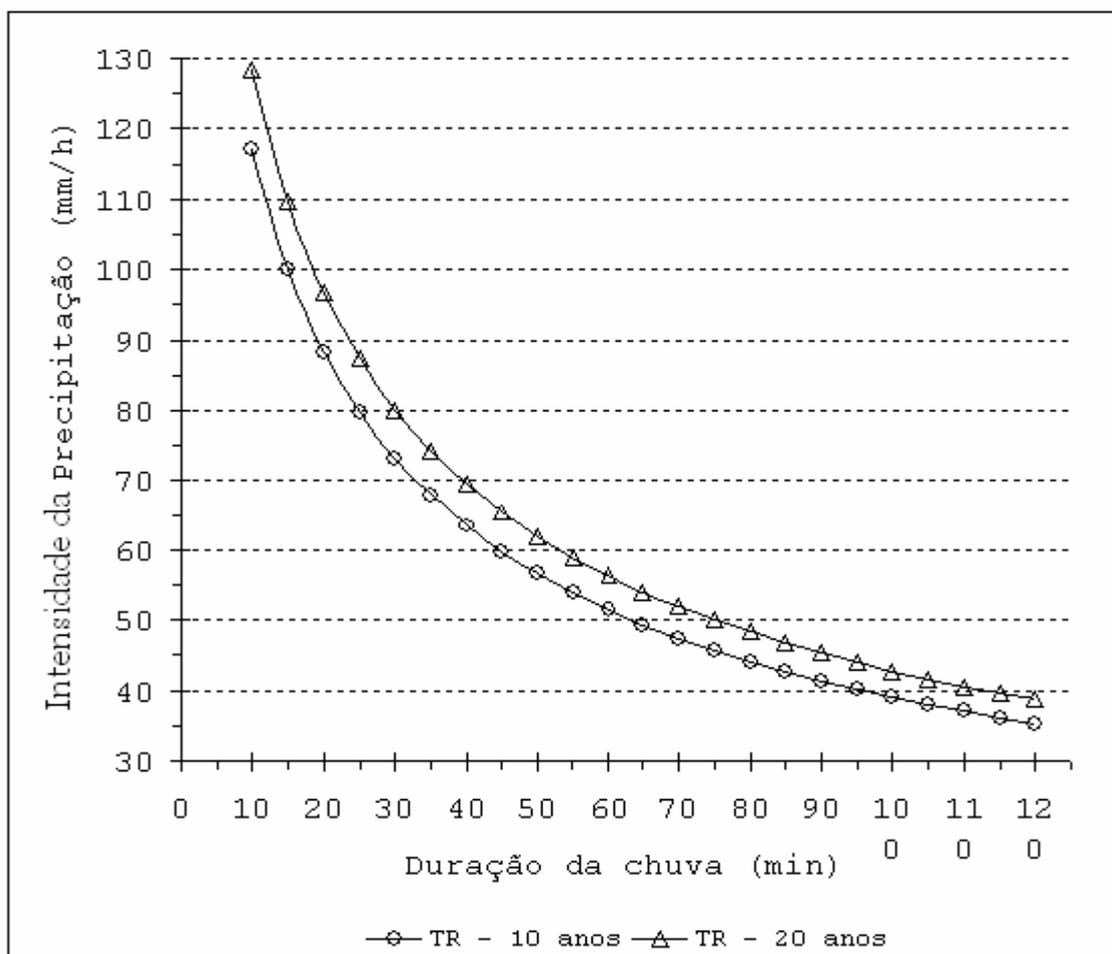


Figura 5. 1 – Representação gráfica da equação de chuva intensa.

$$P_e = \frac{(P - 0,2S)^2}{P + 0,8S}$$

(5.3)

$$S = \frac{25400}{CN} - 254$$

(5.4)

- Pe - Precipitação efetiva, em mm;
- P - Precipitação, em mm;
- S - Retenção potencial do solo, em mm;
- CN - Curva número, adimensional.

A retenção potencial depende do tipo da ocupação do solo e pode ser avaliada a partir das informações de campo. Este método adota como perdas iniciais a parcela $0,2S$, devidas à interceptação e retenção em depressões.

O valor da curva-número "CN" é determinado considerando tanto o tipo de solo, a cobertura vegetal da bacia, as características de sua ocupação e os índices de precipitação anteriores ao evento, sendo balizados por valores referenciais.

5.2. – RESULTADOS OBTIDOS

Com base em imagens de satélite avaliou-se o nível de ocupação do solo para definição de quantitativos relativos à cobertura vegetal e ao grau de impermeabilização. A Figura 5.2. representa a divisão da bacia sobre imagem de satélite.

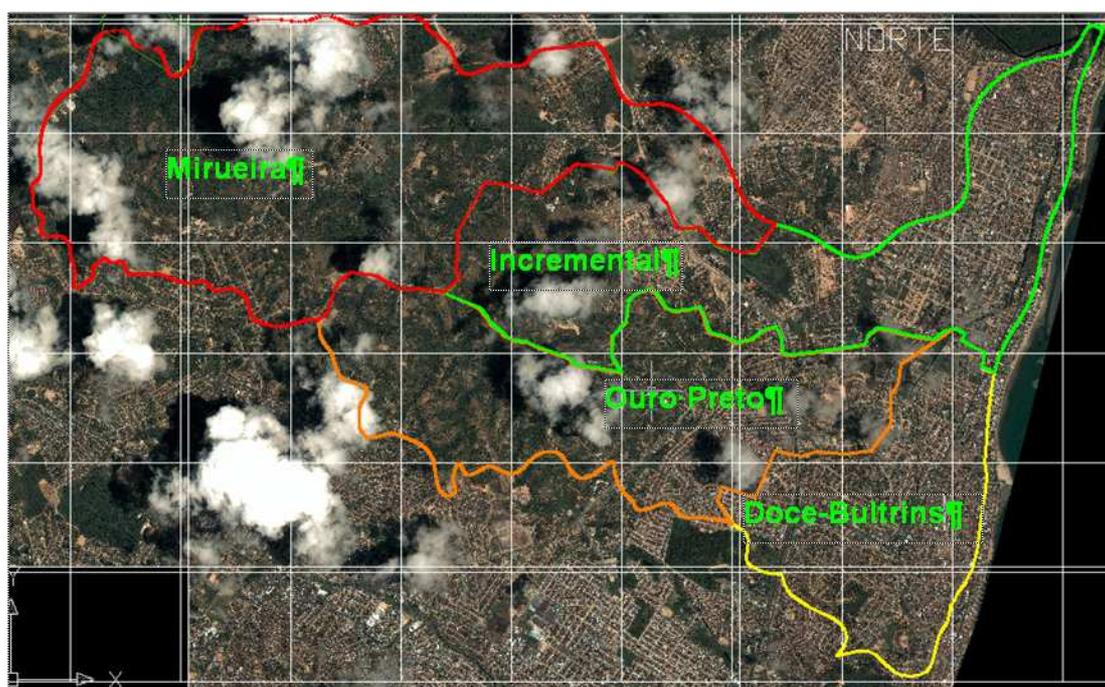


Figura 5. 2 – Limites das sub-bacias do Rio Frágoso sobre imagem de satélite da região.

Para cada segmento da bacia foram calculados valores para as variáveis que definem o hidrograma unitário e o hidrograma de cheia para tempo de retorno de 20 anos, de acordo com a metodologia proposta por Diaz e Tucci, que tem se mostrado mais apropriada para bacias urbanas do porte das áreas em estudo.

5.2.1. - SUB-BACIA BULTRINS - RIO DOCE

A Figura 5.3. detalha a sub-bacia do Canal do Bultrins/Rio Doce, entre a nascente na mata do quartel do Exército e a foz no Rio Frágoso (Principal). Rio Doce é a denominação comum do trecho da bacia do Rio Frágoso, logo após receber o afluente do Canal dos Bultrins e que corre aparentemente paralelo a linha costeira.



Figura 5. 3 – Detalhe da sub-bacia do Canal dos Bultrins/Rio Doce, entre a nascente na mata do quartel do Exército e a foz no rio Frágoso.

As Figuras 5.4 e 5.5 mostram a ocupação na sub-bacia do canal dos Bultrins/Rio Doce, segmentos do traçado urbano do início e da sua foz.



Figura 5. 7 – Trecho do Canal dos Bultrins ao lado do Supermercado Extrabom (Fonte: foto do autor).

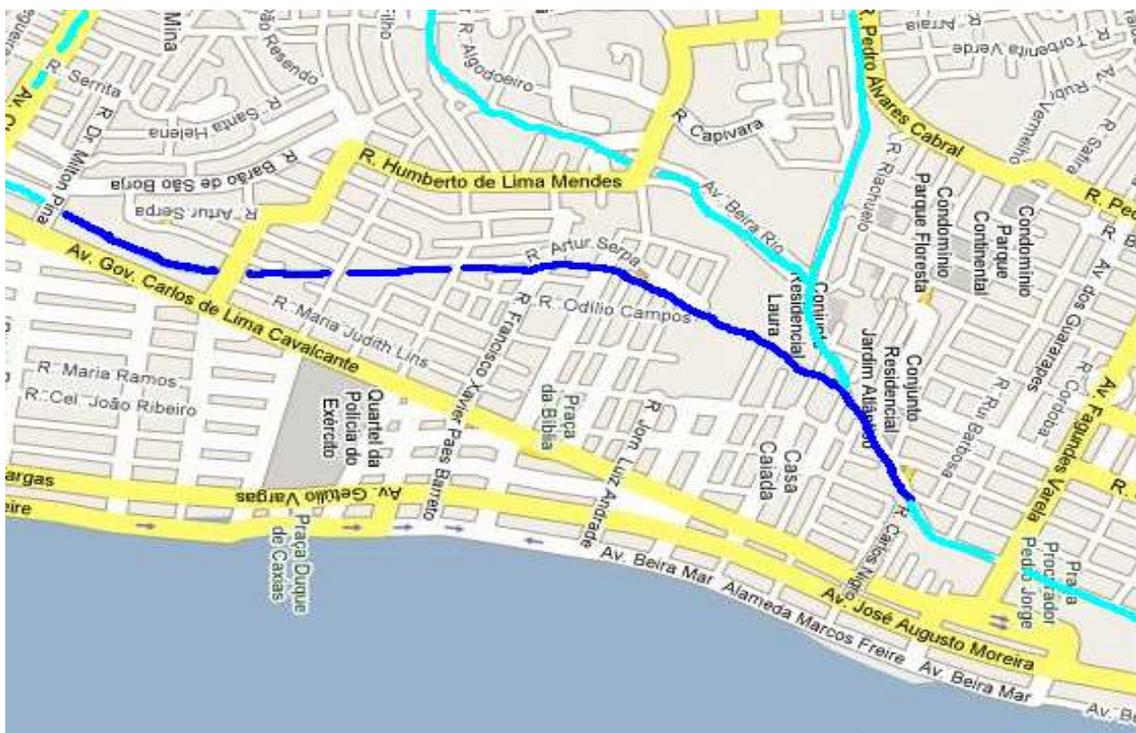


Figura 5. 8 – Locação das seções topobatimétricas na foz do Canal dos Bultrins com a confluência da sub-bacia incremental do Rio Frágoso (Fonte: arquivo do autor).

O trecho indicado em 1 na Figura 5.8, corresponde à posição das Figuras 5.4, 5.6 e 5.7, na Rua Dr. Milton Pina e no trecho 2 na Rua Carlos Nigro.

Os principais parâmetros físicos da bacia do Canal dos Bultrins/Rio Doce-, avaliados por técnicas de geoprocessamento a partir das informações existentes, são observadas no Quadro 5.1.

Quadro 5. 1 - Principais parâmetros físicos da bacia do Canal dos Bultrins/Rio Doce.

Sub-bacia do Canal dos Bultrins/Rio Doce		
Área (ARE)	3,96	km ²
Comprimento do talvegue principal (TAL)	3,62	km
Declividade (DEC)	0,24	%
Área impermeável (I)	70,00	%
Distância do centro de gravidade à foz (LCG)	1,80	km

Com base nos parâmetros físicos das sub-bacias, de dimensões próximas entre si, na ocorrência de chuvas intensas e nos estudos anteriores, foi estabelecida a intensidade de precipitação de 58,6mm/h, calculada pela equação da chuva intensa para o tempo de retorno de 20 anos e tempo de concentração de 56 minutos.

São apresentados a seguir os resultados obtidos pelo método dos hidrogramas unitários regionalizados de Diaz e Tucci, para a duração, precipitação efetiva e período de retorno citados (Figura 5.9). O hidrograma de projeto é apresentado na Figura 5.10.

A vazão máxima calculada por este processo foi 31,59m³/s.

Com base no exposto, as intervenções a serem feitas no sistema de drenagem podem ser baseadas nessas vazões. Hidrogramas ao longo do canal foram estimados pela proporcionalidade de área contribuinte em cada seção, obtendo-se assim estimativas da contribuição em marcha variando no tempo. Têm-se elementos para simular o comportamento do canal face a diferentes condições de maré.

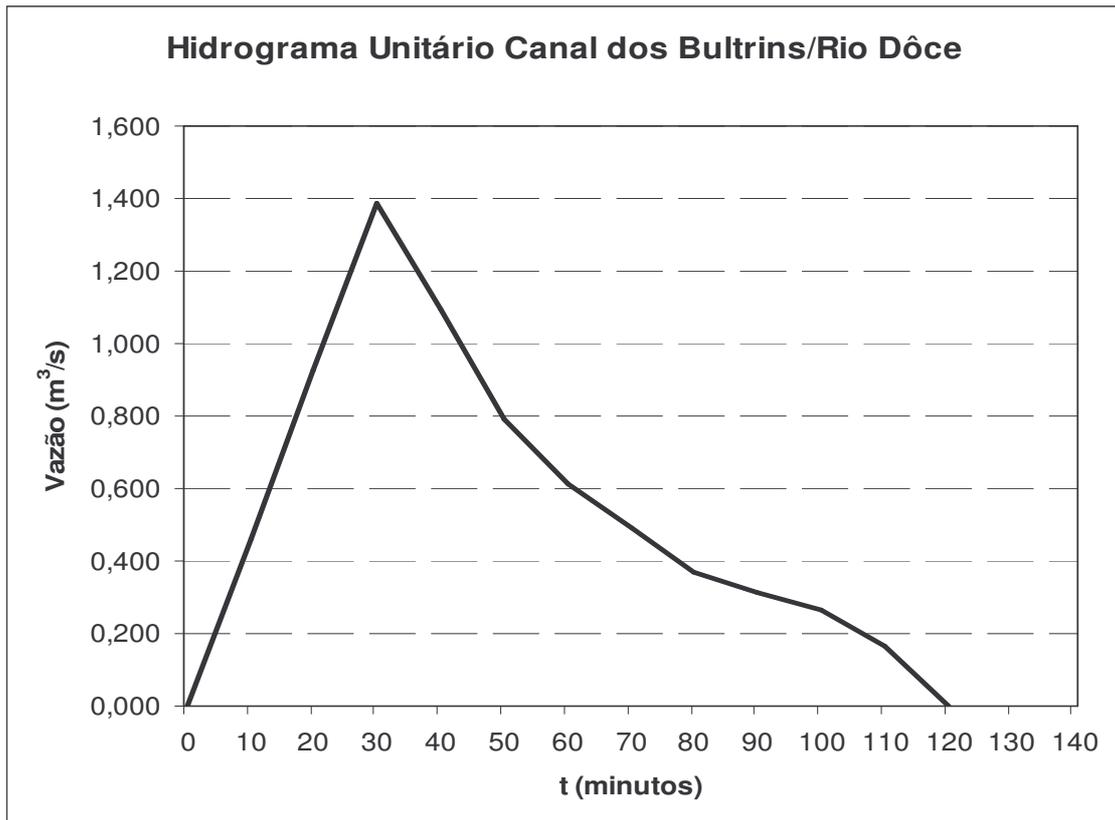


Figura 5. 9 – Parâmetros e hidrograma unitário obtido (Grupo 1 de Diaz e Tucci).

