



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

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

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. - EXPLICAÇÃO 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 Fragoso. Em destaque azul escuro, o Rio Fragoso. | 26 |
| Figura 3. 3 – Mapa de Situação da Bacia do Rio Fragoso..... | 27 |
| Figura 3. 4 – Unidades Litoestratigráficas da Faixa Sedimentar Norte (PE) Seção Geológica Esquemática Leste – Oeste Bacia do Rio Fragoso 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 Fragoso. | 32 |
| Figura 3. 7 – Mapa das áreas alagáveis e alagadas na Bacia do Rio Fragoso (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 Fragoso..... | 37 |
| Figura 3. 12 – Rua Pintor Manoel Bandeira, em Casa Caiada..... | 38 |
| | |
| Figura 4. 1 – Equipamento automático adotado..... | 40 |
| Figura 4. 2 – Pluviômetro UFPE/ Fragoso1, no mês de junho de 2006. | 42 |
| Figura 4. 3 – Pluviômetro UFPE/ Fragoso2, 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 Fragoso 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 Fragoso. | 50 |
| Figura 5. 4 – Início do trecho de canal em estudo..... | 51 |
| Figura 5. 5 – Foz do Canal dos Bultrins/Rio Doce no rio Fragoso..... | 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 Fragoso (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 Frágoso 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 Frágoso com retenção de parte do escoamento. | 65 |
| Figura 5. 19 – Perfis máximos de elevação da água simulados ao longo do trecho do rio Frágoso sem retenção..... | 65 |
| | |
| Figura 6. 1 - Trecho do Rio Doce na Bacia do Rio Frágoso 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 Frágoso (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 Hydroayd 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), Basileia (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.

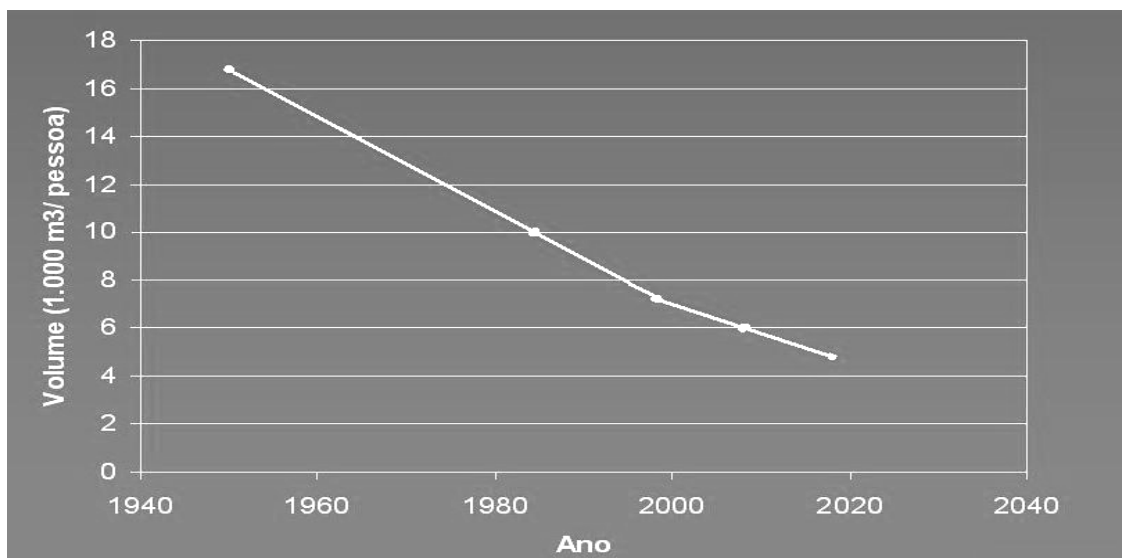


Figura 2. 4 - Volume de água potável por ano por pessoa (UNESCO, apud YAZAKI, 2006).

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

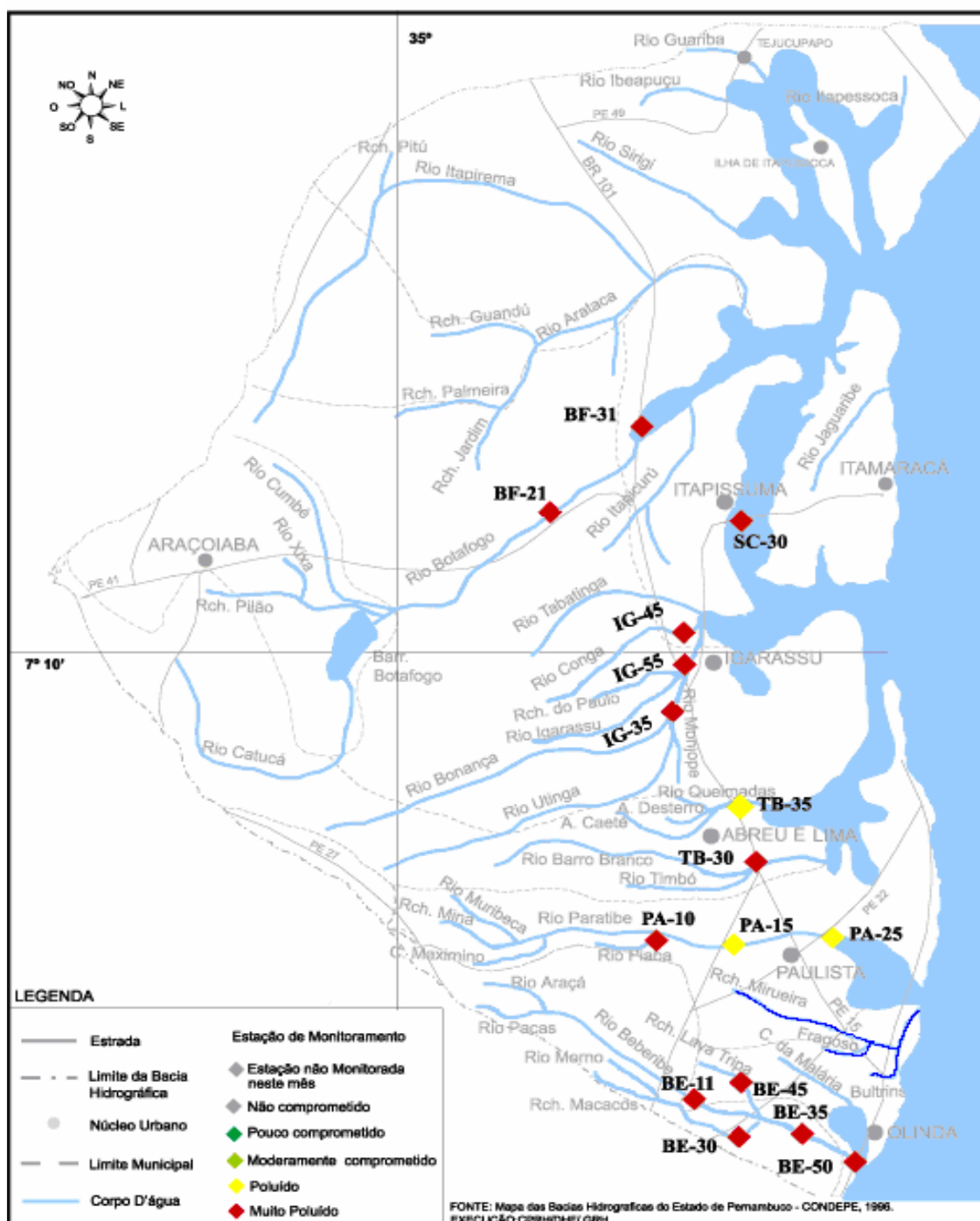


Figura 3. 2 – Bacias Hidrográficas de Pernambuco (GI1) realce Rio Frágoso. Em destaque azul escuro, o Rio Frágoso.

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.

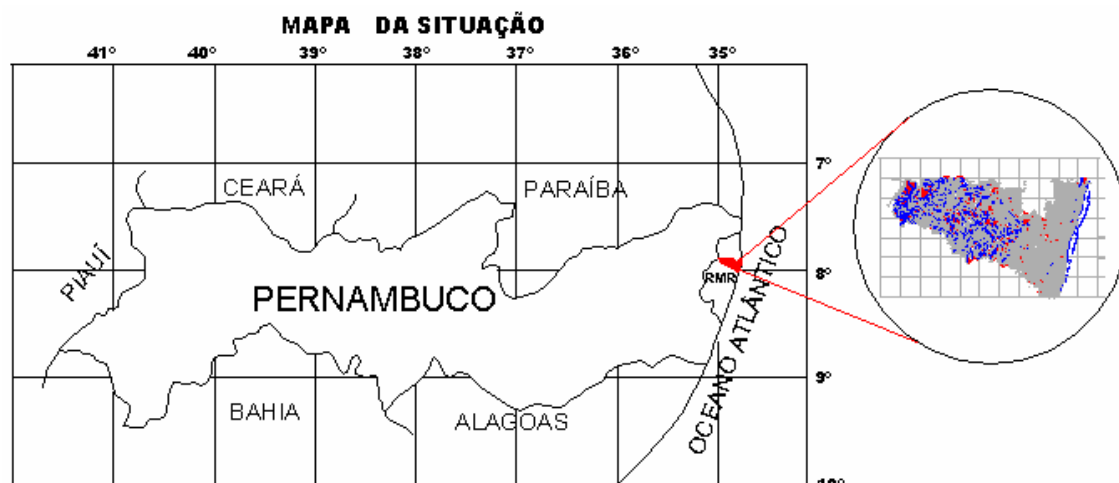


Figura 3. 3 – Mapa de Situação da Bacia do Rio Fragoso.

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.

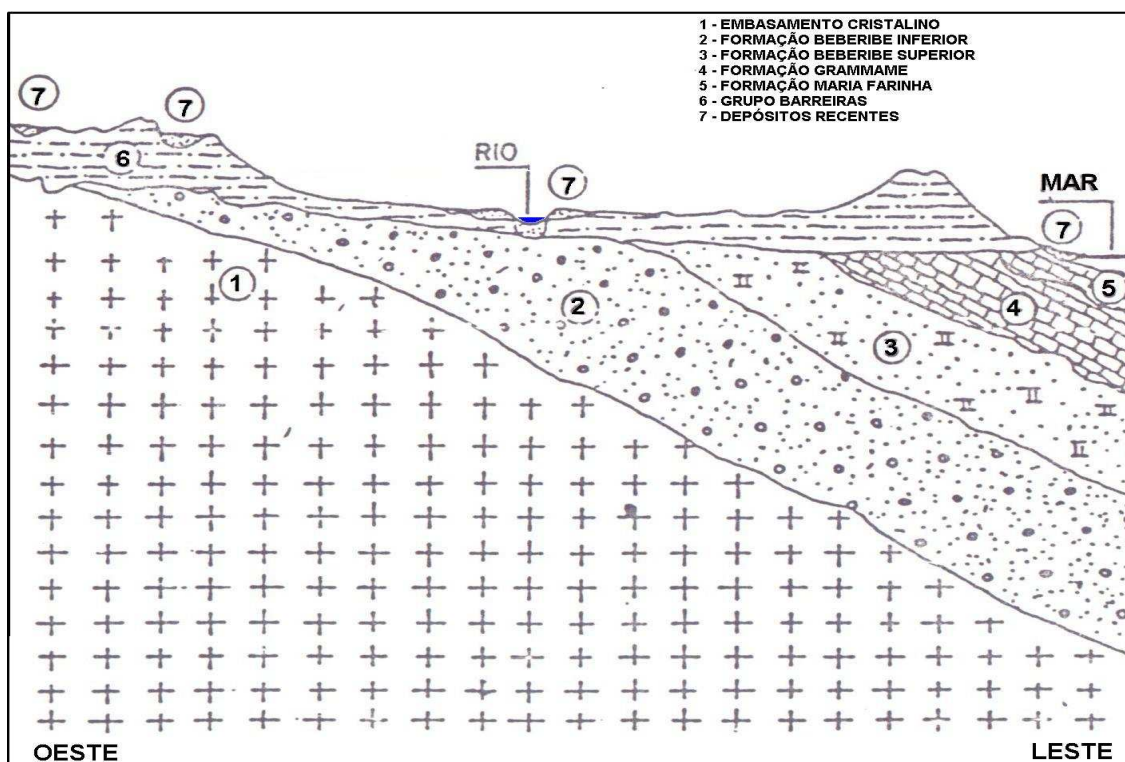


Figura 3. 4 – Unidades Litoestratigráficas da Faixa Sedimentar Norte (PE) Seção Geológica Esquemática Leste – Oeste Bacia do Rio Fragoso adaptado (BELTRÃO, 1995).

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 18° 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.

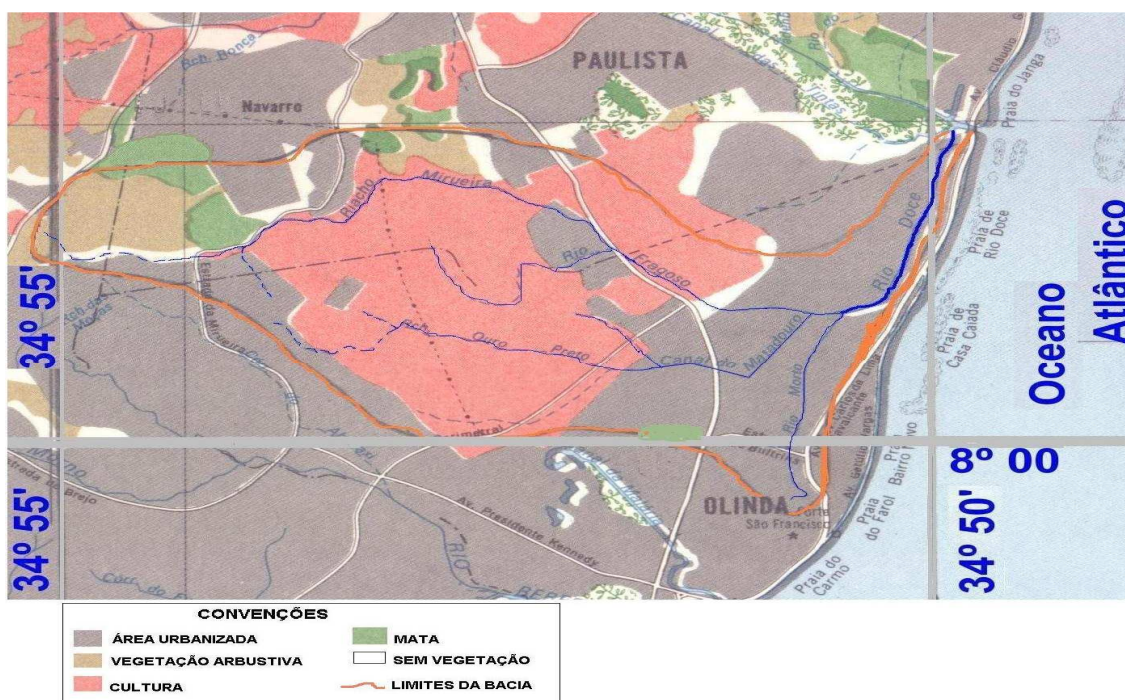


Figura 3. 5 – Mapa da Cobertura Vegetal (Fonte: FIDEM 1985)

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 |

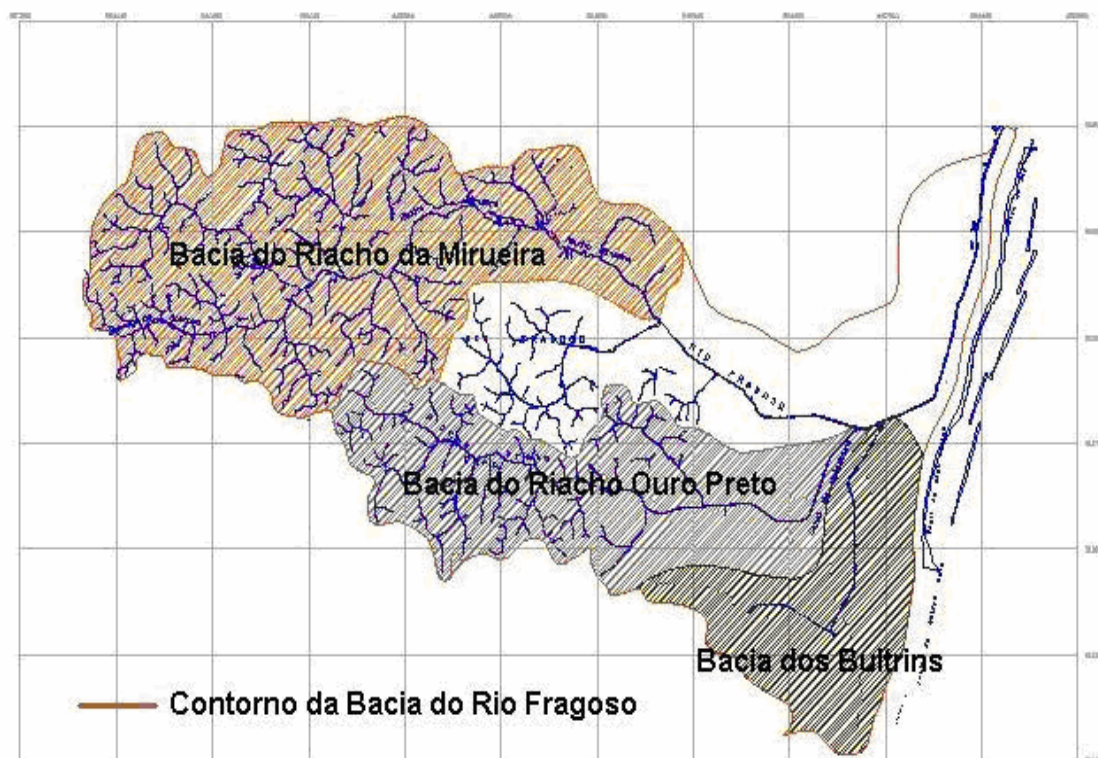


Figura 3. 6 – Limites das Sub-Bacias Hidrográficas do Rio Fragoso.

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.).

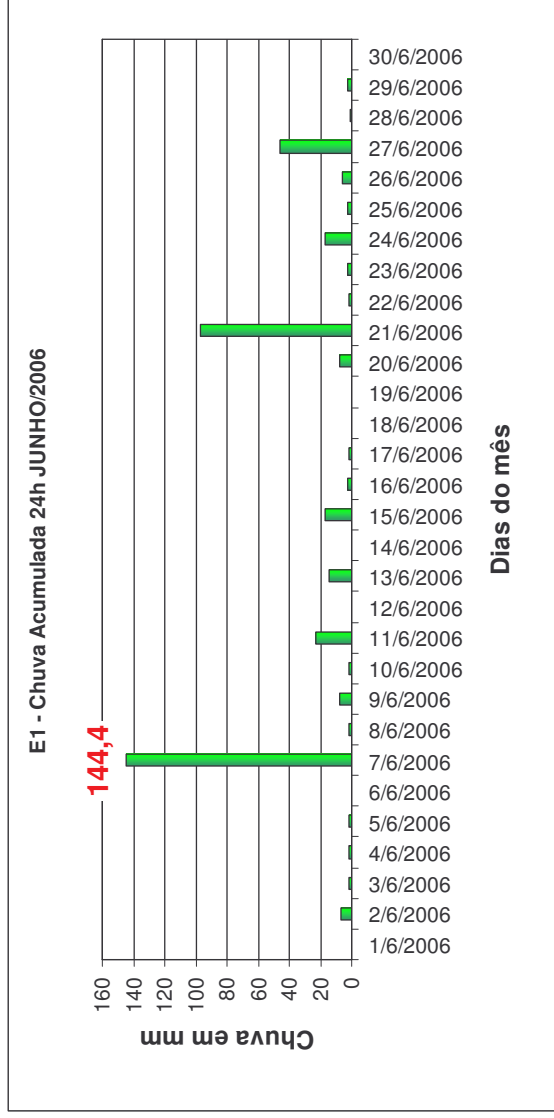


Figura 4. 2 – Pluviômetro UFPE/ Fragoso1, no mês de junho de 2006.

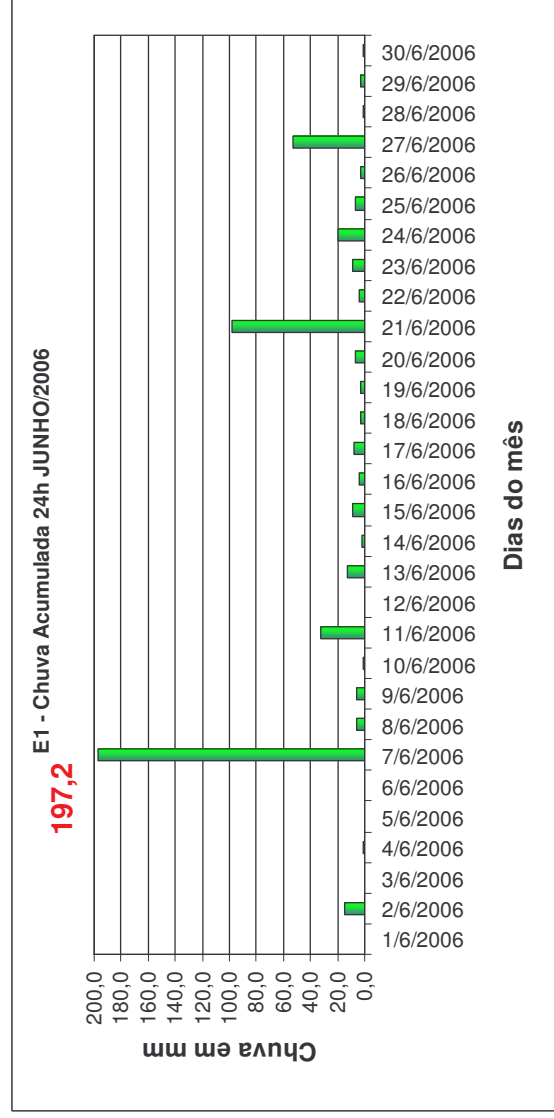


Figura 4. 3 – Pluviômetro UFPE/ Fragoso2, no mês de junho de 2006.

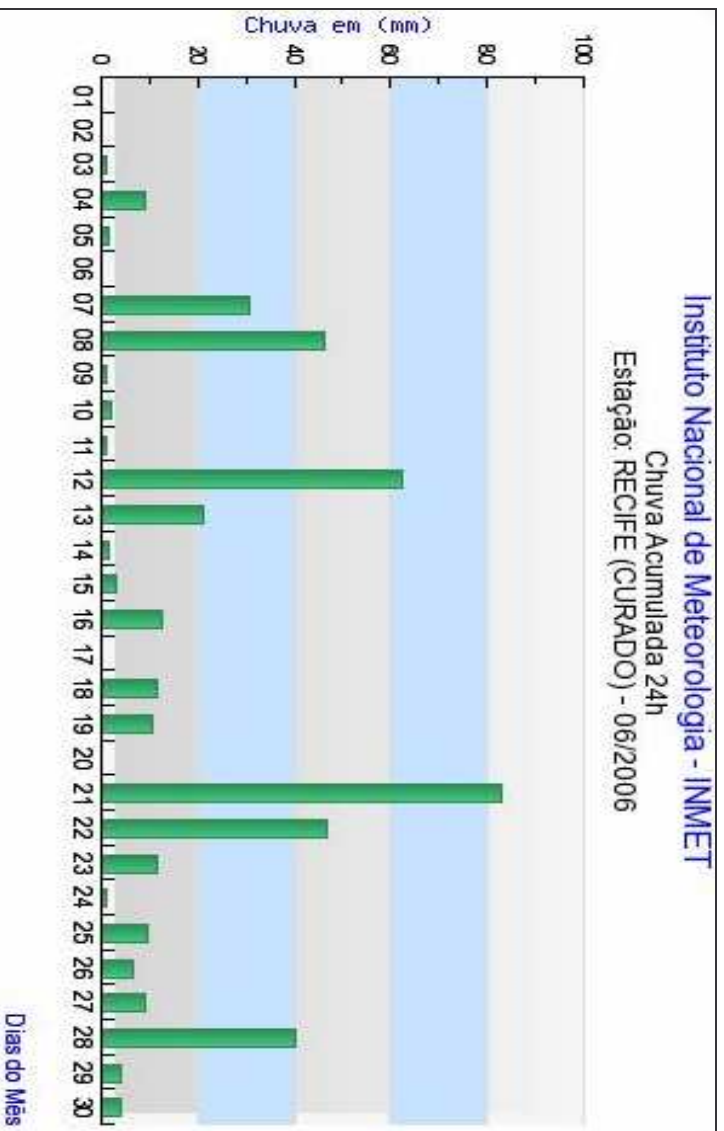


Figura 4. 4 – Pluviômetro do INMET A301 Recife/PE, no mês de junho de 2006.

