

# **CAPA**

# Gestão de Inundações Urbanas

**Carlos E. M. Tucci**

**LOGO MINISTÉRIO DAS CIDADES e Unesco**



© de Carlos E. M. Tucci

Diretos reservados desta edição  
Ministério das Cidades

Capa:

Carlos E. M. Tucci: engenheiro civil, MSc e PhD em Recursos Hídricos (Colorado State University, USA), professor titular do Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

---

Tucci, Carlos E.M.

Gestão de Águas Pluviais Urbanas/ Carlos E. M.Tucci – Ministério das Cidades – Global Water Partnership - World Bank – Unesco 2005.

I. Inundação – Urbano - Recursos Hídricos

---

ISBN xxxx

## **Apresentação**

**E**ste texto foi preparado para um curso de mesmo título voltado para tomadores de decisão, profissionais de diferentes áreas de conhecimento que de alguma forma atuam dentro do meio ambiente urbano como administradores, legisladores, engenheiros, arquitetos, geólogos, biólogos, entre outros.

Os objetivos do curso são de apresentar uma visão integrada da gestão das águas pluviais urbanas, onde se inserem a drenagem urbana e as inundações ribeirinhas das cidades. O curso não aborda os aspectos específicos de projeto, mas trata de abordar os aspectos estratégicos da gestão e as interfaces com os diferentes aspectos das águas urbanas e os outros elementos de planejamento e gestão das cidades.

Este curso foi ministrado inicialmente no Brasil e depois em várias cidades da América do Sul em cooperação com várias entidades nacionais e internacionais, procurando mudar a forma insustentável do desenvolvimento urbano e seus impactos no âmbito das águas pluviais.

O primeiro capítulo apresenta os diferentes aspectos da gestão integrada no ambiente urbano, as suas inter-relações e interfaces e a visão integrada. Como no primeiro capítulo são destacados os dois tipos principais de inundações: devido à urbanização, drenagem urbana e inundações ribeirinhas, o segundo capítulo trata das Inundações Ribeirinhas: avaliação, medidas de controle para mitigação dos impactos e gestão dentro das cidades. No terceiro capítulo é apresentada a gestão na drenagem urbana como: estratégias de controle e princípios, medidas de controle sustentáveis em diferentes estágios. No quarto capítulo são apresentados os elementos da Gestão das Águas Pluviais e a sua relação com os outros elementos com a infraestrutura urbana dentro da cidade e com o Plano da Bacia Hidrográfica no qual a cidade está inserida. No quinto capítulo são apresentados os elementos básicos para o desenvolvimento do Plano de Águas Pluviais, enquanto que no sexto capítulo são discutidos alguns estudos de caso de conflitos e gestão de águas urbanas, junto com a estrutura de uma proposta de Plano Nacional de Águas Pluviais.

Seguramente o conteúdo deste texto não esgota um tema tão amplo que para realidade econômica, social, ambiental e climática exige soluções

inovadoras que se baseiam em princípios da gestão integrada do desenvolvimento sustentável.

Prof. Dr. Carlos E. M. Tucci  
Instituto de Pesquisas Hidráulicas  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

# Sumário

<b>1.ÁGUAS URBANAS</b>	<b>9</b>
<b>1.1 Desenvolvimento urbano</b>	<b>9</b>
<b>1.1.1 Processo de urbanização</b>	<b>9</b>
<b>1.1.2 Impactos na infra-estrutura urbana</b>	<b>11</b>
<b>1.2 Sistemas Hídricos Urbanos</b>	<b>15</b>
<b>1.3 Disponibilidade Hídrica</b>	<b>16</b>
<b>1.4 Avaliação dos componentes das águas urbanas</b>	<b>19</b>
<b>1.4.1 Contaminação dos mananciais</b>	<b>19</b>
<b>1.4.2 Abastecimento de água e saneamento</b>	<b>21</b>
<b>1.4.3 Resíduos sólidos</b>	<b>26</b>
<b>1.4.4 Escoamento pluvial</b>	<b>29</b>
<b>1.4.5 Síntese do cenário atual</b>	<b>33</b>
<b>1.5 Doenças de veiculação hídrica</b>	<b>34</b>
<b>1.6 Comparação entre países desenvolvidos e em desenvolvimento</b>	<b>36</b>
<b>2.GESTÃO DAS INUNDAÇÕES RIBEIRINHAS</b>	<b>42</b>
<b>2.1 Características das inundações ribeirinhas</b>	<b>43</b>
<b>2.2 Ocupação do espaço urbano e impacto</b>	<b>44</b>
<b>2.3 Avaliação das enchentes</b>	<b>52</b>
<b>2.3.1 Previsão de Cheia em Tempo Atual</b>	<b>52</b>
<b>2.3.2 Probabilidade ou risco da inundação</b>	<b>55</b>
<b>2.4 Medidas de controle das inundações ribeirinhas</b>	<b>56</b>

<b>2.5 Medidas Estruturais</b>	<b>58</b>
2.5.1 Medidas Extensivas	60
2.5.2 Medidas Intensivas	60
<b>2.6 Medidas não-estruturais</b>	<b>69</b>
2.6.1 Sistema de previsão e alerta	69
2.6.2 Zoneamento de áreas inundáveis	72
2.6.3 Construção à prova de enchente	82
2.6.4 Seguro de inundação	82
<b>2.7 Avaliação dos prejuízos das enchentes</b>	<b>83</b>
2.7.1 Curva nível-prejuízo	83
2.7.2 Método da curva de prejuízo histórico	84
2.7.3 Equação do prejuízo agregado	85
<b>3.GESTÃO DAS INUNDAÇÕES NA DRENAGEM URBANA</b>	<b>90</b>
3.1 Impacto do desenvolvimento urbano no ciclo hidrológico	90
3.2 Impacto Ambiental sobre o ecossistema aquático	93
3.3 Gestão na macrodrenagem que geram impactos	101
3.3.1 Gestão na drenagem urbana	101
3.3.2 Gestão inadequada das áreas ribeirinhas em combinação com a drenagem urbana	104
3.4 Princípios da gestão sustentável	104
3.5 Tipos de Medidas de Controle	108
3.5.1 Medidas de controle distribuído	108
3.5.2 Medidas de Controle na microdrenagem e macrodrenagem	121
<b>4.GESTÃO INTEGRADA DAS ÁGUAS URBANAS</b>	<b>140</b>
4.1 Fases da gestão	142
4.2 Visão integrada no ambiente urbano	144
4.3 Aspectos Institucionais	150
4.3.1 Espaço Geográfico de gerenciamento	150
4.3.2 Experiências	151
4.3.3 Legislações	151
4.3.4 Gestão urbana e da bacia hidrográfica	153

<b>5.PLANO DE ÁGUAS PLUVIAIS</b>	<b>184</b>
5.1 Interfaces entre os Planos	184
5.1.1 Gestão	184
5.1.2 Drenagem urbana e Erosão e resíduos sólidos	186
5.1.3 Recuperação ambiental	186
5.2 Estrutura	187
5.2.1 Princípios	188
5.2.2 Objetivos do Plano	190
5.2.3 Estratégias	190
5.2.4 Cenários	192
5.3 Medidas	193
5.3.1 Medidas não-estruturais	193
5.3.2 Medidas estruturais	194
5.4 Produtos	210
5.5 Programas	211
5.5.1 Programa de Monitoramento	211
5.5.2 Estudos complementares	215
<b>6.ESTUDOS DE CASO</b>	<b>223</b>
6.1 Inundações ribeirinhas em Estrela (RS)	223
6.2 Inundações ribeirinhas e energia em União da Vitória/Porto União.	224
6.2.1 Inundações	225
6.2.1 Conflito	226
6.2.2 Medidas de Controle	228
6.3 Gestão das Inundações na Região Metropolitana de Curitiba	230
6.3.1 Alternativas de controle	230
6.3.2 Concepção das medidas de controle	232
6.4 Gestão de Inundações em Porto Alegre	234
6.4.1 Descrição	234
6.4.2 Bacia do Areia	238
6.4.3 Cenário de drenagem na cidade	239



# Águas Urbanas

*Visão integrada dos aspectos da infra-estrutura urbana que possuem relação com as inundações urbanas.*

O desenvolvimento urbano se acelerou na segunda metade do século vinte com grande concentração de população em pequeno espaço, impactando o ecossistema terrestre e aquático e a própria população através das inundações, doenças e perda de qualidade de vida. Este processo ocorre devido à falta de controle do espaço urbano que produz efeito direto sobre a infra-estrutura de água: abastecimento, esgotamento sanitário, águas pluviais (drenagem urbana e inundações ribeirinhas) e resíduos sólidos.

Neste capítulo são destacados os principais processos que integram o conjunto da sustentabilidade hídrica urbana e as inter-relações da gestão desta infra-estrutura. No item seguinte são apresentados os aspectos principais da urbanização e ocupação do uso do solo e a seguir são caracterizados os principais elementos da infra-estrutura das águas urbanas: abastecimento de água, esgotamento sanitário, resíduos sólidos, águas pluviais e saúde.

## **1.1 Desenvolvimento urbano**

### **1.1.1 Processo de urbanização**

O crescimento urbano nos países em desenvolvimento tem sido realizado de forma insustentável com deterioração da qualidade de vida e do meio ambiente. Este processo é ainda mais significativo na América Latina onde a população urbana é 77% do total (47,2% a nível mundial). Existem 44 cidades na América Latina com população superior a 1 milhão de habitantes (de um total de 388 cidades do mundo, UN,2003). Cerca de 16 Mega-cidades (acima de 10 milhões de habitantes) se formaram no final do século vinte, representando 4% da população mundial,

sendo que pelo menos quatro destas cidades estão na América Latina (tabela 1.1), representando mais de 10% da população da região.