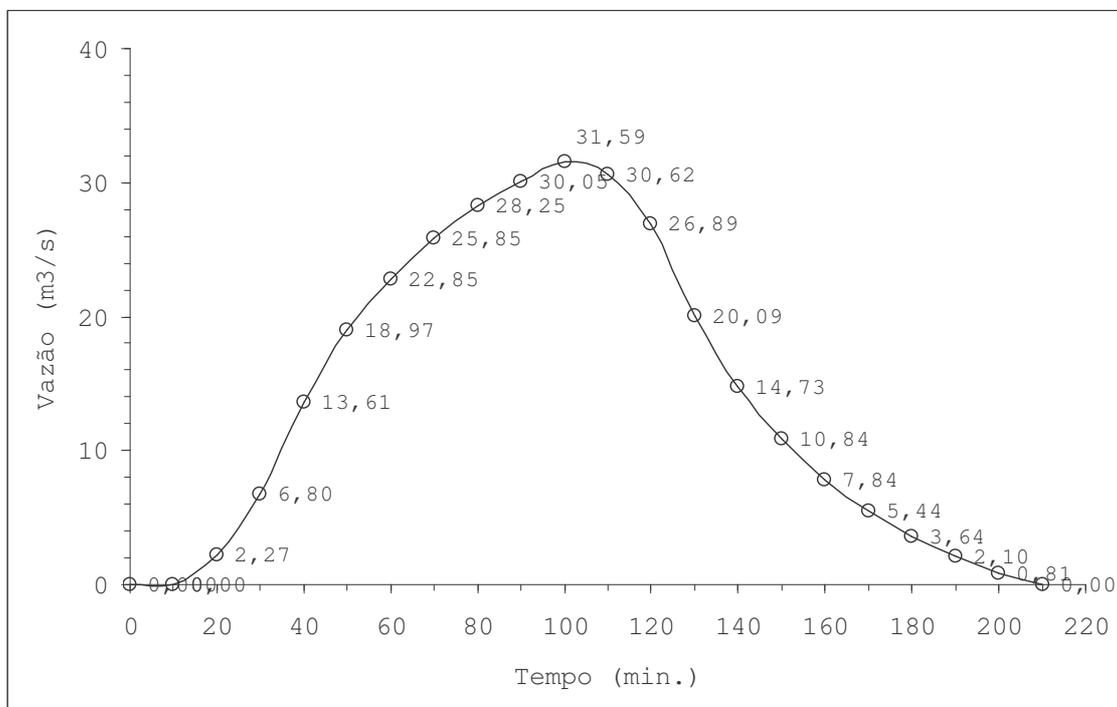


Figura 5. 10 – Hidrograma de projeto – Canal dos Bultrins/Rio Dôce.

5.2.2. - SUB-BACIA DO RIACHO MIRUEIRA

Os principais parâmetros físicos da bacia do Riacho Mirueira, avaliados por técnicas de geoprocessamento a partir das informações existentes, estão relacionados no Quadro 5.2.

Quadro 5. 2 - Principais parâmetros físicos da bacia do Riacho da Mirueira.

Sub-bacia do Riacho Mirueira		
Área (ARE):	11,00	km ²
Comprimento do talvegue principal(TAL):	6,18	km
Declividade (DEC):	0,82	%
Área impermeável (I):	30,00	%
Distância do centro de gravidade à foz (LCG):	4,00	km

A avaliação do hidrograma de cheia para a bacia do Riacho Mirueira, com a mesma metodologia descrita, levou aos resultados apresentados na Figura 5.11 e 5.12.

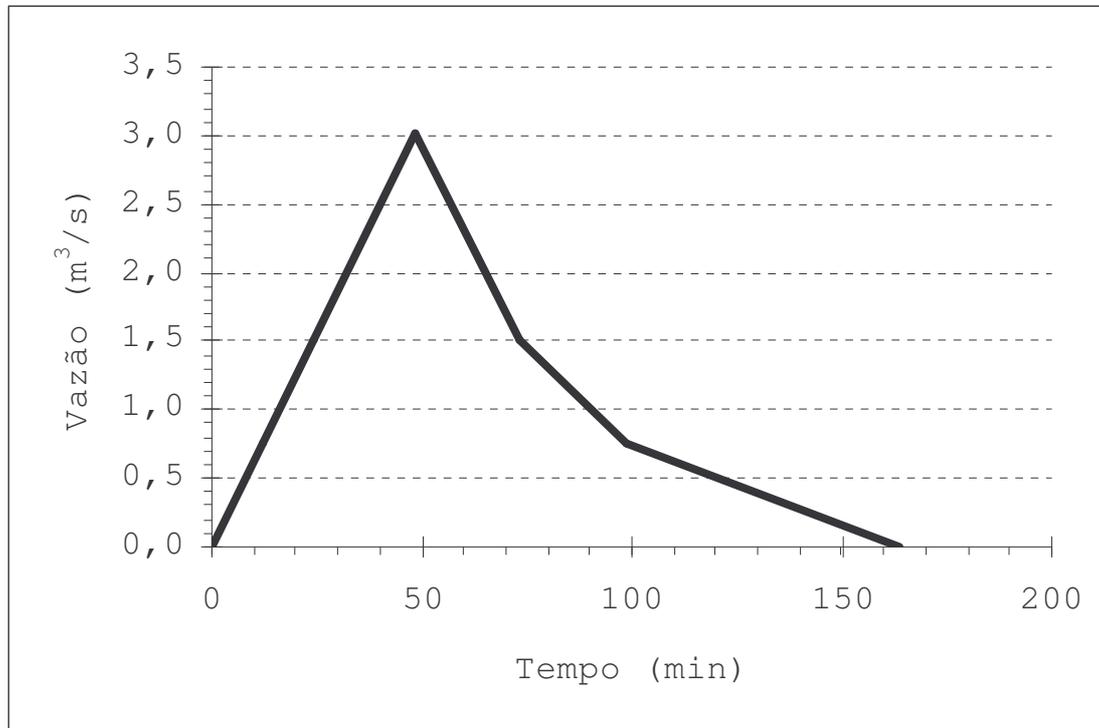


Figura 5. 11 – Parâmetros e hidrograma unitário obtido do Riacho Mirueira (Díaz e Tucci, 1989).

O hidrograma de projeto é apresentado na Figura 5.12.

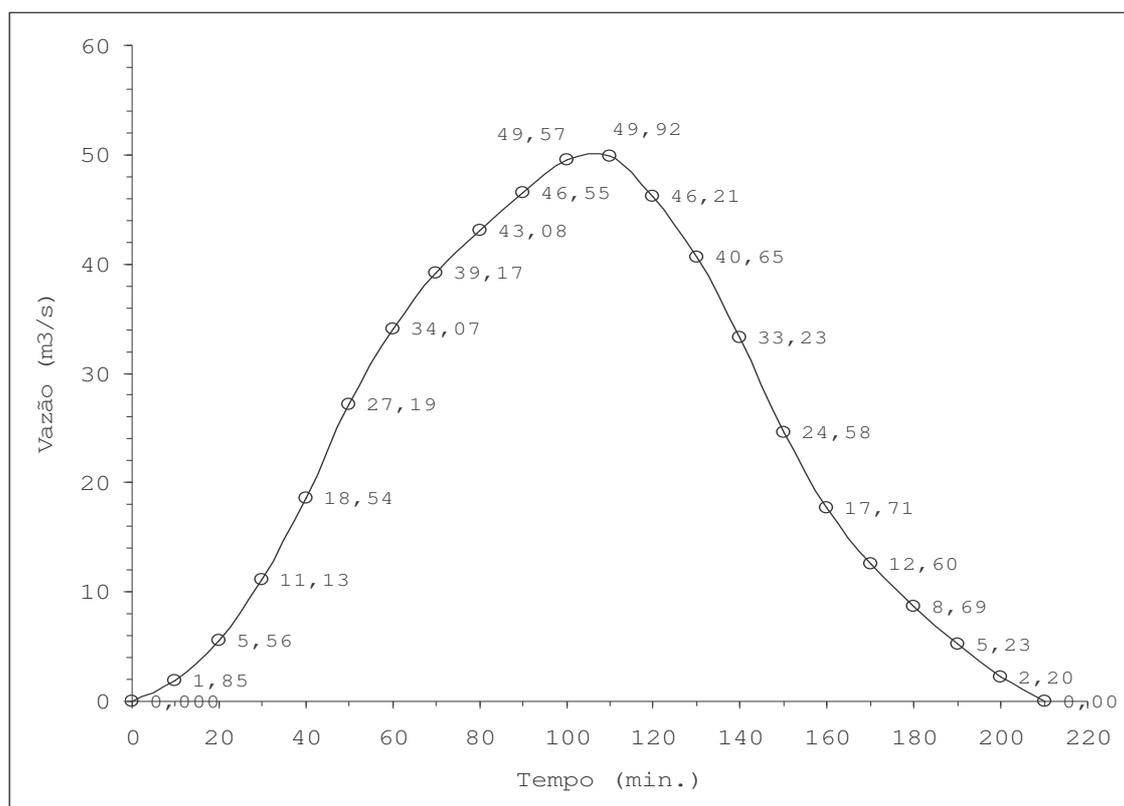


Figura 5. 12 – Hidrograma de projeto Riacho Mirueira.

5.2.3. - SUB-BACIA DO RIACHO OURO PRETO

A contribuição da sub-bacia do riacho Ouro Preto foi avaliada conforme dados e resultados indicados no Quadro 5.3.

Quadro 5. 3 - Principais parâmetros físicos da sub-bacia do riacho do Ouro Preto

Sub-bacia do Riacho Ouro Preto		
Área (ARE):	6,79	km ²
Comprimento do talvegue principal(TAL):	5,92	km
Declividade (DEC):	0,90	%
Área impermeável (I):	30,00	%
Distância do centro de gravidade à foz (LCG):	3,00	km

O hidrograma de projeto é apresentado na Figura 5.13.

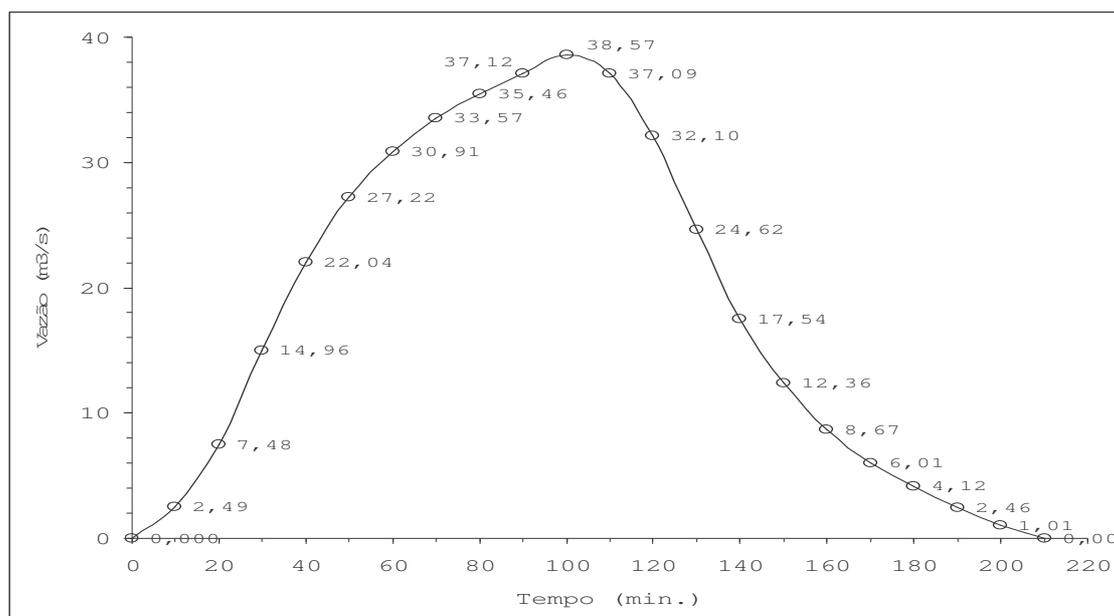


Figura 5. 13 – Hidrograma de projeto Riacho Ouro Preto.

A vazão máxima calculada para essa sub-bacia é de 38,57 m³/s.

A maior contribuição da bacia é a da sub-bacia do Riacho da Mirueira com cerca de 49,92 m³/s no pico, devido à área drenada.

5.2.4. SUB-BACIA INCREMENTAL DA BACIA DO FRAGOSO

A região incremental da bacia do rio Fragoso, descontadas as contribuições dos afluentes principais tem sua contribuição ao escoamento calculada conforme resultados em seqüência apresentados no Quadro 3.8.

A vazão máxima correspondente à área incremental foi calculada em 48,12 m³/s.

Quadro 5. 4 - Principais parâmetros físicos da sub-bacia Incremental.

Sub-bacia do trecho incremental do Rio Fragoso		
Área (ARE):	7,55	km ²
Comprimento do talvegue principal(TAL):	8,08	km
Declividade (DEC):	0,47	%
Área impermeável (I):	40,00	%
Distância do centro de gravidade à foz (LCG):	5,00	km

O hidrograma de projeto é apresentado na Figura 5.14.

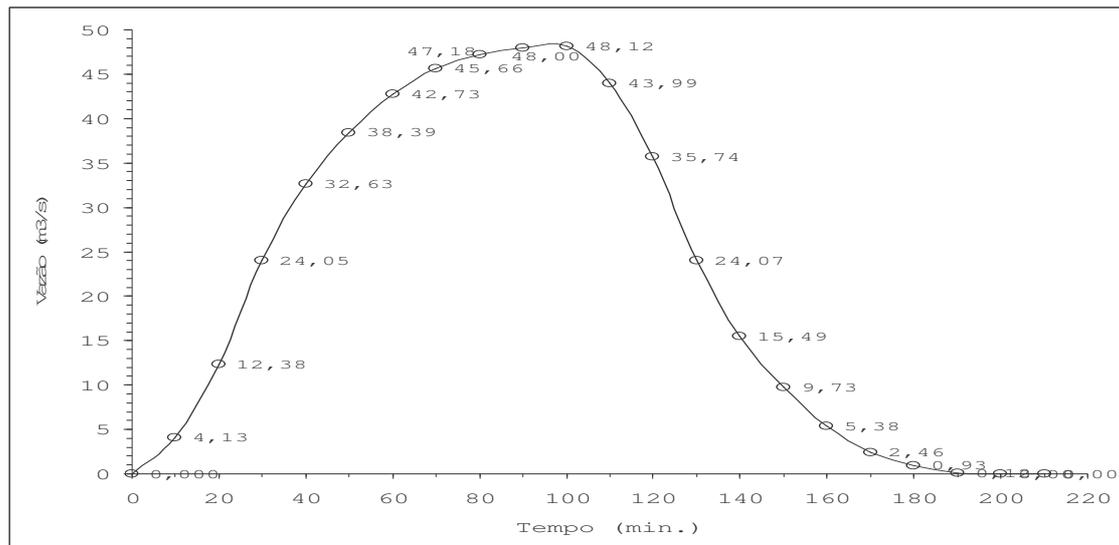


Figura 5.14 – Hidrograma de projeto do trecho incremental.

5.2.4. - PROJETO HIDRÁULICO DO CANAL

O estudo canal foi desenvolvido no trecho apresentado na Figura 5.8., onde ocorrem os principais problemas de inundações.

O escoamento não permanente em canais pode ser representado matematicamente pelas chamadas equações de Saint-Venant (Baptista *et al*, 2003). Trata-se de duas equações diferenciais parciais que representam a conservação da massa e da quantidade de movimento ao longo do canal e que não têm solução analítica, exceto em situações bastante simplificadas.

As equações de Saint-Venant são apresentadas a seguir:

Equação da Conservação da Massa:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = q$$

(5.5)

Equação da Conservação da Quantidade de Movimento:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{A} \right) + gA \frac{\partial h}{\partial x} - gA(I - J_f) = 0$$

(5.6)

Sendo:

h = profundidade de escoamento, (m);

x = distância medida ao longo do canal, de montante para jusante, (m);

Q = vazão em uma seção qualquer, (m^3/s);

q = contribuição lateral de vazão, (m^3/s);

A = área da seção transversal de escoamento, (m^2);

g = aceleração da gravidade, (m^2/s);

I = declividade do leito, (m/m);

J = perda de carga por unidade de comprimento, (m/m), expressa pela

Fórmula de Strickler-Manning:

$$J = \frac{n^2 Q^2}{R_h^2 A^2}$$

(5.7)

Onde R_h é o raio hidráulico da seção e n um parâmetro de atrito que depende do material que compõe a seção do canal.