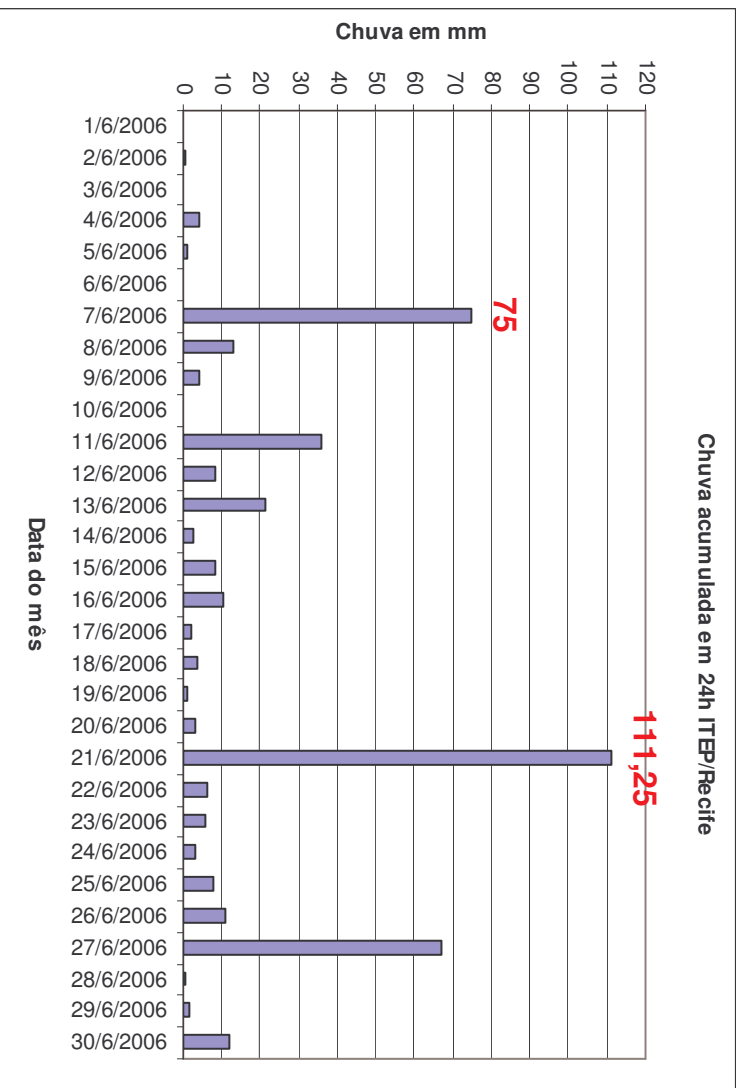


Figura 4. 5 – Pluviômetro do ITEP Recife/PE, no mês de junho de 2006.

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 Frágoso, 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 Frágoso: 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:

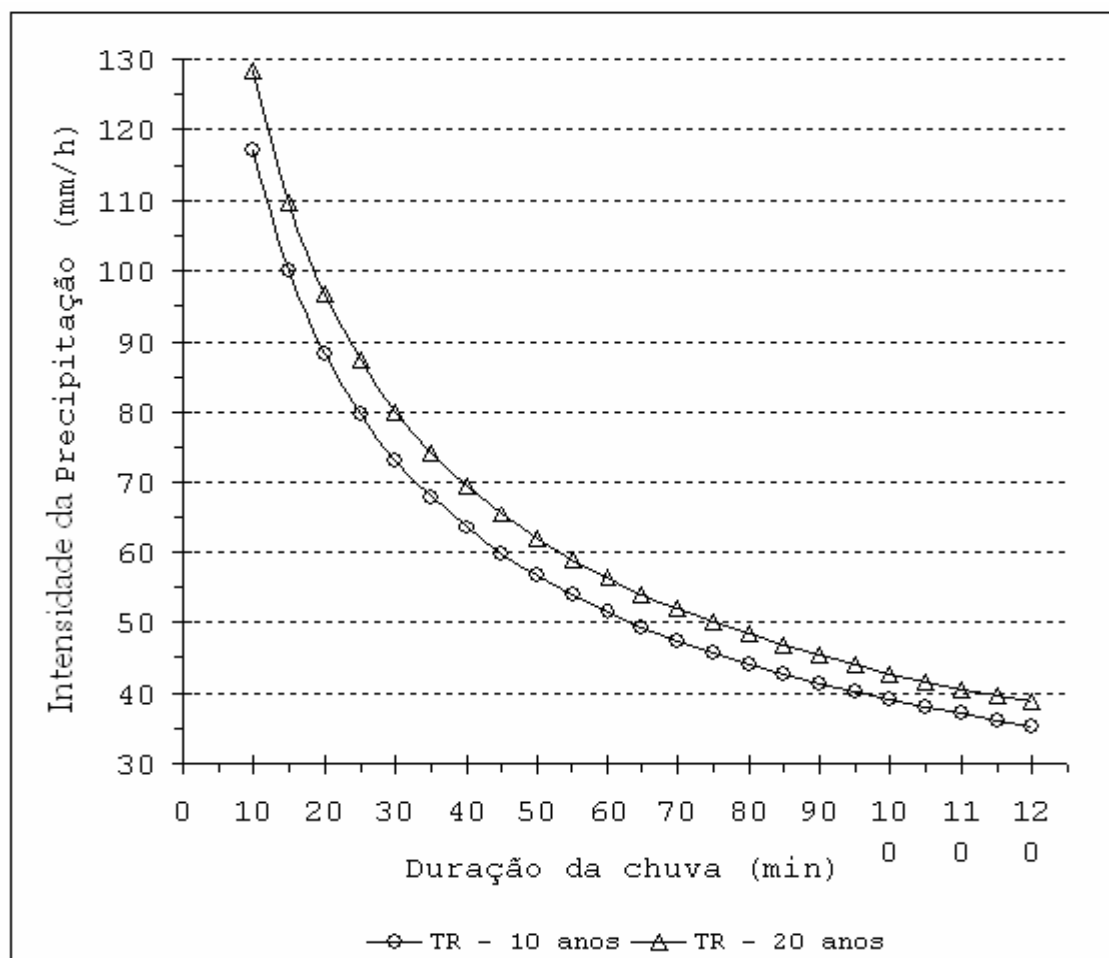


Figura 5. 1 – Representação gráfica da equação de chuva intensa.

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

(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.

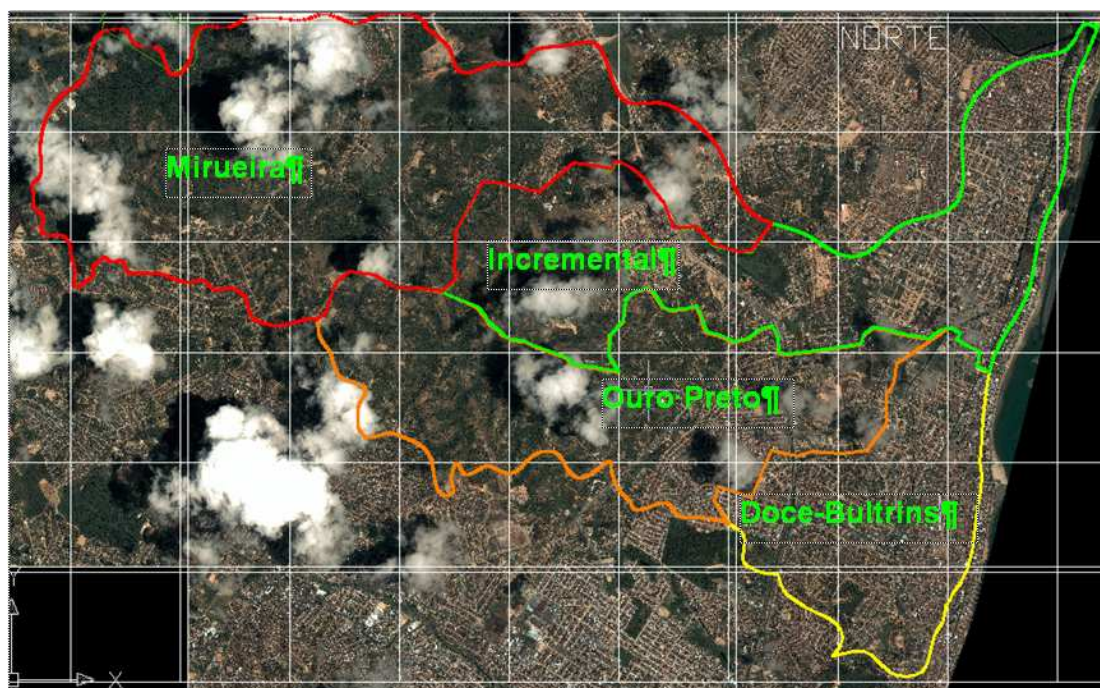


Figura 5. 2 – Limites das sub-bacias do Rio Frágoso sobre imagem de satélite da região.

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.

A equipe de topografia da Geosistemas realizou levantamento topobatimétrico de seções transversais na geometria atual do trecho do canal situado entre a Rua Dr. Milton Pina e a foz do canal no rio Fragoso.

Esse trecho tem extensão de aproximada de 2000m. O objetivo do levantamento é permitir a avaliação das condições atuais de escoamento e permitir o dimensionamento das intervenções.

A figura 5.6, representa uma das seções levantadas, onde ocorrem maiores enchentes e fotografia do trecho de canal entre a Avenida Chico Science e a Rua Dr. Milton Pina (Figura 5.7).

Na Figura 5.8, apresenta-se a locação das seções levantadas no trecho da confluência do canal dos Bultrins, com o rio Fragoso.

O levantamento realizado mostra seções transversais insuficientes para a drenagem da vazão de projeto. Por outro lado, o perfil longitudinal decorrente do levantamento mostra declividade média de 1,36m/km, bastante razoável para permitir o escoamento das águas desde que se proporcione a seção transversal necessária.



Figura 5. 4 – Início do trecho de canal em estudo.



Figura 5. 5 – Foz do Canal dos Bultrins/Rio Doce no rio Fragoso.

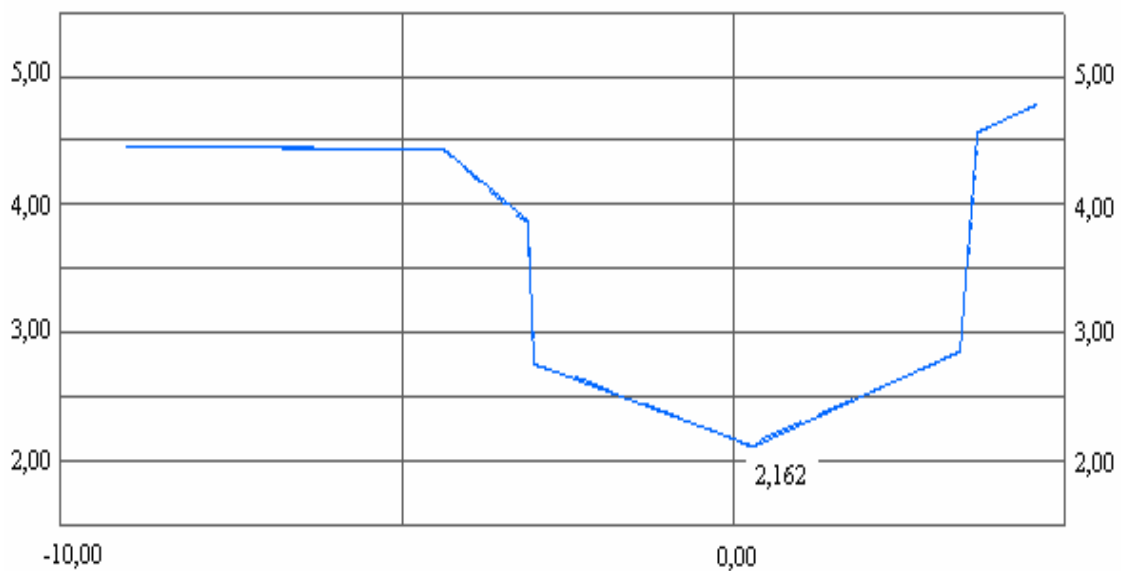


Figura 5. 6 – Seção atual do Canal dos Bultrins/Rio Doce na altura da Rua Dr. Milton Pina



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

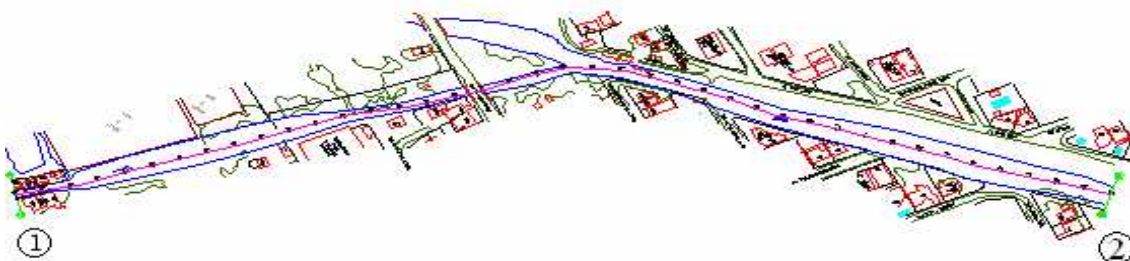
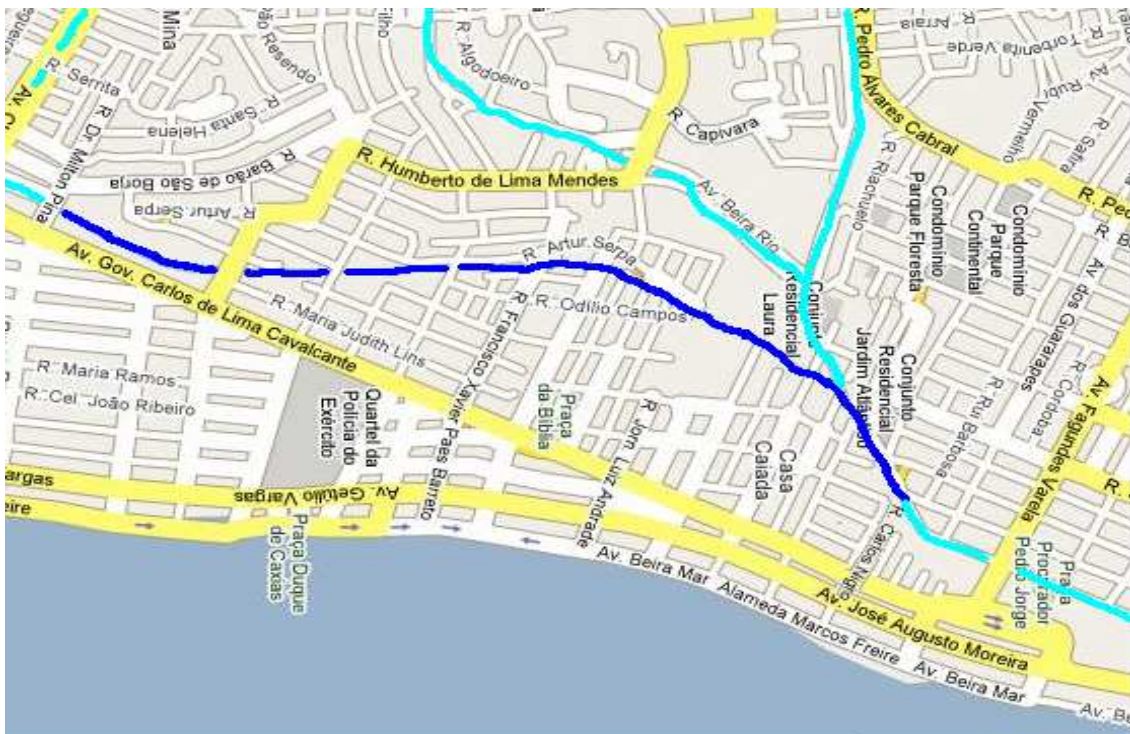


Figura 5. 8 – Localização das seções topobatimétricas na foz do Canal dos Bultrins com a confluência da sub-bacia incremental do Rio Frágoso (Fonte: arquivo do autor).

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.

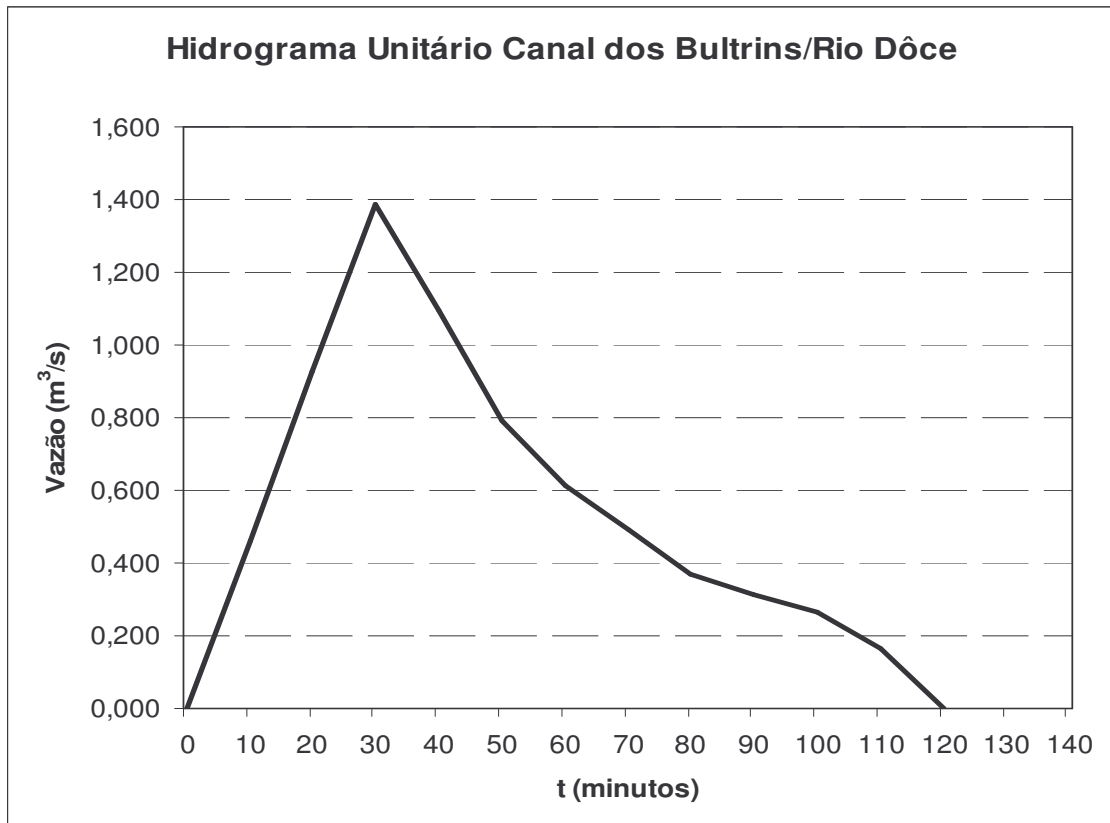


Figura 5. 9 – Parâmetros e hidrograma unitário obtido (Grupo 1 de Diaz e Tucci).

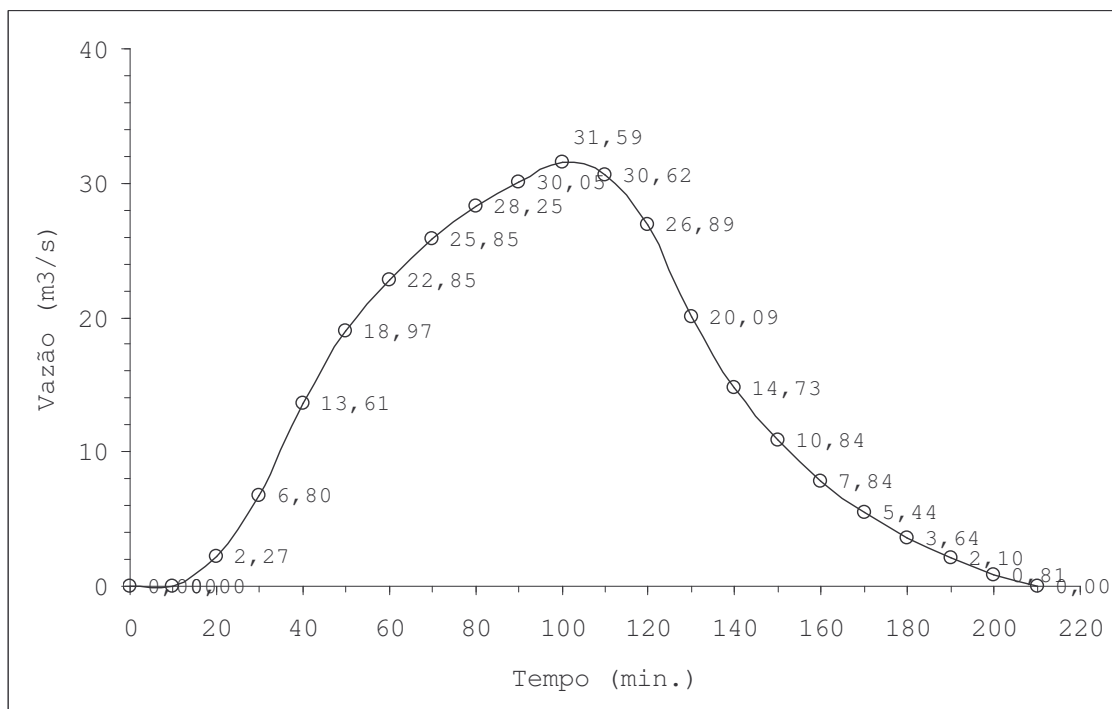


Figura 5. 10 – Hidrograma de projeto – Canal dos Bultrins/Rio Dôce.

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.

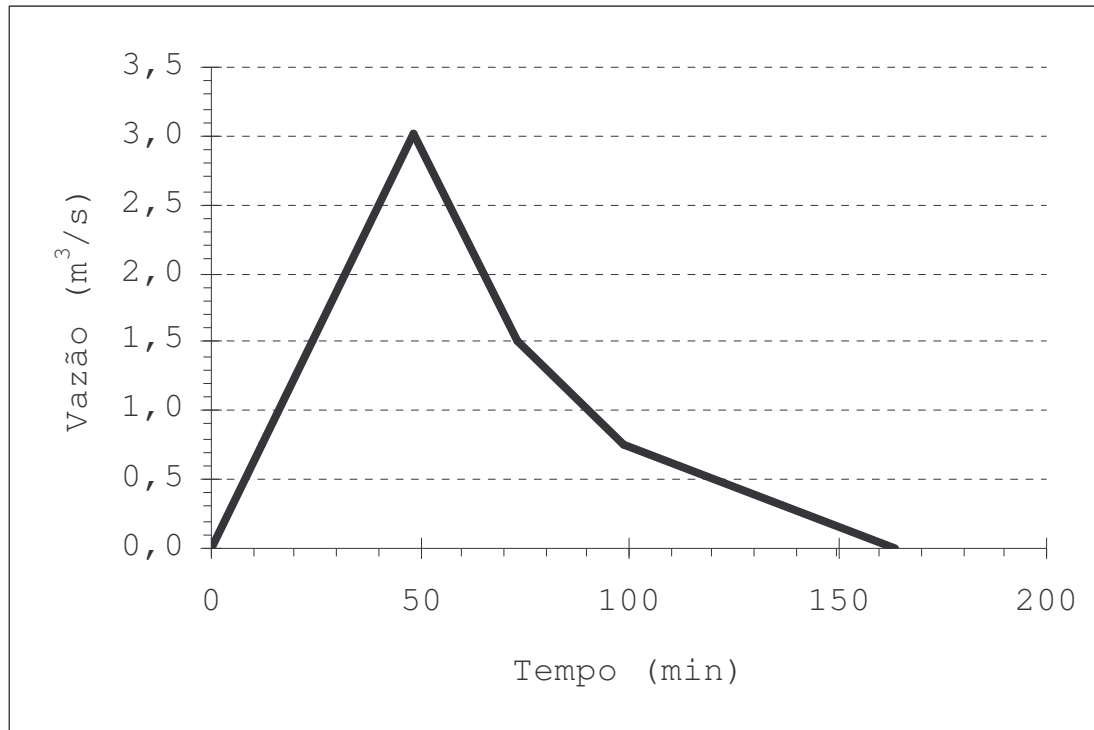


Figura 5. 11 – Parâmetros e hidrograma unitário obtido do Riacho Mirueira (Díaz e Tucci, 1989).