O crescimento urbano ocorrido em países em desenvolvimento tem sido significativo desde a década de 70. Nos países desenvolvidos o crescimento da população estacionou e tende a diminuir já que a taxa de natalidade é inferior a 2,1 filhos por casal que mantém a população estável. A recuperação ou a manutenção da população atualmente ocorre apenas através de migração controlada. Nos países em desenvolvimento o crescimento é ainda muito grande e a projeção das Nações Unidas é de que a estabilização da população ocorrerá apenas em 2150. A urbanização é um processo que ocorre a nível mundial com diferenças entre continentes. Na América Latina a urbanização tem sido alta com a transferência da população rural para as cidades. Este crescimento tende em médio prazo a estabilizar o crescimento demográfico. A previsão é de que em 2010 existirão 60 cidades acima de 5 milhões, sendo a maioria em países em desenvolvimento. Na tabela 1.1 podem-se observar as cidades mais populosas do mundo e da América Latina.

Tabela 1.1 Maiores cidades a nível mundial e da América Latina (UN,2003)

Maiores a nível Mundial		Maiores cidades da América Latina	
Cidade	População <i>Milhões</i>	Cidade	População <i>Milhões</i>
Tóquio	26,44	Cidade do México	17,8
Cidade do México	18,07	São Paulo	16,3
São Paulo	17,96	Buenos Aires	12,02
Bombai	16,09	Rio de Janeiro	10,65
Los Angeles	13,21	Lima	7,44
Calcutá	13,06	Bogota	6,77
Xangai	12,89	Santiago	5,47
Daka	12,52	Belo Horizonte	4,22
Deli	12,44	Porto Alegre	3,76

A taxa de crescimento da população da América Latina e Caribe variaram de 2,1% nos primeiros cinco anos da década de 80 para 1,5% nos primeiros cinco anos do novo milênio e tende a 1,2 para 2015. Isto é reflexo do processo de urbanização que tende a reduzir a taxa de crescimento habitacional. Na figura 1.1 são apresentadas a proporção do crescimento da urbanização observado nos países da América Latina e sua projeção.

A América do Sul e México encontram-se acima de 70% de urbanização, enquanto que a América Central está ainda em cerca de 50%. É de se

esperar que os problemas enfrentados pelos países da América do Sul e México possam se reproduzir na América Central na medida que a tendência de urbanização ocorra. Toda a região tenderá em 2015 a uma proporção de população urbana total de 80,7 %, principalmente devido aos países mais populosos que estão com taxas maiores de urbanização.

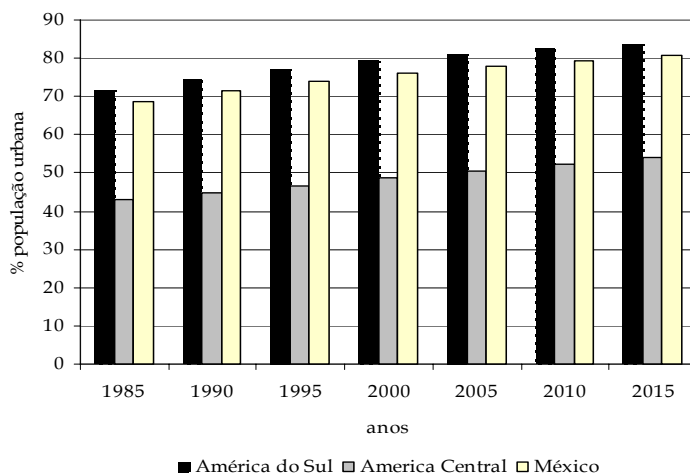


Figura 1.1 Urbanização em países da América Latina

Na tabela 1.2 são apresentados alguns dos países da América Latina em ordem de população e sua urbanização em 2000. Na figura 1.2 pode-se observar a relação entre a urbanização e a população dos países. Verificam-se duas tendências para os países de menor população, uma para os países de maior renda per capita, que possuem altas taxas de população urbana, e outra para os países de renda menor, que possuem menor população urbana.

### 1.1.2 Impactos na infra-estrutura urbana

Os principais problemas relacionados com a infra-estrutura e a urbanização nos países em desenvolvimento, com destaque para a América Latina são:

- *Grande concentração populacional em pequena área*, com deficiência no sistema de transporte, falta de abastecimento e saneamento, ar e água poluído, além das inundações. Estas condições ambientais inadequadas reduzem as condições de saúde, qualidade de vida da população, impactos ambientais e são as principais limitações ao seu desenvolvimento;

Tabela 1.2 População e urbanização na América Latina (Cepal, 2002)

País	População 1000 habitantes	População urbana %
Brasil	172.891	79,9
México	98.881	75,4
Colômbia	43.070	74,5
Argentina	37.032	89,6
Peru	25.939	72,3
Venezuela	24.170	87,4
Chile	15.402	85,7
Equador	12.879	62,7
Guatemala	11.385	39,4
Bolívia	8.516	64,6
Honduras	6.485	48,2
El Salvador	6.397	55,2
Paraguai	5.496	56,1
Nicarágua	5.071	53,9
Costa Rica	4.112	50,4
Uruguai	3.337	92,6
Panamá	2.856	55,7
Total/média	483.919	76,14

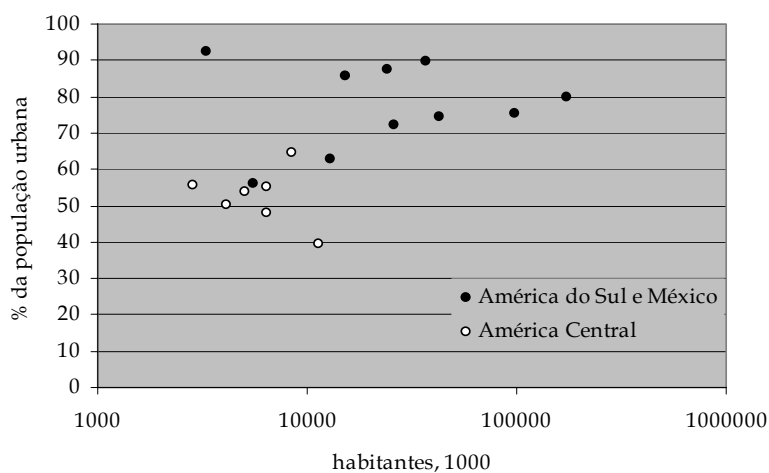


Figura 1.2 Relação entre população e população urbana

- *Aumento da periferia* das cidades de forma descontrolada pela migração rural em busca de emprego. Estes bairros geralmente estão desprovidos de segurança, da infra-estrutura tradicional de água, esgoto, dre-

nagem, transporte e coleta de resíduos sólidos e são dominados por grupos de delinqüentes geralmente ligados ao tráfico de drogas.

- *A urbanização é espontânea e o planejamento urbano é realizado para a cidade ocupada pela população de renda média e alta. Para ilegais e públicas existe invasão e a ocupação ocorre sobre áreas de risco como de inundações e de escorregamento, com freqüentes mortes durante o período chuvoso. Somente no mês de janeiro de 2004, 84 pessoas morreram no Brasil devido a eventos relacionados com as inundações. Parte importante da população vive em algum tipo de favela. Portanto, existe a cidade formal e a informal. A gestão urbana geralmente atinge somente a primeira.*

Os problemas da urbanização ocorrem ao longo do tempo por um ou mais dos fatores seguintes:

- A população que migra para as cidades geralmente é de baixa renda, não possui capacidade de investimento e tende a invadir áreas públicas ou comprar áreas precárias sem infra-estrutura da urbanização informal. Nestas estão as áreas de risco de inundação ou de deslizamento;
- Déficit de emprego, renda e de moradia é alto;
- Legislações equivocadas de controle do espaço urbano;
- Incapacidade do município de planejar e antecipar a urbanização e investir no planejamento do espaço seguro e adequado como base do desenvolvimento urbano;
- Crise econômica nos países.

O município consegue apenas controlar as áreas de médio e alto valor econômico com regulamentação do uso do solo, onde estabelece a cidade formal.

O planejamento urbano é realizado para a cidade formal e para a cidade informal são analisadas tendências desta ocupação. Os principais problemas relacionados com a infra-estrutura de água no ambiente urbano são os seguintes:

- A falta de tratamento de esgoto: grande parte das cidades da região, não possuem tratamento de esgoto e lançam os efluentes na rede de esgotamento pluvial, que escoam pelos rios urbanos (maioria das cidades brasileiras);

- Outras cidades optaram por implantar as redes de esgotamento sanitário (muitas vezes sem tratamento), mas não implementam a rede de drenagem urbana, sofrendo freqüentes inundações com o aumento da impermeabilização;
- Ocupação do leito de inundação ribeirinha, sofrendo freqüentes inundações;
- Impermeabilização e canalização dos rios urbanos com aumento da vazão de cheia (sete vezes) e sua freqüência; aumento da carga de resíduos sólidos e da qualidade da água pluvial sobre os rios próximos das áreas urbanas;
- Deteriorização da qualidade da água devido a falta de tratamento dos efluentes tem criado potenciais risco ao abastecimento da população em vários cenários, onde o mais crítico tem sido a ocupação das áreas de contribuição de reservatórios de abastecimento urbano, que eutrofizados podem produzir riscos a saúde da população.