As equações diferenciais indicadas podem ser resolvidas discretizando seus termos em diferenças finitas. O esquema de discretização utilizado foi o de Preissmann.

Para solucionar as equações são necessárias condições de contorno. No caso, essas condições são:

- Vazões conhecidas a montante
- Níveis de maré a jusante

As condições de maré a jusante são aspectos importantes a analisar. Com efeito, todos os cursos de água da planície de Recife estão sob forte influência das oscilações e avanços das marés, que nas situações de máximas, ditam, ou influenciam, o comportamento do escoamento pelas calhas fluviais. Os níveis de influência dependem da situação hidrológica das bacias em um momento anterior ou concomitante com a atuação das marés máximas.

A Figura 5.15 seguinte ilustra o esquema de discretização das equações no espaço e no tempo.

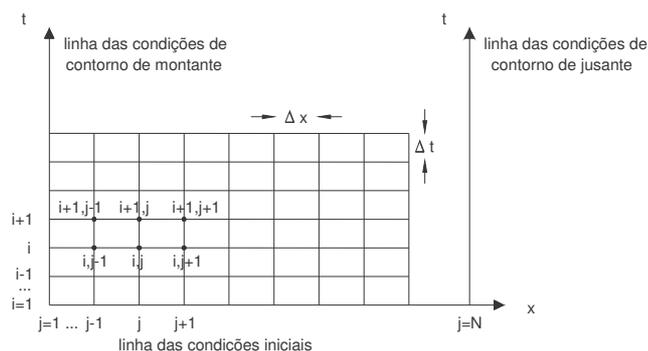


Figura 5. 15 – Domínio $x \times t$, discretizado com as linhas de condições iniciais e de contorno.

A solução das equações diferenciais citadas, considerando a distribuição das vazões afluentes em marcha ao longo do canal, considerada a proporção de área contribuinte, levou à condição de nível máximo da água indicada na Figura 5.16.

A geometria do canal, com as modificações propostas nas dimensões das seções, foi objeto de sucessivas simulações, calculando-se as lâminas de escoamento mais desfavoráveis a partir das equações descritas.

Naturalmente é necessário se estudar as condições de escoamento em toda a extensão do canal. As cotas avaliadas são resultantes em sua maioria do levantamento de campo, tendo sido utilizados valores de curvas de nível para estimar as cotas nas nascentes e no desenvolvimento do canal, ponderando-se a profundidade do canal em relação ao leito existente e à superfície do terreno.

Observando-se a distribuição espacial das sub-bacias, percebe-se que, na seção de montante deste do trecho analisado entre as Ruas Milton Pina e Rua Carlos Nigro da Figura 5.8., o Rio Frágoso já recebeu a contribuição quase total do escoamento na bacia, exceto o que corresponde a cerca de 30% da sub-bacia incremental. Desta forma, considerou-se como hidrograma de montante a soma das vazões do Riacho Mirueira, Riacho Ouro Preto, Canal dos Bultrins e 70% das vazões geradas no trecho incremental, sendo os 30% restantes distribuídos ao longo do trecho do rio.

A Figura 5.16 mostra o hidrograma de montante estimado.

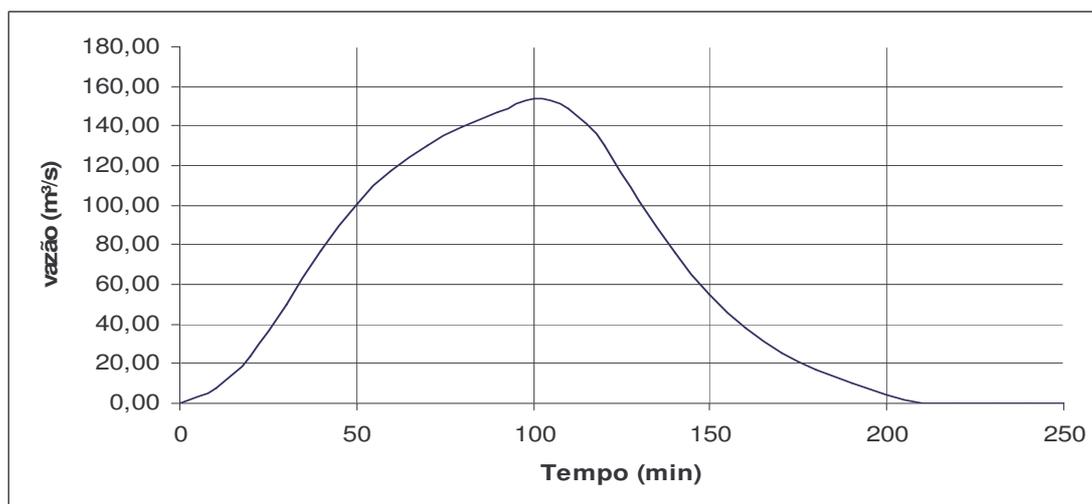


Figura 5. 16 – Hidrograma de cheia de projeto – seção de montante no trecho do rio Fragoso em análise.

Conforme se pode perceber, pelo cálculo obtido do hidrograma de cheia do projeto, a vazão de pico na seção de montante é superior a $153,41\text{m}^3/\text{s}$.

A definição das dimensões do canal adequado para evitar o transbordamento envolve questões de natureza física, econômica e urbanística.

O levantamento batimétrico do trecho mostra variação de cota do leito extremamente pequena, entre a cota $-0,25\text{m}$ até $-0,56\text{m}$ no chamado estuário do Rio Doce, onde há a confluência com o rio Paratibe. A seção de escoamento, onde é bem definida, tem largura usualmente da ordem de 20m , com margens de cotas variáveis, ocorrendo bolsões de alagados ao longo do trecho.

As vazões elevadas e a baixa declividade requerem seção bastante significativa, iguais ou superiores a 35m de largura e até 4m de profundidade, considerando-se seção retangular revestida em concreto, para escoar satisfatoriamente as vazões calculadas nas condições mais desfavoráveis de maré. Esses valores de seção foram obtidos por simulação hidrodinâmica em processo de tentativa e erro até que a seção comportasse o fluxo sem extravasamento e se encontram tabelados a seguir (Tabela 5.1).

Compreendendo a dificuldade de execução, pela densidade de ocupação existente, o custo relacionado à obra e a possibilidade de reter parte do escoamento ao longo das sub-bacias, estabeleceram-se em complemento as seguintes hipóteses:

- Retenção de pelo menos 40% do volume de escoamento em lagoas a serem executadas e 20% em retenções no lote na bacia do riacho Mirueira;
- Retenção em estruturas não convencionais de pelo menos 40% do volume escoado na bacia do riacho Ouro Preto;
- Retenção em estruturas não convencionais no lote e em áreas públicas de no mínimo 40% do volume de cheia na parte incremental;
- Retenção de 60% em extravasão do volume de cheia na parte canal Rio Doce - Bultrins através de estrutura de percolação direcionada para o litoral.

Esses volumes são estimados em função da maior ou menor ocupação em cada sub-bacia, desconsiderando-se a do canal do Rio Doce-Bultrins, a mais densamente povoada. Porém, nesta área a opção seria por uma estrutura não convencional de detenção e percolação com extravasor para o mar na direção da antiga saída do rio denominado de Rio Tapado, conforme será comentado num capítulo posterior.

Com essas hipóteses, o hidrograma afluente se reduz a um máximo da ordem de $75,82\text{m}^3/\text{s}$, conforme indicado na Figura 5.17, a seguir.

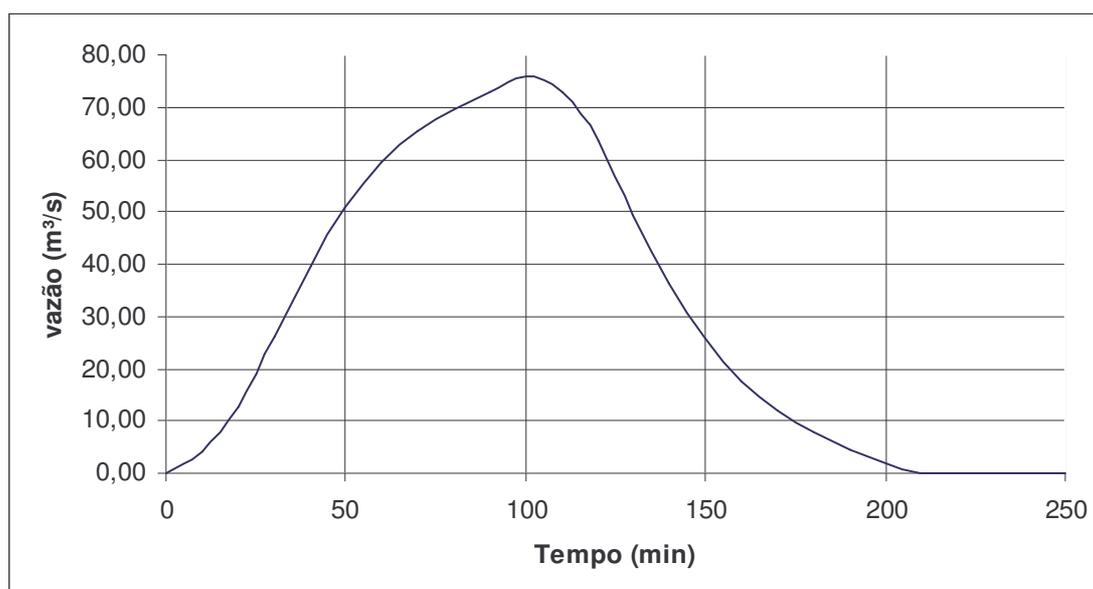


Figura 5. 17 – Hidrograma de cheia de projeto com retenção de parte do escoamento nas sub-bacias.

Foram testadas as seguintes hipóteses:

- Canalização do trecho por meio de seção retangular revestida em concreto com larguras de 25m ou 35m e retenção parcial do escoamento em lagoas;
- Sem considerar retenção, seção com 35m ou 50m, igualmente revestida em concreto;
- Para todas as situações descritas anteriormente se considerou o impacto de elevação da maré tanto para 2,82m, condição de projeto mais desfavorável, como para o valor mais usual de 2,0m. Esta última representa uma elevação de maré cuja ordem de grandeza é atingida periodicamente na região.
- Ainda como estimativa para analisar a microdrenagem das regiões mais baixas, foram simuladas as lâminas de escoamento ao longo do canal para uma vazão mais reduzida com pico da ordem de $75\text{m}^3/\text{s}$, representando uma situação mais rotineira nos meses chuvosos. Esta simulação não representa um evento extremo que possa ser considerado como referência para o projeto, apenas um indicativo de situação mais freqüente no inverno.

As Figuras 5.18 e 5.19. a seguir mostram os níveis máximos simulados para as diferentes hipóteses. Nas figuras apresentam-se ainda as médias das cotas das seções atuais do canal, estimadas a partir do levantamento de campo realizado.

Nas simulações, foram estabelecidos como premissa de cálculo seção retangular com revestimento em concreto em estado regular ($n=0,017$). Seção trapezoidal de área equivalente e revestimento com coeficiente de atrito da mesma ordem de grandeza também satisfariam os propósitos do projeto.

A análise do relevo mostra que em pontos ao longo do percurso os trechos canalizados se elevariam um pouco acima do nível do terreno, o que é inevitável dada às baixas declividades observadas e ao fato de que a formação da maior parte da vazão (mais de 90%). Deverá afluir à seção de cálculo a montante já formada, sendo, portanto a contribuição em marcha ao longo do trecho em projeto inferior a 10%.

A drenagem das áreas mais baixas irá requerer soluções específicas, tais como o uso de estruturas não-convencionais de retenção do escoamento, enquanto no canal nos níveis da água mais elevada empregar comportas, estações de bombeamento e extravasor especial para o mar com infiltração e percolação, podem ser necessários, conforme a solução adotada.

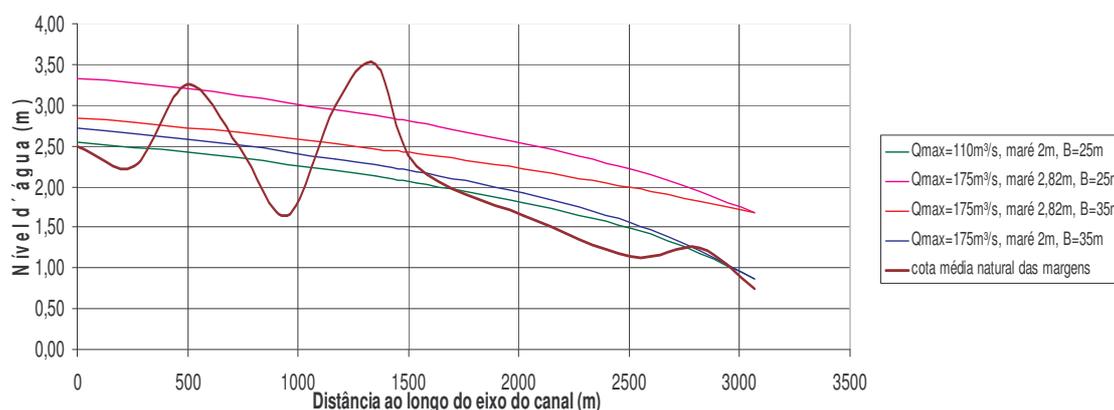


Figura 5. 18 – Perfis máximos de elevação da água simulados ao longo do trecho do rio Fragoso com retenção de parte do escoamento.

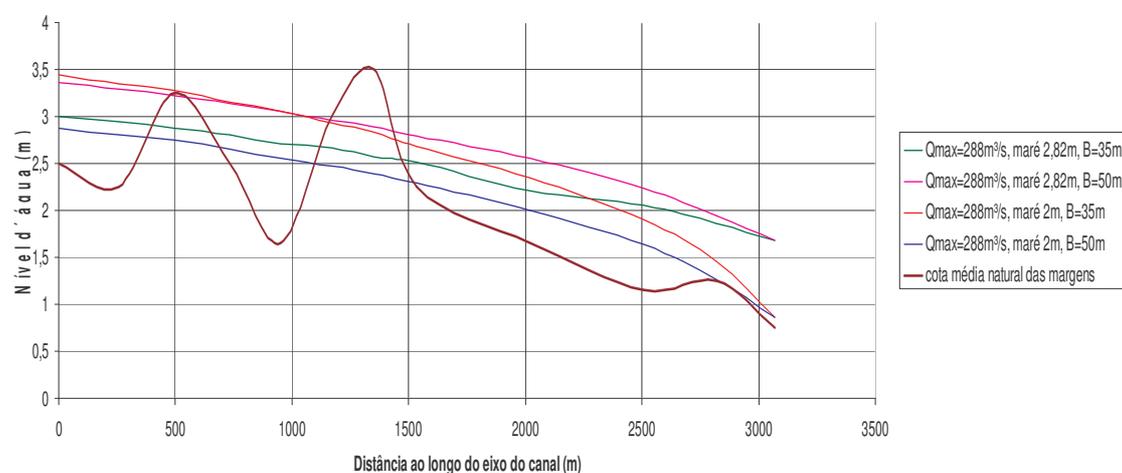


Figura 5. 19 – Perfis máximos de elevação da água simulados ao longo do trecho do rio Fragoso sem retenção.

Observe-se que, mesmo para vazões da ordem de $110\text{m}^3/\text{s}$, tomado como valor de segurança de 30% acima do valor de $75\text{m}^3/\text{s}$ e maré máxima de 2,0 m, as condições de microdrenagem, para o canal, da área ao longo do rio a ser canalizado seriam restritas, em função da baixa elevação do terreno em diversas partes, requerendo assim soluções a serem pontualmente estudadas.

Estudo hidráulico do canal Bultrins - Rio Doce,

Este trecho de canal foi simulado considerando os níveis críticos da do trecho a jusante, conforme análise no item anterior.

A Tabela 5.1. a seguir mostra as características do perfil longitudinal e das seções transversais que atendem às condições de escoamento desejadas.

Análise da estabilidade da seção

Além da definição das dimensões da seção transversal do canal ao longo de sua extensão, torna-se necessário avaliar as condições de estabilidade das mesmas. Essa estabilidade é condicionada ao regime de escoamento e às tensões de cisalhamento exercidas sobre o leito e o talude do canal.