O hidrograma de projeto é apresentado na Figura 5.12.

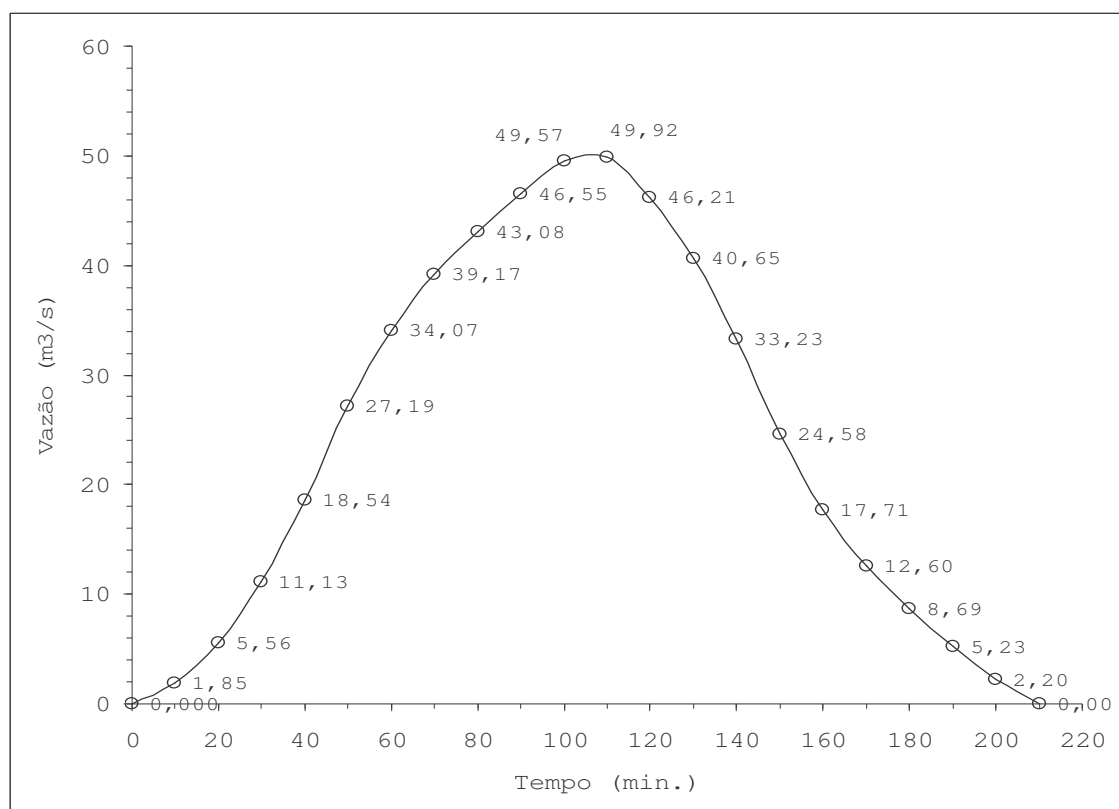


Figura 5. 12 – Hidrograma de projeto Riacho Mirueira.

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.

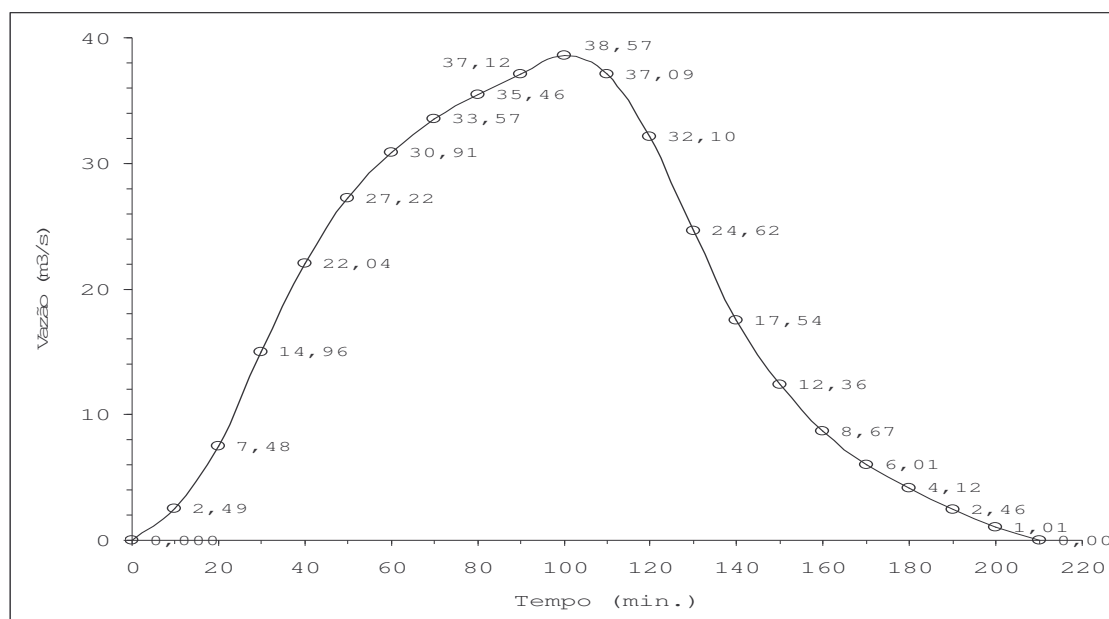


Figura 5.13 – Hidrograma de projeto Riacho Ouro Preto.

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.

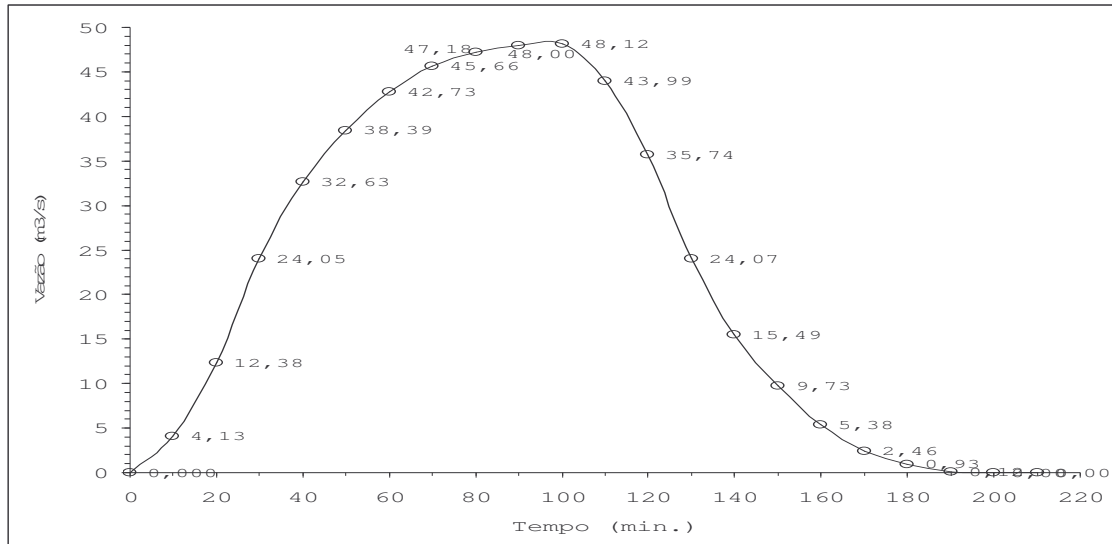


Figura 5.14 – Hidrograma de projeto do trecho incremental.

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.

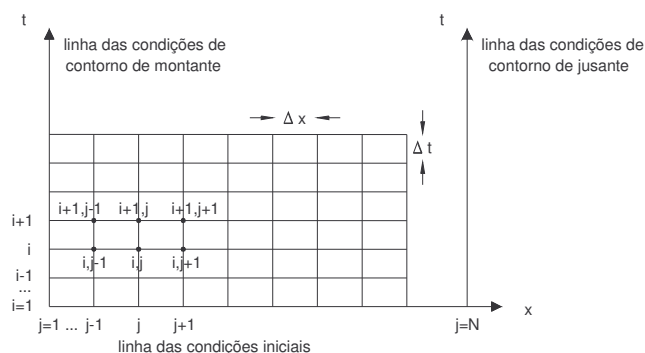


Figura 5. 15 – Domínio $x \times t$, discretizado com as linhas de condições iniciais e de contorno.

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.

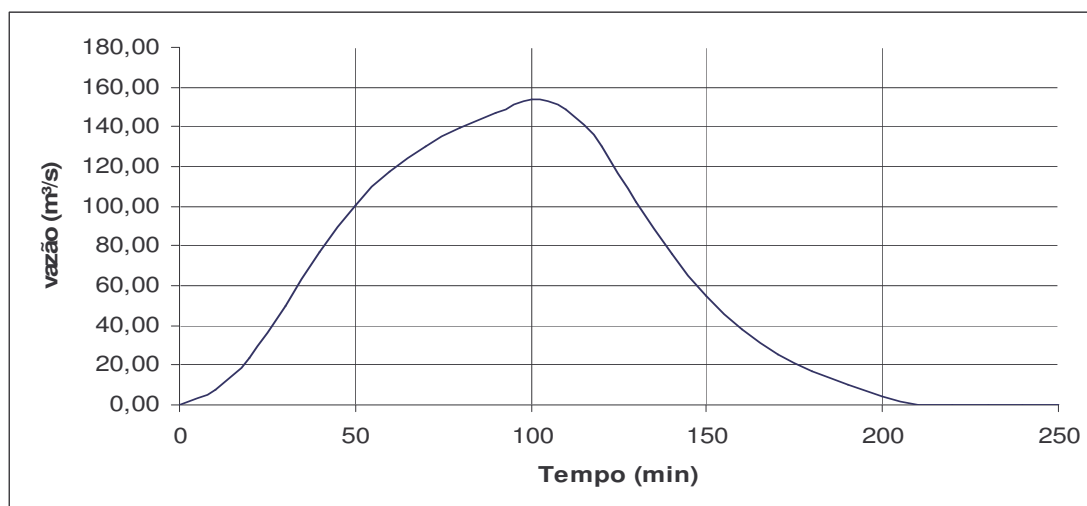


Figura 5. 16 – Hidrograma de cheia de projeto – seção de montante no trecho do rio Fragoso em análise.

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.

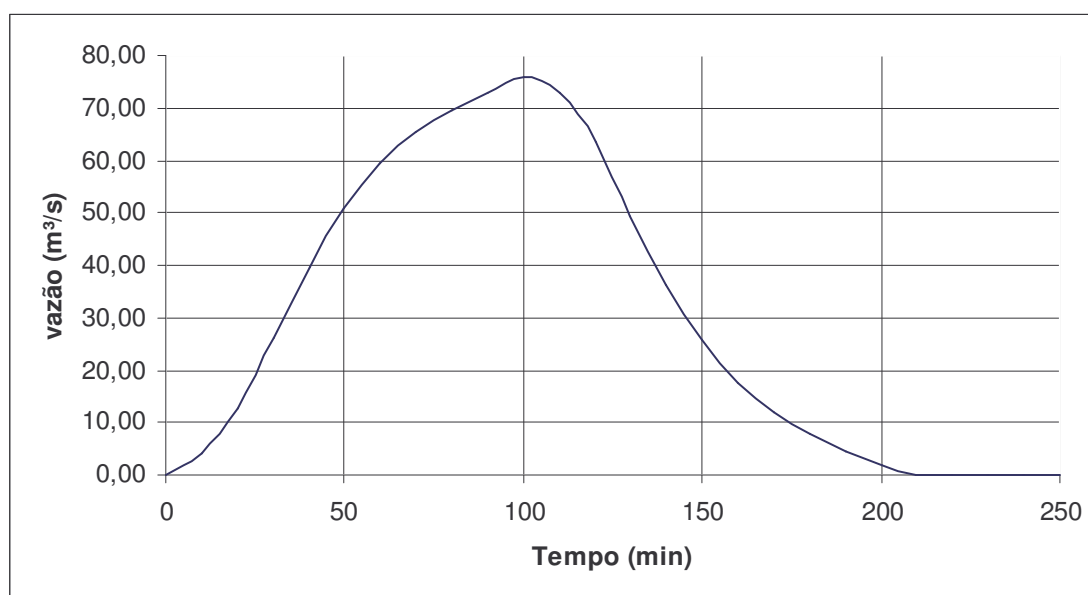


Figura 5. 17 – Hidrograma de cheia de projeto com retenção de parte do escoamento nas sub-bacias.

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.

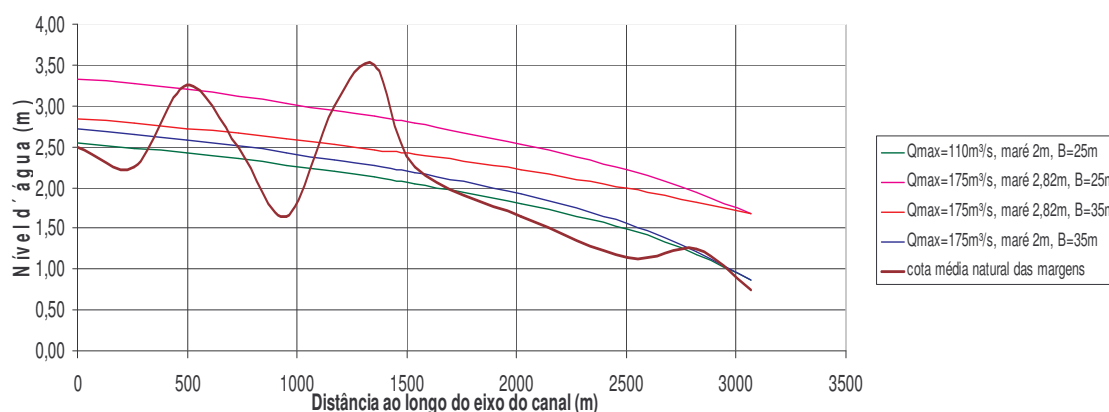


Figura 5. 18 – Perfis máximos de elevação da água simulados ao longo do trecho do rio Frágoso com retenção de parte do escoamento.

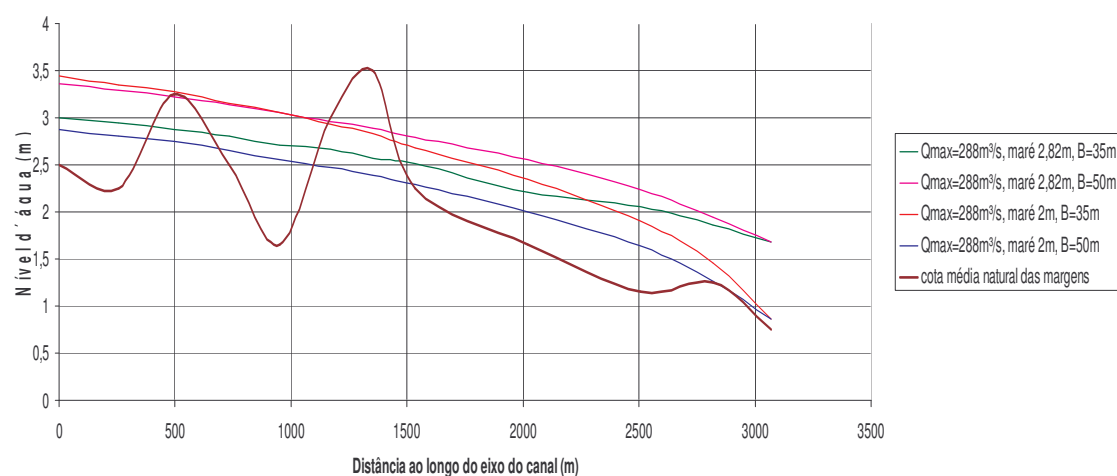


Figura 5. 19 – Perfis máximos de elevação da água simulados ao longo do trecho do rio Frágoso sem retenção.

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.

6 – VIGAS DE DETENÇÃO COMO ALTERNATIVA DE CONTROLE

Observando-se os efeitos em áreas com grande expansão urbana e o aumento da frequência e magnitude das cheias, resultado da impermeabilização de grandes áreas, implicando maior escoamento, com o assoreamento do leito do rio, menores taxas de infiltração e na queda da capacidade de amortecimento natural da bacia, tem-se como resultado o extravasamento da calha menor do rio.

Na Figura 6.1, observa-se a existência da marca mais escura do nível em que a cheia atingiu a ponte na área em estudo. A partir do momento que o escoamento do rio atingiu a estrutura, esta passou a funcionar como uma barreira natural, provocando a expansão do fluxo de água para as laterais do leito natural do rio, tendo como consequência imediata o alagamento das ruas a montante da estrutura.



Figura 6. 1 - Trecho do Rio Doce na Bacia do Rio Fragoso em Olinda (Foto do autor).

6.1. – CONCEITO DE VIGA DE DETENÇÃO

A proposta é utilizar o artifício do emprego destas estruturas simples denominadas “vigas de detenção” de tal modo, que esta mesma situação que

ocorre nas pontes, ocorra em locais a montante da área de risco e que, pela condição do relevo e ocupação, possibilite o acúmulo de água, diminuindo seu rápido escoamento e concentração em áreas a jusante.

Vantagens:

Estrutura simples, e de baixo custo;

Não interfere na capacidade de escoamento normal do rio;

Passa a atuar exclusivamente em ocasiões de ocorrência de vazões máximas;

Funciona como estrutura de controle de vazão;

Facilidade de remoção. No caso de se tornar desnecessária, ou se provocar qualquer interferência prejudicial ao desenvolvimento e utilização da área da bacia a montante da seção de aplicação da estrutura;

Facilidade de manutenção, principalmente se for de pequeno porte.

Desvantagens:

Não existe registro de pesquisa sobre esse tipo específico de estrutura;

Só é comprovada a sua possibilidade de uso fazendo-se uma comparação com a situação de pontes que estão obstruindo a passagem natural do rio quando da ocorrência de vazões máximas e em laboratório como será apresentado no texto a seguir;

Não deve ser utilizada em canais dimensionados para escoamento supercrítico (escoamento torrencial) porque poderá haver risco de mudança para subcrítico com elevação brusca da lâmina de montante;

É preciso um estudo criterioso para que sua aplicação não provoque erosão.

6.2 - COMPORTAMENTO COMO ORIFÍCIO E COMO VERTEDOR

Nos períodos de pequena vazão do rio, o escoamento se dará normalmente por baixo da viga. Para vazões maiores, a viga só permitirá a passagem de parte da vazão e o excedente vai sendo acumulado a montante da viga. Se a vazão continuar elevada por muito tempo ou se a vazão

aumentar, passa a haver escoamento por cima da viga, na forma de um vertedor. A vantagem é que a viga é simples de executar e o custo de execução é baixo. As figuras 6.2, 6.3 e 6.4 mostram as diversas situações de escoamento que podem ocorrer com o uso da viga de retenção.

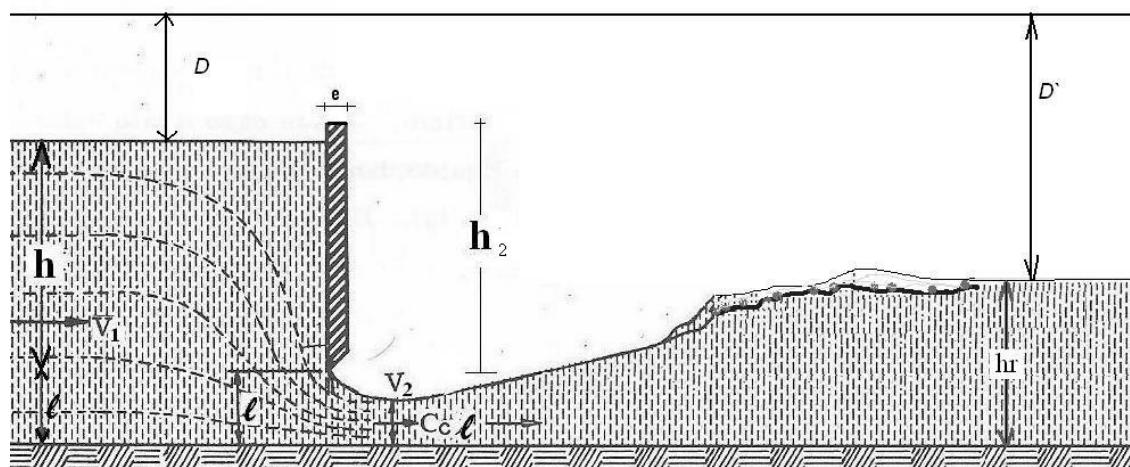


Figura 6. 2 - Vista em corte e frontal da estrutura da viga de retenção (Fonte: o autor).

A “viga de retenção” será considerada como uma estrutura composta de orifício e vertedouro. Este deverá por princípio atender as seguintes exigências:

- g) Ser executada em uma seção de escoamento do fluxo natural do curso de água que permita a elevação da lâmina à montante da seção, sem que provoque prejuízos a bens públicos ou privados já existentes;
- h) Deverá ser aplicada preferencialmente em bacias de pequeno porte, sub-bacias, canais, riachos e córregos;
- i) É recomendado que funcione como um orifício pequeno;
- j) O orifício por baixo da viga será destinado à passagem da vazão normal nos períodos sem precipitações torrenciais;
- k) Para seu custo ser o mais econômica possível, a parede da viga deverá ser delgada;
- l) A partir do ponto em que o aumento de vazão superar a capacidade do orifício, esta passará a funcionar como orifício submetido à carga hidráulica de montante;

- m) O orifício fica situado junto ao fundo e às paredes laterais, e é necessário adotar um coeficiente de correção da contração da veia (seção contraída).

Com a existência da estrutura, ocorrerá automaticamente a perda de carga devido ao estrangulamento do fluxo, que por sua vez causará o aumento do nível de água a montante da seção. O seu limite será o da altura superior da viga, acima do orifício. Essa altura ultrapassada, no caso de precipitações maiores que as possíveis de serem controladas, farão com que a estrutura trabalhe de forma mista de orifício e de vertedouro (Figuras 6.3 e 6.4).

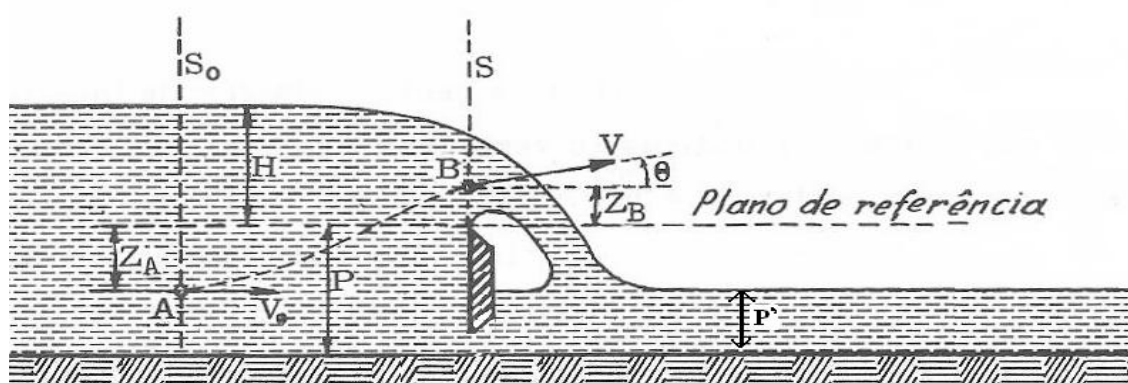


Figura 6. 3 - Vista em corte da estrutura da viga de retenção trabalhando de forma mista (Fonte: o autor).