Existe uma visão limitada do que é a gestão integrada do solo urbano e da sua infra-estrutura e grande parte dos problemas destacados acima foram gerados por um ou mais dos aspectos destacados a seguir:

- *Falta de conhecimento*: da população e dos profissionais de diferentes áreas que não possuem informações adequadas sobre os problemas e suas causas. As decisões resultam em custos altos, onde algumas empresas se apóiam para aumentar seus lucros. Por exemplo, o uso de canalização para drenagem é uma prática generalizada, mesmo representando custos muito altos e geralmente tendem a aumentar o problema que pretendiam resolver. A própria população, quando possui algum problema de inundação, solicita a execução de um canal para o controle da inundação. Com o canal a inundação é transferida para jusante afetando outra parte da população. Estas obras podem chegar a ordem de magnitude de 10 vezes superior a medidas mais sustentáveis;
- *Concepção inadequada dos profissionais de engenharia para o planejamento e controle dos sistemas*: Uma parcela importante dos engenheiros que atuam no meio urbano, estão desatualizados quanto a visão ambiental e geralmente buscam soluções estruturais, que alteram o ambiente, com excesso de áreas impermeáveis e conseqüente aumento de temperatura, inundações, poluição, entre outros;
- *Visão setorializada do planejamento urbano*: O planejamento e o desenvolvimento das áreas urbanas é realizado sem incorporar os aspectos re-

lacionados com os diferentes componentes da infra-estrutura de água. Uma parte importante dos profissionais que atuam nesta área possui uma visão setorial limitada.

- *Falta de capacidade gerencial*: os municípios não possuem estrutura para o planejamento e gerenciamento adequado dos diferentes aspectos da água no meio urbano.

## 1.2 Sistemas Hídricos Urbanos

Os principais sistemas relacionados com a água no meio ambiente urbano são:

- Mananciais de águas;
- Abastecimento de água;
- Saneamento de efluentes sanitários;
- Controle da drenagem urbana;
- Controle das inundações ribeirinhas.

Os *mananciais* das águas urbanas são as fontes de água para abastecimento humano, animal e industrial. Estas fontes podem ser superficiais e subterrâneas. Os mananciais superficiais são os rios próximos às comunidades. A disponibilidade de água neste sistema varia sazonalmente ao longo dos anos, e algumas vezes a quantidade de água disponível não é suficiente para atender a demanda, sendo, muitas vezes, necessário construir um reservatório para garantir a disponibilidade hídrica para a comunidade ao longo do tempo. Os mananciais subterrâneos são os aquíferos que armazenam água no subsolo e permitem o atendimento da demanda através do bombeamento desta água. O uso da água subterrânea depende da capacidade do aquífero e da demanda. Assim, a água subterrânea é utilizada geralmente para cidades de pequeno e médio porte, pois depende da vazão de bombeamento que o aquífero permite retirar sem comprometer seu balanço de entrada e saída de água.

O *abastecimento de água* envolve a utilização da água disponível no manancial, que é transportada até a estação de tratamento de água (ETA) e depois distribuída à população por uma rede. Este sistema envolve importantes investimentos, geralmente públicos, para garantir a água em quantidade e qualidade adequada.

O *saneamento de efluentes de esgoto sanitário* é o sistema de coleta dos efluentes (residenciais, comerciais e industriais), o transporte deste volume, seu tra-

tamento numa ETE (Estação de Tratamento de Esgoto) e despejo da água tratada de volta ao corpo hídrico.

*A drenagem urbana* envolve a rede de coleta da água (e resíduos sólidos), que se origina devido à precipitação sobre as superfícies urbanas, o seu tratamento e o retorno aos rios.

*O gerenciamento das inundações ribeirinhas* procura evitar que a população seja atingida pelas inundações naturais. Os rios nos períodos chuvosos saem do seu leito menor e ocupam o leito maior, dentro de um processo natural. Como isto ocorre de forma irregular ao longo do tempo, a população tende a ocupar o leito maior, ficando sujeita ao impacto das inundações.

### **1.3 Disponibilidade Hídrica**

Todos os componentes dos sistemas hídricos estão fortemente inter-relacionados devido à forma como são gerenciados dentro do ambiente urbano. Nos últimos anos, estamos passando por um cenário em que valores essenciais à nossa vida, que somente damos a devida importância quando nos faltam, como a água e a luz, podem estar em risco de suprimento por um tempo maior do que estamos acostumados a suportar. Será que estamos voltando à época de nossos avós em que a infra-estrutura era ainda precária? São dúvidas que passam pela cabeça de muitas pessoas, com a avalanche de informações, muitas vezes desconhecidas, que aparece na mídia.

Em nosso planeta, o total de água globalmente retirado de rios, aquíferos e outras fontes aumentou cerca de nove vezes, enquanto o uso por pessoa dobrou e a população está três vezes maior. Em 1950, as reservas mundiais representavam 16,8 mil m<sup>3</sup>/pessoa; atualmente esta reserva reduziu-se para 7,3 mil m<sup>3</sup>/pessoa, e espera-se que venha a se reduzir para 4,8 mil m<sup>3</sup>/pessoa nos próximos 25 anos, como resultado do aumento da população, industrialização, agricultura e a contaminação. Quando comparados os usos, a quantidade de água disponível e a necessidade humana, pode-se, erroneamente, concluir que existe água suficiente. No entanto, a água encontra-se distribuída no planeta com grande variação temporal e espacial; existem várias regiões vulneráveis, onde cerca de 460 milhões de pessoas (aproximadamente 8% da população mundial) estão vulneráveis à falta freqüente de água e cerca de 25% estão indo para o mesmo caminho. A tabela 1.3 apresenta um resumo de atendimento de água utilizado por organizações ligadas as Nações Unidas.

O ciclo hidrológico natural é constituído por diferentes processos físicos, químicos e biológicos. Quando o homem atua sobre este sistema



e se concentra no espaço produz grandes alterações, que alteram dramaticamente este ciclo, e trazem consigo impactos significativos (muitas vezes de forma irreversível) no próprio homem e na natureza.

Tabela 1.3 Proporção de aceitável (“improved”<sup>1</sup>) Abastecimento e saneamento de áreas urbanas(WHO e UNICEF JMP, 2002)

Região	Abastecimento de água <sup>2</sup>	Saneamento <sup>3</sup>
África	86	80
Ásia	93	74
América Latina e Caribe	94	86
Oceania	98	86
Europa	100	99
América do Norte	100	100
Global	95	83

1–é uma definição qualitativa genérica para a água fornecida e disposta sem contaminar a população. Não é a mesma definição que “safe”, água segura, que deveria se basear em medida quantitativa de indicadores; 2 –Abastecimento de água é entendido pelos autores como o atendimento de água a população; 3 - Saneamento é entendido pelos autores como a disposição do esgoto em redes ou no solo, não envolve necessariamente coleta e tratamento.

Um dos primeiros impactos é o risco da *escassez quantitativa de água*. A natureza tem mostrado que a água, que escoar nos rios (depende das chuvas), é aleatória e varia muito entre o período úmido e nas estiagens. O homem, na sua história, procurou controlar essa água para seu benefício por meio de obras hidráulicas. Essas obras procuram reduzir a escassez e o risco de falta de água pela regularização das vazões, aumentando a disponibilidade ao longo do tempo.

No passado, quando as cidades eram menores, a população retirava água a montante do rio e despejava sem tratamento a jusante, poluindo os rios e deixando para a natureza a função de recuperar a sua qualidade. Os impactos eram menores devido ao baixo volume de esgoto despejado com relação a capacidade de diluição dos rios. Com o aumento da urbanização e com o uso de produtos químicos na agricultura e no ambiente em geral, a água utilizada nas cidades, indústrias e na agricultura retorna aos rios totalmente contaminada e, em grande quantidade. Além disso, com o aumento da população sempre haverá uma cidade a montante e outra a jusante, contaminando o manancial superficial e as diferentes camadas do sub-solo e o manancial subterrâneo.

A consequência da expansão sem uma visão ambiental é a deterioração dos mananciais e a redução da cobertura de água segura para a população, ou seja *a escassez qualitativa* (ver na figura 1.3 o ciclo de contaminação das cidades). Este processo necessita de diferentes ações preventivas de planejamento urbano e ambiental, visando minimizar os impactos e buscar o desenvolvimento sustentável.

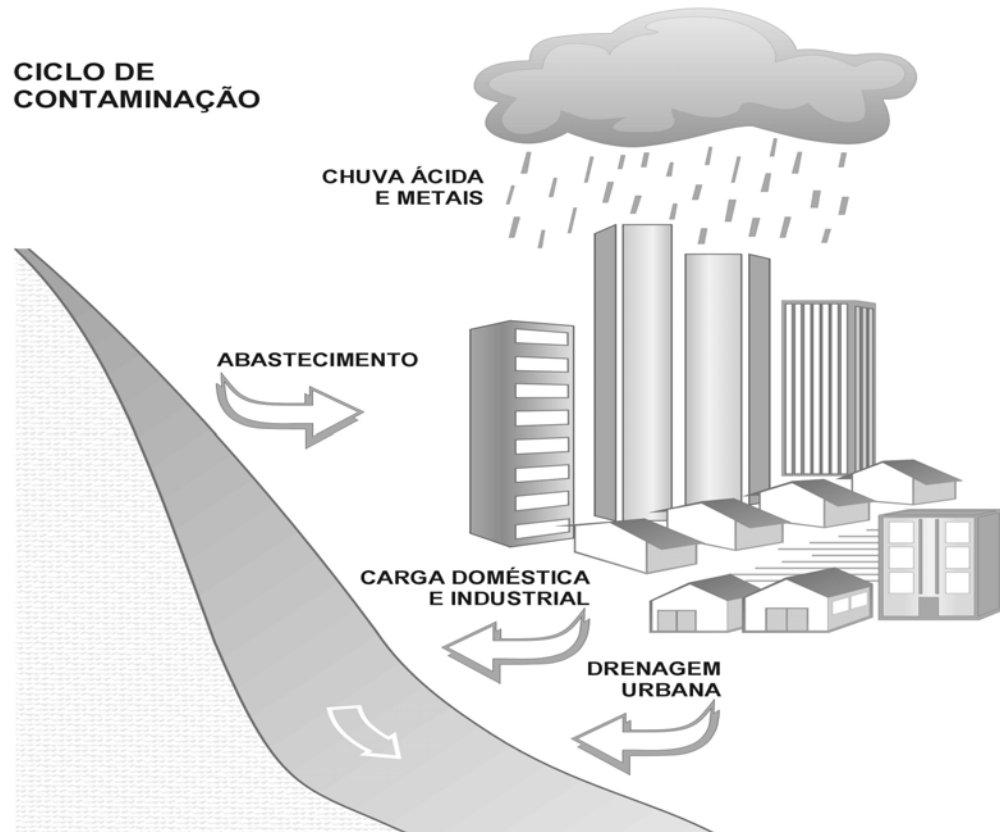


Figura 1.3 Ciclo de contaminação

Os riscos de inundação e a deteriorização da qualidade da água nos rios, próximos às cidades de países em desenvolvimento e, mesmo em países desenvolvidos, é um processo dominante no final do século vinte e início do século vinte e um. Isto se deve a:

- Contaminação dos mananciais superficiais e subterrâneos com os efluentes urbanos como o esgoto cloacal, pluvial e os resíduos sólidos;
- Disposição inadequada dos esgotos cloacais, pluviais e resíduos sólidos nas cidades;

- Inundações nas áreas urbanas devido à urbanização;
- Erosão e sedimentação gerando áreas degradadas;
- Ocupação de áreas ribeirinhas, com risco de inundações e de áreas de grandes inclinações, como morros urbanos, sujeitos a deslizamento após período chuvoso.

A maioria destes problemas é consequência de uma visão distorcida do controle das águas pluviais por parte da comunidade e profissionais, que ainda priorizam projetos localizados, sem uma visão da bacia e dos aspectos sociais e institucionais das cidades. O paradoxo é que os países em desenvolvimento e mais pobres priorizam ações economicamente insustentáveis, como as medidas estruturais, enquanto os países desenvolvidos buscam prevenir os problemas com medidas não-estruturais, mais econômicas e com desenvolvimento sustentável. Este cenário é decorrência de deficiente estrutura institucional dos países em desenvolvimento que gerencia de forma inadequada uma complexa área intersetorial da sociedade moderna.

## **1.4 Avaliação dos componentes das águas urbanas**

### **1.4.1 Contaminação dos mananciais**

O desenvolvimento urbano tem produzido um ciclo de contaminação, gerado pelos efluentes da população urbana, que são o esgoto doméstico/industrial e o esgoto pluvial (figura 1.3). Este processo ocorre devido ao:

- Despejo sem tratamento dos esgotos cloacais nos rios, contaminando os mesmos que possuem capacidade limitada de diluição. Isto ocorre devido à falta de investimentos nos sistemas de esgotamento sanitário e estações de tratamento e, mesmo quando existem, apresentam baixa eficiência;
- O despejo dos esgotos pluviais, que transportam grande quantidade de poluição orgânica e de metais que atingem os rios nos períodos chuvosos. Esta é uma das mais importantes fontes de poluições difusa;
- Contaminação das águas subterrâneas por despejos industriais e domésticos, através das fossas sépticas, vazamento dos sistemas de esgoto sanitário e pluvial;
- Depósitos de resíduos sólidos urbanos, que contaminam as águas superficiais e subterrâneas, funcionando como fonte permanente de contaminação;

- Ocupação do solo urbano sem controle do seu impacto sobre o sistema hídrico.

Com o tempo, locais que possuem abastecimento tendem a reduzir a qualidade da sua água ou exigir maior tratamento químico da água de fornecida à população. Portanto, mesmo existindo hoje uma boa cobertura do abastecimento de água no Brasil, a mesma pode ficar comprometida se medidas de controle do ciclo de contaminação não ocorrerem.

Muitas cidades utilizam reservatórios urbanos para regularizar a demanda de água de uma comunidade. Como os reservatórios se encontram próximos das cidades, existe grande pressão de ocupação urbana na bacia hidrográfica a montante do reservatório. Infelizmente os municípios possuem pouca capacidade de fiscalização, e acabam se desenvolvendo nas áreas mananciais com loteamentos irregulares ou clandestinos. No Brasil, a legislação de proteção de áreas de manancial foi criada para procurar proteger estas áreas, mas incentivou exatamente o contrário do desejado (ver tabela 1.4).

Tabela 1.4 Legislação de Proteção de Áreas de Mananciais no Brasil

A legislação de proteção de mananciais aprovada na maioria dos Estados brasileiros protege a bacia hidrográfica utilizada para abastecimento das cidades. Nestas áreas é proibido o uso do solo urbano, que possam comprometer a qualidade da água de abastecimento.

Devido ao crescimento das cidades, estas áreas foram pressionadas à ocupação pelo valor imobiliário da vizinhança e pela falta de interesse do proprietário em proteger a área, já que a mesma perdeu o valor em função da legislação e ainda necessita pagar impostos sobre a mesma. Estas áreas são invadidas pela população de baixa renda e a consequência imediata é o aumento da poluição. Muitos proprietários incentivaram a invasão até para poder vender a propriedade para o poder público.

A principal lição que se pode tirar deste cenário é que, ao se declarar de utilidade pública a bacia hidrográfica do manancial, a mesma deveria ser adquirida pelo poder público ou criar valor econômico para propriedade, através da geração de mercado indireto para a área (mercado de compensação ambiental, solo criado, etc), ou ainda outros benefícios para os proprietários, para compensar a proibição pelo uso da mesma e incentivá-la a preservá-la.

Em consequência desta ocupação e da falta de tratamento dos esgotos, a carga poluidora chega diretamente ao reservatório, aumentando a probabilidade de eutrofização (riqueza em nutrientes). Com o reservatório eutrófico existe a tendência de produção de algas que consomem os nutrientes. Estas algas podem produzir toxinas que absorvidas pelo homem, atuam de forma

cumulativa sobre o fígado, gerando doenças que podem levar a morte, principalmente no caso de diálise (caso Caruaru no qual morreram várias pessoas de uma clínica de diálise). As toxinas também se acumulam no fundo dos lagos, dos quais alguns peixes também se alimentam. O tratamento de água tradicional não remove estas toxinas.

As principais fontes de contaminação dos aquíferos urbanos são:

- Aterros sanitários contaminam as águas subterrâneas pelo processo natural de precipitação e infiltração. Deve-se evitar que sejam construídos aterros sanitários em áreas de recarga e deve-se procurar escolher as áreas com baixa permeabilidade. Os efeitos da contaminação nas águas subterrâneas devem ser examinados quando da escolha do local do aterro;
- Grande parte das cidades brasileiras utiliza fossas sépticas como destino final do esgoto. Esse sistema tende a contaminar a parte superior do aquífero. Esta contaminação pode comprometer o abastecimento de água urbana quando existe comunicação entre diferentes camadas dos aquíferos através de percolação e de perfuração inadequada dos poços artesianos;
- A rede de drenagem pluvial pode contaminar o solo através de perdas de volume no seu transporte e até por entupimento de trechos da rede que pressionam a água contaminada para fora do sistema de condutos.

#### **1.4.2 Abastecimento de água e saneamento**

O acesso à água e ao saneamento reduz, em média, 55% da mortalidade infantil (WRI, 1992). A implementação da infra-estrutura de abastecimento e saneamento é essencial para um adequado desenvolvimento urbano.

Em 1990, os países em desenvolvimento possuíam um abastecimento de água que cobria cerca de 80% da população e apenas 10% dessa população era atendida pelo sistema de saneamento. Mesmo com a cobertura de 80% da população, existia um bilhão de pessoas que não tinham acesso à água limpa. Neste período, 453 milhões de pessoas não tinham acesso ao saneamento (entendido aqui como apenas coleta e não coleta e tratamento) representando cerca de 33% da população. Em quatro anos 70 milhões receberam saneamento, mas a população cresceu em velocidade maior, aumentando a proporção de pessoas sem acesso para 37% (Wright, 1997).

Em muitas cidades da América do Sul os serviços de água possuem problemas crônicos, com perda de água na distribuição e falta de racionalização de uso da água a nível doméstico e industrial. As cidades perdem

de 30 a 65% da água colocada no sistema de distribuição. Na tabela 1.5 pode-se observar a diferença de perdas na rede das cidades dos países desenvolvidos e das cidades da América do Sul, apesar do consumo *per capita* maior. Quando à falta de água, a tendência é de buscar novos mananciais sem que seja reduzida, as perdas e desenvolvida racionalização.

Na tabela 1.6 é descrito o exemplo de Nova York de exemplo de racionalização do uso de água. A cidade de Las Vegas criou subsídios para a troca do uso de grama para vegetação mais adaptada ao deserto que consome pouca água. A cidade de Denver não conseguiu aprovação para a construção de novas barragens para atendimento do aumento da demanda de água, e foi obrigada a racionalizar seu uso e comprar direitos de uso de agricultores.

Tabela 1.5 Valores de consumo e perdas na rede (World Bank, 1996).

Local	Ano	Consumo litros/pessoa/dia	Perdas na rede %
Brasil (média)	1989	151	39
Brasília	1989	211	19
São Paulo	1988/1992	237	40
S. Catarina	1990	143	25
Minas Gerais	1990	154	25
Santiago	1994	204	28
Bogotá	1992/1991	167	40
Costa Rica	1994	197	25
Canadá (média)	1984	431	15
USA (média)	1990	666	12
Tóquio	1990	355	15

O desenvolvimento de várias cidades da América do Sul tem sido realizado com moderada cobertura de redes de coleta de esgoto, além da quase total falta de tratamento de esgoto (tabela 1.7). Inicialmente, quando a cidade tem pequena densidade, é utilizada a fossa séptica para disposição do esgoto. À medida que a cidade cresce e o poder público não investe no sistema, o esgoto sanitário de diferentes origens é conectado à rede pluvial. Este escoamento converge para os rios urbanos e o sistema fluvial de jusante gerando os conhecidos impactos na qualidade da água. Veja os dados da tabela 1.8 de cobertura no Brasil.