O escoamento à superfície livre é caracterizado pelo parâmetro adimensional designado Número de Froude:

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{g \cdot y_h}} \quad (5.8)$$

Sendo y_h , a profundidade hidráulica que representa a relação entre a área da seção transversal ocupada pela água e a largura superficial do escoamento nesta seção.

Para o escoamento fluvial ou subcrítico, o Número de Froude deve ser inferior à unidade. Em complemento, a tensão de cisalhamento atuante no leito do canal pode ser calculada por:

$$\zeta = \gamma \cdot R_h J \quad (5.9)$$

Tabela 5. 1 – Condições estabelecidas para diferentes seções de escoamento no trecho do canal estudado, da nascente à foz.

Trecho	Distância (m)	Cota do leito(m)	Cota da margem (m)
A	0	8,50	10,00
	360	6,50	8,00
B	370	6,40	7,90
	550	4,50	6,30
	967	4,00	6,00
	1277	3,30	5,20
	1425	3,10	5,10
B	1558	3,00	5,00
	1618	3,00	5,00
	1803	2,90	4,90
	2001	2,85	4,85
	2235	2,75	4,75
	2404	2,70	4,70
	2599	2,60	4,60
	2878	2,50	4,50
	3081	2,40	4,40

Para o trecho não revestido do canal foi estimado coeficiente de Manning de 0,035. Daí até à foz, considerou-se seção retangular revestida em concreto com 12m de largura e profundidades entre 1,80m e 2,70m.
 Características das seções:
 Trecho A, da nascente até à PE-15. Admitida seção transversal com área de escoamento mínima de 6m²
 Trecho B, entre a PE-15 e o final da Av. Chico Science, onde o canal recebe a contribuição de galerias sob o pavimento da Av. Carlos de Lima Cavalcanti. Admitida seção de escoamento mínima de 7,5m²
 Trecho C, a ser revestido, a partir da saída da Av. Chico Science (x=1425m):
 Seção retangular com 12m de largura, revestida em concreto, coeficiente de Manning considerado igual a 0,017. Declividade igual a 0,86m/km.

Ou, de forma aproximada,

$$\zeta = \gamma \cdot y \cdot I$$

(5.10)

Como indicando o peso específico da água, admitido como 1.000kgf/m³;

Rh = o raio hidráulico da seção em questão;

y = a profundidade de escoamento;

I, J = respectivamente as declividades do leito e da linha de energia.

A análise das velocidades máximas mostrou valores inferiores a 3m/s, aceitáveis para revestimento em concreto. No caso do Número de Froude os valores se mostraram inferiores a 1, o que caracteriza escoamento sub-crítico ao longo do canal.

As simulações permitem constatar a possibilidade de intervenção tradicional para solução dos problemas com a possibilidade de revestimento do trecho do canal com sua impermeabilização, conforme objeto principal deste estudo. No entanto, é necessário observar que transbordamentos acontecerão a montante se medidas de manutenção não forem adotadas.

A avaliação em campo dos trechos do canal até o início da parte a ser canalizada, para atingir a condição de escoamento necessária, mostra a necessidade de trabalhos de limpeza e dragagem.

Propõe-se, com base nestes estudos, serem adotadas medidas estruturais não convencionais e inovadoras que permitam o funcionamento do sistema de drenagem sem necessidade de seu revestimento e canalização tradicional ou de forma conjunta, para melhor garantir a solução dos problemas existentes.

Neste capítulo, os resultados obtidos contribuem para estudos de uma área que possui carência de informações e de dados específicos, favorecendo assim, um comparativo para análises futuras e a base de conhecimento para conscientização dos possíveis mecanismos de controle do escoamento superficial, adotados nos capítulos seguintes.

8 – MEDIDAS NÃO-ESTRUTURAIS POSSÍVEIS DE SEREM ADOTADAS

As medidas não-estruturais de controle de drenagem urbana não envolvem a execução de estruturas urbanas. Podem, por isso, ser adotadas apenas com o aproveitamento de estruturas organizacionais existentes nas áreas delimitadas pela bacia hidrográfica. As iniciativas de desenvolvimento podem ser tomadas por indivíduos, por associações e entidades privadas, fomentadas e estimuladas pelos gestores municipais, sem a necessidade de grandes aportes financeiros.

Algumas medidas não-estruturais, no entanto, necessitam de um maior empenho dos setores governamentais, de tal forma a viabilizar o seu início e, em alguns casos, seu desenvolvimento e aplicação dinâmica ao longo dos anos, mantendo os avanços alcançados e perseguindo melhorias que tornem a região mais sustentável ambientalmente.

Em geral, as medidas não-estruturais tendem a ser mais adequadas para as áreas em processo de urbanização e as estruturais, para as áreas já urbanizadas.

As medidas não-estruturais por si só não garantem uma proteção completa para as áreas que já se encontram degradadas e com problemas tais como enchentes e alagamentos. Isso exigiria o resguardo contra a maior enchente possível, o que do ponto de vista econômico seria possivelmente inviável, em virtude dos altos custos com grandes impactos sociais, na maioria dos casos.

Segundo Tucci (1995), a medida de controle da drenagem urbana estrutural pode criar uma falsa sensação de segurança, permitindo a ampliação da ocupação das áreas inundáveis, que futuramente pode resultar em danos significativos. As medidas não-estruturais, em conjunto com as anteriores ou sem essas podem minimizar significativamente os prejuízos resultantes com um custo menor. O custo de proteção de uma área inundada por medidas estruturais geralmente é superior ao de medidas não-estruturais ou tomadas em conjunto.

As principais medidas não-estruturais estão relacionadas no Quadro 8.1.

Dentre as medidas mencionadas anteriormente, as não-estruturais que serão ressaltadas a seguir, correspondem às que melhor poderiam ser aplicadas na bacia do Rio Fragoso em Olinda ou em cidades com características semelhantes de forma mais imediata e com melhor resultado em curto espaço de tempo.

Quadro 8. 1 - Principais medidas não-estruturais (Fonte:BARTH, 1997).

MEDIDAS NÃO-ESTRUTURAIS	
EMERGENCIAL	Instalação de vedação ou elemento de proteção temporária ou permanente nas aberturas das estruturas.
	Previsão de cheia e plano de procedimentos de evacuação e apoio à população afetada.
TEMPORÁRIA	Criar e tornar o Manual de Drenagem um modelo dinâmico de como tratar a drenagem da bacia, para o qual foi definido.
	Regulamentação da ocupação da área de inundação, delimitar por cercas, por obstáculos, se possível naturais, constante divulgação de alertas e avisos para a não-ocupação da área de risco, na comunidade, nas escolas e através da mídia local com a aplicação de penas alternativas para infratores.
DEFINITIVA	Estudos hidrológicos atualizados da bacia de contribuição e dos efeitos a jusante.
	Reserva de área para lazer e atividades compatíveis para os espaços abertos
	Seguro inundação (no Brasil ainda não existe)
	Programa de manutenção e inspeção das estruturas à prova de inundação, juntamente com o acompanhamento do controle da quantidade e da qualidade da água drenada.
	Adequação das edificações ribeirinhas ao convívio de eventuais enchentes e/ou alagamentos, como estruturas sobre pilotis.
	Regulamentação dos loteamentos e códigos de construção.
	Desocupação de construções existentes em áreas de inundação e relocação de possíveis ocupantes.
	Política de desenvolvimento adequada ao município, evitando prejuízos da inundação ou alagamento.
	Educação Ambiental constante e dinâmica.

8.1. - MELHOR CONTROLE DO USO DO SOLO

Segundo WALESH (1989), além da mitigação das conseqüências das inundações, outros benefícios potenciais da não utilização de áreas inundáveis incluem a manutenção dos valores estéticos, através da manutenção de áreas livres contíguas às torrentes, a proteção da fauna e da flora pertencente ao meio e a preservação de valores históricos, que tendem a se concentrar ao longo das correntes. No Brasil, no contexto das bacias urbanas, a preocupação com a fauna e a flora, pode parecer estranho, mas constitui um nível de desenvolvimento desejável.

A urbanização das áreas sujeitas à inundação, nas cheias dos rios e córregos resultam em danos materiais, à saúde pública e a outros transtornos, por vezes, de grande gravidade. Dessa forma, é preferível manter o estado natural da região sem ações antrópicas ou utilizar essas áreas para atividades compatíveis com a sua vocação.

São muitos os motivos que levam a uma urbanização caótica em uma cidade em desenvolvimento. No entanto, para o autor, o maior deles é provocado pelo descaso com que é tratado o problema do controle da migração.

8.1.1. - AS CONSEQÜÊNCIAS DA FALTA DE CONTROLE NA MIGRAÇÃO

A migração de populações do meio rural para as áreas urbanas em busca de melhor condição e qualidade de vida não é novidade em nosso país e no mundo. A ocorrência desse fenômeno é bem conhecida nas grandes cidades, onde continua a ocorrer em maior ou menor intensidade, de acordo com uma série de fatores dentre os quais se destacam os de mudanças cíclicas e os de características ambientais, econômicas e sociais.

O fenômeno denominado de “êxodo rural”, a mais intensa migração que ocorreu e ainda ocorre em nosso país, juntamente com os problemas de gestão urbana e ambiental, aflige os governantes e sobrecarrega a população do Município afetado.

Esse assunto é, por muitos, considerado delicado e de difícil abordagem. Existem estudos, análises e críticas às soluções aplicadas, que em sua quase

absoluta maioria aconteceram apenas para minimizar as urgências humanas envolvidas. Sucederam apenas ações emergenciais sem uma avaliação global das responsabilidades econômico-sociais dos Municípios e regiões envolvidas, quer daquelas de onde provêm os emigrantes do êxodo rural, quer daqueles municípios integrantes das bacias atingidas, sem intervenção corretiva da administração pública local, estadual ou federal.

São ações administrativas por demais tímidas, sem a devida apuração das responsabilidades civis e administrativas, e sem definição clara de como se deve comportar cada gestor local, estadual, regional ou nacional, e suas respectivas instituições encarregadas de resolver as demandas dos munícipes nativos ou imigrantes assim como de aplicar-lhes as penalidades cabíveis.

A concentração habitacional desordenada é, possivelmente, a palavra-chave desse problema. Quando há crescimento desordenado decorrente maximamente da imigração rural, sérios problemas surgem para a sua população tais como: bolsões de pobreza, poluição ambiental, e aumento da violência e criminalidade.

Na Região Metropolitana do Recife – RMR, o mais grave de todos esses problemas é a ocupação de áreas de proteção ambiental, especificamente aquelas próprias para captação de água dos mananciais.

8.1.2. - A URBANIZAÇÃO E O MEIO AMBIENTE

Só recentemente o homem começou a perceber um dos seus mais graves problemas ambientais, quando a natureza passou a responder às agressões sofridas em seu sistema natural, com cheias, desmoronamentos e poluição grave de todo o ecossistema.

Segundo MOTA (2003), a partir da percepção pelo homem de que “o ecossistema urbano” tem características e funcionamento diferentes dos sistemas ecológicos naturais, pois a ação do homem é predominante e provoca mudanças intensas e rápidas, incapazes de serem absorvidas pelo meio ambiente, a cidade passou a ser vista como um sistema aberto, que troca materiais e energia com outros ambientes, resultando na produção de resíduos e gerando problemas ambientais. E acrescenta: procurar um “equilíbrio relativo” nesse ecossistema é o grande desafio do homem. A questão é como

compartilhar as ações do homem com a conservação dos recursos naturais, ou seja, como alcançar o desenvolvimento sustentável das cidades.

A degradação dos recursos hídricos implica automaticamente na perda de qualidade de vida da cidade. É este um dos parâmetros dentre outros, que deve receber uma maior atenção do poder público, não somente na correção das agressões já cometidas, como também nos cuidados com sua prevenção, preservação e recuperação.

Hoje existem indicadores de qualidade de vida, tais como o IDH – Índice de Desenvolvimento Humano, que trazem em seus números, dimensões baseadas em dados que incluem a disponibilidade dos recursos naturais.

Por esse motivo se faz necessário criar um índice que identifique o grau de risco do município, quanto a sua suscetibilidade e vulnerabilidade, para servir como indicador numérico de medidas a serem tomadas pelos técnicos e gestores, além da possibilidade da avaliação direta dessas informações para a população envolvida.

Em Blumenau, SC, o Programa Índice de Sustentabilidade de Blumenau – ISB (Sustentômetro) – foi lançado pela FAEMA - Fundação Municipal do Meio Ambiente, em 1997, como forma de avaliar a situação real do ambiente no município e como subsídio para a tomada de decisões. Iniciativa pioneira no Brasil, o ISB é formado pela agregação de uma série de indicadores ambientais, visando avaliar anualmente a evolução do município em direção a uma sociedade sustentável (DIAS, 2003).

O ISB é composto, por indicadores que avaliam quatro elementos: ar, água, solo e cobertura florestal. Estes estão divididos em indicadores de estado do meio ambiente e indicadores de pressão sobre o meio ambiente, buscando refletir as conseqüências ambientais das ações antrópicas. São eles: Índice de Qualidade da Água, Índice de Cobertura Florestal, Disposição de Resíduos Sólidos e Qualidade do Ar. O ISB gera um gráfico conhecido como "Sustentômetro", que analisa a condição de sustentabilidade do município, comparando a evolução ano a ano.

Atualmente, estudos do Ministério do Meio Ambiente, tais como, “Os Ecossistemas Brasileiros e os Principais Macro-vetores de Desenvolvimento”, buscam sanar os problemas dos assentamentos já estabelecidos nos meios urbanos, desenvolvendo, assim, ações mais corretivas que diretivas, com

enfoque relacionado no que toca à produção dos espaços. A coerência impõe o pensamento de tentar evitar as agressões ao meio ambiente com responsabilidade, reduzindo o ônus de saneamento ambiental posterior.

Observa-se hoje que, mesmo as cidades planejadas, fugiram totalmente ao controle de seu plano original. Nesse sentido, pode-se concluir que um traço marcante da urbanização brasileira contemporânea é o seu caráter espontâneo e anárquico. As cidades crescem de forma caótica, exigindo ações posteriores de ordenamento no que tange à dotação de equipamentos básicos (apud MOTA, 2003).

Segundo KRAFTA E CONSTANTINOU (2000), os planos tradicionalmente elaborados por governos locais, representariam assim, a maior evidência de que um grande contingente de técnicos e políticos compartilham as noções de que a cidade tenderia ao caos e que o desastre a que isso conduziria poderia ser evitado mediante a intervenção centralizada em um instrumento técnico, legal e político, capaz de produzir uma nova ordem.

Interessante notar que os planos diretores, geralmente aceitos e tomados como determinações físicas à cidade, representam, na verdade, manuais de comportamento urbano, voltados a normalizar e harmonizar as ações individuais e coletivas em torno de um conjunto de procedimentos permitidos que produzam, assim, uma forma e uma disposição do sistema urbano desejado. Os planos talvez representem a forma mais elementar e mecânica de expressar as convicções na “vocação ao caos X poder intervencionista”.

O planejamento urbano, embora envolva fundamentos interdisciplinares, na prática é realizado dentro de um âmbito mais restrito do conhecimento. O planejamento da ocupação do espaço urbano no Brasil através do Plano Diretor Urbano não tem considerado aspectos de drenagem urbana e qualidade da água, que trazem grandes transtornos e custos para a sociedade e para o ambiente. O desenvolvimento urbano brasileiro tem produzido aumento significativo na freqüência das inundações, na produção de sedimentos e na deterioração da qualidade da água e do ar. Os órgãos de meio ambiente não conseguem impor o aumento da disponibilidade de água e saneamento, a cobertura vegetal e a recuperação das águas pluviais devido à falta de capacidade econômica das cidades (TUCCI et al., 2003).

8.1.3. - O CRESCIMENTO POPULACIONAL E A OCUPAÇÃO DOS ESPAÇOS

Nos anos 60, o Brasil ainda era um país agrícola, com uma taxa de urbanização de apenas 44,7%. Em 1980, 67,6% do total da população já viviam em cidades. Entre 1991 e 1996, houve um acréscimo de 12,1 milhões de habitantes urbanos, o que se reflete na elevada taxa de urbanização (78,4%) (IBGE, 1997).