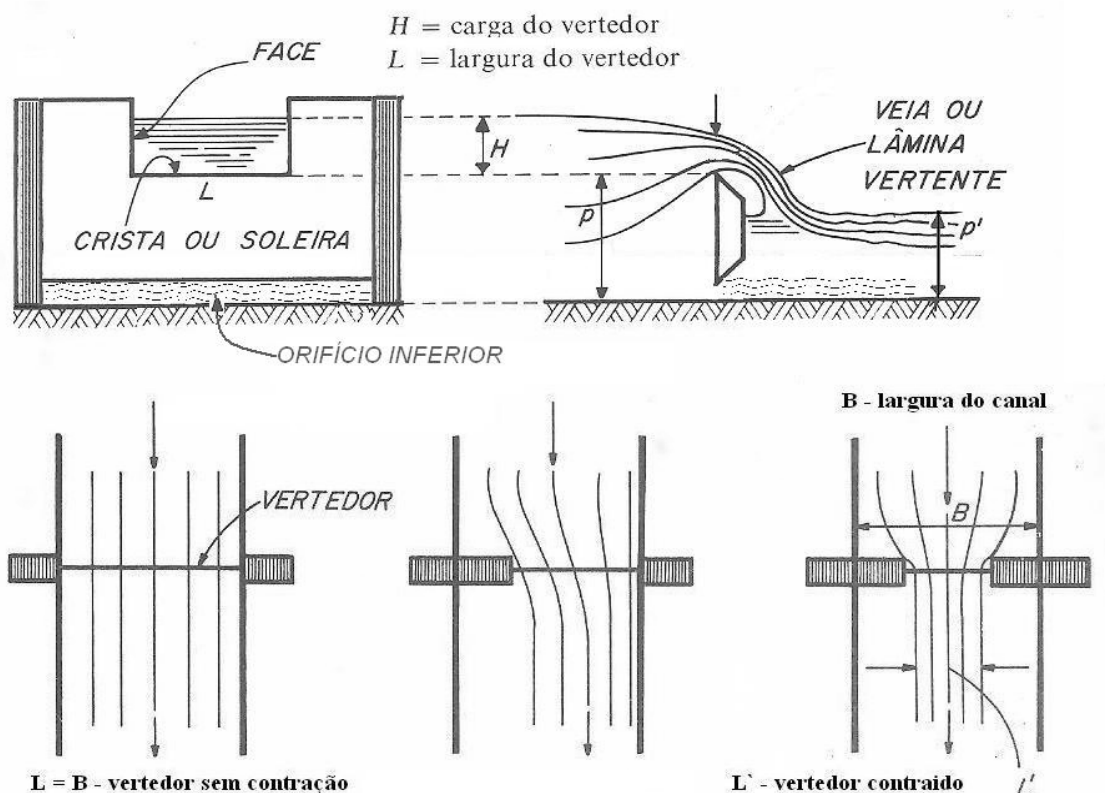


Figura 6. 4 - Viga de retenção e canal (Adaptado de NETTO e ALVAREZ, 1973).

Para a situação de parede delgada, a viga de retenção deverá ter espessura pequena ($e < 0,66 H$), onde "H" é a lâmina de água acima do vertedor (NETTO e ALVAREZ, 1973). A área do escoamento acima do vertedor geralmente é retangular ou trapezoidal.

6.3. - EXPERIMENTO EM LABORATÓRIO

Na simulação feita em laboratório foram adotados os seguintes elementos:

Canal de estudo com base da seção transversal igual a 1,538m e altura das paredes de 1,00m, com entrada para a viga em muros-ala paralelos com comprimento total de 15,50m (Figura 6.5.).



Figura 6. 5 - Canal do laboratório com viga de detenção (Foto do autor).

6.3.1. - AVALIAÇÃO DAS VAZÕES

Os cálculos apresentados a seguir levaram em condições a vazão máxima atingida a montante, sem que esta supere o nível da altura máxima da viga de detenção.

Onde se tem:

$$Q = C_d * L * \ell * \sqrt{2g * h + 0,5 \ell} \quad (6.1)$$

Q = vazão no orifício, em m^3/s ;

C_d = coeficiente de descarga (adimensional);

L = largura da entrada, em m;

ℓ = altura da entrada, em m;

$h + 0,5\ell$ = nível de água a montante da seção, acima do eixo do orifício, sem que ultrapasse a altura da viga, em m;

g = aceleração da gravidade, em m/s^2 .

Como um exemplo, será considerado um caso em que a altura do orifício é de 0,01m e a lâmina de água no canal é de 0,05m acima do orifício.

$C_d = 0,654$ (adotado a partir da tabela do coeficiente de vazão para orifícios retangulares (NEVES, 1974)). Adotando-se,

$$L = 1,538 \text{ m};$$

$$\ell = 0,01 \text{ m};$$

$$h + 0,5\ell = 0,055 \text{ m};$$

$$g = 9,8 \text{ m/s}^2.$$

$$Q = 0,0104 \text{ m}^3/\text{s}$$

A partir do momento em que o volume de água ultrapassa o nível da viga de detenção, esta passará a funcionar como um extravasor de soleira livre vertendo a vazão $Q_e + Q$ para uma situação de escoamento com lâmina superior ao nível da viga.

$$Q_e = \frac{2}{3} * C_d * L * \sqrt{2g} * H^{(3/2)} \quad (6.2)$$

Onde:

Q_e = vazão de extravasão observada, em m^3/s ;

C_d = coeficiente de descarga (adimensional);

L = largura da entrada, em m;

H = lâmina de água acima do vertedor, a montante da seção, em m;

g = aceleração da gravidade, em m/s^2 .

Como um exemplo, adotando uma lâmina no canal no valor de 0,145m, altura da viga igual a 0,10m e altura do orifício 0,01m, obtém-se:

$$C_d = 0,654$$

$$L = 1,538 \text{ m};$$

$$H = 0,145 \text{ m};$$

$$g = 9,8 \text{ m/s}^2.$$

$$Q_e = 0,1639 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q = 0,423 \text{ m}^3/\text{s}, \text{ para } H = 0,145\text{m}$$

O somatório total da vazão dos dois orifícios seria de Q_t :

$$Q_t = 0,24137 \text{ m}^3/\text{s}$$

6.3.2. - ESTIMATIVA DE RESSALTO HIDRÁULICO E REMANSO

Segundo Neves (1970), sendo um canal de baixa declividade, quando, da construção de uma barragem, por exemplo, a água deve elevar-se acima da profundidade normal para vencer o obstáculo, ficando acima desta profundidade até certa distância a montante da barragem.

Para se verificar que a cota de variação da curva que ocorre num canal de baixa declividade, denominado de remanso devido a viga de detenção funcionar como uma barragem, constata-se através do método diferencial no escoamento gradual variado que (PIMENTA, 1981, p277):

$$\frac{dy}{dx} = \frac{I - J}{1 - \frac{Q^2 L}{gA^3}} \quad (6.3)$$

O primeiro termo desta equação, dx/dy , é a declividade da superfície livre do líquido do canal, referida ao fundo deste. A sua integral é a equação da curva de remanso $y(x)$, referida ao sistema de eixos escolhido, segundo Pimenta (1981). Fazendo L igual ao valor unitário, obtém-se:

$$\frac{dy}{dx} - \frac{Q^2}{gA^3} \frac{dA}{dx} = I - J \quad (6.4)$$

Discretizando a equação com diferenças finitas progressivas:

$$\left(\frac{df}{dx} \right)_{x=x_i} = \frac{f(x_{i+\Delta x}) - f(x_i)}{\Delta x} \quad (6.5)$$

$$\frac{y_{i+1} - y_i}{\Delta x} - \frac{Q^2}{g\bar{A}^3} \frac{A_{i+1} - A_i}{\Delta x} = \bar{I} - \bar{J} \quad (6.6)$$

Com:

$$\bar{A} = \frac{A_{i+1} - A_i}{2} \quad \bar{I} = \frac{I_{i+1} - I_i}{2} \quad \bar{J} = \frac{J_{i+1} - J_i}{2} \quad (6.7)$$

Com:

$$J = \frac{Q^2 n^2}{A^2 R_h^{4/3}} \quad (6.8)$$

Se obtem:

$$y_i = y_{i+1} - \left(\frac{Q^2}{g \bar{A}^3} \frac{A_{i+1} - A_i}{\Delta x} + \bar{I} - \bar{J} \right) \Delta x \quad (6.9)$$

Realizando a iteração com os seguintes dados (Tabela 6.1), para análise laboratorial, obtém-se a Tabela 6.2 de valores obtidos:

Tabela 6. 1 - Dados adotados.

| | | | | | |
|---------------------|----------|-------------------|-------------------------|-------|------------------|
| Vazão | 0,1639 | m ³ /s | Aceleração da Gravidade | 9,81 | m/s ² |
| Declividade | 1,20E-02 | m/m | Dx | 0,1 | m |
| Coeficiente Manning | 0,013 | | Profundidade a Jusante | 0,145 | m |
| Extensão | 10 | m | Base | 1,538 | m |

Tabela 6. 2 - Valores Obtidos

| Cota do Terreno m | Cota Linha D'água m |
|----------------------|------------------------|
| 0,00E+00 | 1,45E-01 |
| 1,20E-03 | 1,44E-01 |
| 2,40E-03 | 1,44E-01 |
| 3,60E-03 | 1,43E-01 |
| 4,80E-03 | 1,43E-01 |

| | |
|----------|----------|
| 6,00E-03 | 1,42E-01 |
| 7,20E-03 | 1,41E-01 |
| 8,40E-03 | 1,41E-01 |
| 9,60E-03 | 1,40E-01 |
| 1,08E-02 | 1,39E-01 |
| 1,20E-02 | 1,38E-01 |
| 1,32E-02 | 1,37E-01 |
| 1,44E-02 | 1,35E-01 |
| 1,56E-02 | 1,34E-01 |
| 1,68E-02 | 1,31E-01 |
| 1,80E-02 | 1,28E-01 |
| 1,92E-02 | 1,40E-01 |

Fica então demonstrado, que do ponto de vista prático, o valor importante que deverá ser previsto é o limite do nível de água acima da viga de detenção no caso de funcionamento da estrutura como vertedouro. Esta cota deverá ser segura o bastante para oferecer condições de em caso de grande precipitação não atingir quaisquer elementos construtivos a montante da seção.

O ressalto hidráulico, merece um estudo detalhado para as situações de variação de nível a jusante da seção mesmo com as perdas de carga oferecida pela viga, até o seu limite de capacidade de controle previsto (Figura 6.6).

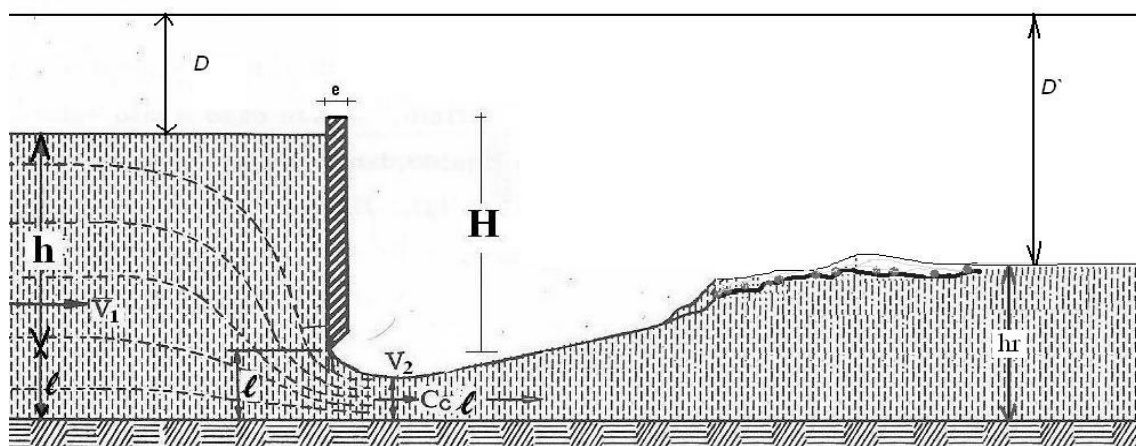


Figura 6. 6 - Variações devido ao ressalto hidráulico (Fonte: o autor).

Foram adotadas as seguintes fórmulas (NEVES, 1970):

$$h_r = -\ell / 2 + \sqrt{(2q^2/g\ell) + (\ell^2/4)}$$
(6.10)

$$q = Q/L$$
(6.11)

Onde:

h_r = a variação do nível de profundidade do canal devido ao fenômeno do ressalto hidráulico;

Q = vazão no orifício, em m^3/s ;

L = largura da entrada, em m;

ℓ = altura da entrada, em m;

q = vazão por metro de canal, em m^3/s m;

g = aceleração da gravidade, em m/s^2 .

Tem-se a simulação para as diversas variações de H no canal até o limite superior da viga de detenção (Tabela 6.3.):

Tabela 6. 3 - Variação de h_r a jusante do experimento.

| Q (m³/s) | Cd | H(m) | Hr(m) |
|----------------------------|-----------|-------------|--------------|
| 0,017602 | 0,659 | 0,025 | 0,02251 |
| 0,023616 | 0,658 | 0,045 | 0,03312 |
| 0,028383 | 0,657 | 0,065 | 0,04169 |
| 0,032457 | 0,656 | 0,085 | 0,04908 |
| 0,036074 | 0,654 | 0,105 | 0,05567 |
| 0,039360 | 0,653 | 0,125 | 0,06168 |

Observa-se para a simulação a variação de h_r comparado com H . O valor de h_r **máximo** deverá ser tal, que a vazão não provoque alagamentos em áreas edificadas a jusante ou que reduza os seus impactos, cumprindo a finalidade da estrutura.

Na Figura 6.7, ilustra a viga de retenção funcionando como orifício afogado aberto entre paredes verticais.



Figura 6. 7 - Viga de retenção funcionando como orifício (Foto do autor).

Na figura 6.8, o nível da água se encontra no limite do nível superior da viga em sua capacidade máxima de retenção.



Figura 6. 8 - O nível da água se encontra no limite do nível superior da viga (Foto do autor).

Na figura 6.9., o nível da água a montante ultrapassou o limite da viga pelo aumento de vazão superior ao controle da mesma, passando a funcionar como vertedouro sem contração.



Figura 6. 9 - O nível da água a montante ultrapassou o limite da viga, passando a verter por sobre a mesma (Foto do autor).

No futuro, as pontes que forem construídas em pequenos riachos e córregos poderão ter embutido dentro do projeto o sistema de “viga de retenção”, desempenhando assim duas funções.

Os espaços destinados a alagamento em áreas a montante da atual área de risco após a implantação da “viga de retenção” poderão ser identificados e demarcados para uso como áreas de conservação de matas ciliares ou para o uso de forma mais moderna como área destinada a parques lineares. Além de impedir a degradação ambiental, evita a erosão, o assoreamento do rio e disciplina o uso do solo, visando assegurar a sustentabilidade ambiental, impedindo a sua ocupação de forma desordenada.

A “viga de retenção” pode possibilitar a redução do escoamento superficial e oferecer um controle de vazão de forma eficiente em áreas de pequenas bacias de drenagem, permitindo uma redução dos problemas de alagamentos existentes.

6.4. – APLICAÇÃO DA VIGA DE RETENÇÃO NA BACIA DO RIO FRAGOSO

Pode-se observar na Figura 6.10, a área de possibilidades de estudo de aplicação de “vigas de retenção” que provocaria um retardamento do volume de escoamento para as áreas mais populosas da Bacia.

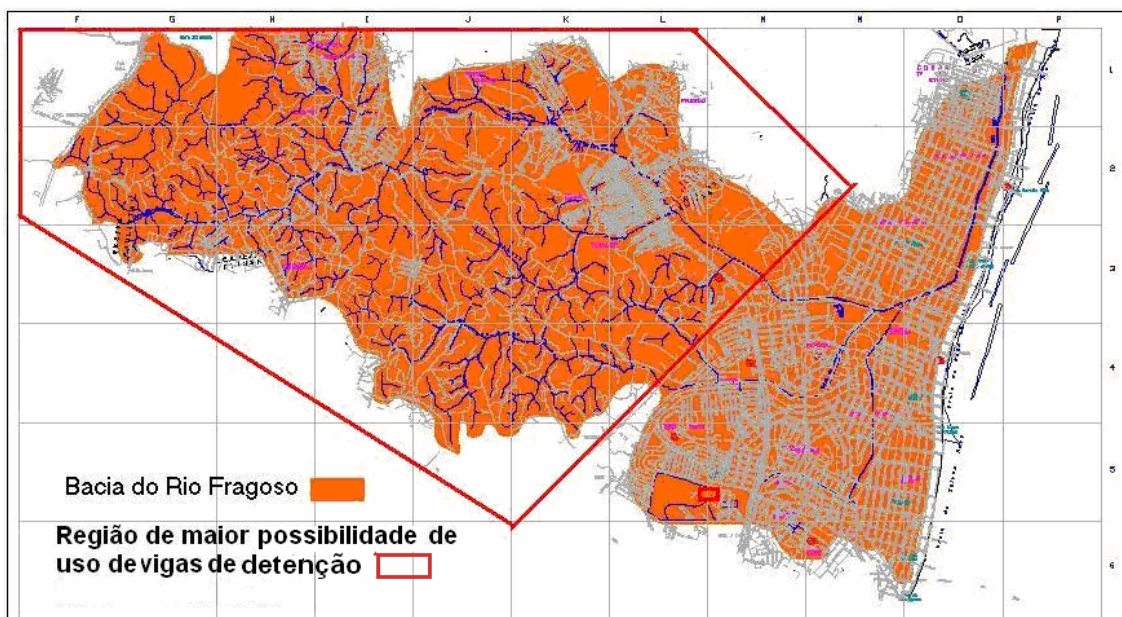


Figura 6. 10 - Área da Bacia com possibilidades de uso de vigas de retenção e barragem na bacia do Rio Fragoso (Fonte: o autor).

Na Figura 6.11 observa-se a localização da viga de retenção como sugestão de aplicação na sub-bacia do canal dos Bultrins.

Esta área encontra-se a montante da região que normalmente sofre alagamentos durante as fortes chuvas e tem todo o sistema viário comprometido, além da paralisação total do comércio e dos prejuízos sofridos pelos proprietários dos imóveis atingidos, como foi apresentado anteriormente no capítulo 3.

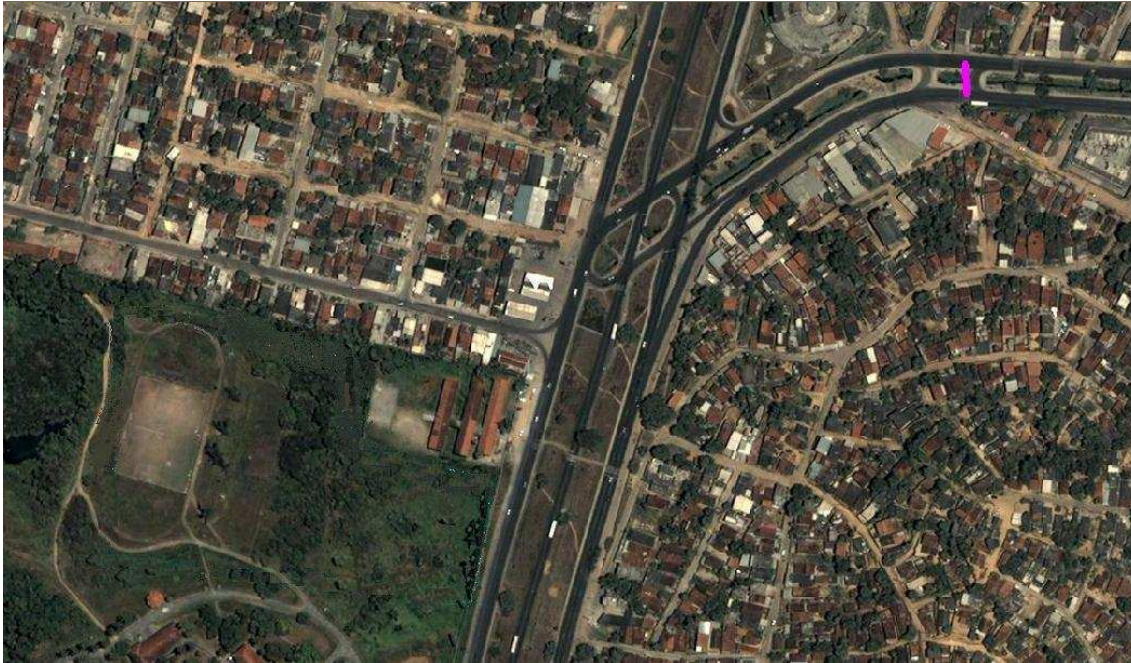


Figura 6. 11 - Área da sub-bacia do Canal dos Bultrins com a localização da aplicação de viga de detenção (Fonte: o autor).

A área em questão possui declividade e as condições necessárias de receber a viga de detenção ao longo de toda a avenida denominada de Chico Science (Figura 6.12.,6.13 e 6.14.).

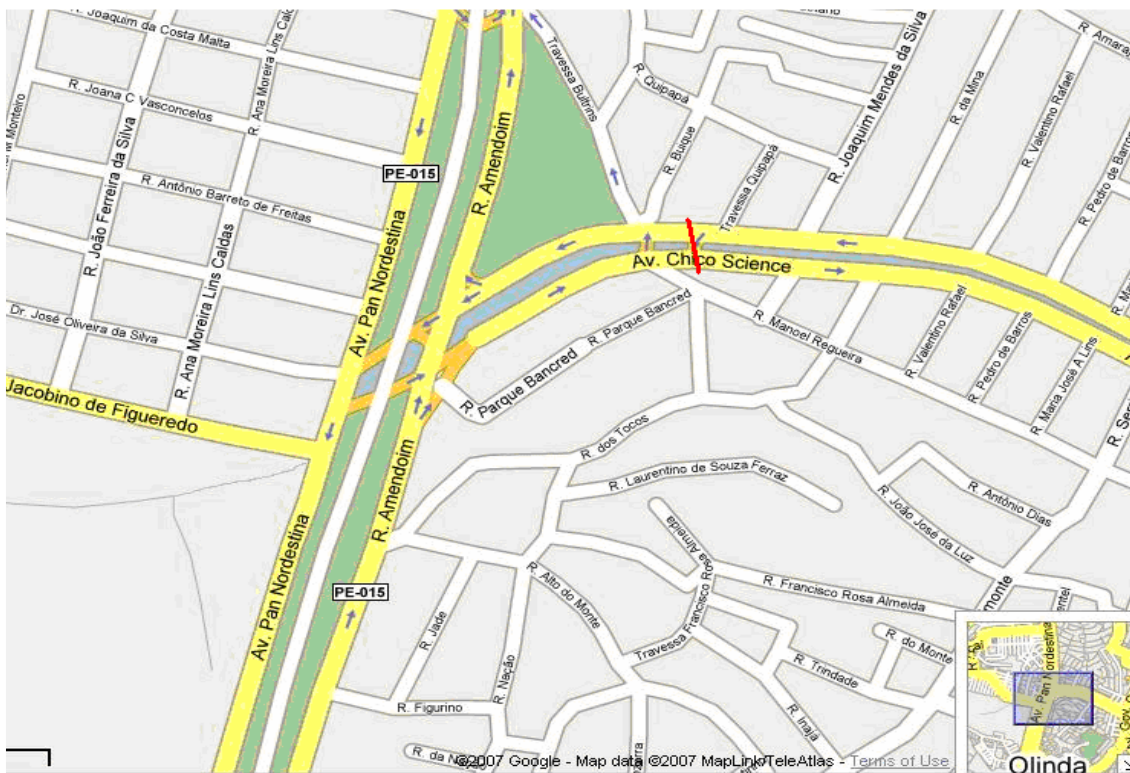


Figura 6. 12 - Trecho da sub-bacia do Canal dos Bultrins da aplicação de viga de detenção (Fonte: o autor).



Figura 6. 13 - Imagem do local da aplicação de viga de retenção em experimento de simulação (Foto do autor).