Tabela 1.6 Racionalização do Uso da Água (Scientific American, 2001)

A cidade de Nova York no início dos anos 90 teve uma crise de abastecimento de água e necessitava aumentar sua oferta de água. A cidade necessitava de mais 90 milhões de galões de água a cada dia (340 milhões de m<sup>3</sup>), cerca de 7% do uso total da cidade. A alternativa era gastar mais US \$ 1 bilhão para bombear água do rio Hudson, mas a cidade optou pela redução da demanda.

Em 1994, foi iniciado um programa de racionalização, com investimento de US \$ 295 milhões, para substituir 1/3 de todas as instalações dos banheiros da cidade. Cada banheiro utilizava dispositivo que consumia cerca de 5 galões para descarga, tendo sido substituído por um dispositivo de 1,6 galão. Em 1997, quando o programa terminou 1,33 milhão de dispositivos foram substituídos em 110.000 edifícios com 29% de redução de consumo de água por edifício, reduzindo o consumo de 70 a 90 milhões de galões por dia.

Tabela 1.7 Acesso ao Saneamento\* em % (Word Bank, 1999)

País	1982 (%)	1995 (%)
Argentina	76	80
Bolívia	51	77
Brasil	33	74
Chile	79	95
Colômbia	96	70
Equador	79	70
Paraguai	66	20
Peru	67	78
Uruguai	59	56
Venezuela	57	74

\* acesso a saneamento indica a parcela da população que tinha coleta de esgoto seja por rede pública como por disposição local

Mesmo nos países onde existe coleta e tratamento de esgoto, pouco se conhece da eficiência do mesmo e o grau de contaminação para jusante. Este processo pode se agravar com a privatização, na medida que a poder concedente não tenha capacidade de fiscalização adequada.

No Brasil, as empresas de saneamento nos últimos anos têm investido em redes de coleta de esgoto e estações de tratamento, mas a parcela do vo-

lume gerado pelas cidades que efetivamente é tratado antes de chegar ao rio é ainda muito pequena. Algumas das questões são as seguintes:

Tabela 1.8 Situação Brasileira com Relação ao Abastecimento de Água e Esgotamento Sanitário (IBGE, 1997)

Tipo de Serviço	População Atendida (%)		
	Brasil	Urbana	Rural
Abastecimento de Água:			
Rede Geral	75,93	90,56	19,91
Outro	24,07	9,44	80,09
Esgotamento Sanitário:			
Rede Coletora	37,83	46,79	3,50
Fossa Séptica	23,03	25,45	13,75
Outro	27,70	23,59	43,48
Não Tinham	11,43	4,17	39,26

- Quando as redes de esgoto são implementadas ou projetadas, muitas vezes não tem sido prevista a ligação da saída das habitações ou condomínios às mesmas. Desta forma as redes não coletam o esgoto projetado e as estações não recebem o esgoto para o qual têm a capacidade. Neste caso, ou o projeto foi elaborado de forma inadequada ou não foi executado como deveria. Como o esgoto continua escoando pelo pluvial para o sistema fluvial, o impacto ambiental continua alto. A conclusão é que os investimentos públicos são realizados de forma inadequada, atendendo apenas as empresas que executam as obras e não à sociedade, que aporta os recursos e o meio ambiente que necessita ser conservado;
- Como uma parte importante das empresas cobra pelo serviço de coleta e tratamento, mesmo sem que o tratamento seja realizado, qual será o interesse das mesmas em completar a cobertura de coleta e tratamento do esgoto?. Outro cenário freqüente é o de aumentar a coleta sem tratamento, agravando o problema na medida que concentra a poluição nos rios. Da mesma forma qual o interesse da empresa na eficiência na redução das perdas se pode transferir os custos para o preço final. Da mesma forma como a empresa terá interesse em reduzir a demanda por racionalização, se isto representará menor receita? Observa-se a falta de indicadores de eficiência para os serviços e compensações para esta eficiência na medida que a água é racionalizada;



- Quando for implementado o sistema de cobrança pela poluição quem irá pagar as penas previstas para a poluição gerada?

Estas questões geralmente estão relacionadas com a gestão dos serviços e o desenvolvimento sócio-econômico. Nas figuras 1.4 e 1.5 é possível observar a clara relação entre a renda percapita do país e a proporção de água segura e saneamento dos países. Estes gráficos ilustram que a medida que o país melhora economicamente isto se reflete nas condições de água e saneamento, apesar do indicador econômico utilizado apresentar distorções.

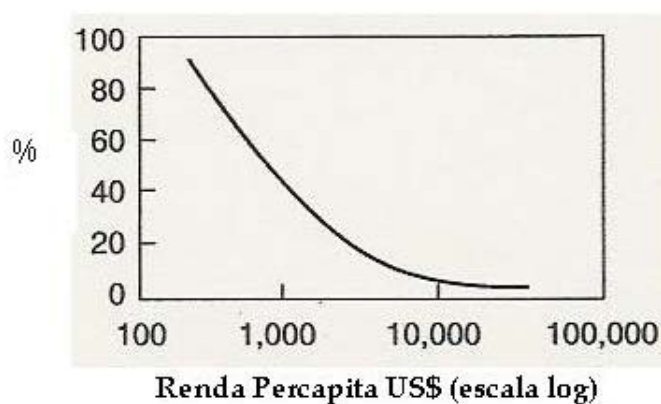


Figura 1.4 Relação entre renda percapita e % da população com água segura (Tietenberg, 2003, com dados de 1980)

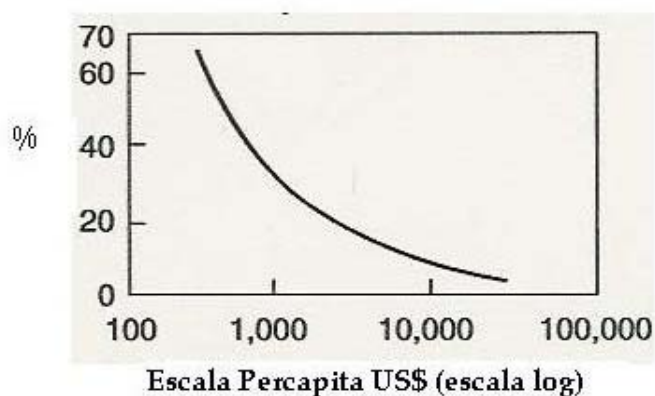


Figura 1.5 Relação entre renda percapita e % da população com saneamento adequado (Tietenberg, 2003, com dados de 1980).

### 1.4.3 Resíduos sólidos

Os dois tipos principais de resíduos são os *sedimentos* gerados pela erosão do solo devido ao efeito da precipitação e do sistema de escoamento e os *resíduos sólidos* produzidos pela população. A soma destes dois componentes é chamada de *sólidos totais*.

No desenvolvimento urbano são observados alguns estágios distintos da produção de material sólido na drenagem urbana ( $T_{dr}$ ), que são os seguintes:

(a) *estágio de pré-desenvolvimento*: a bacia hidrográfica naturalmente produz uma quantidade de sedimentos transportada pelos rios devido às funções naturais do ciclo hidrológicos;

(b) *estágio inicial de desenvolvimento urbano*: quando ocorre modificação da cobertura da bacia, pela retirada da sua proteção natural, o solo fica desprotegido e a erosão aumenta no período chuvoso, aumentando também a produção de sedimentos. Exemplos desta situação são: enquanto um loteamento é implementado o solo fica desprotegido; ruas sem pavimento; erosão devido ao aumento da velocidade do escoamento à montante por áreas urbanizadas; na construção civil por falta de manejo dos canteiros de obras áreas onde ocorre grande movimentação de terra. Todo este volume é transportado pelo escoamento superficial até os rios. Nesta fase, existe predominância dos sedimentos e pequena produção de lixo;

(c) *estágio intermediário*: parte da população está estabelecida, ainda existe importante movimentação de terra devido a novas construções. Em função da população estabelecida existe também uma parcela de resíduos sólidos que se soma aos sedimentos;

(d) *estágio de área desenvolvida*: nesta fase praticamente todas as superfícies urbanas estão consolidadas, resultando uma produção residual de sedimentos em função das áreas não impermeabilizadas, mas a produção de lixo urbano chega ao seu máximo com a densificação urbana.

A produção de resíduos é a soma do total coletado nas residências, indústria e comércio, mais o total coletado das ruas e o que chega na drenagem.

$$TR = T_c + T_l + T_{dr} \quad (1.1)$$

onde o TR é o total (em volume ou em peso) produzido pela sociedade e pelo ambiente; Tc é o total coletado, Tl total da limpeza urbana; e Tdr é o total que chega na drenagem. Os dois primeiros volumes podem ser reciclados, diminuindo o volume para ser disposto no ambiente. Na medida que os sistemas de coleta e limpeza urbana são ineficientes o volume de Tdr aumenta, com consequência para a drenagem e meio ambiente. O impacto na drenagem é devido a obstrução ao escoamento e no ambiente pela sua degradação. O material sólido urbano não coletado representa subsídio ambiental recebido pela sociedade que polui este sistema.

O volume de resíduos sólidos que chega na drenagem depende da eficiência dos serviços urbanos e de fatores como os seguintes: frequência e cobertura da coleta de lixo, frequência da limpeza das ruas, reciclagem, forma de disposição do lixo pela população e a frequência da precipitação.