Observe-se a Tabela 8.1., em que pesa o percentual de crescimento em áreas territoriais urbanas e que serve para fundamentar os projetos e as políticas públicas dentre outros, das grandes cidades.

Tabela 8. 1 - Crescimento e taxa de urbanização da população brasileira (IBGE, 2000).

ANO	BRASIL	
	POPULAÇÃO (milhões de habitantes)	PARCELA DA POPULAÇÃO URBANA (%)
1970	19,1	55,9
1980	119,0	68,2
1991	146,8	75,6
1996	157,1	78,4
2000	169,0	81,1

O processo de crescimento desordenado das cidades ocasionou a invasão dos mananciais (áreas com nascentes de rios) que antes estavam distantes da ocupação urbana.

Em função dos altos índices de urbanização decorrentes da migração desordenada, ocorreram intervenções do ser humano no meio ambiente, com a conseqüente deterioração dos recursos hídricos e o crescente aumento da demanda de água.

A população brasileira, de uma maneira geral, tem pouca sensibilidade para as questões de ecologia e meio ambiente. Suas manifestações estão vinculadas diretamente às questões básicas de sobrevivência individual. Daí advém a invasão habitacional por essas populações nas áreas de proteção de mananciais, constituindo os loteamentos clandestinos irregulares, e as favelas, reflexo direto da própria luta por moradia ou pela terra de forma mais restrita.

Da desordem na ocupação urbana e das conseqüentes alterações drásticas no meio ambiente, sem a devida infra-estrutura de acordo com a demanda populacional, resulta a poluição ambiental.

Segundo TUCCI (2000), um dos grandes problemas causados pelo aumento populacional e uso do solo (nas áreas de várzea), se reflete nas inundações cujo controle é um processo que visa sempre minimizar os seus impactos. Deve-se entender que geralmente a ocupação inadequada do espaço é a principal fonte desse problema.

8.1.4. - O DISCIPLINAMENTO DO USO DO SOLO

As principais medidas propostas em diversas instâncias do poder constituído e adotado pelos gestores são:

- Monitoramento das áreas ocupadas;
- Intervenções emergenciais em áreas consideradas de risco;
- Estudos das áreas;
- Criação de leis de ordenamento e controle do uso e ocupação do solo.

As leis de ordenamento e controle do uso e ocupação do solo nas cidades brasileiras são muito boas, mas na prática não estão sendo pouco aplicadas.

Quatro possibilidades devem ser adotadas pelos responsáveis pela organização e controle ambiental da cidade, levando em consideração o aspecto do disciplinamento no uso do solo. São elas:

Aplicação integral das leis existentes;

Hierarquização dos procedimentos de acordo com o grau de problemas causados à população nativa;

Definir a responsabilidade solidária de cada esfera do poder público de acordo com os municípios de origem e destino de cada pessoa;

Definição do poder capaz de aplicar as leis, de exercer o poder de polícia e de estabelecer as responsabilidades de cada instituição pública.

Segundo BALTAR (1999), o desenvolvimento urbano e o progresso de uma cidade se traduzem mais cedo ou mais tarde, em concentração demográfica e em urbanização mais intensa. O certo, o racional e o prudente,

nesses casos, seria traçar de antemão um plano de expansão urbana, localizando as novas atividades e as multidões humanas que a elas estão ligadas, de modo a lhes assegurar condições de equilíbrio e a essas populações inteiras, uma situação de residência, de trabalho e de recreação, compatíveis com cada um dos indivíduos que as compõem.

Partindo da premissa de que é muito menor o custo de criação de áreas urbanizadas e planejadas para a expansão urbana:

Cabe aos técnicos e gestores municipais, de posse dos dados físicos e estatísticos, definir as áreas a serem trabalhadas para a ocupação ordenada, implantando desde o seu início as concepções atuais de desenvolvimento sustentado, educação ambiental e participação social sobre o desenvolvimento local da comunidade;

Promover, através de estímulos e benefícios, a ocupação ordenada de áreas que possuam a infra-estrutura (redução significativa de IPTU e de outras taxas, para a construção e/ou instalação predial na área), ou estimular x desestimular as pressões imobiliárias de acordo com os planos técnicos e urbanísticos para as regiões definidas antecipadamente como as que resultarão no menor impacto ambiental possível;

Estabelecer IDA – Índice de Desenvolvimento Ambiental para os diversos bairros e regiões de bacias do município, aumentando e ampliando as ofertas de infra-estrutura de acordo com esses índices, equilibrando e democratizando as ações públicas, fazendo com que o índice da cidade seja harmonicamente o mesmo nas diversas regiões administradas;

A partir de determinados índices de IDA, instalar tribunais de justiça especializados em questões ambientais e toda infra-estrutura para o seu perfeito funcionamento (a exemplo da vara de Justiça Federal implantada em Corumbá, Mato Grosso do Sul em 9 de junho de 2000).

8.1.5. - A PROTEÇÃO DOS MANANCIAIS NA RMR EM PERNAMBUCO

A lei de nº 9860, de 12 de agosto de 1986, delimitou as áreas de proteção dos mananciais de interesse da Região de Metropolitana do Recife e estabeleceu condições para preservação dos recursos hídricos.

Foi considerado à época, um avanço importante principalmente por motivo de serem os rios da região possuidores de bacias relativamente

pequenas, das quais escoam volumes de água que apenas se podem considerar modestos.

A Lei definiu as áreas de proteção dos mananciais, as normas de parcelamento, uso e ocupação do solo, das posturas da infra-estrutura sanitária e de utilização de produtos químicos, dos procedimentos administrativos e das penalidades.

No caso específico que trata das penalidades, para os infratores, a lei estabeleceu o embargo de obras ou demolição da construção executada, sem autorização ou aprovação, respondendo ainda os infratores, pelas despesas decorrentes dessas providências.

Mas o que dizer dos infratores que migraram para o local e são considerados como “excluídos”? Instalaram-se em áreas extremamente importantes à proteção do manancial, sem qualquer empecilho por parte das autoridades, que teriam a responsabilidade da proteção ambiental. Não sofreram qualquer penalidade e nem remoção do local.

Nos procedimentos administrativos do Estado de Pernambuco, o Artigo 26 da Lei Estadual, estabelece como representante do interesse público na atividade de prevenção, fiscalização e repressão no Estado, quanto à proteção dos mananciais de interesse público, o CPRH, na época Controle da Poluição Ambiental e de Administração dos Recursos Hídricos, atualmente Agência Estadual do Meio Ambiente e Recursos Hídricos.

Portanto o CPRH deveria ter atuação mais efetiva na qualidade das águas pluviais que carregam poluentes para as águas dos rios monitorados, e juntamente com as prefeituras deveria evitar a ocupação indevida das margens dos rios urbanos.

Está mais do que evidente que, mesmo com todas as penalidades e rigores das leis existentes, o problema causado por uns poucos, tende a crescer e prejudicar toda uma população, com tensões que, devido a sua magnitude, impossibilitam o poder público de dar uma solução ou mitigar seus efeitos.

8.1.6. - A PROTEÇÃO DAS ÁREAS DE RISCO EM BARREIRAS E VÁRZEAS PRÓXIMAS ÀS NASCENTES

Nas regiões metropolitanas, a quase absoluta falta de controle do uso do solo por parte das autoridades gestoras das cidades, acentuada pelo desordenado crescimento populacional observado nas últimas décadas, comprova a inexistência na prática de uma política habitacional. Devido a esse motivo, urge a necessidade cada vez maior da formação de equipe de técnicos especialistas de várias linhas de conhecimento técnico e social, que, ao se debruçar sobre os problemas habitacionais vigentes, desenvolvam maior entendimento dos fenômenos que provocam as situações de risco e, conseqüentemente, a perda de vidas humanas e materiais.

Esse entendimento permite que se identifiquem os processos envolvidos, possibilitando uma melhor resposta dos órgãos encarregados de proteger a sociedade, pelo conhecimento do por quê e da forma como ocorrem os fenômenos. Isso sem levar em consideração que o problema não deveria sequer existir se houvesse maior respeito às leis vigentes.

O que se observa com o exemplo de vários trechos importantes de nascentes de bacias, são situações como as que seguem:

Ocupação desordenada de áreas de nascentes;

Problemática gerada para o município, que permite a ocupação de área de risco, depreciando a qualidade de vida existente em seu território e contribuindo para o impacto ambiental da bacia da qual participa;

As áreas da formação Barreiras na RMR como um todo, sofrem cortes em seu solo natural, e os despejos de esgotos da habitação precariamente erguida, são diretamente lançados nas nascentes;

As Figuras 8.1, 8.2 e 8.3 representam, seqüencialmente, imagens aéreas de área de várzea de trecho da bacia do Rio Fragoso em Pernambuco, onde se observa num primeiro momento as invasões de áreas, quer por construções irregulares de pessoas de baixa renda, quer por construções aparentemente regulares. Observa-se a tentativa pontual do gestor municipal de resolver o problema. Nesse caso específico, foram relocados com despesas pagas por todos os munícipes para apenas os invasores de baixa renda, permitindo uma manutenção local da área do Rio.



Figura 8. 1 - Área de margem de riacho em área urbana, com destaque para invasões em suas duas margens (Fonte: arquivo do autor).



Figura 8. 2 - Trecho de rio parcialmente regularizado (Fonte: arquivo do autor).



Figura 8. 3 - Trechos do rio Frágoso, com a área em amarelo indicando invasão por pessoas de baixa renda e em vermelho, a construção de supermercado em desobediência às leis vigentes de uso e ocupação dos solos municipal, estadual e federal.

8.1.7. - SUGESTÕES PARA O ORDENAMENTO DA MIGRAÇÃO

Tome-se como exemplo Portugal e sua legislação. Pelo Decreto-Lei n.º163/93, foi criado o Programa Especial de Realojamento nas Áreas Metropolitanas de Lisboa e do Porto, com vista à erradicação das barracas existentes nos concelhos abrangidos pelas referidas áreas metropolitanas. Além disso, pelo Decreto-Lei n.º 79/96, com o objetivo de se concretizar com celeridade os realojamentos em habitações condignas das famílias que vivem em barracas, foi admitida a possibilidade de os municípios promoverem a construção ou procederem à aquisição de habitações existentes no mercado, desde que os preços de aquisição se enquadrem dentro de determinados valores.

É interessante notar a “implementação de soluções diversificadas que permitam, por um lado, que o mercado possa contribuir decisivamente para uma maior rapidez na concretização dos realojamentos previstos e, por outro, que se garanta uma melhor inserção das famílias a realojar nos tecidos urbanos”. A lei também incentiva o retorno de famílias às suas terras de origem.

Por outro lado, o decreto-lei exige a demolição imediata das casas irregulares: “a obrigação de proceder em simultâneo à demolição das barracas desocupadas por força

da aplicação deste diploma, nos termos previstos na alínea b) do artigo 5. do Decreto-Lei n.º 163/93”.

Nessas condições se envolve desde a União, o Estado, o Município e as entidades privadas, atuantes na região, onde a solução parte da vontade de se resolver o problema local através de instrumentos disponíveis diretamente na própria sociedade civil.

Se o problema existe e decorre de vários anos de abandono por entidades que deveriam resolver a questão, faz-se necessário iniciar a aplicação da lei a partir de determinado momento, permitindo finalmente a solução do problema a curto e a longo prazo.

Pode-se começar com a solução dos problemas mais graves já existentes e evitar que outros mais ocorram em outras áreas estratégicas.

A simples recepção inteligente do imigrante, seja ele de onde for, orientado de acordo com as necessidades e prioridades da cidade, em todas as formas de acesso aos limites territoriais de uma administração pública, já reduziria substancialmente situações comuns nas cidades brasileiras, estancando a ocupação de lugares impróprios e de risco.

As áreas expostas a inundações devem ser primeiramente delineadas. Uma vez delineadas, para a manutenção da área livre, deve-se partir para a observação e zoneamento das áreas não sujeitas à inundação.

A intensa vigilância da sociedade em posições e ações tomadas pelos gestores deve ser uma das mais importantes atribuições sociais de todo o conjunto de entidades e grupos que vivem em um determinado distrito, bairro ou rua.

A alternativa tradicional, contudo, é sempre a mesma: medidas emergenciais, mitigação das situações de risco quando ocorrem e aceitação das invasões de áreas de proteção ambiental ou de acomodação social como se nada se pudesse fazer.

Prece-se claramente que o uso do solo na área da bacia de uma forma desordenada, independente de ser área de inundação ou não, tem um impacto negativo significativo no escoamento superficial e, evidentemente, na drenagem como um todo, tanto do ponto de vista de qualidade quanto de quantidade. Dessa forma, é aconselhável que seja feito um controle para toda a área da bacia hidrográfica.

8.2. - O ZONEAMENTO

Um mecanismo de implementação do controle do uso do solo é a preparação de um conjunto de medidas abrangendo os vários aspectos da urbanização incluindo o zoneamento urbano, o parcelamento do uso do solo, o código sanitário, o código de obras.

Esse conjunto de medidas pode incluir a taxa de impermeabilização requerida nos loteamentos, a obrigatoriedade de manterem-se, após a urbanização da área, as mesmas vazões e probabilidades associadas anteriores à urbanização, a obrigatoriedade de controle das erosões, na construção do empreendimento e durante a construção das unidades autônomas.

Segundo Tucci (2003), o zoneamento das áreas de inundações engloba as seguintes etapas:

- Determinação do risco das enchentes;
- Mapeamento das áreas de inundação;
- Levantamento da ocupação da população na área de risco;
- Definição da ocupação ou zoneamento da área de risco.

As etapas de zoneamento poderão se dividir em:

Áreas de inundação, o reconhecimento de toda a área da bacia, com os diversos níveis de inundação;

Mapa de inundação da cidade, identificando os pontos de restrição segundo a ocupação de várzeas e áreas ribeirinhas dos cursos de água da rede de drenagem local, podendo ainda ser subdividido em mapas de planejamentos e mapas de alerta;

Mapeamento preliminar, quando as áreas são ocupadas por um número superior a dez mil habitantes, para se ter um estudo preliminar;

Mapeamento definitivo, quando já se pode considerar que os dados estão levantados e detalhados de forma a produzir o menor erro possível;

Zoneamento, que é a delimitação com regras das áreas de estudo (Quadro 8.2.).

O Water Resources Council (1971, apud TUCCI, 2003) definiu Zoneamento como uma divisão de unidades governamentais em distritos e a

sua respectiva regulamentação sobre: Usos de estruturas e da terra; Altura e volume de estruturas; Tamanho dos lotes e densidade de uso.

Consoante esse critério, as características do Zoneamento, que se distingue de outros controles, é que a regulamentação varia de distrito para distrito. Isso estabelece padrões especiais para o uso do solo em áreas de inundação e a divisão de distritos através das comunidades que é usualmente baseado em planos globais de uso, que passam a orientar o crescimento da comunidade.

Quadro 8. 2 - Zoneamento (TUCCI, 2006).

ZONEAMENTO	
ZONA DE PASSAGEM DE INUNDAÇÃO	Área da seção que não pode ficar obstruída por ocupação urbana. Definida pela seção que acrescenta 30 cm na linha de água da cheia máxima.
ZONA DE RESTRIÇÃO	Região com maior frequência de inundação que deve possuir várias restrições ao seu uso (definido de acordo com o local e tipo de inundação).
ZONA DE BAIXO RISCO	Anos excepcionais (idem anterior).

8.3. - SEGURO INUNDAÇÃO

É evidente que na maioria das cidades brasileiras a fiscalização e proteção de áreas ribeirinhas ou em zonas de várzeas inundáveis simplesmente não existe, por diversos motivos, incluindo-se aí os riscos de vida para o próprio fiscal. Resta uma alternativa que representa uma saída para a crônica falta de recursos e fiscalização de tais áreas. Uma delas seria a possibilidade de uso de poder econômico de seguradoras, trazendo para dentro das áreas zoneadas como áreas de risco a iniciativa privada, através de uma das modalidades de medidas não-estruturais mais utilizadas nos EUA, o “seguro inundação”.