Realizando os mesmos cálculos adotados em laboratório, com os dados já obtidos no Capítulo 4, nos estudos hidrológicos da sub-bacia, e transportando as informações do trecho onde se sugere a instalação da “viga de retenção”, com as características locais detalhadas na Figura 6.14., tem-se os resultados a seguir.

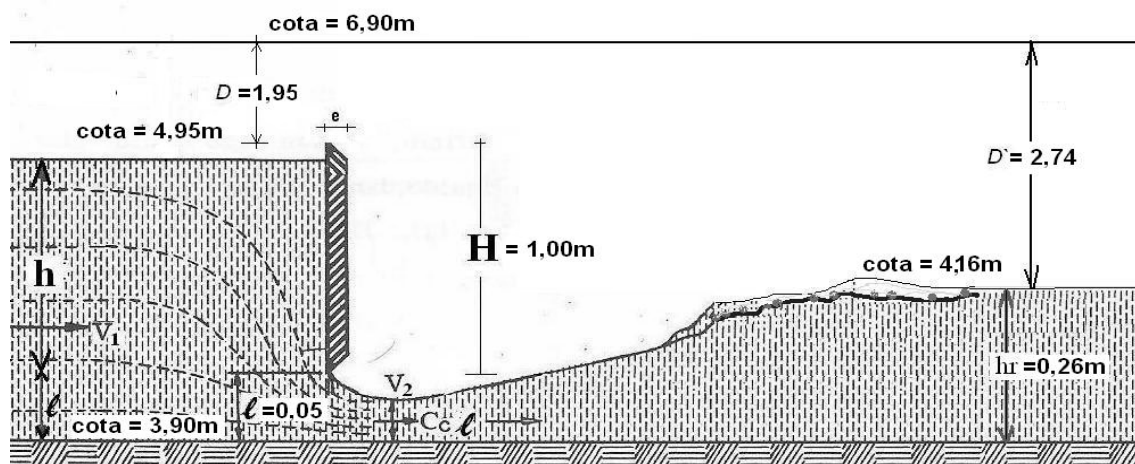


Figura 6. 14 - Detalhes do corte da viga de retenção no Canal dos Bultrins (Fonte: o autor).

Da equação 6.1 e 6.2, se obtém Q e Q_e , respectivamente:

$$Q = 0,87 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_e = 0,12 \text{ m}^3/\text{s}$$

$Q_t = 12,80 \text{ m}^3/\text{s}$, sem que a viga funcione como extravasor.

A tabela 6.4., apresenta a variação das cotas do nível da água do fluxo do rio, a jusante da viga.

Tabela 6. 4 - Variação de hr a jusante da seção simulada na área em estudo.

| Q (m ³ /s) | Cd | H (m) | Hr (m) |
|-----------------------|-------|-------|---------|
| 0,194228 | 0,659 | 0,05 | 0,04502 |
| 0,388456 | 0,658 | 0,2 | 0,10817 |
| 0,549360 | 0,657 | 0,4 | 0,16166 |
| 0,672826 | 0,656 | 0,6 | 0,20293 |
| 0,776912 | 0,654 | 0,8 | 0,23779 |
| 0,868614 | 0,653 | 1 | 0,26854 |

Deve-se observar que a cota mais baixa do local em que ocorrem os alagamentos, a jusante da seção sugerida para a aplicação da viga, é de 4,20m.

A Figura 6.15., apresenta o hidrograma sem a aplicação da viga, como anteriormente visto no Capítulo 5 e com a aplicação da viga. O que demonstra a capacidade de redução e controle do escoamento pela estrutura apresentada.

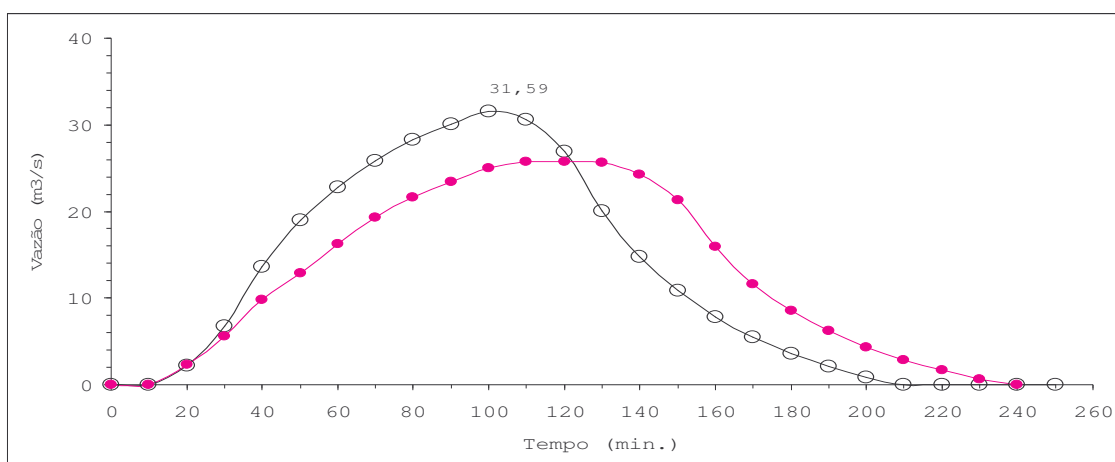


Figura 6. 15 - Hidrograma na condição natural e com a aplicação da viga de detenção no Canal dos Bultrins.

7 – OUTRAS MEDIDAS DE CONTROLE EM BACIAS URBANAS

Os sistemas de controle estrutural são constituídos por medidas físicas de engenharia destinadas a desviar, deter, reduzir ou escoar, com maior rapidez e a menores níveis, as águas do escoamento superficial direto, evitando assim os danos e interrupções das atividades causadas pelas inundações e alagamentos. Esses sistemas envolvem, em sua maioria, obras hidráulicas de porte, com grande aplicação de recursos. Entretanto, essas obras não são projetadas para propiciar proteção absoluta, pois seriam física e economicamente inviáveis na maioria das situações (FCTH, 1999).

Dentre os dispositivos estruturais conhecidos, existem alguns de fácil aplicação e rapidez de instalação, que não resultam em grandes custos em obras e serviços, pelo fato de não requererem o deslocamento de ocupações em áreas impróprias prejudiciais à correta drenagem da bacia e transtornos políticos, o que os torna extremamente viáveis.

A seguir, são descritas, as estruturas de drenagem que se apresentam como melhor solução para o caso específico da Bacia do Rio Frágoso em Olinda, com definição de uso em áreas específicas.

7.1. - RESERVATÓRIOS DE DETENÇÃO EM ÁREAS PÚBLICAS

São dispositivos armazenadores de água precipitada, permitem o aumento do tempo de escoamento, atenuando o pico dos hidrogramas de saída, possibilitando a recuperação da capacidade de amortecimento perdida pela bacia devido à impermeabilização (LOGANATHAN et al, 1985).

Esses dispositivos podem ser feitos na forma de grandes reservatórios cujas finalidades são a detenção e as retenções, e constituem estruturas de controle de drenagem há muito utilizadas de forma eficiente, no domínio do fluxo de rios e riachos de médio e grande porte em todo o mundo.

Poertner (1974, apud CANHOLI, 2005) relatou estudos de viabilidade econômica para a implantação de reservatórios para o controle de drenagem urbana, tendo como motivação principal nesses casos pioneiros, a redução de custos visando à otimização econômica dos projetos.

Maidment (1993, apud TUCCI e GENZ, 1995), definiu de forma simples os dois grupos de bacias mais comuns, caracterizando-as como:

Bacia de Detenção: aquela cujo projeto prevê o uso de sua área sempre seca, retendo o excedente do volume de água superficial apenas durante as fortes chuvas, evitando que o aumento da vazão venha a ultrapassar a capacidade de suporte do leito do rio ou riacho ao qual se encontra interligado.

Bacia de Retenção: aquela que possui em sua área uma lâmina de água permanente, possuindo múltiplos usos, com destaque para o armazenamento temporário do excedente de água de escoamento superficial em caso de fortes chuvas. Esse tipo promove na maioria dos casos o controle da quantidade de água e a sua qualidade. Esse sistema provoca a sedimentação, a infiltração e melhora a estética urbana, podendo eventualmente ser útil como área de lazer.

As bacias de detenção/retenção têm sido projetadas, no Brasil, para períodos de retorno variáveis entre 25 e 50 anos, quando de médio e grande porte, variando principalmente de acordo com a área disponível.

Inicialmente, as bacias de detenção ou retenção foram construídas apenas para a laminação das cheias em rios e córregos urbanos. No entanto, com o passar do tempo agregaram mais duas outras importantes funções: reter os sedimentos e melhorar a qualidade da água a jusante. Mais recentemente, esses sistemas são incorporados em projetos urbanísticos e paisagísticos que aproveitam a área para recreação e lazer. No Quadro 7.1., observam-se as características principais dessas estruturas de controle de drenagem urbana.

No controle da poluição difusa em áreas urbanas, o estado da arte do projeto e a operação desse tipo de bacia está em um nível rudimentar. Porém, os prognósticos de sua eficiência são positivos. Elas são usualmente projetadas para remover os sólidos em suspensão e os poluentes absorvidos ou carregados pelas chuvas juntamente com o lixo, para eventos com períodos de retorno, tipicamente, entre 1 e 2 anos, quando de pequeno porte. Os poucos resultados de campo e de laboratório indicam que a eficiência na retenção de sólido é da ordem de 90%, e pode reduzir de forma significativa, outros tipos de poluentes. Exemplos desses poluentes são: o fósforo, os pesticidas, os metais pesados e as bactérias, que também podem ser analisados e pesquisados, segundo WALECH (1989).

Quadro 7. 1 – Estruturas de controle de detenção e ou retenção e suas características principais.

| ESTRUTURA DE CONTROLE | CARACTERÍSTICAS PRINCIPAIS |
|-----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| DETENÇÃO | Reservatório normalmente conservado seco, utilizado apenas para os momentos de pico, ou seja, no controle quantitativo de volume; As detenções fechadas podem custar até sete vezes mais que as abertas sem considerar as desapropriações necessárias. |
| RETENÇÃO | Reservatório que mantém de forma constante uma lâmina de água, além de poder reduzir o pico do fluxo do curso de água a que se encontra interligado, melhorando a qualidade da água; Necessitam de maior volume e mais espaço que as utilizadas apenas para detenção. |

Quanto ao fluxo de drenagem, as bacias podem ser:

Em linha ou em série (on-line), quando a área da bacia foi construída no alinhamento do talvegue onde se encontra o leito do rio ou riacho que se pretende controlar;

Em paralelo (off-line), quando sua área se encontra ao lado do fluxo natural do escoamento do curso de água que será contido quando das fortes chuvas.

Quanto à forma de construção, as bacias de detenção e/ou retenção podem ser:

A céu aberto, no caso de se encontrarem com a lâmina superficial em contato direto com a atmosfera;

Subterrâneas, caso em que se encontram abaixo do nível da área de trânsito. Esse tipo é adotado em casos excepcionais, devido ao alto custo e à necessidade de espaço, quando comprovadamente existe uma densa ocupação da área de implantação da bacia sem condições de desapropriação .

A bacia de detenção e/ou retenção pode ainda ser permeável ou impermeável de acordo com o revestimento de fundo.

Quanto ao emprego especial, trata-se de:

- Bacia de detenção/retenção depuradora, quando sua principal função é a de reter sólidos em suspensão e absorver poluentes carreados pelo escoamento pluvial, além de outras possíveis funções;

- Bacia de Decantação e Sedimentação, quando sua principal função, dentre outras, é a de impedir o assoreamento do curso hídrico receptor;
- Bacia de Múltiplo Uso, quando atende a vários tipos de situações sem destaque para uma determinada função específica; este tipo bacia é o mais comum.

Segundo WALECH (1989), as bacias tipo alagadiço (Wetland), que são bacias com características semelhantes a banhados, são de uso recente e têm como objetivo principal a melhoria da qualidade da água a jusante, funcionando como uma espécie de filtro biológico.

Podem ser utilizados sistemas combinando os dois tipos, constituindo-se em Bacias de Retenção/Detenção – Sedimentação – Wetland, também para mitigar os problemas de qualidade e quantidade.

No Quadro 7.2., observa-se um resumo das principais vantagens e desvantagens do uso desse tipo de estrutura.

Quadro 7. 2 – Vantagens e desvantagens das estruturas de reservatórios de detenção e retenção de menor porte, em áreas urbanizadas.

| VANTAGENS | DESVANTAGENS |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Menor custo de operação e manutenção que as grandes intervenções. | Reservatórios maiores têm a oposição da população. |
| Custo reduzido se comparado ao grande número de controles distribuídos em área urbanizada para se obter resultados semelhantes | A sua manutenção se faz necessária após todo evento em que o seu uso seja requerido por conta das fortes chuvas. |
| De fácil construção. | |
| É fácil a localização de áreas apropriadas dentro do espaço urbano. | |

Os estudos de estimativa de volumes de reservação, tanto na fase de planejamento como na de projeto são fundamentais. Há, no entanto, uma fase anterior à de planejamento, em que segundo Canholi (2005), o projetista vê-se na posição de decidir se uma obra de detenção deve ser considerada. Os métodos simplificados expeditos têm seu valor nessa fase inicial de tomada de decisão. Nos passos seguintes deverão prevalecer os métodos mais complexos de cálculo.

No Brasil, a técnica de construção de reservatórios de detenção foi aplicada inicialmente em cidades do estado de São Paulo e do Rio Grande do Sul. O Quadro 7.3 mostra as características de alguns do estado de São Paulo.

Quadro 7. 3 – Características de algumas bacias de detenção no estado de São Paulo (CANHOLI, 2005).

| NOME | ÁREA DE DRENAGEM (ha) | VOL. RESERV. (m ³) | RELAÇÃO DETENÇÃO/ÁREA DE DRENAGEM (m ³ /ha) |
|---------------|-----------------------|--------------------------------|--------------------------------------------------------|
| Pacaembu | 222 | 74.000 | 333 |
| Água Espirada | 860 | 387.000 | 450 |
| Bananal | 1340 | 234.000 | 175 |
| Guarau | 930 | 223.000 | 240 |
| Caguaçu | 1100 | 391.000 | 355 |
| Limoeiro | 870 | 343.000 | 394 |
| Aricanduva | 475 | 173.000 | 364 |

Para a bacia do Rio Frágoso em Olinda, uma proposta inicial baseada numa análise de reconhecimento geral da bacia, estabelece:

a) O posicionamento de reservatórios de detenção nas áreas da bacia a montante dos trechos dos alagamentos e cheias conforme o indicado na Figura 7.1.

b) Uma análise de estimativa de vazão com métodos computacionais, com a aplicação de dados a serem coletados, que permitam uma análise mais completa sobre a possibilidade real de aplicação dos conhecimentos construtivos existentes, nas áreas identificadas.

c) Análise de alternativas para a execução deste tipo de estrutura, da forma mais econômica possível, desde que atenda a todos os fatores intervenientes que demonstrem a viabilidade do empreendimento.

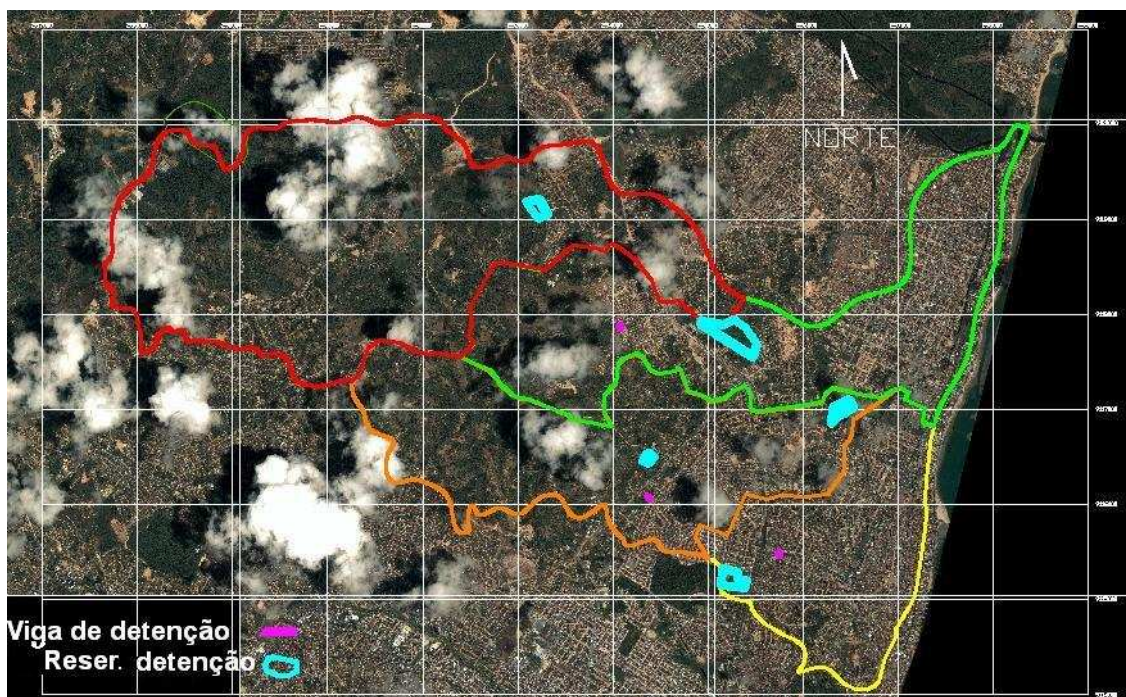


Figura 7. 1 - Áreas da bacia definidas para a aplicação de vigas de detenção e reservatórios de detenção.

7.2. - CANAL DE EXTRAVASAMENTO

Um canal de extravasamento com características de canal de infiltração poderia ser aplicado no Rio Fragoso especificamente em áreas que atenuassem ou eliminassem os impactos negativos do excedente do escoamento superficial nas áreas de risco.

Como se pode observar na Figura 7.2., as bacias de infiltração/detenção com extravasamento **ID 1** e **ID 2** teriam uma trajetória retilínea em direção ao mar, acompanhando o traçado das ruas existentes, evitando-se assim os custos e transtornos com possíveis remoções e indenizações prediais.

Seria constituído basicamente de um conjunto de elementos pré-moldados receptores ou bocas de lobo como o projetado pelo autor (Figura 7.3), a título de croqui elucidativo, com conduto livre circular ou retangular em seu final na ligação com o mar.

A extremidade inicial seria localizada na posição mais crítica de extravasamento do rio, sendo sua captação dotada de um vertedouro capaz de

ser excedido apenas em caso de vazões máximas a serem previamente definidas.

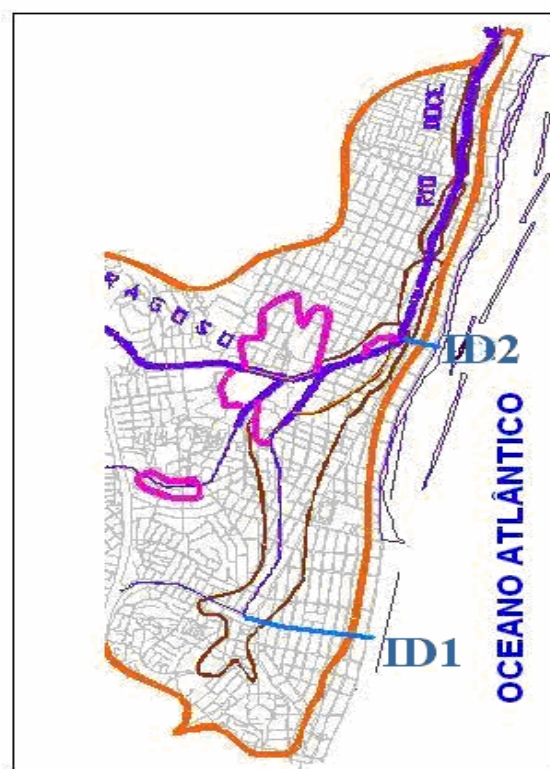
Na extremidade final, o deságue seria feito em lançamento no mar com comportas ou forma construtiva capazes de impedir seu preenchimento durante a preamar excepcionais. Essas comportas seriam abertas durante as fortes chuvas. Valendo ainda ressaltar que existem hoje estruturas tubulares de drenagem cujo lançamento ocorre nas imediações do trecho definido em projeto, não sofrendo atualmente qualquer avaria ou obstrução durante os períodos de ressaca.

Principais vantagens:

- Controle das enchentes da Bacia do Rio Fragoso;
- Não-interferência do escoamento normal do rio.
-

Desvantagens:

- Custo financeiro de aplicação e manutenção;
- Transtornos naturais quando da implementação de estruturas desse porte para as vias de acesso e trânsito local;
- Aumento dos riscos de contaminação das águas do mar da área litorânea, durante o período das fortes chuvas.






-  ESTRUTURA DE INFILTRAÇÃO/DETECÇÃO E EXTRAVASAMENTO
-  ÁREAS ALAGADAS TEMPORARIAMENTE
-  ÁREAS DE ALAGAMENTOS EVENTUAIS DURANTE FORTES CHUVAS

Figura 7. 2 - Sugestão do posicionamento de estruturas de infiltração com possibilidade de extravasamento (Fonte: acervo do autor).



Figura 7. 3 - Sugestão de estrutura de canal de extravasamento com possibilidade de funcionar como estruturas de infiltração/percolação (Fonte: acervo do autor).

7.3. - ESTRUTURAS DE CONTROLE EM ÁREAS DO LOTE

O sistema de coleta em telhados é o mais simples dos métodos de coleta de água de chuva, sendo os principais componentes do sistema: o telhado, a calha, a tubulação e conexões e o reservatório. A calha ou conduto serve para transportar a água para o tanque armazenar a água. Neste caminho, existe a possibilidade de acréscimo de uma série de elementos ao sistema, que podem contribuir para a melhoria da qualidade da água capturada para uso em diversos fins, como será visto adiante.

Estes sistemas de coleta de águas de chuva são eficientes no controle do escoamento superficial, como será visto a seguir e, normalmente são denominados de estruturas de controle no lote ou de “controle na fonte”.

7.3.1. - RESERVAÇÃO

Alguns estudos efetuados em países desenvolvidos apontam para a vantagem da utilização da água das chuvas mesmo em cidades que dispõem de sistemas de abastecimento público com água de excelente qualidade. Um exemplo clássico é o Japão, onde a maioria das cidades, por tradição e cultura, adota o aproveitamento das águas da chuva em lotes individuais ou em comunidade.

Como exemplo do Japão podem ser citados:

1) Um projeto simples do arquiteto Kiyoshi Sato, com área total construída de 130,0m², com a utilização de águas pluviais direcionadas para o vaso sanitário, para regar plantas e refrigeração da casa e equipamentos. O projeto foi desenvolvida em dezembro de 1997 na cidade de Saitama no Japão;

2) Um sanitário público, com 10,0m² de área coberta, construído em 1993 pela Divisão de Parques da Prefeitura da Cidade de Adachi, na região metropolitana de Tóquio no Japão. Evidentemente, com algumas adaptações e inovações seria uma excelente alternativa para cidades brasileiras tão carentes de sanitários públicos;

3) Um projeto de arquitetura de um posto de gasolina desenvolvido pelo Professor de Arquitetura Nobuhiro Suzuki da Universidade de Ciências de Tóquio, em uma área de terreno de 1.800,00m², área construída de 250,00m²,

área de coleta de águas pluviais de 350,00m² (com vegetação) e com um reservatório de águas pluviais de 100,00m³, localizado em Tóquio – Japão (FENDRICH et al., 2002).

Nas últimas décadas tem havido uma tendência na utilização de reservação da água da chuva, para suprimento de residências e até mesmo para lojas e para a indústria, nos países mais desenvolvidos, como forma de economizar a água tratada, evitando também, problemas de drenagem em áreas com grande densidade populacional, além de melhorar a oferta de mais recursos hídricos naturais.

A utilização da água da chuva nesses países passou a ser um grande negócio na indústria da construção civil, com a fabricação de tanques pré-moldados e sistemas de coleta e armazenamento para uso da água de serviço não-potável em residências, condomínios, lojas, postos de lavagem, indústrias, etc., a exemplo do que ocorre na Alemanha (HERMANN; SCHMIDA, 1999), onde uma empresa líder no mercado de fabricação de tanques de concreto pré-moldados já instalou no período de 10 (dez) anos mais de 100.000 (cem mil) tanques para armazenamento de água de chuva, para utilização como água de serviço não-potável.