**Coletado:** A produção de lixo *coletada* no Brasil é da ordem de 0,5 a 0,8 kg/pessoa/dia. Os valores maiores são de população de maior renda e os menores de população de menor renda. O total coletado médio no Brasil em 2000 era de 125.281 toneladas e um valor médio de 0,74 kg/hab/dia (IBGE,2002).

**Limpeza das ruas:** Em San José, Califórnia o lixo que *chega na drenagem* foi estimado em 1,8 kg/pessoa/ano. Após a limpeza das ruas resultando em 0,8 kg/pessoa/ano na rede (Larger et al, 1977). Segundo Armitage et al (1998) cerca de 3,34 m<sup>3</sup>/ha/ano é retirado das ruas pela limpeza urbana em Springs,África do Sul, sendo que 0,71 m<sup>3</sup>/ha/ano (82 kg/ha/ano), acaba na drenagem.

**Resíduos Totais na Drenagem:** Neves (2005) apresenta um resumo de carga de resíduos totais na drenagem estimados em alguns países e reproduzido na tabela 1.9. Os valores variam consideravelmente em função dos outros fatores relacionados com a coleta residencial e limpeza das ruas, além do tipo de uso das áreas. No Brasil estes dados ainda são limitados.

A composição dos resíduos totais que chegam na drenagem varia de acordo com o nível de urbanização entre os sedimentos e lixo. Na última década houve um visível incremento de lixo urbano devido às embalagens plásticas que possuem baixa reciclagem. Os rios e todo o sistema de drenagem ficam cheios de garrafas tipo *pet*, além das embalagens de plásticos de todo o tipo.

Tabela 1.9 Resíduos sólidos na drenagem (adaptado de Neves,2005)

Descrição da área	Peso kg/ha/ano	Volume 10 <sup>-3</sup> m <sup>3</sup> /ha/ano
Springs, África do Sul, 299 ha dos quais 85% é comercial e industrial e 15% é residencial.	67	0,71
Johanesburg – Centro da cidade – 8 km <sup>2</sup> , áreas com comércio, industrial e residências.	48	0,50
Sidnei, Austrália 322,5 ha, áreas com comércio, industrial e residências.	22	0,23
Auckland – Residencial 5,2 ha Comercial 7,2ha Industrial 5,3ha	2,8 61,7% 26,1% 12,2%	0,029
Cidade do Cabo – área central com 96% de residências, 5% de área industrial e 5% de área residencial.	18	0,08

As principais conseqüências ambientais da produção de sedimentos e resíduos são as seguintes:

- Assoreamento das seções de canalizações da drenagem, com redução da capacidade de escoamento de condutos, rios e lagos urbanos. Por exemplo, a lagoa da Pampulha (em Belo Horizonte) é um exemplo de um lago urbano que tem sido assoreado. O arroio Dilúvio em Porto Alegre, devido a sua largura e pequena profundidade, durante as estiagens, tem depositado no canal a produção de sedimentos da bacia e criado vegetação, reduzindo a capacidade de escoamento durante as enchentes;
- Transporte de poluente agregado ao sedimento, que contaminam as águas pluviais;
- Aumento do custo de manutenção dos dispositivos hidráulicos como detenções e condutos, criando cenários indesejáveis na paisagem urbana;
- O risco do acúmulo de lixo na drenagem tem sido um dos principais problemas para o funcionamento dos dispositivos de detenções na drenagem urbana.

#### 1.4.4 Escoamento pluvial

O escoamento pluvial pode produzir inundações e impactos nas áreas urbanas devido a dois processos, que ocorrem isoladamente ou combinados:

*Inundações de áreas ribeirinhas:* são inundações naturais que ocorrem no leito maior dos rios devido a variabilidade temporal e espacial da precipitação e do escoamento na bacia hidrográfica;

*Inundações devido à urbanização:* são as inundações que ocorrem na drenagem urbana devido ao efeito da impermeabilização do solo, canalização do escoamento ou obstruções ao escoamento.

#### Inundações de áreas ribeirinhas

Os rios geralmente possuem dois leitos: o leito menor, onde a água escoar na maioria do tempo. O leito menor é limitado pelo risco de 1,5 a 2 anos. Tucci e Genz (1994) obtiveram um valor médio de 1,87 anos para os rios do Alto Paraguai. As inundações ocorrem quando o escoamento atinge níveis superiores ao leito menor, atingindo o leito maior. As cotas do leito maior identificam a magnitude da inundação e seu risco. Os impactos devido à inundação ocorrem quando esta área de risco é ocupada pela população (figura 1.6). Este tipo de inundação geralmente ocorre em bacias médias e grandes ( $> 100 \text{ km}^2$ ).

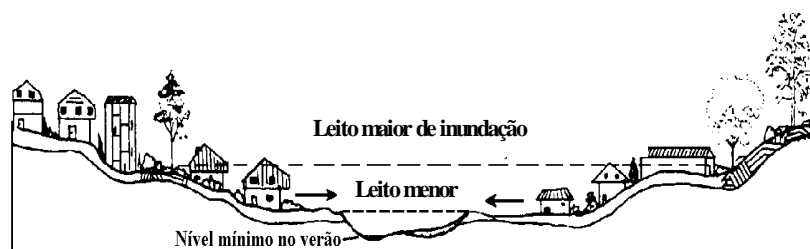


Figura 1.6 Características dos leitos do rio

A inundação do leito maior dos rios é um processo natural, como *decorrência do ciclo hidrológico das águas*. Quando a população ocupa o leito maior, que são áreas de risco, os impactos são frequentes. Essas condições ocorrem devido às seguintes ações:

- No Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano das cidades geralmente não existe nenhuma restrição quanto à ocupação das áreas de risco de inundação, a seqüência de anos sem enchentes é razão suficiente para que empresários desmembrem estas áreas para ocupação urbana;
- Invasão de áreas ribeirinhas, que pertencem ao poder público, pela população de baixa renda;
- Ocupação de áreas de médio risco, que são atingidas com freqüência menor, mas que quando o são, sofrem prejuízos significativos.

Os principais impactos sobre a população são:

- Prejuízos de perdas materiais e humanos;
- Interrupção da atividade econômica das áreas inundadas;
- Contaminação por doenças de veiculação hídrica como leptospirose, cólera, entre outras;
- Contaminação da água pela inundação de depósitos de material tóxico, estações de tratamentos entre outros.

O gerenciamento atual não incentiva a prevenção destes problemas, já que à medida que ocorre a inundação o município declara calamidade pública e recebe recurso a fundo perdido. Para gastar os recursos não necessita realizar concorrência pública. Como a maioria das soluções sustentáveis passa por medidas não-estruturais, que envolvem restrições à população, dificilmente um prefeito buscará este tipo de solução, porque geralmente a população espera por uma obra. Enquanto que, para implementar as medidas não-estruturais, ele teria que interferir em interesses de proprietários de áreas de risco, que politicamente é complexo a nível local.

Para buscar modificar este cenário é necessário um programa a nível estadual, voltado à educação da população, além de atuação junto aos bancos que financiam obras em áreas de risco.

### **Inundações devido à urbanização**

As enchentes aumentam a sua freqüência e magnitude devido à impermeabilização do solo e à construção da rede de condutos pluviais. O desenvolvimento urbano pode também produzir obstruções ao escoamento, como aterros, pontes, drenagens inadequadas, obstruções ao escoamento junto a condutos e assoreamento. Geralmente estas inunda-

ções são vistas como locais porque envolvem bacias pequenas ( $< 100 \text{ km}^2$ , mas freqüentemente bacias  $< 10 \text{ km}^2$ ).

À medida que a cidade se urbaniza, em geral, ocorrem os seguintes impactos:

- Aumento das vazões máximas (em até 7 vezes, figura 1.7) e da sua freqüência devido ao aumento da capacidade de escoamento através de condutos e canais e impermeabilização das superfícies;
- Aumento da produção de sedimentos devido à falta de proteção das superfícies e à produção de resíduos sólidos (lixo);
- A deterioração da qualidade da água superficial e subterrânea, devido à lavagem das ruas, transporte de material sólido e às ligações clandestinas de esgoto cloacal e pluvial;
- Devido à forma desorganizada como a infra-estrutura urbana é implantada, tais como: (a) pontes e taludes de estradas que obstruem o escoamento; (b) redução de seção do escoamento por aterros de pontes e para construções em geral; (c) deposição e obstrução de rios, canais e condutos por lixos e sedimentos; (d) projetos e obras de drenagem inadequadas, com diâmetros que diminuem para jusante, drenagem sem esgotamento, entre outros.

### **Qualidade da água do Pluvial**

A quantidade da água na drenagem pluvial apresenta uma carga muito alta devido às vazões envolvidas. Esse volume é mais significativo no início das enchentes. Os primeiros 25 mm de escoamento superficial geralmente transportam grande parte da carga poluente de origem pluvial (Schueller, 1987).

Uma das formas de avaliar a qualidade da água urbana é através de parâmetros que caracterizam a poluição orgânica e a quantidade de metais. Na tabela 1.10 são apresentados alguns valores de concentração da literatura. Schueller (1987) cita que a concentração média dos eventos não se altera em função do volume do evento, sendo característico de cada área drenada.