Segundo Barth (1997), essa medida é originária de um esforço desenvolvido em nível federal, através do Plano Federal de Seguros. Foi

adotada graças aos esforços realizados pelo governo, sendo implantada segundo as seguintes etapas:

- Decisão política de se adotar o seguro inundação;
- Elaboração de um trabalho destinado a se definir, critérios, regras, prêmios do seguro, dentre outros;
- Elaboração de um conjunto de requisitos para as comunidades aderirem ao plano de seguros;
- Subsídio governamental aos prêmios dos seguros.

Esse tipo de medida contribuiu fortemente para disseminar nos EUA a delimitação e a regulamentação das áreas sujeitas à inundação. No Brasil não se tem notícia de se estar pretendendo a implantação de uma política desse tipo.

Ainda segundo Barth (1997), em termos de estratégia para aplicação do seguro, nos EUA, os proprietários e locatários dos imóveis, com eventual risco de inundação, são informados sobre a necessidade de contratar um seguro, mesmo no caso de estarem sendo feitas melhorias nos sistemas de drenagem superficial. Nesse caso, após as melhorias, é feito um novo cálculo do prêmio do seguro.

Do ponto de vista do segurado, a principal vantagem desse tipo de seguro é o de cobrir os danos financeiros causados pelas inundações, desobrigando-o de constituir um fundo para cobrir eventuais danos de inundações.

8.4. - DISPOSITIVOS DE CONVIVÊNCIA COM INUNDAÇÃO NO LOTE

As medidas individuais de combate à inundação consistem em tornar à prova de inundação uma estrutura ou um conjunto de estruturas, e em se tomar uma série de medidas e procedimentos, de forma a mitigar as inundações em residências, edifícios comerciais e industriais. Mesmo no caso de sucesso das medidas, os transtornos às áreas expostas a inundações permanecem.

Segundo Walech (1989), tecnicamente, os métodos para tornar uma estrutura à prova de enchente são disponíveis para edifícios novos e velhos e

as providências consistem em manter a água fora da edificação ou, naquelas onde a entrada de água na edificação não é impedida, tentar-se minimizar os danos. Elas são classificadas, ainda, em permanentes, que são aquelas que estão sempre prontas para combater a inundação, e as temporárias, que necessitam da intervenção humana, mesmo que seja em pequeno grau, para a pronta solução do problema.

Segundo Barth (1997), com poucas exceções, as intervenções devem ser feitas com orientação profissional, pois, em geral, as técnicas mencionadas envolvem a avaliação dos esforços desenvolvidos pelas forças hidrostáticas, hidrodinâmicas e a previsão das obras e serviços necessários para resistir a esses esforços. Como os custos desses serviços podem ser relativamente altos, os indivíduos podem se organizar em associações e procurar, com o aumento das quantidades de obras e serviços a redução de custos iniciais.

Ainda segundo Barth (1997), para a escolha do uso das medidas temporárias ou permanentes, deve-se considerar o tempo de resposta da corrente para a qual se deseja proteger a estrutura. No caso de córregos urbanos, em geral, esse tempo de resposta é muito rápido e, dessa forma, as medidas temporárias possuem certa inconveniência.

No caso de bacias urbanas de maior porte, que têm um tempo de ascensão da cheia maior, um sistema de alerta pode ser utilizado para a colocação em prática das medidas temporárias.

Para qualquer medida tomada, na sua execução devem ser levadas em conta as forças estáticas, as dinâmicas, e o potencial erosivo das correntes associadas a uma enchente de maior porte.

8.4.1. - PROGRAMA DE MANUTENÇÃO E INSPEÇÃO

Mesmo os sistemas de drenagem mais simples exigem um programa de manutenção e inspeção, caso se queira que funcione conforme o planejado. Sem manutenção, um sistema pode não operar satisfatoriamente, ou mesmo, causar danos. É o caso, por exemplo, de uma bacia de amortecimento com o bloqueio de sua estrutura de entrada ou saída.

Da mesma forma, um canal pode ter a sua capacidade de vazão reduzida pelo seu assoreamento.

No Quadro 8.3., tem-se um sumário das atividades de inspeção e manutenção e os objetivos dessas atividades segundo Walech (1989).

Quadro 8. 3 - Atividades de inspeção e manutenção segundo (WALECH, 1989)

ATIVIDADE	FREQUÊNCIA	FUNÇÃO				
		MELHORIA ESTÉTICA	ENCORAJAR A PARTICIPAÇÃO DA POPULAÇÃO	MANUTENÇÃO DE GRAMADOS PARA RESISTIR A EROSÃO	MANUTENÇÃO DA CAPACIDADE DE VAZÃO	MANUTENÇÃO DA CAPACIDADE DE RETENÇÃO DE POLUENTES
Controle de ervas daninhas, árvores e vegetação em geral.	Quando necessário e periodicamente	X	X	X	X	x
Limpeza de lixo e sedimentos	Depois de cheias e periodicamente	X	X		x	
Revegetação e fertilização	Quando necessário	X	X	X		x
Inspeção e manutenção de grades, comportas, bombas e outras estruturas.	Durante e após cheias e periodicamente.	X	X			X
Limpeza de bocas de lobo e tomadas de água.	Durante e após cheias e periodicamente	X	X		X	X
Limpeza de canais, e bacias de retenção/detecção.	Durante e depois de cheias	X	X		X	
Remoção de material depositado em bacias de sedimentação retenção e detenção	Periodicamente	X	X			X

8.5. - A LEGISLAÇÃO URBANÍSTICA X DRENAGEM URBANA NO LOTE

As legislações municipais quando existentes, contribuem de forma positiva ou não para a qualidade de vida dos munícipes e conseqüentemente para uma drenagem compensatória ou simples impermeabilização do lote. Suas modificações e ajustes procuram definir diversos aspectos da ocupação das edificações nos lotes. Quanto às questões das águas pluviais e de esgotamento sanitário as diretrizes ocorrem em função dos estágios de expansão dos espaços urbanos e rurais dos municípios.

Para uma melhor apreciação será apresentada a seguir a exposição das contribuições das legislações do Município do Recife na drenagem urbana.

Conforme Silva (1977) a Lei 1051 de 1919 estabelecia parâmetros sobre as tipologias, mas sem diretrizes sobre os aspectos de permeabilidade do solo. Ainda segundo o autor, o Decreto 374/1936 também permaneceu sem tais preocupações.

Em 1951, o Arquiteto Paisagista Antônio Baltar (BALTAR, 1951), solicitou um novo redirecionamento na legislação urbana de modo a não se focar apenas aspectos estéticos, dentro de uma linha haussimaniense, mas sim, analisar todas as questões que se debatiam no espaço urbano, tais como: demografia, transporte, água, paisagem, habitações inadequadas, entre outros.

A Lei 2590 de 1953 contemplou as idéias do referido autor e foi segundo Medina (1996), a primeira a definir parâmetros que determinavam afastamentos em relação às divisas do lote utilizando fórmulas matemáticas.

A Lei 7.427 de 1961 do Código de Urbanismo e Obras do Recife (RECIFE1, 1961), representou mais uma tentativa de aperfeiçoamento das legislações urbanas anteriores. O estabelecimento das ocupações das novas edificações nos lotes como nas áreas comerciais de 60%, demonstravam uma preocupação com os espaços livres que por sua vez não significava solo natural. Ainda no setor urbano das zonas e núcleos residenciais para construções com até dois pavimentos a taxa de ocupação era de no máximo 60% e com recuos para as vias variando de 5 a 8 metros. Para as habitações com mais de dois pavimentos a lei fixava taxa máxima de ocupação do terreno

de 40% e com afastamentos mínimos frontais e laterais sendo calculados por fórmulas que incluíam o recuo mais 0.50m por pavimento.

Nas zonas e núcleos residenciais do setor suburbano a taxa de ocupação da Lei 7427 era de 33% do terreno e com fórmula que incluía o recuo mais 1,00m por pavimento (RECIFE1, 1961). Para as zonas industriais a ocupação máxima era de 70%. Os loteamentos, arruamentos e desmembramentos tinham como solicitação, planos de urbanização de praças, logradouros e jardins correspondentes a 35% da área a ser loteada, mas também sem a fixação das áreas de solo natural (RECIFE1, 1961).

A Lei 7427 estabelecia ainda para as edificações que deveriam possuir fossa ou estar ligada ao sistema de esgotamento sanitário quando a área fosse servida, além do terreno estar preparado para dar escoamento às águas das chuvas e de infiltração. Proibia também que o despejo das águas pluviais fosse lançado nas edificações vizinhas. Para os terrenos com cursos de água a legislação responsabilizava o proprietário pela manutenção das condições de vazão das águas (RECIFE1, 1961).

Como lei complementar a 7427 foi incorporada a Lei Federal 676614 de dezembro de 1979 que estabeleceu novas diretrizes para o parcelamento do solo urbano como área mínima de 125,00m² e frente mínima de 5,00m, 35% de áreas públicas e faixa de domínio público, área "*non aedificandi*", de 15,00m em cada lado de cursos d'água, rodovias, ferrovias e dutos (BRASIL, 1979).

Ainda na vigência da lei 7427, em 1981, foi incorporado o Decreto Estadual 726915 (PERNAMBUCO, 1981), que através da atribuição a Companhia Pernambucana de Controle de Poluição Ambiental e de Administração de Recursos Hídricos – CPRH as responsabilidades de prevenção, fiscalização e repressão a poluição ambiental. Entre as atribuições da CPRH estava a de concessão de licenças de para implantação dos empreendimentos a partir de análise dos aspectos de drenagem das águas superficiais, abastecimento de água, esgotamento sanitário e preservação das áreas verdes (PERNAMBUCO, 1981).

A Lei 14511 de Uso e Ocupação do Solo (RECIFE2, 1983), criou uma subdivisão do espaço urbano que demonstrou a eliminação da área rural do município uma vez que os limites da ocupação urbana passaram a ser denominados de área de expansão urbana(para fins de preservação) e área

urbana(para ocupação). Por outro lado, a área urbana foi subdividida nas Zonas Residenciais (1 a 6), Atividades Múltiplas (Centro Principal e Setores de Usos Múltiplos 1 a 4, Centros Secundários, Centros Locais e Eixos de Atividades múltiplas), Industriais, Especiais, Verdes (1 a 4) e Institucionais com taxas de ocupações e recuos variáveis quanto à permeabilidade do solo. Um destaque nesta Lei para as questões da drenagem urbana foi à criação de reserva de solo virgem com a obrigatoriedade de vegetação e com 40% da área do terreno na Zona Residencial 3 e 20% para as demais. Os Coeficientes (0,3 a 2,4) e as taxas de ocupação (7 a 60%) variaram de acordo com os usos e divisões do município.

Já a Lei 16176 de Uso e Ocupação do Solo fez uma reestruturação da cidade em 4 zonas: Zona de Urbanização Preferencial - ZUP(1 e 2); Zona de Urbanização de Morros- ZUM; Zona de Urbanização Restrita – ZUR e Zona de Diretrizes Específicas (Zona Especial de Preservação do Patrimônio - ZEPH; Zona Especial de Interesse Social - ZEIS; Zona Especial de Proteção Ambiental -ZEPA; Zonas Especiais de Centros - ZEC; Zona Especial de Aeroporto e Zonas Especiais de Atividades Industriais) (RECIFE3, 1996).

As taxas de Solos Naturais nas zonas variam de 70 a 20%. Na ZUP 1 - 25% ; na ZUP2 - 50%; na ZUM 50%; na ZUR 70% e nas ZECP, ZECS e ZECM 20%. Os potenciais construtivos variam de 7 a 0,50. A ZUP1 com 4, A ZUP2 com 3, a ZUM com 2, a ZUR com 0,50, a ZECP com 7 e as ZECS e ZECM com 5,5 (RECIFE3, 1996).

A Lei 16292 de Edificações e Instalações na Cidade do Recife (RECIFE4, 1997), estabelece como aspectos relacionados à drenagem urbana que os lotes ou terrenos sem construções devem ser conservados limpos, drenados e capinados. Já as cobertas devem ser construídas de modo a respeitar os direitos de vizinhança de modo a não jogar águas pluviais para o vizinho nem diretamente para o logradouro. Por outro lado, para as demais questões de drenagem remete a Lei 16176/96.

Em Olinda a legislação vigente que trata das edificações e uso e ocupação do solo não definem de forma abrangente técnicas de construção voltadas especificamente para a drenagem urbana. As recomendações se limitam à necessidade de drenagem adequada dos lotes de forma geral. O seu

novo Plano Diretor de Olinda, Lei 026 de 2004, define a drenagem pluvial como componente do saneamento ambiental, e como tal é tratado.

Como síntese da evolução das legislações sobre os aspectos da drenagem, pode-se concluir que estes foram sendo enfatizados nas legislações a partir dos anos 60, mas sem índices específicos. Com a maior ocorrência dos problemas de alagamentos às legislações dos anos 90 passaram a definir em percentuais as áreas de solo natural dos terrenos, nos loteamentos e demais áreas urbanas.

8.5.2. - LEGISLAÇÃO FEDERAL

É importante ressaltar a Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007, que estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei no 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências, onde se destaca:

O Art. 2º Os serviços públicos de saneamento básico serão prestados com base nos seguintes princípios fundamentais:

IV - disponibilidade, em todas as áreas urbanas, de serviços de **drenagem** e de manejo das águas pluviais adequados à saúde pública e à segurança da vida e do patrimônio público e privado;

V - adoção de métodos, técnicas e processos que considerem as peculiaridades locais e regionais;

VI - articulação com as políticas de desenvolvimento urbano e regional, de habitação, de combate à pobreza e de sua erradicação, de proteção ambiental, de promoção da saúde e outras de relevante interesse social voltadas para a melhoria da qualidade de vida, para as quais o saneamento básico seja fator determinante;

VII - eficiência e sustentabilidade econômica;

VIII - utilização de tecnologias apropriadas, considerando a capacidade de pagamento dos usuários e a adoção de soluções graduais e progressivas;

IX - transparência das ações, baseada em sistemas de informações e processos decisórios institucionalizados;

X - controle social;

XI - segurança, qualidade e regularidade;

XII - integração das infra-estruturas e serviços com a gestão eficiente dos recursos hídricos.

Art. 3o Para os efeitos desta Lei, considera-se:

I - saneamento básico: conjunto de serviços, infra-estruturas e instalações operacionais de:

d) **drenagem e manejo das águas pluviais urbanas**: conjunto de atividades, infra-estruturas e instalações operacionais de drenagem urbana de águas pluviais, de transporte, detenção ou retenção para o amortecimento de vazões de cheias, tratamento e disposição final das águas pluviais drenadas nas áreas urbanas;

Art. 35. As taxas ou tarifas decorrentes da prestação de serviço público de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos urbanos devem levar em conta a adequada destinação dos resíduos coletados e poderão considerar:

I - o nível de renda da população da área atendida;

II - as características dos lotes urbanos e as áreas que podem ser neles edificadas;

III - o peso ou o volume médio coletado por habitante ou por domicílio.

Art. 36. A cobrança pela prestação do serviço público de **drenagem e manejo de águas pluviais urbanas** deve levar em conta, em cada lote urbano, os percentuais de impermeabilização e a existência de dispositivos de amortecimento ou de retenção de água de chuva, bem como poderá considerar:

I - o nível de renda da população da área atendida;

II - as características dos lotes urbanos e as áreas que podem ser neles edificadas.

Um dos pontos da nova lei é que a drenagem das águas pluviais urbanas foi incorporada efetivamente no sistema de saneamento urbano, complementando a visão tradicional que dava ênfase ao binômio “água e esgoto”.

Outro ponto importante é a questão da sustentabilidade econômica das atividades de drenagem urbana. Já existem formas econômicas consolidadas (mesmo que ainda insuficientes) para a construção e operação dos sistemas de água e esgoto, enquanto a nova lei prevê a possibilidade do município buscar formas de arrecadação para obras, operação e manutenção dos sistemas de águas pluviais urbanas.

Isso aponta uma nova visão a nível federal da importância da drenagem urbana para o saneamento básico como um todo e estabelece um novo grau de qualidade e responsabilidade em área específica e de tão grande importância para os recursos hídricos.

9 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

9.1. - CONCLUSÕES

Este trabalho teve por finalidade apresentar os dispositivos mais comuns de controle no manejo sustentável das águas pluviais urbanas que podem ser aplicados diretamente sobre a Bacia do Rio Fragoso em Olinda, que sofre constantemente com as enchentes anuais.