No Reino Unido, a aplicação em residências tem priorizado emprego em descargas sanitárias, que representam cerca de 30% do consumo residencial (FEWKES, 1999).

A água de chuva reservada também pode ser utilizada em lavagens e irrigação de jardins, significando uma expressiva economia de água potável, que, na Suécia, chega a 45% desse consumo (VILLARREAL; DIXON, 2004).

Atualmente, o elemento que mais pesa no custo de implantação do sistema de captação de águas pluviais é o reservatório, notadamente o inferior, já que a idéia básica é a de que quanto mais água de chuva se puder armazenar, melhor será para o usuário do sistema. Porém, tal conceito pode inviabilizar a implantação do sistema já, que a aquisição ou construção de reservatórios de grandes proporções, na maioria das vezes com capacidade ociosa, acarretará um custo significativo, senão proibitivo, muitas vezes devido a um problema de espaço físico para sua implantação.

O dimensionamento da reservação de água é condicionado basicamente por dois grupos de fatores: os referentes à disponibilidade de água e os

relativos ao consumo. A disponibilidade de água pode ser modelada a partir das características de precipitação local e das características da superfície de captação.

Para melhor definir o volume a ser reservado de acordo com as características locais de precipitação, faz-se necessário:

1) Finalidades de uso, para quais usos pretende-se ou é aceitável aproveitar as águas pluviais em meio urbano. Pode-se dividir em três tipos distintos: Instalações prediais e seus diversos usos não potável; Instalações industriais, seus processos e usos que não exigem qualidade da água na maioria dos casos, mas requerem uma significativa área de coleta; Instalações públicas – pode-se citar como exemplo o Ginásio de Sumô, Ryogoku Kokugikan na cidade de Sumida no Japão, construída em 1985, com área de captação de 8.400 m², e armazenamento subterrâneo com 1.000 m³.

2) A qualidade da água coletada. Esta é uma questão que já tem sido pesquisada. Sabe-se que, a despeito da acidez natural das chuvas, este fator não chega a ser significativo nas diversas pesquisas feitas em águas coletadas em Tokyo. Mais importante é a qualidade bacteriológica da água. Foi constatada a presença de diversos patógenos; isso implica a necessidade de se realizar a desinfecção para proteger o usuário (ICHIKAWA, 1988a);

3) Os valores de consumo de água, identificando as relações entre as disponibilidades físicas de água e o consumo provável.

Segundo Ayub et al., (2005), para que se possa estudar um método que viabilize técnica e economicamente a implantação de um sistema de captação da água da chuva, é necessário verificar as variáveis que interferem na implantação e suas relações com ele, ou seja, criar uma modelagem de captação, reservação e distribuição da água da chuva.

A disponibilidade de água pluvial (V_{ap}) é função da extensão do período chuvoso (e), da precipitação (i), da área de captação (A) e da duração da precipitação (t). O volume de reservação disponível pelo lado da oferta (V_o) será função da disponibilidade (V_{ap}) e da parcela aproveitável (p_a). Esta, por sua vez, é função da qualidade física e bacteriológica da água. Para esta ainda não foi estabelecido qualquer equacionamento. Constitui fronteira de pesquisa, segundo a seguinte Equação 7.1 (adaptado de AYUB et al., 2005):

$$\mathbf{Vap = f(e, pa, i, A, t)} \quad (7.1)$$

Onde:

e = extensão do período chuvoso;
 pa = parcela aproveitável de água;
 i = precipitação;
 A = área;
 t = tempo de duração da chuva.

$$\mathbf{Vo = f(Vap, pa)} \quad (7.2)$$

Onde volume de água consumido (Vac) é função da vazão consumida (Q) e do tempo de utilização (tu) das peças servidas pela água pluvial reservada ao longo de um intervalo de tempo (T) em que é viável reservar a água de forma a mantê-la com características que permitam o seu aproveitamento (Equação 7.3).

Considera-se que o tratamento deve ser simples, do tipo sedimentação, filtração e desinfecção. Buscam-se sistemas nos quais sejam desnecessárias as reações químicas, biológicas ou físicas que demandem controle por parte do usuário leigo.

$$\mathbf{Vac = f (Q, tu ,T)} \quad (7.3)$$

Assim, o volume de reservação (Vr) será o menor valor entre Vo e Vac (Equação 7.4):

$$\mathbf{Vr = \min \{Vo e Vac\}} \quad (7.4)$$

Ainda segundo Ayub et al., (2005), considerando um sistema de aproveitamento de água de chuva como uma obra dentro de um empreendimento, é de vital importância que o estudo custo/benefício mostre a viabilidade de sua execução.

O custo de implantação (C_i), em uma primeira e mais superficial análise é proporcional ao volume de reservação (V_r). A quantidade ou comprimento total das calhas (C_a), condutores (C_o), e tubulação (C_t), quantidade de dispositivos (singularidades) usados para filtrar e limpar a água captada (ralos, filtros entre outros) (C_s), ao incremento de dispositivos que impeçam a contaminação da água tratada pela água da chuva, à área de captação (A). A oferta de chuva – índice pluviométrico (i), à demanda de água (D_a), à instalação de dispositivos de recalque – bombas de recalque (B_o), entre outros, resulta na Equação 7.5.

$$C_i = f(V_r; C_a; C_o; C_t; C_s; A; i; D_a; B_o; \dots) \quad (7.5)$$

É importante observar que cada item anteriormente descrito contribui em maior ou menor grau para aumentar ou diminuir o custo de implantação do sistema de captação da água da chuva.

Pode-se considerar como primeiro modelo de análise, onde o numerador da Equação 7.5 pode ser expresso como sendo o produto escalar dos valores variáveis e pesos: $[v] \times [p]$ (Equação 7.6).

$$C_i = (v_1p_1+v_2p_2+v_3p_3+\dots+v_n p_n)/(p_1+p_2+p_3+\dots+p_n) \quad (7.6)$$

Onde:

C_i – custo de implantação;

P_i – peso ou custo associado à variável i ;

V_i – Variável do sistema

Ou seja (Equação 8):

Ou,

$$C_i = \Sigma v_i p_i / \Sigma p_i \quad (7.7)$$

O estudo pode ser feito em função de uma ou mais variáveis, para uma determinada região (fixando-se o índice pluviométrico). Variando-se o que se deseja estudar e fixando-se os demais. Pode-se verificar, para cada caso, a viabilidade ou não de implantar um sistema de captação de águas de chuva.

Em relação aos pesos dados para cada variável, estes deverão retratar quais as variáveis prioritárias, as de maior influência, as que devem ser desconsideradas na análise.

Na tentativa de contribuir para a melhoria dos sistemas de captação de águas pluviais existentes na nossa região, o autor em 06/03/2006, solicitou a patente de um dispositivo que poderá melhorar as condições sanitárias das águas de chuva, tendo sido inicialmente denominado de: “Dispositivo de Captação Inicial de Água de Chuva” (Figura 7.4).

Trata-se de um dispositivo que faz parte do conjunto de etapas para se manter a segurança sanitária durante a captação da água de chuva para reservação e uso posterior. O dispositivo tem a função de desviar as primeiras águas de chuva, favorecendo a limpeza da área de captação, evitando o lançamento das impurezas acumuladas durante o período de estiagem.

Este equipamento poderá ser regulado para o tempo que se desejar e o volume de água de chuva que se julgar suficiente para cumprir a etapa inicial de um processo de captação e aproveitamento das águas pluviais.

Basicamente, trata-se de uma válvula com selo hídrico, conforme o detalhe 1, com fecho hídrico (1) em borracha e com bóia (3) regulável, inserida em pino (2) com rosca sem fim em PVC. Estes elementos trabalham no interior de uma peça em PVC semelhante a uma conexão em T, de diâmetro variável de 50 mm a maiores valores. É possível a adaptação de peças de tubulações de águas pluviais de PVC, conforme as normas NBR 5626 e NBR 5688, que poderá ser facilmente acoplada a reservatórios.

No Detalhe 2 em ampliação da Figura 7.4, o reservatório se encontra vazio e no 3, se encontra cheio de água. Este reservatório de apoio receberá o volume de água responsável pela limpeza da área de captação, podendo ser reutilizado tantas vezes quantas forem as necessidades do local. O excedente de água será imediatamente direcionado para a tubulação em (4), dirigida para o reservatório, podendo antes passar por filtros, os mais diversos.

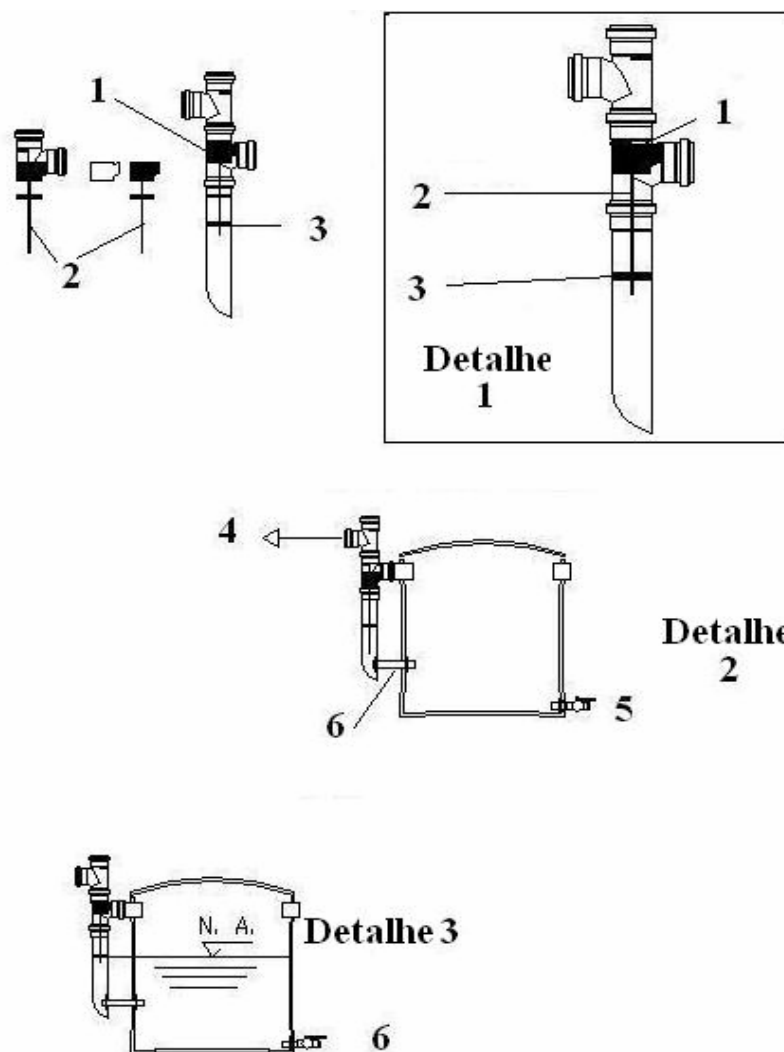


Figura 7. 4 - Dispositivo de Captação Inicial de Água Chuva e sua aplicação em reservatório comum (patente solicitada pelo autor).

Mesmo após serem removidas as primeiras águas de chuva iniciais, limpando a maior parte da sujeira acumulada na cobertura e possuindo um filtro que impeça o acesso ao reservatório de material grosseiro, tais como folhas e outros elementos carreados da cobertura, é possível que partículas de diversos tamanhos e pesos possam, mesmo depois de passar por um pré-filtro, serem removidas em uma célula de sedimentação.

Muitos autores preconizam que o sistema de reservação em lotes urbanos é viável apenas em áreas onde o poder aquisitivo da população permite os custos com a sua execução. No entanto, pesquisadores, dentre os quais o autor, componentes da parceria recente entre o Ministério das Cidades e a Escola Internacional de Água para o Desenvolvimento (Hydroaid), sediada em Turim (Itália), constataram e sugeriram a aplicação e incentivo por parte

dos gestores municipais de solução simples, ecológica e economicamente correta da instalação de reservatórios individuais para unidades habitacionais de baixa renda. A Figura 7.5 foi apresentada em relatório de visita técnica, como alternativa para a constante falta de água de uso diverso, tendo em vista a constatação do uso por parte de alguns moradores de soluções de reservação sem os devidos cuidados de boa qualidade, e que também funcionam como alternativa válida para o controle de drenagem na fonte como técnica não-convencional.

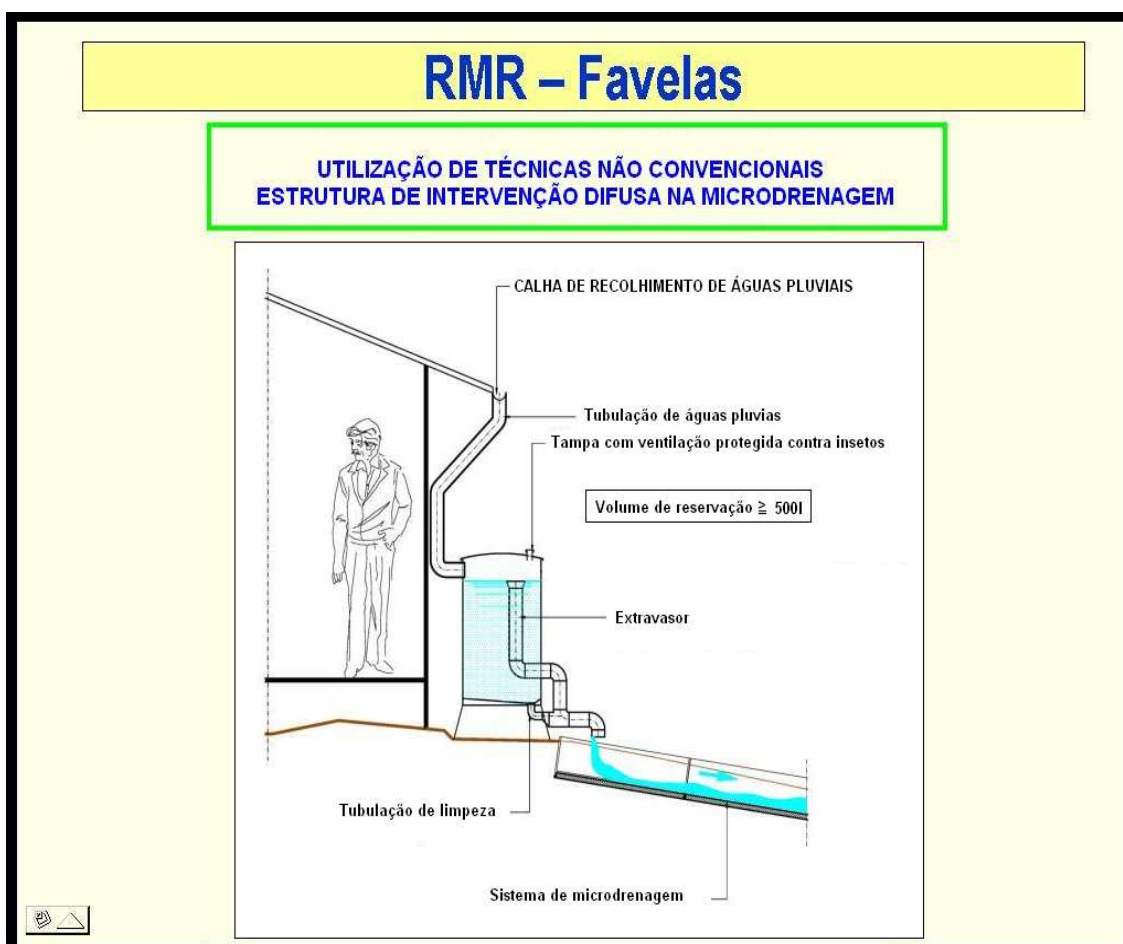


Figura 7. 5 - Propostas dos pesquisadores da Hidroyd para moradias de baixa renda (PAOLETTI, 2005).

Existem sistemas já industrializados que prevêm a utilização do telhado e calhas como captadores da água de chuva, que é dirigida para um filtro autolimpante e levada para uma cisterna ou tanque subterrâneo. Nesse exemplo, tem-se uma cisterna que forma com o filtro um conjunto eficiente e simples de instalar, mesmo sob a terra. Para evitar que a sedimentação do

fundo da cisterna se misture com a água, esta é canalizada até o fundo, onde por meio de um "freio de água", brota sem causar ondulações. Estocada ao abrigo da luz e do calor, a água se mantém livre de bactérias e algas. Uma outra parte do sistema cuida de sugar a água armazenada de pontos logo abaixo da superfície, para não movimentar eventuais resíduos.

As possibilidades de uso do sistema de captação de água de chuva residencial são enormes. Pode ser da forma mais artesanal, construída de acordo com as necessidades, como também em estruturas produzidas em série com tecnologias avançadas de reservação e conservação.

Muitas são as pesquisas que têm sido feitas para o uso de reservatórios de lote residencial/comercial para acumulação de água da chuva e amortecimento de cheias. Esta é uma intervenção que pode promover múltiplos benefícios. Um dos resultados diretos é a redução do consumo de água fornecida pela concessionária de serviços de abastecimento em virtude da acumulação e posterior uso da mesma. Isso se deve também à redução da vazão de saída do lote, capaz de atuar como controle de cheias urbanas.

Schilling (1982, apud MARSALEK et al., 2000) analisou o uso de cisternas na Alemanha em uma área residencial de 2,69 ha. onde 29% representavam telhados. Com 140 cisternas de 0,5m³, obteve reduções de 10 a 20% de vazão de pico de todos os tempos de retorno. Para enchentes freqüentes (risco menor que um ano), a redução chegava a 80%.

Tsyrchiya (1981, apud MARCUS et al., 2000) descreveu que há duas décadas a construção de reservatórios de retenção é obrigatória no Japão, devido ao crescente aumento das cheias como conseqüência da urbanização. Cerca de 62% desses reservatórios eram residenciais, representando em geral a ordem de 1 a 2% da superfície de controle.

Considera-se a retenção ou reservação no lote uma atividade fundamental para o controle da drenagem urbana no caso específico da Bacia do Rio Frágoso em Olinda. Para isto, deve ser incentivado ou definido em código de obras pelo gestor municipal, para novos e antigos empreendimentos, com as vantagens de:

- Passa a ter, possivelmente, um custo integrado à construção inicial, de responsabilidade única do empreendedor da obra;

- Produz um resultado financeiro para o usuário que justifica o custo inicial;
- É comprovadamente uma forma eficiente de redução da vazão de pico para todos os tempos de retorno, reduzindo assim o impacto da impermeabilização da área construída;
- É fácil de pôr em prática por meio de providências concretas em uma área urbanizada ou por urbanizar em edifícios públicos ou privados, podendo inclusive ser útil à população.

7.3.2. - DETENÇÃO

O micro-reservatório de detenção é uma estrutura para controle na fonte. Atua no próprio local onde o escoamento é gerado. Pode captar as águas de todo o lote ou apenas do telhado (GENZ, 1994).

Esse reservatório é recomendado e implementado no lote, na microdrenagem e tem como principal vantagem a execução do projeto de forma mais simples e com os custos sobre a responsabilidades do construtor empreendedor. Pode ser aplicada em pequenos espaços livres, como jardins, quintais ou mesmo na estrutura predial. É também possível a aplicação desse tipo de dispositivo na macrodrenagem. No entanto, os custos são quase sempre muito elevados, além de solicitar grandes áreas livres com posicionamento adequado.

O uso de micro-reservatórios de detenção representa ainda uma série de opções de redução da utilização de água potável em diversas atividades urbanas, que não requerem a potabilidade da água para sua correta aplicação. Tais usos como jardinagem, limpezas, lavagens diversas e, principalmente, para descarga de bacias sanitárias, são de grande utilidade para uma residência.

Áreas urbanas definidas para estacionamento de veículos e recreação, poderão ser planejadas para acumular grandes estoques de águas pluviais e seu excesso pode ser lançado no próprio terreno de modo a restituir

parcialmente a capacidade de infiltração natural existente antes da impermeabilização ou para serventias diversas.

A mais antiga referência anotada sobre o acúmulo de água em cisterna, em Olinda data de 1587, referindo-se ao uso pela população de água de chuva do Colégio dos Jesuítas. Em 1624, o Frei Jaboatão do Convento Franciscano, em seu “Novo Orbe Seráfico Brasílico”, inclui a descrição de sistema de captação e transporte de água de chuva para uma cisterna de grande serventia para o convento e toda a população (MELLO, 1991).

No Japão, a cultura da preservação da água é milenar. Existem ruas denominadas “Eco-Roji” (Roji significa rua em japonês), onde existem dispositivos chamados “Rojison”, que significa ruas ecológicas. O “Rojison” é um reservatório subterrâneo com capacidade de 10m^3 de águas pluviais dotado de uma bomba manual. Esse armazenamento serve como recurso hídrico para regar plantas, além de outras finalidades e, para uma emergência, na falta de abastecimento público de água (FENDRICH, OLIYNIK, 2002).

Sugio et al. (1995) realizaram estudos através de simulações com modelo próprio, utilizando reservatórios residenciais para armazenamento da água precipitada proveniente dos telhados, numa área comercial/residencial de $3,54\text{ km}^2$, na cidade de Miyazaki, na parte sul da ilha de Kyushu, Japão (lembrar que a sub-bacia do Canal dos Bultrins possui $3,96\text{ km}^2$). Os autores utilizaram fotografias aéreas até 1988, e após esta data estimaram a porcentagem de área impermeável através de imagens SPOT XS. Após várias simulações concluíram que o uso de reservatórios duplos em cada residência, com volume total variando de cerca de $12\text{ a }20\text{ m}^3$, produz reduções da vazão de pico da ordem de 60%, mostrando-se eficiente na redução dos efeitos da urbanização nessa bacia.

O Município de Pato Branco, na Paraná, implementou em junho de 2004 a Lei nº 2349, criando o Programa de Conservação e Uso Racional da Água nas edificações. A lei obriga todas as novas construções a terem reservatório de coleta de água da chuva. A lei se aplica aos empreendimentos residenciais com mais de 200m^2 e comerciais maiores de 100m^2 . Edifícios públicos, industriais e educacionais de quaisquer dimensões estão sujeitos ao programa.

O dimensionamento, forma e características desses reservatórios podem ser definidos de formas diversas, adaptando-se às características da

edificação, do lote, do solo, da microdrenagem existente e da hidrologia local. O seu uso poderá ser definido como de simples detenção, detenção e infiltração, reservação complementar e infiltração.

Tem-se em todos os casos de solução estrutural as vantagens e desvantagens, como será salientado.

Vantagens:

- Os estudos realizados até o momento demonstram que sua eficiência é alta na redução de vazões máximas;
- Recupera parcial ou completamente o impacto provocado quando da impermeabilização da área urbanizada;
- Não contribui para o aumento do volume do escoamento superficial a jusante da área utilizada para sua aplicação;
- A solução é uma ação de responsabilidade social, vista como positiva para o “desenvolvimento sustentável” das cidades, preconizada na Agenda do Século XXI;
- Os custos são diluídos pelos munícipes, que serão os maiores beneficiados, independente de se encontrarem em áreas de risco ou não.

Desvantagens:

- Representa um custo adicional na execução das novas edificações e custo bem maior, em alguns casos, para as edificações antigas, dificultando o processo de aplicação desta solução como um todo em áreas de interesse a montante da área de risco;
- Requer manutenção e controle para impedir contaminações e proliferação de doenças, como a dengue;
- Requer áreas da edificação ou do terreno para sua execução em conjunto com o sistema de tubulações e equipamentos necessários ao seu correto funcionamento;

- Tem o custo acrescido dependendo das características topográficas locais e variações do nível do lençol freático;
- Depende diretamente do sistema e capacidade da microdrenagem local.

Manuais australianos apontam como solução ótima para a gestão dos escoamentos, o encorajamento da infiltração, armazenamento e reuso de água (Department of the Environment and Heritage, 2002).