Os esgotos podem ser combinados (sanitário e pluvial num mesmo conduto) ou separados (rede pluvial e sanitária separada). A legislação estabelece o sistema separador, mas na prática isto não ocorre devido às ligações clandestinas e à falta de rede de esgoto sanitário. Devido à falta de capacidade financeira para implantação da rede de esgoto, algumas

prefeituras têm permitido o uso da rede pluvial para transporte do esgoto sanitário, o que pode ser uma solução inadequada à medida que esse esgoto não é tratado. Quando o sistema sanitário é implementado, a grande dificuldade envolve a retirada das ligações existentes da rede pluvial, o que na prática resultam em dois sistemas misturados com diferentes níveis de carga. O principal problema está relacionado com a gestão das ligações dos usuários a rede. As empresas ao implementar o sistema devem fazer a ligação, da mesma forma que para cada novo usuário a ligação deve ser obrigatoriamente realizado pela Companhia concessionária para evitar estes problemas.

$$R = \frac{\text{Vazão depois da urbanização}}{\text{Vazão antes da urbanização}}$$

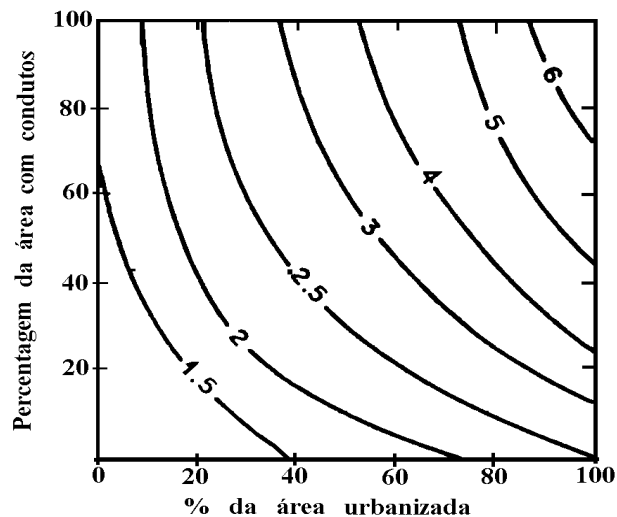


Figura 1.7 As curvas fornecem o valor de R, aumento da vazão média de inundação função da área impermeável e da canalização do sistema de drenagem. (Leopold, 1968).

A tendência no Brasil e América do Sul é de utilizar o sistema separador, que apresenta maior custo quanto a rede de coleta por utilizar dois sistemas. O sistema unitário apesar da vantagem de utilizar apenas uma rede apresenta problemas como: o odor durante as inundações, proliferação de vetores de doenças em climas quentes e quando ocorre extravasamento, existe maior potencial de proliferação de doenças. Este cenário é mais grave quando os extravasamentos forem frequentes.



Tabela 1.10 Valores médios de parâmetros de qualidade da água de pluviais (mg/l) - algumas cidades

Parâmetro	Durham <sup>1</sup>	Cincinatti <sup>2</sup>	Tulsa <sup>3</sup>	P. Alegre <sup>4</sup>	APWA <sup>5</sup>	
					Min	Max
DBO		19	11,8	31,8	1	700
Sólidos totais	1440		545	1523	450	14.600
PH		7,5	7,4	7,2		
Coliformes (NMP/100ml)	23.000		18.000	1,5x10 <sup>7</sup>	55	11,2x10 <sup>7</sup>
Ferro	12			30,3		
Chumbo	0,46			0,19		
Amônia		0,4		1,0		

1 - Colson (1974); 2 - Weibel et al. (1964); 3 - AVCO (1970); 4 - Ide (1984); 5 - APWA (1969)

Por outro lado, as cidades que priorizaram a rede de esgotamento sanitário e não consideraram os pluviais sofrem freqüentes inundações com o aumento da urbanização, como tem acontecido em Barranquilla na Colômbia e algumas áreas de Santiago.

Não existem soluções únicas e milagrosas, mas soluções adequadas e racionais para cada realidade. O ideal é buscar conciliar a coleta e tratamento do esgotamento sanitário somado à retenção e tratamento do escoamento pluvial, dentro de uma visão integrada, de tal forma que tanto os aspectos higiênicos como ambientais sejam atendidos.

A qualidade da água da rede pluvial depende de vários fatores: da limpeza urbana e sua freqüência; da intensidade da precipitação e sua distribuição temporal e espacial; da época do ano e do tipo de uso da área urbana.

#### 1.4.5 Síntese do cenário atual

Atualmente um dos principais, se não o principal problema de recursos hídricos no país é o impacto resultante do desenvolvimento urbano, tanto a nível interno dos municípios como a nível externo, pela exportação de poluição e inundações para os trechos dos rios a jusante das cidades.

As regiões metropolitanas deixaram de crescer no seu núcleo, mas se expandem na periferia, justamente onde se concentram os mananciais, agravando este problema. A tendência é de que as cidades continuem buscando novos mananciais, sempre mais distantes e com alto custo. A ineficiência pública é observada no seguinte:

- A grande perda de água tratada nas redes de distribuição urbana. Não é racional o uso de novos mananciais quando as perdas continuam

em níveis tão altos. As perdas podem ser de faturamento e físicas, as primeiras estão relacionadas com a medição e cobrança e a segunda devido a vazamento na rede;

- Quando existem, as redes de tratamento não coletam esgoto suficiente, da mesma forma, as estações de tratamento continuam funcionando abaixo da sua capacidade instalada. O investimento na ampliação da cobertura não leva ao atendimento das Metas do Milênio aprovado nos Fóruns internacionais;
- A rede de drenagem pluvial apresenta dois problemas: (a) além de transportar o esgoto que não é coletado pela rede de esgoto sanitário, também transporta a contaminação do escoamento pluvial (carga orgânica, e metais); (b) a construção excessiva de canais e condutos, apenas transferem as inundações de um local para outro dentro da cidade, a custos insustentáveis para os municípios.

### **1.5 Doenças de veiculação hídrica**

Com relação à água, as doenças podem ser classificadas de acordo com o conceito de White et al (1972) e apresentado por Prost (1993):

*Doenças com fonte na água (water borne diseases):* dependem da água para sua transmissão como cólera, salmonela, diarreia, leptospirose (desenvolvida durante as inundações pela mistura da urina do rato), etc. A água age como veículo passivo para o agente de infecção.

*Doenças devido à falta de higiene (water-washed diseases):* dependem da educação da população e da disponibilidade de água segura. Estas doenças estão relacionadas com a infecção do ouvido, pele e os olhos.

*Relacionado com a água (water-related):* o agente utiliza a água para se desenvolver, como malária e esquistossomose.

Muitas destas doenças estão relacionadas com baixa cobertura de água tratada e saneamento, como a diarreia e a cólera; outras estão relacionadas com a inundação, como a leptospirose, malária e dengue. Na tabela 1.11 são apresentadas a mortalidade infantil e as doenças de veiculação hídrica no Brasil. Na tabela 1.12 é apresentada a proporção de cobertura de serviços de água e saneamento no Brasil de acordo com o grupo de renda. Mostrando claramente a pequena proporção de atendi-

mento para a população de menor renda. Na tabela 1.13 são apresentados valores do Brasil.

Tabela 1.11 Mortalidade devido a doenças de veiculação hídrica no Brasil (Mota e Rezende, 1999)

Idade	Infecção Intestinal		Outras*	
	1981	1989	1981	1989
< 1 ano	28.606	13.508	87	19
1 e 14 anos	3.908	3.963	44	21
> 14 anos	2.439	3.330	793	608

\*cólera, febre tifóide, poliomielite, dissenteria, esquistossomose, etc

Dados do Sistema de Informações Hospitalares do Sistema Único de Saúde – SIH/SUS demonstram que no período de 1995 a 2000, ocorreram a cada ano, cerca de 700.000 internações hospitalares em todo País provocadas por doenças relacionadas com a água e com a falta de saneamento básico (Santos, 2005).

Tabela 1.12 Cobertura de serviços, por grupos de renda do Brasil em % (Mota e Rezende, 1999)

Domicílios (SM)	Água Tratada		Coleta de esgoto		Tratamento de Esgoto	
	1981	1989	1981	1989	1981	1989
0 - 2	59,3	76,0	15	24,2	0,6	4,7
2 - 5	76,3	87,8	29,7	39,7	1,3	8,2
> 5	90,7	95,2	54,8	61,2	2,5	13,1
Todos	78,4	89,4	36,7	47,8	1,6	10,1

SM = salário mínimo

Tabela 1.13 Número de ocorrência totais no Brasil em 1996 (MS, 1999)

Tipo	Quantidade
Cólera	1017
Malária	444.049
Dengue	180.392
Taxa de mortalidade por doenças infecciosas e parasitárias por 100.000 habitantes (1995)	24,81

As doenças transmitidas através do consumo da água preocupam, devido principalmente ao seguinte:

*Cargas domésticas:* o excesso de nutrientes tem produzido eutrofização dos lagos, aumentam as algas, que geram toxicidade. Esta toxicidade pode ficar solúvel na água ou se depositar no fundo dos rios e lagos. A ação da toxicidade é de atacar o fígado das pessoas gerando doenças degenerativas como câncer e cirrose.

*Cargas industriais:* os efluentes industriais apresentam os mais diferentes compostos e, com as evoluções tecnológicas das indústrias, novos componentes são produzidos diariamente. Dificilmente as equipes de fiscalização possuem condições de acompanhar este processo;

*Cargas difusas:* as cargas difusas provenientes de áreas agrícolas trazem compostos de pesticidas, que apresentam novos compostos anualmente. A carga difusa de área urbana foi mencionada nos itens anteriores e podem atuar de forma cumulativa sobre o organismo das pessoas.

Na tabela 1.14 é apresentado um resumo dos números das principais doenças transmitidas pela água e os totais recentes no Brasil.

Tabela 1.14 Valores recentes das doenças transmitidas pela água no Brasil (valores de Santos, 2005).

Doenças e característica	Valores
Diaréia (2004)	2.307.957
Cólera (2004)	21
Dengue (2003 e 2004)	112.928
Óbitos relativos a dengue (2003 e 2004)	3
Leptospirose (2001)	3281
Malária casos positivos (2001)	389737
Esquistossomose : municípios na área endêmica (2002)	964

## 1.6 Comparação entre países desenvolvidos e em desenvolvimento

A tabela 1.15 apresenta uma comparação dos cenários de infraestrutura urbana relacionada com a água em países desenvolvidos e em países em desenvolvimento.