Destacam-se dentre os elementos estruturais e não estruturais citados, como contribuição direta da pesquisa:

- a) Elemento desenvolvido para remoção das águas das primeiras chuvas;
- b) Viga de retenção;
- c) Paredes verdes em fachadas como alternativa construtiva;
- d) Fundações especiais possíveis de conviver com eventuais inundações;
- e) Os reflexos da migração na drenagem;
- f) Canal de extravasamento e infiltração.

A correta distribuição das ações estruturais ou não e sua concepção dependem de estudos mais completos na região da Bacia com dados hidrológicos, topográficos e geológicos atualmente desatualizados e/ou inexistentes, permitindo atacar não somente os efeitos da cheia existente, mas também as causas das impermeabilizações, tentando evitar seu agravamento futuro.

Tem-se também uma proposta de utilização de estruturas simples, que podem ter seus impactos facilmente absorvidos pelos municípios, principalmente no aspecto de custos de execução distribuídos por novas moradias.

Tais estruturas vêm se incorporando às soluções mais complexas de drenagem, complementando um esforço no sentido de se obter melhores resultados para os problemas de micro e macrodrenagem com um custo razoável e melhor distribuído entre a população.

As conclusões dos trabalhos de pesquisa realizados na bacia podem ser resumidas nos itens seguintes:

Os pluviômetros registradores instalados na bacia do rio Fragoso, na presente pesquisa, apesar da pequena série histórica (pouco mais de um ano com leituras a cada minuto) mostram a variabilidade espacial da chuva na bacia do rio Fragoso e na Região Metropolitana do Recife.

A modelagem computacional mostrou a necessidade de evitar a ocupação das margens do rio Fragoso, para permitir o livre escoamento das águas nas ocasiões de chuvas mais intensas.

A proposição do conceito de “Viga de retenção” e as simulações realizadas mostram que é uma medida complementar eficaz, podendo ser utilizada em vários locais.

Na área pouco urbanizada a montante dos principais afluentes na bacia do rio Fragoso podem ser construídos Reservatórios de retenção para amortecimento dos picos de vazão.

Medidas de Controle no lote como reservatórios para armazenamento de águas pluviais e micro-reservatórios para amortecimento de vazões pluviais devem ser incentivados.

Pequenas intervenções para melhorar a infiltração e contrabalançar o aumento da impermeabilização devem ser adotadas como, por exemplo, trincheiras de infiltração e bacias de infiltração.

Casas palafitas podem ser utilizadas em áreas alagáveis, embora não na zona de escoamento das inundações. Este tipo de edificação evita prejuízos aos moradores e não obstrui o escoamento.

Como o rio Fragoso no seu trecho final escoava paralelo e próximo à linha de costa, pode ser projetado um canal de extravasamento, a exemplo do “rio tapado” que havia algumas décadas atrás e funcionava nas ocasiões de chuvas muito intensas na bacia.

Medidas não estruturais como zoneamento das áreas ribeirinhas e aplicação da legislação podem colaborar de maneira eficaz na solução dos problemas de drenagem na bacia do rio Fragoso.

O índice IDA seria uma síntese do IDH e do ISB após o estudo e aplicação comparativa desse método nas cidades que já trabalham com esses índices e experimentos bem definidos e aplicação em cidades onde não se faz esse tipo de análise. Seria uma evolução da análise dos impactos no meio

ambiente de acordo com a urbanização para uma aplicação nacional, dentro de nossa realidade.

A adoção de tais medidas resultaria, em conjunto com as demais, na garantia da solução dos problemas atuais e possivelmente por vários anos, se aplicadas de forma eficiente e bem dimensionadas.

9.2. - RECOMENDAÇÕES

A partir dos levantamentos dos estudos e análises hidráulicas e hidrológicas existentes das condições atuais da drenagem urbana foi possível identificar e apresentar os principais elementos estruturais e não-estrutural possíveis de serem adotados na bacia do rio Fragoso e demais bacias de pequeno e médio porte com características semelhantes, espalhadas por todo o país.

Ressalta-se a apresentação de novos elementos estruturais e não-estruturais comumente utilizados em Drenagem Urbana das cidades brasileiras e capazes de contribuir de forma direta ou indireta na possível solução de problemas, com o emprego de investimentos baixos, possíveis de serem absorvidos pelos municípios e municípios brasileiros, dentro da pouca expectativa de disponibilidade financeiras comum na maioria dos casos.

Observa que hoje já se possui o conhecimento suficiente para a adoção cada vez mais ampla de medidas não-convencionais ou compensatórias como solução individual ou em conjunto com as demais existentes, para situações de risco em áreas da bacia, que representam menor custo, além de causarem menor impacto na estrutura urbana já estabelecida.

As recomendações podem ser resumidas nos seguintes aspectos:

A extrema importância da realização de estudos mais detalhados da bacia, com levantamentos de dados específicos em séries históricas que permitam a elaboração de estudos melhor embasados.

Que estes estudos permitam aos técnicos das diversas áreas afins, a análise dos problemas da bacia com quantitativos confiáveis, que propiciem a utilização de simulações cujas validações sejam positivas e acompanhadas pelas futuras gerações, permitindo assim soluções otimizadas e economicamente viáveis.

Tratar a migração e invasão de áreas de risco de maneira permanente e prioritária, com a constância de adoção de programas sociais acoplados a uma efetiva fiscalização e cumprimento das normas legais existentes quanto à proteção de áreas consideradas “non edificandi”.

Desenvolver atividades para a efetiva disseminação de uma nova cultura de Manejo Sustentável das Águas Pluviais Urbanas, atingindo, além dos técnicos, a comunidade dos municípios e demais envolvidos no processo do desenvolvimento urbano, com as soluções tecnológicas mais modernas e seus aspectos mais simples e diretos de manutenção e conservação.

Tornar a visão integrada de todos os problemas de drenagem urbana, no âmbito da bacia hidrográfica, a linha de trabalho a ser perseguida em qualquer estudo ou pesquisa de micro ou macrodrenagem de uma região urbanizada ou em processo de urbanização.

Portanto, a abordagem abrangente e integrada dos problemas das águas urbanas, incluindo os aspectos hidráulicos, hidrológicos, habitacionais, de transporte urbano e gerencial deve ser utilizada como ferramenta fundamental para a adoção de medidas que propiciem conforto e bem estar aos munícipes.

E que o desenvolvimento de qualquer área habitada pelo ser humano, tenha como princípio o respeito aos aspectos sociais, econômicos e ambientais preconizados para a garantia do bem estar das gerações futuras.

10. – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

3P TECHNIK (2006) – “**3P Technik Austrália**” - Disponível on-line em: http://www.greenplumbers.com.au/component/option,com_mtree/task,viewlink/link_id,23/Itemid,153/ - Acesso em 14/fev./2006.

ACIOLI, L. A.; AGRA, S. G.; GOLDENFUM, J. A.; SILVEIRA, A. L. (2003) – “**Implantação de um módulo experimental para a análise da eficiência de pavimentos permeáveis no controle do escoamento superficial na fonte**” - In: XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos – ANAIS - Curitiba – PR.

ALCOFORADO, R.G.; GÓES, V.C.; ESCARIÃO, R.D.; CIRILO, J.A, (2003) – “**Aplicações do Geoprocessamento ao Estudo da Macrodrenagem da Zona Costeira de Recife**” In: II Congresso de Planejamento e Gestão das Zonas Costeiras dos Países de Expressão Portuguesa, Recife, PE.

ALHEIROS, M. M. et al. (2003) - “**Manual de Ocupação dos Morros da Região Metropolitana do Recife**” - Recife – PE, Brasil.

ALHEIROS, M.M.; MENEZES, M.F.; FERREIRA, M. G. (1990) - “**Carta geotécnica da Cidade do Recife**” - Sub-Área Geologia/Geologia de Engenharia, Relatório Final de Atividades. FINEP/UFPE.

AQUA-PLAN/FIDEM (1980) – “**Plano Diretor de Macrodrenagem na Região Metropolitana do Recife**” - Vol I a V. Junho –Recife/PE.

ARAUJO, P. R. (1999) – “**Análise experimental da eficiência dos pavimentos permeáveis na redução do escoamento superficial**” - Dissertação de Mestrado – Porto Alegre – UFRGS.

ÁVILA, C. J. C. P.; ASSAD, E. D.; VERDESIO, J. J.; EID, N. J.; SOARES, W.; FREITAS, M. A. V. (1999). “**Geoprocessamento da Informação Hidrológica**”. O Estado da Águas no Brasil, ANEEL, 187-196.

AYUB, O.; CASTRO, S. R.; REBELLO, G. A.; ZANELLA, L. ; ALVES, W. ; MARQUES, R. B. (2005) – “**Aproveitamento de água de chuva em edificações: reflexões e necessidades**” – In: V Simpósio Brasileiro de Captação e Manejo de Água de Chuva – ANAIS – Teresina – PI.

AZZOUT, Y.; BARRAUD, S.; CRES, F. N.; ALFAKIH, E. – 1994 – **“Techniques alternatives en assainissement pluvial”**. Paris: Technique et Documentation – Lavoisier.

BALADES, J. D.; BERGA, P.; BOURGOGNE, P. (1998) – **“Impact d’une tranchée drainante par temps de pluie”** - Novatech-98.

BALTAR, A. B. (1999) – **“Diretrizes de um plano regional para o Recife”** - 2. ed. Recife: Ed. Universitária da UFPE. 234p.

BANDEIRA, A. P. (2003) – **“Mapa de Risco de Erosão e Escorregamento das Encostas com Ocupações Desordenadas no Município de Camaragibe”** – PE – Tese de Mestrado, Universidade Federal de Pernambuco.

BAPTISTA, M.; NASCIMENTO, N.; BARRAUD, S. (2005) – **“Técnicas compensatórias em drenagem urbana”** – Porto Alegre – ABRH.

BARTH, R. T. (1997) – **“Planos diretores em drenagem urbana: proposição de medidas para a sua implementação”** – Tese de Doutorado - EP - Escola Politécnica da USP – São Paulo.

BELTRÃO, A. L.; MAIA, J. T.; OLIVEIRA, M. L. et al (1995) – **“Diagnóstico Ambiental do Município de Olinda. Uma contribuição ao Plano Diretor”**. Recife – CPRH.

BRAGA, B. D. F. (1994) – **“Gerenciamento urbano integrado em ambiente tropical”** – In: Seminário de hidráulica computacional aplicada a problemas de drenagem urbana. São Paulo, ABRH.

BRAGA, R. A. P. (2001) – **“Gestão Ambiental da Bacia do Rio Tapacurá – Plano de ação”** - Editora Universitária da UFPE.

CABRAL, J. J. S. P. (2006) – **“Projeto piloto para melhoramento da Drenagem Urbana no bairro do Espinheiro em Recife/PE”** – In: Seminário de Drenagem Urbana CTG/UFPE.

CABRAL, J. J. S. P.; SILVA, T. C.; NÓBREGA, T. M. Q.; MONTENEGRO, S. M. G. (2001) – **“A Problemática da Drenagem Urbana em Áreas Planas Costeiras no Nordeste Brasileiro”** –. In: Solução para a Drenagem Urbana em Países da América Latina – I SEMINÁRIO DE DRENAGEM URBANA DO

MERCOSUL – V SEMINÁRIO NACIONAL DE DRENAGEM URBANA. - Villanueva, A. O. N.; Goldenfum, J. A.; Silveira, A. L. L. (Org) – IPH e ABRH. pp 1-17.

CABRAL, J. J. S. P.; ALENCAR, A. V. (2006) – **“Recife e a convivência com as águas”** – In: Gestão do Território e Manejo Integrado das Águas Urbanas – Cooperação Técnica Brasil – Itália em Saneamento Ambiental – Ministério das Cidades.

CAMPOS, O. S. (1998) – **“Análise do comportamento de trecho piloto de revestimento poroso com asfalto modificado por polímero”** - Tese de Doutorado - EP - Escola Politécnica da USP – São Paulo.

CANHOLI, A. P. (2005) – **“Drenagem Urbana e Controle de Enchentes”** – São Paulo: Oficina de Textos.

CARVALHO, R. M.; SANTOS, S. M. ; MONTENEGRO, S. M. G. ; CABRAL, J. J.(2006) - **“Considerações Sobre o Uso de Telhados Verdes: captação aproveitamento de águas de chuva e redução do escoamento superficial”** – In: VIII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste – ANAIS.

CETESB (1977) – **“Sistemas de esgotos Sanitários”** - São Paulo.

CETESB (1986) – **“Drenagem Urbana: manual de projeto”** - São Paulo.

CHOW, V. T. (1962), **“Hydrologic Design of Culverts”** - Journal of Hydraulics Division – ASCE, volume 88.

Cidade de Recife (CR) (1996) – **“Plano Estruturador Fase 1 - Programa de Recuperação Urbana e Ambiental”** - Bacia do Rio Tejipló, PE.

CIRILO, J. A. (2005) – **“Hidráulica Ambiental”**. XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos – ANAIS – João Pessoa/PB.

CIRILO, J. A. (2006) – **“Projeto básico do sistema de macrodrenagem da bacia do Rio Fragoso”** – Trabalho de pesquisa realizado para a Prefeitura Municipal de Olinda, com a participação do Grupo de Recursos Hídricos da UFPE, sob a Coordenação do Professor Almir Cirilo em conjunto com a empresa GEOSISTEMAS Engenharia de Planejamento.

CISNEIRO, N. (2006) – **“Um passo para uma arquitetura mais responsável”** – Trabalho Final de Graduação em Arquitetura, Departamento de Arquitetura e Urbanismo, UFPE.

CPRH (2004), **“Relatório 2003 de Monitoramento das Bacias Hidrográficas. Agência Estadual do Meio Ambiente e Recursos Hídricos”**. Disponível em: <http://www.cprh.pe.gov.br/frme-index-secao.asp?idsecao=366> - Acesso em: 12/08/2004.

CPRH/DRN/GMO/URHi. (1995) – **“Monitoramento das Bacias Hidrográficas do Estado de Pernambuco”** – CPRH/PE.

CRUZ, M. A. S.; TUCCI C. E. M.; SILVEIRA, A. L. L. (2000) – **“Controle do escoamento em lotes urbanos com detenção”** - In: Avaliação e controle da drenagem urbana/organizado por Carlos E. M.Tucci e David da Mota Marques – Porto Alegre, Ed. Universidade/UFRGS – V.1.

DAEE/CETESB. (1980) – **“Drenagem Urbana”**. 2ª ed. São Paulo.

DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL RESOURCES. (1999) – **“Low-Impact Development Design Strategies: An Integrated Design Approach”**. - Maryland. Disponível on-line em <ftp://lowimpactdevelopment.org/pub> - Acesso em 14/fev./2006.

DEPARTMENT OF THE ENVIRONMENT AND HERITAGE. (2002) – **“Introduction to Urban Stormwater in Australia”** - Austrália.

DIAS, G. F. (2003) – **“Educação ambiental: princípios e prática”** 8 ed. São Paulo: Gaia.

DIAZ, O. B. P.; e TUCCI, C.E.M. (1989) – **“Regionalização de Hidrogramas Unitários de Bacias Urbanas Brasileiras”** - RBE – Revista Brasileira de Engenharia, Caderno de Recursos Hídricos, vol. 7 / n. 2.

FCTH (1999) – **“Diretrizes Básicas para Projetos de Drenagem Urbana no Município de São Paulo”** - Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica - São Paulo: Prefeitura do Município de São Paulo.

FENDRICH, R. (1988) – **“Drenagem e Controle da Erosão Urbana. Instituto de Saneamento Ambiental”** – PUC/PR, Curitiba.

FENDRICH, R.; OLIYNIK, R. (2002) – **“Manual de Utilização das Águas Pluviais”** – Curitiba: Livraria do Chain Editora.

FEWKES, A.; BUTLER, D. (2000) – **“Simulating the performance of rainwater collection systems using behavioural models”** - Building Service Engineering Research and Technology - Austrália.

FERNADES, C. (2002) – **“A microdrenagem – um estudo inicial”** - Disponível on-line em: http://www.dec.ufcg.edu.br/saneamento/HDren_01.html - Acesso em 25 de abril de 2007.