O armazenamento em lote pode ser efetuado através de telhados e pequenos reservatórios residenciais específicos, construídos com o único objetivo de permitir o retardo do escoamento superficial, atenuando os picos de hidrogramas e possibilitando a capacidade de recuperação da área impermeabilizada.

O'Loughlin et al (1998) analisaram o uso de OSD ("On-site Stormwater Detention"), que consiste na detenção na saída da habitação ou do lote, variando de acordo com o tipo de construção. Este estudo envolveu a cidade de Sydney na Austrália, onde o conselho municipal tem amplos poderes legais sobre a imposição de OSD, que pode ser incorporado às construções e a convenções governamentais de uso da propriedade.

Ainda Segundo O' Loughlin et al. (1998), houve pouca mudança nas formas fundamentais dos sistemas de reservatório de detenção empregados em Sydney para reduzir a vazão de água de chuvas intensas de propriedades reconstruídas. O escoamento encanado é controlado geralmente por uma placa de orifício circular, que transborda pela superfície de armazenamento, represando a água por determinado tempo. Vários fabricantes locais desenvolveram produtos para fornecer estruturas de armazenamento subterrâneo em sistemas de OSD, que incluem:

- Modular, unidades de concreto pré-moldado, adaptadas de tubulação circular de concreto e peças retangulares de galeria,
- Circular, tanques de aço galvanizado para uso em locais comerciais ou industriais maiores,
- Pilhas modulares que fornecem um espaço vago grande dentro de uma matriz de polipropileno ou outros materiais de plástico.

Segundo Cruz et al. (2000), foram realizadas pesquisas com uma série de simulações do uso de reservatórios de retenção implantados em lotes urbanos hipotéticos. Nestes lotes foram simulados aumentos de vazões de pico da ordem de 17 a 45%, com relação aos valores de vazões de pico dos hidrogramas de saída e acréscimos de 39 a 109% em volumes escoados com relação aos valores de saída dos lotes em condições de pré-ocupação urbana. Com base nas características de lotes urbanos brasileiros, foram adotadas estruturas de amortecimento que apresenta uma média de tempos de retenção de 25 a 30 minutos, em média. Constatou-se uma capacidade de melhoria das condições de escoamento com a redução de valores de vazão por amortecimento.

Em outros casos, busca-se simular a situação natural com a vegetação no lote de forma natural. Nestes casos, a vegetação é peça-chave, sendo utilizada por planejadores e arquitetos paisagistas para desenvolver vazões de pré-urbanização (Department of the Environment and Heritage, 2002).

7.3.3. - DESENVOLVIMENTO URBANO DE BAIXO IMPACTO

Nos Estados Unidos desenvolve-se atualmente uma estratégia denominada de Low Impact Development (LID) ou Desenvolvimento Urbano de Baixo Impacto, que atua estimulando processos físicos, químicos e biológicos naturais, evitando impactos ambientais e gastos com sistemas de tratamento (Stormwater, 2004).

A LID é uma estratégia de gestão de águas pluviais focalizada na gestão e restauração de funções hidrológicas naturais do local para atingir objetivos de proteção do recurso natural e requerimentos institucionais de regulamentação ambiental e se concentra de forma mais direcionada aos lotes urbanos.

A LID emprega uma variedade de características naturais construídas para reduzir a taxa de escoamento, filtrar os poluentes, e facilitar a infiltração da água para o solo. Pela redução da poluição da água e aumento da recarga subterrânea, auxilia a melhorar a qualidade dos corpos receptores e a regularizar as vazões de rios adjacentes.

Ganhos paisagísticos, ambientais e econômicos reforçam as vantagens apresentadas por esta concepção do tratamento da drenagem urbana, controlando não somente o pico, como as práticas convencionais, mas também o volume, a frequência e a duração, além da qualidade do escoamento. Os bons resultados financeiros e ambientais obtidos pela implementação da LID em novos empreendimentos foram acompanhados cientificamente e comparados às práticas americanas convencionais utilizadas. Seus principais frutos são:

- a) economias no custo de implantação dos lotes urbanos;
- b) redução ou até eliminação da necessidade de detenções com bacias com conseqüente benefício pela utilização desta área para outros fins;
- c) economias para o empreendedor de 72% para construção de controles de águas pluviais e 20% para custos de construção totais;
- d) 62% de preservação de áreas “abertas” naturais;
- e) eliminação de condutos pluviais;
- f) 0% de efetividade de uso de áreas impermeáveis.

Verificando-se que o tratamento convencional apresenta-se incipiente quanto à tentativa de devolver a água ao ambiente em condições e quantidades compatíveis com a sua extração, a utilização dessas estratégias deve ser incentivada, principalmente em novos conjuntos habitacionais, por intermédio de regulamentações.

A aplicação de todas as regras da LID para empreendimentos anteriores à sua implementação institucional se mostra difícil, embora apresente maior viabilidade na proteção do meio ambiente que a aplicação de técnicas convencionais. Por conseguinte, o planejamento e o emprego de práticas não-convencionais necessitam ser ainda pensadas e utilizadas tanto para a microdrenagem quanto para a macrodrenagem, incluindo-se aí a renaturalização (reengenharia ou revitalização) de áreas degradadas.

No Quadro 7.4., observa-se uma comparação entre os efeitos das formas construtivas convencionais e as de baixo impacto.

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).

| ATRIBUTO HIDROLÓGICO | CONSTRUÇÃO CONVENCIONAL | CONSTRUÇÃO DE BAIXO IMPACTO |
|------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|
| Cobertura Impermeável | Encorajada para atingir uma drenagem efetiva | Minimizada para reduzir impactos |
| Cobertura Natural/Vegetação | Reduzida para melhorar drenagem local eficiente. | Maximizada para manter hidrologia de pré-desenvolvimento |
| Tempo de concentração | Reduzido como produto da eficiência da drenagem. | Maximizada para aproximar as condições de pré-desenvolvimento |
| Volume do escoamento | Aumento em volume de escoamento não-controlado | Controlado para condições de pré-desenvolvimento. |
| Descarga de pico | Controlado para chuva de pré-desenvolvimento (2 anos). | Controlado para todas as chuvas. |
| Freqüência de escoamento | Aumentada, especialmente para chuvas pequenas. | Controlado para todas as chuvas. |
| Duração do Escoamento | Aumentada porque o volume não é controlado. | Controlado para condições de pré-desenvolvimento. |
| Intercepção, infiltração e armazenamento | Grande redução em todos os elementos (Interceptação, Infiltração, Depressões e Armazenamento). | Mantida para condições de pré-desenvolvimento. |
| Recarga de aquíferos | Redução na recarga. | Mantida para condições de pré-desenvolvimento. |
| Qualidade da água | Redução de poluição, para eventos menores que descarga de projeto. | Controle total de poluentes para eventos menores que descarga de projeto. |
| Corpos receptores | Impactos severos – erosão e degradação de canais; deposição de sedimentos; fluxo de base reduzido; adequabilidade do habitat diminuída. | Ecologia do sistema mantida para condições de pré-desenvolvimento. |
| Inundações a jusante | Controle do pico reduz inundações imediatamente após estruturas de controle, mas pode aumentar inundações a jusante através de superposição de hidrogramas. | Controladas para condições de pré-desenvolvimento. |

Na RMR, existem alguns exemplos do uso de retenção na arquitetura, que representa uma concepção correta na frente da atual forma construtiva convencional mais comumente difundida, o que poderá ser adotado como uma concepção incentivada no futuro.

São muitas as opções que se podem desenvolver para se obter a retenção da água de chuva em lotes urbanos. No entanto, projetos como os que se desenvolveram no Japão, são motivos de beleza, lazer e contemplação, além da função real para a qual foram construídos.

7.3.3.1 - Tetos e fachadas verdes

Ainda sob a ótica do Desenvolvimento Urbano de Baixo Impacto, os “painéis ou fachadas verdes”, “tetos verdes” ou “telhados verdes” representam uma alternativa tecnológica de captação e aproveitamento de águas de chuva que vem sendo utilizada em várias localidades.

A utilização da tecnologia dos “tetos verdes” tem inúmeras vantagens, além da mitigação dos efeitos da urbanização e do incremento da paisagem. Tal tecnologia interfere em importantes processos do ciclo hidrológicos, (Miller; Pyke, 1999):

- Interceptação da precipitação pelas folhagens e subsequente evaporação;
- Redução na velocidade do escoamento superficial;
- Infiltração;
- Percolação;
- Fluxo subterrâneo;
- Evapotranspiração da umidade da zona radicular.

Pelas vantagens que apresenta, a tecnologia dos “tetos verdes” é bastante adequada às cidades de clima tropical. Tais vantagens foram resumidas por Köhler et al (2001):

- Diminuição do tesões térmicas e da recepção da radiação UV da cobertura da edificação tendo como consequência maior a conservação do material de cobertura e sua impermeabilização;

- Redução da carga térmica da edificação diminuindo a demanda de ar condicionado;
- Retenção de águas pluviais não sobrecarregando a rede de esgotos;
- Absorção da radiação solar e transformação do CO₂ em O₂ pela fotossíntese e filtragem do ar, reduzindo a poluição das águas pluviais, assim melhorando a qualidade de água nos lagos, rios etc.;
- Melhoria do microclima da região e arredores;
- Absorção de ruídos.

De acordo com Mesquita (2005), com o uso dos “tetos verdes” pode-se reduzir em até 10°C a temperatura interna do ambiente, de modo a diminuir em até 25% os gastos energéticos com refrigeração nos dias quentes. Em climas quentes, quando a temperatura pode atingir 30°C ou mais (no verão), a superfície dos telhados pode atingir 80°C. Essas altas temperaturas impactam diretamente os ambientes internos e externos da edificação. Com a implantação de “tetos verdes”, a camada de vegetação melhora a performance térmica da edificação, tendo-se então uma redução da carga térmica dentro do edifício, sendo reduzida a reflexão de calor para a atmosfera, desenvolvendo um microclima mais agradável na superfície do telhado, e uma vida útil mais longa para o mesmo.

Na Alemanha, o “teto verde” tem apresentado excelentes resultados, sendo adotado não só em empreendimentos residenciais, como também comerciais e industriais, em função da alta rentabilidade decorrente do aumento da durabilidade da impermeabilização da cobertura. Segundo Köhler et al (2001) e Schmidt (1992), a maioria da precipitação nas paisagens naturais da Alemanha, tal como ocorre no Brasil, é evaporada. Em Berlim, por exemplo, a precipitação média é 590 mm/ano, enquanto que a evapotranspiração potencial é 660 mm/ano. Cerca de 10% das residências e empresas alemãs promovem a utilização das águas pluviais (PNUMA, 2000). Segundo Schmidt (2001) o sucesso dessa experiência fez com que vários estados e municípios acrescentassem na legislação ambiental e no seu código de obras aspectos

relativos a esse tipo de tecnologia de captação e aproveitamento de água de chuva. Entre esses instrumentos legais, têm-se:

- A Lei Nacional de Conservação da Natureza, que determina a redução do impacto ambiental ao definir medidas descentralizadas, como por exemplo, a vegetação em telhados;
- É exigida legalmente a mitigação dos impactos da impermeabilização a partir da urbanização. Os “tetos verdes” podem servir como alternativas nestas situações. Os detalhes para a construção verde do telhado são normatizados pelo instituto alemão de padrões (DIN);
- As Administrações Municipais de Águas podem recusar a drenagem de águas pluviais pelo sistema de esgoto ou águas superficiais, exigindo o uso de “tetos verdes” ou outras tecnologias de captação e aproveitamento de águas de chuvas;
- Desde 2000, foi definida uma taxa em Berlim, como também em outras cidades da Alemanha, pela introdução da precipitação no sistema de esgoto. Até 2000 o município cobrava uma taxa para o tratamento de esgoto, calculada em cima do consumo de água potável. Atualmente, esta taxa é dividida entre um valor para tratamento de esgoto e outro valor ao ano por metro quadrado de área impermeável, o que representa um importante estímulo financeiro para proprietários, que podem economizar esta taxa implantando projetos de captação de água de chuva.

A Alemanha se destaca no trato do gerenciamento da água, em virtude do papel exercido pela sociedade civil, sendo os recursos hídricos gerenciados pelas associações de bacias, que funcionam como autarquias controladas pelo governo estadual, mas com ampla autonomia administrativa.

Assim, se assegura a participação de todos os segmentos interessados no processo de decisão e isto permite uma integração entre indústrias, municípios e os demais usuários da sociedade civil (Latour; Le Bourhis, 1995, apud CARVALHO et al., 2006).

Como exemplo de uma experiência com êxito de projetos de captação e armazenamento de água de chuva na Alemanha, pode-se citar o Projeto do

Instituto de Física da Universidade de Humboldt, em Adlershof, Berlim. O projeto é resultado de um convênio entre a Universidade Técnica de Berlim e a Universidade de Humboldt, através da combinação de técnicas de gerenciamento sustentável de água, com o uso de água de chuva para resfriamento do prédio e irrigação de áreas verdes. O projeto arquitetônico combina refrigeração natural por “tetos verdes” e “fachadas verdes” com os sistemas de técnicas adiabáticas de refrigeração.

Objetivar o uso de tecnologias modernas e eficiência na elaboração de construções sustentáveis está relacionado à redução do impacto ambiental da edificação. A busca da racionalização da gestão das fontes naturais, à análise total do ciclo de vida dos materiais, bem como a energia consumida na fabricação, conforto ambiental, energias renováveis, dentre outros aspectos ecologicamente corretos.

Uma série de processos e materiais, quando combinados, pode gerar maior ou menor impacto ambiental. Este fato torna o conceito relativo e dificulta a análise precisa do nível de sustentabilidade de uma edificação. O máximo de sustentabilidade seria o que os teóricos alemães chamam de “casa zero”, experiência que entende o edifício como algo fechado em si mesmo, autônomo (CARVALHO et al., 2006).

Partindo deste princípio e com o despertar de interesse de futuros arquitetos nesta nova visão de construir o espaço urbano, tem-se tido excelentes resultados em trabalhos desenvolvidos no Departamento de Arquitetura da Universidade Federal de Pernambuco como bem se pode verificar nos detalhes de projeto de proposição CISNEIRO (2006) (Figuras 7.6 e 7.7), com a orientação do autor.



Figura 7. 6 - Fachadas e teto verde em projeto de trabalho Final de Graduação em arquitetura (CISNEIRO, 2006).



Figura 7. 7 - Fachadas lateral e teto verde em projeto de trabalho final de Graduação em arquitetura (CISNEIRO, 2006).

7.3.3.2 - Fundações de baixo impacto ou especial

Neste tipo de construção, todas as estruturas de drenagem dispersivas ou de poço podem ser usadas.

As fundações de baixo impacto ou especiais seguem a filosofia de desenvolvimento urbano de baixo impacto, utilizando pouco manejo de terra, escavações e nivelamentos, possibilitando que a estrutura nativa do solo sob a residência continue a desempenhar sua função hidrológica.

Essas fundações são próprias para áreas em que se deve procurar conviver com a probabilidade de cheias, semelhante ao habitante que constrói

sua casa nas margens do rio Amazonas, estando a sua casa apoiada sobre palafitas.

Nas cidades das demais regiões não se pretende chegar a tanto por motivo dos rios não se comportarem como os da Bacia Amazônica, entretanto, o exemplo é válido para a discussão de como se construir de forma a se conviver com situações em que, a área ocupada é periodicamente alagada ou encoberta por enchentes. Pode-se observar na Figura 7.8, a capacidade de defesa da população de baixa renda, que mesmo sem condições técnicas e financeiras, convive com criatividade nas áreas baixas.

A área em torno das residências ou abaixo delas pode configurar-se um espaço interessante no retardo do deflúvio, tornando-se áreas de canais, gramados e faixas de terreno cobertos com vegetação escolhida com critério, que considere a maior retenção de água possível, com uma estética agradável e efeitos ambientais diversos, além da qualidade e conforto necessários para uma boa habitação.



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).

O desenvolvimento tecnológico desse tipo de construção e outras em áreas de risco de inundações periódicas, denominado de engenharia e arquitetura de inundações, pode vir a mitigar os efeitos negativos da ocupação dessas áreas, onde é difícil a remoção da população instalada ou das estruturas existentes por se tratar de áreas de várzea, podendo inclusive se tornar uma forma de resolução habitacional, compatível com construções de áreas de melhor poder aquisitivo.

7.3.4. - INFILTRAÇÃO E PERCOLAÇÃO

Após a urbanização de uma determinada área, devido à impermeabilização sem os cuidados técnicos necessários, o escoamento superficial normalmente provoca uma carga elevada nos corpos receptores por períodos curtos.

O impacto de carga hídrica no balanço ecológico e habitat em geral dos córregos e demais cursos de água é totalmente alterado, propiciando a geração de déficit de nutrientes e demais itens necessários à vida de forma permanente. O conjunto dos seres que formam o ecossistema da região afetada, principalmente o aquático, é obrigado a suportar a força hidráulica do pico de descarga e elementos poluentes carregados e a recolonizar o seu habitat após o impacto das fortes chuvas.

A infiltração é um dos fatores que determinam a alteração da disponibilização de água para os vegetais, a dessedentação humana e animal, a recarga dos aquíferos subterrâneos e superficiais e, dependendo da ocorrência e magnitude do escoamento superficial e do manejo do solo e da água, a conservação das características hidrológicas e hidrogeológicas da área.

A compactação e as características granulométricas do solo limitam a infiltração da água, podendo ocasionar erosão, ou criar poças de água na superfície, o que é prejudicial à ocupação urbana.

No lote de um empreendimento qualquer, pode-se pretender realizar o processo de infiltração, transferindo o fluxo superficial, resultante de uma possível impermeabilização antrópica, para o interior do solo, mantendo as

características naturais da área, o mais próximo possível do período de pré-urbanização.

A capacidade de penetração da água no solo pelos interstícios de seus vazios, denominada de infiltração, é limitada por camadas variáveis de solo superficial que provocam obstáculos para a sua fácil penetração na área sub-superficial.

Já o deslocamento da água entre os vazios existentes no solo, que podem se tornar mais resistentes e de difícil transposição, dependendo do grau de compactação, condutividade hidráulica e porosidade efetiva (quantidade de água que um solo pode drenar), denomina-se percolação.

Dependendo do estado de umidade em que se encontram as camadas de solo, de seu perfil de umedecimento da área denominada de não-saturada e do nível do lençol freático, tem-se uma maior ou menor velocidade do fluxo através das mesmas. Isso define a necessidade de, ao se tentar compensar a impermeabilização provocada numa determinada área, escolher-se a melhor maneira de conseguir a infiltração e assim obter a percolação semelhante ao estado original anteriormente existente. Em virtude da variação da quantidade de água a ser drenada, é possível que se modifique a porosidade efetiva do solo natural com a simples substituição do solo por outro ou por algum tipo de material de melhor condutividade hidráulica.

De acordo com Nakamura (1988), os dispositivos de infiltração podem ser classificados em dois grupos principais, denominados de métodos dispersivos e métodos em poços. Os métodos dispersivos definem os tipos de dispositivos pelos quais as águas superficiais se infiltram no solo. Os métodos de poços definem os tipos de dispositivos nos quais as águas superficiais provocam a recarga dos aquíferos subterrâneos (Quadro 7.5.).

É preciso enfatizar que não basta o uso de qualquer tipo de elemento estrutural para permitir a infiltração. Faz-se necessária a existência de solos capazes de realmente atender à demanda natural da área que compense possíveis impermeabilizações sem, contudo, impedir a sua fácil percolação. Para que de fato o sistema funcione se faz necessário que o tipo de solo:

- Apresente facilidade de percolação;

- Não apresente na superfície por muito tempo, um volume de água que represente um armazenamento superior ao período previsto e que inviabilize o uso da área, para atividades humanas previstas;
- Tenha pouco efeito na reconstituição das condições de pré-urbanização e, conseqüentemente, de redução do impacto da carga elevada no corpo receptor.

Quadro 7. 5 – Classificação Geral dos Dispositivos de Infiltração (adaptado de NAKAMURA, 1988)

| MÉTODO | DISPOSITIVO | |
|------------|---------------------------|---------|
| DISPERSIVO | superfície de infiltração | |
| | valas de infiltração | aberta |
| | | fechada |
| | lagoas de infiltração | |
| | bacias de percolação | |
| | pavimentos porosos | |
| DE POÇO | secos | |
| | úmidos | |

WALECH (1989) sugere alguns fatores a considerar no planejamento e projetos de sistemas de infiltração: taxa de infiltração do solo do local dos sistemas; tempo máximo de residência; posição do lençol freático (necessariamente abaixo do fundo do sistema); posição do topo rochoso. O autor menciona, também, a importância da localização do dispositivo em relação às seguintes estruturas: poços de água doce (devido aos possíveis impactos negativos à qualidade da água); edificações (devido à influência que os poços têm nas condições das fundações dessas edificações).

De acordo com Marsalek et al. (1993), o controle do escoamento superficial com estruturas de infiltração tem sido particularmente bem sucedido quando adotado no início da ocupação urbana, em que o planejamento das ações de controle integra o plano de expansão e desenvolvimento. A aplicação numa área já urbanizada impõe maiores desafios, devido às restrições físicas presentes. Além disso, o controle e tratamento devem ser vistos no contexto de

uma série de ações integradas, combinando as medidas aplicadas em vários pontos da bacia.

Segundo Jacobsen et al. (1996, apud CANHOLI, 2005), após a implantação de uma área experimental dotada dos diversos dispositivos de infiltração na bacia de Shirako, no Japão, as medições realizadas demonstraram que o sistema de infiltração reduziu os picos de vazão em 60% e o volume total dos deflúvios em cerca de 50%. Em comparação aos sistemas convencionais e seu custo final correspondeu a 33% do custo da solução por retenção em bacias abertas, dado o alto custo, no Japão, das áreas necessárias para esta última solução.

Segundo Barth (1997), o princípio dos sistemas de infiltração, como aplicado no manejo da drenagem urbana, é o de dirigir a parcela inicial do escoamento superficial para um sistema de filtros que conduzirá uma parte do escoamento para o subsolo, com a outra parte retornando ao sistema de drenagem superficial. Isto é, o escoamento inicial não é conduzido diretamente ao sistema de drenagem. Esses sistemas são em geral projetados para absorver os primeiros 10 a 25 milímetros de chuva.

7.3.4.1 - Superfícies de Infiltração ou Planos de Infiltração

O uso de áreas verdes é a forma mais natural de se obter a infiltração superficial. São possíveis várias opções de ocupação. A arquitetura paisagística se destaca com pesquisas que aproveitam os elementos existentes na região e que ofertam beleza e praticidade de acordo com a disposição local.

A principal desvantagem neste sistema é a necessidade constante de manutenção em áreas cujo material drenado possui muitos materiais finos, que provocam a obstrução dos poros de infiltração, impedindo a sua plena capacidade de funcionamento.

7.3.4.2 - Valas de Infiltração no Lote

As valas de infiltração no lote podem ser do tipo abertas ou fechadas.

No primeiro caso, **Vala de Infiltração Aberta**, também denominada por alguns autores de **Valeta** ou **Valo de Infiltração**, corresponde ao dispositivo de drenagem criado para receber o fluxo da água de chuva das áreas adjacentes,

concentrando um determinado volume de água que se apresenta na superfície durante algum tempo, até que ocorra sua total infiltração de forma gradual. No entanto, sua existência não pode provocar qualquer situação negativa às atividades normais da área.

São geralmente revestidas com grama e vegetação, que facilitam a permeabilidade do solo, evitando a possível colmatação com a decantação de partículas finas (figura 7.9). Segundo Tucci e Genz (1995), essas estruturas são dimensionadas para chuvas de dois anos de retorno.

As também chamadas de “Valas de Ferti-irrigação Sub-superficial”, foram desenvolvidas para dispor os efluentes finais de esgotos. Dependem de uma série de critérios, os quais variam do conhecimento popular a testes empíricos, freqüentemente codificados nos regulamentos sanitários. Diversos fatores são considerados na escolha do método e do local, como por exemplo: taxa de infiltração dos esgotos no solo (grau de permeabilidade), disponibilidade de espaço, inclinação do terreno, altura do lençol freático, natureza e profundidade da rocha-mãe, distância das águas superficiais e poços.

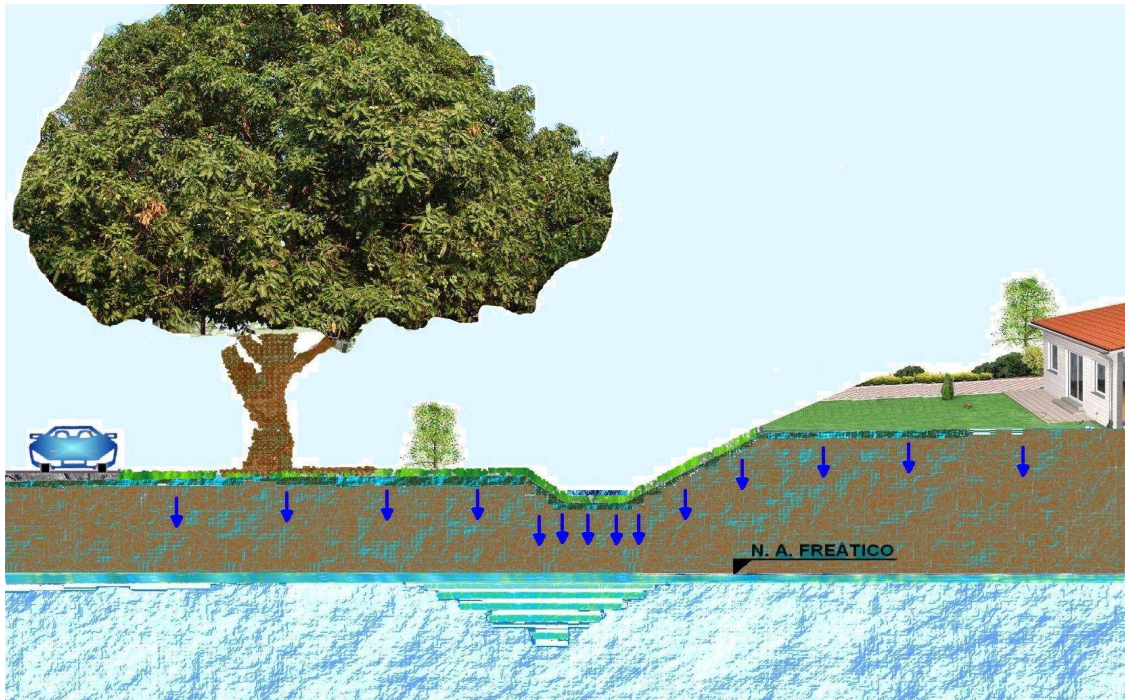


Figura 7. 9 - Valeta de infiltração aberta.

Os testes baseiam-se em admitir que a capacidade do solo em absorver efluentes de esgotos num período prolongado pode ser prevista a partir da sua

capacidade em se deixar infiltrar por água limpa. Esse teste deve ser feito previamente, antes de dimensionar o comprimento da vala.

No Manual 001 do CPRH (CPRH, 2004), a disposição dos efluentes, por irrigação sub-superficial, através de valas de infiltração, poderá ser adotada, quando:

- Se dispuser de áreas adequadas e livres de vegetação, cujas raízes possam comprometer o funcionamento.
- O solo não estiver saturado de água.

As valas de infiltração fechadas podem ser usadas como subdrenos (CANHOLI, 2005), facilitando não só a infiltração no solo, mas também direcionando um possível fluxo de água para um coletor público; e, eventualmente, para a infiltração sob solo compactado ou impermeabilizado de difícil infiltração através do solo superficial.

Da mesma maneira que os planos de infiltração, as valas apresentam a necessidade de constante manutenção, variando no tempo de acordo com as características do projeto e particularidades do fluxo de sedimentos finos carregados para a área de infiltração. O seu dimensionamento se assemelha ao do plano de infiltração, incluindo as áreas laterais do solo de melhor permeabilidade que entram em contato direto com o natural.

7.3.4.3 - Lagoas de Infiltração no Lote

A diferença básica entre a lagoa de infiltração no lote e a valeta aberta de infiltração no lote, é que a primeira pode permanecer constantemente com uma lâmina de água, o que facilita a infiltração pelo tempo disponível e pela evaporação. É muito comum em áreas com o nível do lençol freático próximo à superfície em que sua utilização ocorre sem interferir nas atividades normais realizadas na área do seu entorno. É normalmente empregada em projetos arquitetônicos como opção de beleza e lazer.

7.3.4.4 – Trincheiras de Percolação

As trincheiras de percolação são construídas a partir da escavação de uma vala que, posteriormente, é preenchida com brita ou cascalho,

promovendo assim a detenção temporária do escoamento, enquanto a percolação se processa lentamente pelo subsolo, diminuindo o escoamento superficial e reduzindo a velocidade de chegada do deflúvio no coletor público.

Segundo Tucci e Genz (1995), o armazenamento nesse tipo de dispositivo é realizado na camada superior do solo e depende da porosidade. Portanto, o lençol freático deve se encontrar abaixo da linha de infiltração da estrutura, criando espaço para armazenamento.

O que se pode observar é normalmente a junção de todas as estruturas ou de parte delas de forma tal que o conjunto possibilite uma melhor distribuição na área das águas superficiais através das estruturas de reservação, infiltração e percolação, atingindo o objetivo final: diminuir ou eliminar o escoamento superficial provocado pela impermeabilização.

Segundo Ernandes e Amorim (2005), apresentou uma pesquisa sobre reservatórios permeáveis para detenção de águas pluviais, desenvolvida com o uso de material reciclável, construído utilizando-se engradados para transporte de vasilhames de bebidas, que possuem estrutura reforçada interna e externa.

Os vasilhames foram agrupados em blocos, formando conjuntos bastante resistentes, montados e enterrados no solo, criando um conjunto de vazios configurando o reservatório. Para impedir a entrada de partículas do solo, a estrutura foi embalada em geotêxtil, permitindo a infiltração da água por todas as paredes laterais.

Os autores da pesquisa (H ERNANDES E AMORIM, 2005), apresentam tabela de preços, onde se comprova a significativa redução dos custos se comparados com o emprego de técnicas convencionais da ordem de 43 a 66%. Os autores comprovam ainda a facilidade de sua execução. É uma alternativa atraente em locais de acesso restrito e apresenta excelentes resultados em termos social, econômico e ambiental.

7.3.4.5 - Pavimentos Permeáveis ou Porosos

O pavimento permeável ou poroso é um dispositivo estrutural de infiltração que pode ser considerado como um “plano de infiltração especial”, em virtude de ser um excelente substituto para o piso impermeável convencional e ter características próprias bem definidas, destacando-se assim, dos planos de infiltração já descritos.

Quando o pavimento poroso é bem executado, o escoamento superficial é desviado através de uma superfície permeável, para camadas de solo com características e granulometria que favorecem o escoamento por onde a água de chuva se infiltra, tentando atingir o solo natural e, conseqüentemente, vir a sofrer eventual evaporação ou atingir o lençol freático.

Sua utilização tem sido realizada como dispositivo de infiltração da drenagem urbana, principalmente em países mais desenvolvidos. No Brasil, a técnica ainda é pouco difundida e incentivada, em sua plena característica executiva, principalmente na área arquitetônica de projetos urbanos. É difícil encontrar trabalhos publicados relatando essa utilização ou manual de procedimentos, principalmente no que se refere a sua correta execução em áreas de pouco tráfego de veículos, tais como: passeios, estacionamentos, quadras esportivas, prédios públicos e privados de grande.

Segundo Urbonas e Stahre (1993), os pavimentos permeáveis podem ser de três tipos:

- Pavimento de asfalto poroso;
- Pavimento de concreto poroso;
- Pavimento do tipo celular de blocos de concreto vazados, preenchidos com material granular ou vegetação rasteira, como a grama.

O pavimento de asfalto permeável, que é um revestimento poroso com asfaltos modificados por polímeros, tem sido utilizado no exterior, devido a suas particularidades, como solução na engenharia de pavimentos, para proporcionar condições de conforto ao usuário, segurança viária e melhoria das condições ambientais. No caso de lotes urbanos, é recomendado em grandes empreendimentos, como condomínios, indústrias e conjuntos comerciais, que podem captar um volume de água de chuva expressivo em torno de sua área de estacionamento e locomoção de veículos.

Ainda segundo Urbonas e Stahre (1993), a base pode ser drenada com canos perfurados espaçados de 3,0 a 8,0 m, onde o excedente pode ser direcionado para um sistema de drenagem convencional impedindo assim o

colapso do pavimento para a sua principal finalidade, que é permitir o tráfego de veículos. O volume é esgotado em um período máximo de 6 a 12 horas.

Genz (1994), utilizando um simulador de chuva determinou o escoamento superficial resultante de diferentes superfícies urbanas. Os resultados estão apresentados no Quadro 7.6.

Quadro 7.6 – Experimento em superfícies urbanas (GENZ, 1994)

| SUPERFÍCIE | DECLIV. (%) | COEFICIENTE DE ESCOAMENTO | TAXA FINAL DE INFILTRAÇÃO (mm/h) | PRECIPITAÇÃO SIMULADA (mm/h) |
|-----------------------|-------------|---------------------------|----------------------------------|------------------------------|
| Gramado | 1 a 9 | 0,54 a 0,68 | 19 a 23 | 110 a 142 |
| Chão batido | 1,3 | 0,92 a 0,95 | 19 a 23 | 110 a 120 |
| Paralelepípedo antigo | 2 a 11 | 0,88 a 0,95 | 19 a 23 | 103 a 128 |
| Paralelepípedo novo | 4 | 0,58 a 0,63 | 18 a 23 | 114 a 124 |
| Blockets | 2 | 0,83 a 0,85 | 10 a 14 | 116 a 127 |

Segundo Tucci e Genz (1995), quando esses pavimentos são construídos para reter parte da drenagem, é necessário que sua base esteja a pelo menos, 1,20m acima do lençol freático no período chuvoso.

Joacobson e Harremoës (1981, apud Tucci e Genz, 1995) monitoraram uma área de estacionamento de 682,0 m², com declividade de 1,4% e cobertura de pedras e granito em 72% e de areia em 25%. Os resultados de cinco meses de dados foram comparados à existência no local de um pavimento impermeável. O coeficiente de escoamento observado, no pavimento permeável, foi de 9%, enquanto para um pavimento impermeável, foi estimado em 80%.

Segundo Campos (1998), a análise de tipos diferentes de pavimentos vem sendo realizada sob o ponto de vista estrutural, com dados obtidos por medições de deflectometria e levantamento de defeitos de superfície, funcional e de conforto, com dados obtidos por medição de irregularidade longitudinal, medição de flechas de trilhas de roda e medição de emissão de ruídos;

segurança, com dados de medição de aderência entre pneu/pavimento e medição de permeabilidade/drenabilidade, para utilização no Brasil.

Segundo Acioli et al. (2003), em pesquisas desenvolvidas na Universidade Federal do Rio Grande do Sul, os valores de coeficiente de escoamento do revestimento em blocos vazados variaram de zero a 12,8%, tendo uma média de 2,27 %, na maioria dos eventos. Esse resultado mostra que o pavimento em blocos vazados tem uma alta capacidade de redução do escoamento superficial, pois os valores esperados para o coeficiente de escoamento em áreas pavimentadas são em média de 80% (TUCCI, 1997).

Ainda segundo Acioli et al. (2003), no pavimento revestido com asfalto poroso, os coeficientes de escoamento superficial variaram de zero a 13,5%, com média de 5,08%. Esse valor se mostrou bastante satisfatório, sendo aproximadamente igual aos valores recomendados na literatura para o escoamento superficial em áreas verdes e superfícies naturais arborizadas: no mínimo, 5% (Tucci, 1997).

A diferença de desempenho entre os dois tipos de revestimento pode ser explicada pelo fato de que o bloco possui em sua estrutura aberturas maiores que aquelas do asfalto poroso. Em análises visuais durante os eventos chuvosos, percebe-se que as partes vazadas dos blocos funcionam como pequenos reservatórios, onde, mesmo se excedendo a capacidade de infiltração do material de enchimento, há um “volume de espera” que armazena parte do volume de chuva.

Segundo Cruz et al. (2003), são fatores importantes no dimensionamento dos pavimentos permeáveis:

- A determinação da taxa de infiltração do local, já que não são exeqüíveis em solos com taxas de infiltração inferior a 7,0 mm/h;
- Fazer uma sondagem a uma profundidade de 0,6 a 1,2 m abaixo do nível inferior do reservatório de pedras a fim de verificar o tipo de solo existente, visto que tipos de solos com um percentual superior a 30% de argila ou 40% de silte e argila combinados não são bons candidatos para esse tipo de dispositivo;

- Verificar a existência de uma camada impermeável ou de um lençol freático com nível elevado.

Ainda segundo Cruz et al. (2003), para o dimensionamento de um sistema de infiltração total (sem tubos de drenagem na parte superior), o reservatório de pedras deve ser grande o suficiente para acomodar o volume do escoamento de uma chuva de projeto menos o volume de escoamento infiltrado durante a chuva. É necessária, portanto, a determinação da chuva de projeto e posteriormente do volume de água que se deseja reter. Esse volume pode ser estimado através da Equação 7.8:

$$V_r = (i_p + C - i_e) t_d \quad (7.8)$$

Onde:

V_r = o volume de chuva a ser retido pelo reservatório, em mm;

i_p = intensidade máxima da chuva de projeto, em mm/h;

i_e = taxa de infiltração do solo, em mm/h;

C = fator de contribuição de áreas externas ao pavimento permeável;

t_d = tempo de duração da chuva, em horas.

O cálculo de C será obtido pela Equação 7.9:

$$C = \frac{i_p \times A_c}{A_p} \quad (7.9)$$

Onde:

i_p = intensidade máxima da chuva de projeto, em mm/h;

A_c = área externa de contribuição para o pavimento permeável, em m²;

A_p = área do pavimento permeável, em m².

Sugere-se não estabelecer grandes profundidades para o reservatório de pedras, cujo valor mínimo de profundidade recomendado é de 15,0 cm. Schuller (1987, apud CRUZ et al. 2003), recomenda o uso de brita nº. 3 ou nº. 4 (na Região Metropolitana do Recife, é muito comum o uso de brita nº. 2), como o material ideal para o uso no reservatório de pedras.

Para o cálculo da profundidade do reservatório, adota-se a Equação 7.10:

$$H = \frac{V_r}{f} \quad (7.2)$$

Onde:

H = profundidade do reservatório, em mm;

V_r = volume de chuva a ser retido pelo reservatório, em mm;

f = porosidade do material.

Araújo (1999) realizou alguns estudos para avaliar a eficiência dos pavimentos permeáveis. Foram efetuados experimentos utilizando um simulador de chuvas em módulos de 1,0 m², para cinco diferentes tipos de pavimentos urbanos, para uma chuva de 5 anos de tempo de recorrência (Quadro 7.7), que comprovou a eficiência do uso desse dispositivo para o controle de escoamento em lotes urbanos.

Quadro 7. 7 – Resultados das simulações de chuva nas superfícies estudadas (ARAÚJO, 1999).

| OBS. | Solo Compacto | Concreto | Bloco de concreto | Paralelepípedo | Bloco Vazado |
|-----------------------------|---------------|----------|-------------------|----------------|--------------|
| Intensidade simulada (mm/h) | 112 | 110 | 116 | 110 | 110 |
| Chuva total (mm) | 18,66 | 18,33 | 19,33 | 18,33 | 18,33 |
| Escoamento total (mm) | 12,32 | 17,45 | 15,00 | 10,99 | 0,50 |
| Coefficiente de escoamento | 0,66 | 0,95 | 0,78 | 0,60 | 0,03 |

O uso de pavimentos permeáveis elimina a necessidade de caixas de captação e tubos de condução da água, porque o dispositivo praticamente não gera escoamento.

Além dos custos de implantação, existe o custo de manutenção, que consiste na limpeza dos poros dos pavimentos porosos (concreto poroso) com jatos de água e máquinas de aspiração de sedimentos e poeiras. Esses custos não foram estimados devido à inexistência de empresas especializadas na manutenção desse tipo de dispositivo no país. No entanto, para se ter uma idéia, o custo médio gasto em manutenção nos Estados Unidos é da ordem de 1 a 2% do custo de implantação do dispositivo (SCHULLER, 1987, apud ARAÚJO, 1999).

Tem-se também que se levar em consideração que a colocação do material requer técnicas especializadas de modo a evitar sua colmatção, um dos principais problemas desse tipo de pavimento. O risco de colmatção é elevado e uma vez ocorrido, é difícil e onerosa a operação para sua correção.

Pelo que se pode constatar em áreas da região metropolitana do Recife onde se optou pelo uso de pavimento poroso, a forma mais eficaz de se prevenir esse problema é retirar os sedimentos do solo subjacente ou substituir os solos que possuam condições negativas de trabalho. É recomendável manter o pavimento livre de sedimentos durante e após a construção, com manutenção constante.

Outro risco constatado é a possibilidade que essa solução transporte poluentes para o lençol freático, principalmente se não forem tomados certos cuidados construtivos para as áreas de grande risco, posto que essa opção construtiva é comumente adotada de forma diversificada, principalmente com o uso de blockets ou simples substituição do solo por uma camada de brita 0 (zero ou pó de pedra), 1, 2 ou 3 sem qualquer orientação técnica baseada em conhecimentos hidrogeológicos.

7.3.4.6 - Poços de infiltração

Os poços de infiltração são estruturas feitas para o controle da drenagem de um empreendimento construído em lote, com a finalidade de percolação de água no subsolo. Como consequência direta, tem-se o aumento da capacidade de recarga do lençol freático, o que garante a manutenção das condições de escoamento superficial semelhante à pré-urbanização da área, eliminando assim possíveis problemas a jusante da mesma, visto que não mais contribui

com vazão de pico, devido à impermeabilização e ao aumento do tempo de concentração.

Nos casos de poços secos ou úmidos, da mesma forma como nos demais casos de infiltração, a capacidade de infiltrar depende das características do solo e do estado de umidade da camada superior do solo, denominada também de zona não-saturada.

O que se tenta nestas estruturas é atingir uma camada de solo que facilite a dissipação do volume de água proveniente do sistema de drenagem pluvial.

Segundo Canholi (2005), os poços de infiltração são as medidas de controle no lote mais recomendadas quando não se dispõe de espaços ou ainda quando a urbanização existente já se encontra consolidada, ou por último, quando as camadas de solo capazes de receber um fluxo de água para percolação se encontram em grandes profundidades, o que inviabiliza medidas dispersivas já citadas.

Ainda segundo Canholi (2005), para um perfeito funcionamento dos poços, o ideal é que o nível do lençol freático se encontre suficientemente baixo, que, como foi dito anteriormente, o solo seja granulometricamente adequado, e que não apresente características consideradas inadequadas para lançamento em aquíferos subterrâneos, por conta da qualidade da água drenada.

Segundo Montenegro et al. (2005), a busca por fontes de água mais confiáveis, impulsionada nos últimos anos pelo déficit no abastecimento na Região Metropolitana do Recife (RMR), Pernambuco, gerou uma exploração excessiva dos aquíferos costeiros.

Ainda segundo Montenegro et al. (2005), é necessário implementar metodologias que preservem o aquífero, recuperem seus níveis de pressão, e reponham gradualmente os volumes retirados nos últimos anos.

Uma alternativa que vem sendo adotada em áreas com escassez de água, como o Oeste dos EUA e Israel é o aproveitamento de águas servidas, de rios ou de chuvas para a recarga artificial.

No caso brasileiro, a recarga artificial do aquífero utilizando águas de chuva, além de complementar a recarga do aquífero, também tende a aliviar problemas de drenagem urbana. Chuvas de alta intensidade tendem a gerar

alagamentos, mas com a metodologia em discussão, passariam a constituir aportes adicionais para o aquífero.

Esse caso é relatado também por outras cidades brasileiras como São Paulo, onde boa parte da água consumida é retirada dos aquíferos subterrâneos, que já dão sinais de exaustão.

Experimento de Recife

No caso específico de Recife, um edifício residencial localizado no bairro de Boa Viagem para o estudo da recarga, o prédio tem um poço cuja vazão não é suficiente para ser explorado, possuindo ainda uma área suficientemente elevada para coletar um volume significativo de águas pluviais (MONTENEGRO et al., 2005).

Nesse condomínio foi feita a montagem de um esquema de captação de águas pluviais que permitiu selecionar através de um sistema de registros, quais áreas do condomínio (áreas do telhado, piso de circulação e lazer) contribuiriam para a captação, controlando assim o volume e a procedência da mesma. O autor, tomou parte na elaboração do projeto e na execução.

As águas coletadas das áreas da cobertura e do piso de lazer foram encaminhadas a um reservatório subterrâneo já existente no condomínio mais isolado especificamente para o experimento. A área de captação das águas de chuva é formada pelo telhado mais a área de livre circulação externa (pátio e lazer), perfazendo um total de 2.270 m².

Antes de serem recolhidas ao reservatório, as águas captadas passam por um sistema de filtragem semelhante aos anteriormente apresentados nos casos de reservação no lote. A filtração objetiva reter todo material granular carregado pela chuva. Acoplado a esse sistema há um sistema de controle de captação das águas pluviais que permite a seleção da procedência das águas através de um sistema de registros (Figura 7.10). A água coletada é direcionada para o reservatório no subsolo e em seguida lançada em poço profundo.



Figura 7. 10 - Sistema de captação e remoção de partículas sólidas das águas pluviais.

Com a utilização desse sistema foi possível determinar se a captação das águas de chuva acumularia água da área total (cobertas e pátio) ou apenas de uma determinada área do condomínio, permitindo, também, a saída das águas diretamente para a rua, no caso do reservatório ficar completamente cheio. O reservatório utilizado possuía capacidade de 100 m³.

O sistema injetor é formado por bomba injetora, acionada assim que a bóia no reservatório atinge determinado nível, iniciando assim a recarga. Além do sensor de bóia instalado no reservatório, o sistema injetor possui outro sensor de nível instalado no poço injetor, que desliga a bomba quando o nível do poço chega à cota do terreno. A vazão da bomba injetora foi regulada de modo a permitir a maior taxa de recarga possível para o ensaio (MONTENEGRO et al., 2005).

Os resultados demonstraram um processo de evolução do poço por desenvolvimento e apontam para valores viáveis de volume a serem injetados por recarga.

A recarga artificial de aquíferos em lotes urbanos, ainda não é praticada no Brasil em escala operacional, mas vem sendo implementada em diversos países como Estados Unidos, Austrália, Israel, como parte de programa de gerenciamento visando à recuperação dos níveis potenciométricos dos

aqüíferos, bem como ao controle da intrusão marinha (MONTENEGRO et al., 2005).

A recarga envolve risco de contaminação da água do subsolo. Porém, acredita-se que, com cuidados especiais, é possível a recarga dos aqüíferos que seriam plenamente utilizados para o abastecimento humano, além de contribuir para a redução dos problemas de drenagem urbana.

Conclui-se então, que existem varias estruturas de controle de áreas públicas que se corretamente adotadas na bacia do Rio Fragoso certamente reduziriam os problemas atualmente observados. Como síntese tem-se:

Reservatórios de detenção/retenção;

O canal de extravasamento e infiltração, que o autor considera como fundamental, em virtude da comprovação histórica da existência no passado de extravasamento natural durante fortes chuvas (Mello, 2003);

Reservação em áreas de lote, sem custos diretos para as finanças municipais, podendo sua aplicação ser viabilizada por incentivo aos munícipes ou código de obras;

Micro reservatórios de detenção, também nos lotes;

Desenvolvimento urbano de baixo impacto com destaque para tetos e fachadas verdes, este último lançado como proposta de projeto arquitetônico por orientação do autor;

Fundações de baixo impacto ou especial;

Infiltração, percolação em áreas de lote, onde se originam os impactos da impermeabilização e remoção de cobertura vegetal;

Poços de infiltração e recarga.

No capítulo destaca-se também a contribuição do sistema de captação inicial das chuvas que poderá contribuir de forma direta para um melhor aproveitamento das águas de chuva após a limpeza inicial verificada, como emprego do novo elemento de captação.

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.º 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 Walesh (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 ZEC, 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 ZEC 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**” - John 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 do Brasil e exterior**” – In: Seminário de Drenagem Urbana CTG/UFPE.

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)