FIDEM (1982) – **“Plano de Organização Territorial”**. Vol. I, Recife/PE.

FIDEM (1987) – **“Cidade do Amanhã”** – Recife/PE, 1987.

FIDEM (1996) – **“Monografia Municipais”** – FIDEM, Recife/PE.

FIDEM/CPRH (1994) – **“Índice de Informações Cartográficas da RMR”** - FIDEM/PE.

FIDEM (2007) – **“Correlação dos Níveis”** – Luiz Antônio Braga Martins (Instituto de Portos de Navegação e Hidrografia – INPH), Paulo Roberto Carneiro de Carvalho (Fundação de Desenvolvimento Metropolitano do Recife – FIDEM)

FREIRE, G. (1936) - **“Sobrados e mocambos: decadência do patriarcado rural e desenvolvimento do urbano”** - São Paulo: Companhia Editora Nacional, 1936.

FUJITA, S. (1984) – **“Experimental sewer system for reduction of storm runoff”** – In: International Conference on Urban Storm Drainage – Göteborg Chalmers University of Technology - Suécia.

GENZ, F. (1994) – **“Parâmetros para a previsão e controle de cheias urbanas”** - Porto Alegre, UFRGS – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. Dissertação Mestrado.

GUSMÃO FILHO, J. A.; ALHEIROS, M. M.; JUSTINO DA SILVA, J. M.; GUSMÃO, A. D.; BASTOS, E. G.; LEAL, P. C.; FERREIRA, H. N. (1993) –

“Mapeamento de Risco das Encostas Ocupadas do Recife” - Gusmão Eng. Associados. URB / CODECIR, Relatório técnico. Recife.

HALL, M.J. (1984) – **“Urban Hydrology . Elsevier Applied Science”** – London, England.

HERNANDES, A. T.; AMORIM, S. V. (2005) – **“Reservatórios Permeáveis para Detenção de Água Pluvial”** – V Simpósio Brasileiro de Captação e Manejo da Água de Chuva – ANAIS – Teresina/PI.

HERRMANN, T.; SCHMIDA, U. (1999) – **“Rainwater utilisation in Germany: Efficiency, Dimensionig, Hydraulic and Environmental Aspects”** - Hannover: Urban Water.

HIDROMAX (2006) – **“Barragem Móvel”** – Hidromax Construções Ltda – folder técnico.

HYDRO (2006) – **“Hydro International”** - Disponível em http://www.hydro-international.biz/index_uk.php - Acesso em 16/fev./2006.

HOLMSTRAND, O. (1984) – **“Infiltration of Stormwater: research at Chalmers University of Technology. Results and examples of Application”** - In: International Conference on Urban Drainage. Göteborg: Chalmers University of Technology - Disponível em <http://www.cwrw.utexas.edu/gis/gishydro99/watchar/watchar.htm> – Acesso em 12/06/2003.

IBGE (1997) – **“Contagem da População, 1996”** - Rio de Janeiro, 1997.v.1:Resultados relativos a Sexo da População e Situação da Unidade Domiciliar.p.23, tabela 6.

IBGE (2000) – **“Censo Demográfico 2000”** - Resultados do universo, disponível em: <http://www.ibge.gov.br/> - Acesso em: 12/08/2004.

ICHIKAWA, A. (1988) – **“Japan´s sewer system”** - Inter. Jour. Of Water Resources Development.

ICHIKAWA, A. (1998) – **“A new strategy for the reduction of peak runoff, by installing of infiltration and storage facilities”** – In: International Workshop on Non Strutural Flood Control in Urban Áreas – São Paulo/Brasil.

KRAFTA, R.; CONSTANTINOU, E. (2000) – “**Cidades brasileiras, seu controle e o caos**”. In: Avaliação e controle da drenagem urbana. Org. Carlos E. M. Tucci e David da Motta Marques. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS.

KÖHLER, M.; SCHMIDT, M.; GRIMME, F.W.; LAAR, M., GUSMÃO, F. (2001) – “**Water Retention by Greened Roofs in Temperate and Tropical Climate**” - in: Anais of 38th IFLA World Congress, Singapore, 2003.

LINHARES, M. (2007) – “**A História dos Arcos da Lapa**”. Disponível em <http://www.lanalapa.com.br/> – Acesso em agosto/2007.

LOGANATHAN, G.V.; DELLEUR, J.W.; SEGARRA, R.I. (1985) – “**Planning detention storage for stormwater management**” - Journal of Water Resources Planning and Management. ASCE.

MARSALEK, J.; BARNWELL, T. O.; GEIGER W.; GROTTKER, M.; HUBER, W. C.; SAUL, A. J.; SCHILLING W.; TORNO H. C. (1993) – “**Urban Drainage Systems: Design and Operation**” - In: Interurba 1992. Water Science & Technology.

MASCARÓ, J. L. (1994) – “**Manual de loteamentos e urbanização**” – Porto Alegre – SAGRA:DC Luzatto.

MEDINA, L. L. (1996) – “**A legislação de uso e ocupação do solo do Recife como instrumento de desenho urbano**” - Dissertação de Mestrado, MDU/UFPE, Recife.

MELLO, V. P. (1991) – “**Água Vai! – História do Saneamento de Pernambuco 1537-1837**” - Companhia Pernambucana de Saneamento.

MELO, M. J. V. (2003) – “**A bacia do Rio Fragoso em Olinda – PE: drenagem e gestão ambiental**” – Dissertação de Mestrado – UFPE.

MENDES, C. A. B.; CIRILO, J.A. (2001) – “**Geoprocessamento em Recursos Hídricos - Princípios, Integração e Aplicação**” - Editora ABRH.

MESQUITA, Érika. (2005) – “**Arquitetura Bioclimática aplicada a pequenas cidades**” - III Workshop Brasil-Japão: Implicações Regionais e Globais, sobre Energia, Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. Universidade Estadual de Campinas.

MIN. (2006) – **“Site do Ministério da Integração Nacional, mantido pelo Governo Brasileiro”** – Disponível em <http://www.integracao.gov.br/> - Acesso em 16/fev./2006.

MONTENEGRO, S. G.; MONTENEGRO, A. A.; CAVALCANTI, G. L.; MOURA, A. E. S. (2005) – **“Recarga artificial de aquíferos com águas pluviais em meio urbano como alternativa para a recuperação dos níveis potenciométricos: estudo de caso na planície do Recife (PE)”** - V Simpósio Brasileiro de Captação e Manejo da Água de Chuva – ANAIS – Teresina/PI.

MOTA, S. (2003a) – **“Introdução à Engenharia Ambiental”** - 3 ed. Rio de Janeiro: ABES.

MOTA, S. (2003b) – **“Urbanização e meio ambiente”** - 3 ed. Rio de Janeiro: ABES.

MSU (2006) - **Septic Tank and Drainfield Operation and Maintenance** - Montana State University Extension Service - Disponível on-line em <http://www.montana.edu/wwwpb/pubs/mt9401.html> - Acesso em 14/fev./2006.

NAHB RESEARCH CENTER (2004). – **“Municipal Guide to Low Impact Development”**. - Maryland. Disponível on-line em <http://www.lowimpactdevelopment.org> Acesso em 14/fev./2006.

NAKAMUAR, E. (1988) – **“Regulating loads to receiving waters: Control practices for combined sewer overflows in Japan”** – In: Urban Discharges and Receiving Water Quality Impacts . Seminar. IAWPRC/IAHR, Brighton, U. K.

NATIONAL GUIDE TO SUSTAINABLE MUNICIPAL INFRASTRUCTURE. (2003) - **“Source and On-site Control for Municipal Drainage Systems”** - Canadá. Disponível on-line em <http://www.infraguide.gc.ca> - Acesso em 14/fev./2006.

NEVES, E. T. (1974) – **“Curso de Hidráulica”** – Porto Alegre – Editora Globo.

NETTO, J. M. de A.; ALVAREZ, G. A. (1973) – **“Manual de Hidráulica”** – Editora Edgar Blücher Ltda. São Paulo.

NIEMCZYNOWICZ, J. (1993) – “**Integrated Water Management Background to Modern Approach with Two Case Examples**”. In: Field, R., O’Shea, M.L. and Chin, K.K. - Integrated Stormwater Management. - Lewis Publishers. Florida.

O’LOUGHLIN, G.; NGUYEN, V.; BEWSHER, D.; LEES, S. (1998) – “**Refining On-Site Stormwater Detention Practice in Sydney**” - Novatech ’98 Conference, Lyon.

PAOLETTI, A. (2005) – “**Gestão do Território e Manejo Integrado das Águas Urbanas - RMR**” – Relatório de Cooperação Técnica Internacional Hydroaid / Ministério da Cidades.

PIMENTA, C. F. (1978) – “**Curso de Hidráulica Geral**” – Rio de Janeiro – 4ª edição - Editora Guanabara Dois.

PNUMA (2000) – “**Apostila do Instituto Brasil**” - Comitê Brasileiro do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente, Informativo 55, ago/set/2000.

PORTO, M. F. A. (1995) – “**Aspectos quantitativos do escoamento superficial em áreas urbanas**”. - In: TUCCI, C E. M. et al Drenagem Urbana. Porto Alegre - Editora ABRH/UFRGS.

PORTO, R.; ZAHED, K.; TUCCI, C.; BIDONE, F. (2000) – “**Drenagem Urbana**” – In: Hidrologia: ciência e aplicação. Carlos E. M. Tucci (Org.) – Porto Alegre – Ed. Universidade/UFRGS:ABRH.

PYZOHA, D.S. (1994) – “**Implementing a Stormwater Management Program**” - Lewis Publishers. Florida.

RECIFE1, Prefeitura da Cidade do (1961). **Código de Urbanismo e Obras: Lei No 7427 de 19 de outubro de 1961**. Recife.

RECIFE2, Prefeitura da Cidade do. (1983) - **Lei de Uso e Ocupação do Solo: Lei No 14.511 de 17 de janeiro de 1983**. Recife.

RECIFE3, Prefeitura da Cidade do. (1996) - **Lei de Uso e Ocupação do Solo: Lei No 16176 de 13 de abril de 1996**. Recife.

RECIFE4, Prefeitura da Cidade do. (1997) - **Edificações e Instalações na Cidade do Recife: Lei No 16292 de 29 de janeiro de 1997**. Recife.

ROTONDO (2006) – **“Services to engineers, regulatory agencies, contractors and developers”**. Rotondo Environmental Solutions, LLC. Disponível on-line em <http://www2.rotondo-es.com/index.xml> - Acesso em 14/fev./2006.

SANTOS, L. J. (1928) – **“Hydrotecnica”** - São Paulo: Melhoramentos, V. 4.

SCHMIDT, M. (1992) – **“Extensive greened roofs to improve the urban climate (Extensive Dachbegrünung als Beitrag zur Verbesserung des Stadtklimas)”** - Dissertação de Mestrado, TU Berlin, 75 p.

SCHMIDT, M. (2001) – **“Rainwater Harvesting in Germany: New concepts for reducing the consumption of drinking water, flood control, and improving the quality of surface waters and the urban climate”** - In Anais do Simpósio da captação da água da chuva. Campina Grande, Paraíba.

SCHUELER, T. R. (1987) – **“Controlling Urban Runoff: A Practical Manual for Planning and Designing Urban”** - BMPs. Washington, D.C.

SECTMA – Secretaria de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente de Pernambuco (1997) – **“Projeto de Qualidade das Águas e Controle da Poluição Hídrica das Bacias dos Rios Beberibe”** - Capibaribe e Jaboatão - PQA / PE, Dez 97

SENRA, J. B.; COELHO, M. (2005) – **“O Plano Nacional de Recursos Hídricos”** - XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos – ANAIS – João Pessoa/PB.

SHEAFFER, J. R.; WRIGHT, K. R. (1982) – **“Urban storm drainage management”** – New York , Marcel Dekker, Inc.

SILVA, P. L. O. L. da F. (1977) – **“A trajetória da legislação urbanística no Recife”** - Dissertação de Mestrado, MDU/UFPE, Recife.

SILVEIRA, A. (2000) – **“Hidrologia urbana no Brasil”**. – In: Avaliação e controle da drenagem urbana/organizado por Carlos E. M.Tucci e David da Mota Marques – Porto Alegre, Ed. Universidade/UFGRS – V.1.

SOUZA, V. C. B. (2002) – **“Estudo Experimental de Trincheiras de Infiltração como Elemento de Controle do Escoamento Superficial”** - Porto Alegre, UFRGS – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. Tese de Doutorado.

STORMWATER (2004) – **“Community responses to runoff pollution”**. - Natural Resources Defense Council. Disponível on-line em <http://www.nrdc.org> - Acesso em 14/fev./2006.

SUGIO, S.; DEGUCHI, C.; KUNITAKE, M.; SUHARYANTO, A.; YAMAKAWA, Y. (1995). – **“Use of House Storage to Decrease and Delay Peak Point in Stormwater Discharge from Small Urbanised Basin”** - Lion, France. NOVATECH - 95.

TUCCI, C. E. M. (1993) Organizador. - **“Hidrologia Ciência e Aplicação”**. – ABRH. Edusp e Editora da Universidade.

TUCCI, C. E. M. (2000) – **“Conflitos do controle de inundação ribeirinha em Porto Alegre”** - In: Avaliação e controle da drenagem urbana. Org. Carlos E. M. Tucci e David da Motta Marques. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS.

TUCCI, C. E. M. (2001) – **“Gerenciamento da Drenagem Urbana”** – In: Avaliação e controle da drenagem urbana/organizado por Carlos E. M. Tucci e David da Mota Marques – Porto Alegre – Ed. ABRH V.2.

TUCCI, C. E. M. (2003) – **“Inundações e drenagem urbana”**. In: Inundações Urbanas na América do Sul. Org. Carlos E. M. Tucci e Juan C. Bertoni. Porto Alegre/ABRH.

TUCCI, C. E. M. (2006) – **“Curso de Drenagem Urbana”** – In: Programa de curso de Drenagem Urbana – Ministério das Cidades.

TUCCI, C. E. M.; SILVEIRA, A.; GOLDENFUM, J.; GERMANO, A. (2003) – **“Brasil”**. In: Inundações Urbanas na América do Sul. Org. Carlos E. M. Tucci e Juan C. Bertoni. Porto Alegre/ABRH.

TUCCI, C. E. M.; GENZ, F. (1995a) – **“Controle do Impacto da Urbanização”** – In: Drenagem Urbana/organizado por Carlos E. M. Tucci,

Rubem La Laina Porto e Mário T. Barros – Porto Alegre: ABRH/Editora da Universidade/UFGS.

TUCCI, C. E.M.; GENZ, F. (org) (1995b) – “**Drenagem Urbana**” - In: “Drenagem Urbana”, – Tucci, C. M., Porto, R. e Barros, M. T., Editora da UFRGS - ABRH.

U.S. DEPARTMENT OF HOUSING AND URBAN DEVELOPMENT. (2003) – “**The practice of Low Impact Development**”. - Washington, D.C. - Disponível on-line em <http://www.lowimpactdevelopment.org> - Acesso em 14/fev./2006.

URBONAS, B.; STAHR, P., (1993). – “**Stormwater Best Management Practices and Detention**” - Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.

VILLARREAL, E. L.; DIXON, A. (2004) – “**Analysis of a rainwater collection system for domestic water supply in Ringdansen**”. - Norrköping, Sweden: Building and Environment.

WALESH, STUART G. (1989) – “**Urban Surface Water Management**” – J. Willey & Sons. Valparaiso, Indiana – EUA.

WANIELISTA, M. P.; YOUSEF, Y. A. (1993) – “**Stormwater management**” - Jonh Willy & Sons, Inc.

WEIMER, G. (1993) – “**A capital do positivismo**”. In: PANIZZI, W. M., ROVATTI, J. F., ed. Estudos Urbanos: Porto Alegre e seu Planejamento Porto Alegre/R.S. Editora da Universidade.

Wong, T.W.S.; Chen, C.N. (1993) – “**Pattern of flood peak increase in urbanizing basins with constant and variable slopes**”. J. Hydrol. Amsterdam.

YAZAKI, L. F. O. (2006) – “**Novas abordagens para a drenagem urbana nas grandes cidades: comentários sobre diversas cidades dos Brasil e exterior**” – In: Seminário de Drenagem Urbana CTG/UFPE.