Pode-se observar que nos países desenvolvidos grande parte dos problemas foi resolvida quanto ao abastecimento de água, tratamento de esgoto

e controle quantitativo do escoamento na drenagem urbana. Neste último caso, foi priorizado o controle através de medidas não-estruturais que obrigam a população a controlar na fonte os impactos devido à urbanização. O principal problema nos países desenvolvidos é o controle da poluição difusa devido às águas pluviais. Já nos países em desenvolvimento o problema ainda está no estágio do tratamento de esgoto.

Em alguns países, como o Brasil, o abastecimento de água, que poderia estar resolvido, devido à grande cobertura de abastecimento, volta a ser um problema devido à forte contaminação dos mananciais. Este problema é decorrência da baixa cobertura de coleta de esgoto tratado. Na realidade existem muitas redes e estações de tratamento, mas a parcela de esgoto sem tratamento ainda é muito grande. Devido ao ciclo de contaminação, produzido pelo aumento do volume de esgoto não tratado para a mesma capacidade de diluição, os objetivos também são de saúde pública, pois a população passa ser contaminada pelo conjunto do esgoto produzido pela cidade no que chamamos aqui de ciclo de contaminação urbana (figura 1.3).

Tabela 1.14 Comparação dos aspectos da água no meio urbano

Infra-estrutura urbana	Países desenvolvidos	Países em desenvolvimento
Abastecimento de água	Cobertura total	Grande cobertura; tendência de redução da disponibilidade devido à contaminação das fontes; grande quantidade de perdas na rede
Saneamento	Grande Cobertura na coleta e tratamento dos efluentes	Falta de rede e estações de tratamento; as que existem não conseguem coletar esgoto como projetado;
Drenagem Urbana	Os aspectos quantitativos estão controlados; Gestão da qualidade da água	Impactos quantitativos sem solução; Impactos devido à qualidade da água não foram identificados.
Inundações Ribeirinhas	Medidas de controle não-estruturais como seguro e zoneamento de inundação	Grandes prejuízos por falta de política de controle

Um exemplo deste cenário é a cidade de São Paulo que se encontra na bacia hidrográfica do rio Tietê e tem demanda total de abastecimento de água da ordem de 64 m<sup>3</sup>/s, sendo que mais da metade da água é importada (33

m<sup>3</sup>/s) de outra bacia a do Piracicaba (cabeceras na serra da Cantareira). Isto ocorre devido à contaminação de parte dos mananciais existentes na vizinhança da cidade por falta de tratamento dos esgotos domésticos. Os mananciais como as represas Billings e Guarapiranga têm sua qualidade comprometida.

O controle quantitativo da água da drenagem urbana ainda é limitado nos países em desenvolvimento. O estágio do controle da qualidade da água resultante da drenagem está ainda mais distante nestes países. Na América do Sul, como grande parte dos países em desenvolvimento, busca-se o controle dos impactos quantitativos da drenagem pluvial, que ainda não estão controlados. Por exemplos, os sistemas de retenção construídos nas cidades brasileiras possuem como foco apenas o controle do impacto das inundações, sem o componente de controle da qualidade da água. No âmbito da gestão das inundações ribeirinhas não existem ações preventivas de planejamento territorial ou de sistema alertas (raras exceções). As ações que existem nesta área são apenas curativas, ou seja, buscam atender as pessoas desabrigadas e recurso a fundo perdido (“perdido mesmo!”) para mitigar efeitos.

## **Problemas**

1. Quais os principais mananciais de abastecimento urbano? Quando são utilizados e em que condições?
2. Quais as principais causas de contaminação dos mananciais?
3. Quais são os principais problemas da coleta e tratamento dos esgotos cloacais?
4. Descreva o ciclo de contaminação
5. Qual a diferença entre as inundações ribeirinhas e as inundações devido a urbanização?
6. Quais são as fontes dos problemas destes tipos de inundação?
7. O que diferenciam as cargas poluentes da drenagem urbana e do esgoto cloacal?
8. Os são os tipos de resíduos sólidos urbanos? Quando ocorrem?
9. Por que a vazão aumenta numa bacia urbana com relação às condições rurais?
10. Este aumento é uniforme ou varia com a magnitude da cheia? Por que?
11. Analise a cadeia causal na deteriorização da qualidade da água dos rios a jusante das cidades.

12. Quais são os períodos críticos em que ocorrem os cenários mais desfavoráveis?
13. Qual é a origem da contaminação da qualidade da água pluvial?
14. Por que os sólidos totais aumentam com a urbanização? Como variam ao longo da urbanização?
15. Qual a importância do monitoramento da quantidade de água, sedimentos e qualidade da água no planejamento da bacia urbana? Se não é possível monitorar todas as bacias, por que então investir nisso? Quais as dificuldades deste tipo de ação?
16. Considerando que as causas dos impactos devido às inundações e da qualidade da água são decorrência da urbanização como é realizada hoje, como então poderiam ser as estratégias para evitar isto?
17. A coleta de lixo coleta cerca de 0,7 kg/dia, considerando que uma parcela deste total não seja coletado e chega na drenagem. Considere uma sub-bacia urbana, com 50 km<sup>2</sup> de área, população densa da ordem de 120 hab/hectar. Estime o total anual de lixo que é transportado para a drenagem. Admita 1, 5 e 10 % do total de lixo coletado chega na drenagem. Admita um custo de 5 centavos de dólar o kg para coletar e dispor este volume. Calcule o valor por pessoa anual. Este é o subsídio que a população está recebendo do meio ambiente.

## Referências

- APWA, 1969. *Water pollution aspects of urban runoff*. Water Quality Administration. (Water Pollution Control Research Series. Report N. WP-20-15).
- ARMITAGE, Neil, ROOSEBOOM, Albert., NEL, Christo e TOWNSHEND, Peter 1998. *The removal of urban litter from stormwater conduits and streams*. Water Research Commission. Report No. TT 95/98, Pretoria.
- ASCE, 1992. Design and Construction of Urban Stormwater Management Systems. American Society of Civil Engineer. 753p
- AVCO, 1970. *Stormwater pollution from urban activity*. Water Quality Administration. (Water Pollution Control Research Series. Report n. 11034 FKL).
- COLLISCHONN, W. TUCCI, C. E.M. 1998. Drenagem urbana e Controle de Erosão. VI Simpósio nacional de controle da erosão. 29/3 a 1 /04 de 1998, Presidente Prudente, São Paulo.
- COLSON, N.V., 1974. *Characterization ant treatment of urban land runoff*. EPA. 670/2-74-096.
- GUARULHOS, 2000. *Código de Obras do Município de Guarulhos Lei 5617 de 9 de novembro de 2000*, Mujnicípiuo de Guarulhos.

- IBGE, 1998 “Anuário Estatístico do Brasil – 1997”, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Rio de Janeiro, 1998 (CD-ROM)
- IBGE .2002a. *Pesquisa Nacional de Saneamento Básico*, PNSB, 2000. Disponível em: <http://www.ibge.net/ibge/presidência/noticias/27032002pnsb.shtm>. Acesso em: 27 de março de 2002.
- IDE, C., 1984. *Qualidade da drenagem pluvial urbana*. Porto Alegre:UFRGS-Curso de Pós-Graduação em recursos Hídricos e Saneamento 137f. Dissertação(mestrado).
- IPH 2000. *Plano Diretor de Drenagem Urbana de Porto Alegre: 1º fase*. Prefeitura Municipal de Porto Alegre, Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 5 vols.
- LARGER, J.<sup>a</sup>; SMITH, W.G.; LYNARD, W.G.; FINN, R.M.; FINNEMORE, E.J. 1977 *Urban Stormwater management and technology: upadate and user's guide*. US EPA Report – 600/8-77-014 NTIS N. PB 275654.
- LEOPOLD, L.B.,1968. *Hydrology for Urban Planning - A Guide Book on the Hydrologic Effects on Urban Land Use*. USGS circ. 554, 18p.
- LLORET RAMOS, C.; HELOU, G. C. N.; BRIGHETTI, G. 1993 Dinâmica do transporte sólido nos rios Tietê e Pinheiros na região metropolitana de São Paulo. *Anais. X Simpósio brasileiro de recursos hídricos*. Gramado.
- MOTTA, R.; REZENDE, L. 1999. The impact of sanitation on waterborne diseases on Brazil in: Peter H. May (org.) *Natural Resource Valuation and Policy in Brazil: Methods and Cases* pp 174-187 New York Columbia University Press.
- MS, 1999 “Ministério da Saúde”, Home Page
- NAKAE, T.; BRIGHETTI, G. 1993 Dragagem a longa distância aplicada ao desassoreamento da calha do rio Tietê. *Anais. X Simpósio brasileiro de recursos hídricos*. Gramado.
- NEVES, M.,2005. Avaliação da quantidade de resíduos sólidos na drenagem. Tese de Doutorado. Instituto de Pesquisas Hidráulicas. UFRGS.
- OLIVEIRA, M. G. B.; BAPTISTA, M. B. 1997 Análise da evolução temporal da produção de sedimentos na bacia hidrográfica da Pampulha e avaliação do assoreamento do reservatório. *Anais. XII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos - ABRH*. Vitória.
- PMBH, 1996 Plano Diretor Urbano. Prefeitura Municipal de Belo Horizonte.
- PMPA, 2000. Segundo Plano de Desenvolvimento Urbano e Ambiental de Porto Alegre. Prefeitura Municipal de Porto Alegre.
- PROST, A. (1992) ‘The Management of Water Resources, Development and Human health in the Humid Tropics’ In: *Hydrology and Water Management in Humid Tropics*. Cambridge University Press p 437-453.
- RAMOS, M.M.G. 1998 *Drenagem Urbana: Aspectos urbanísticos, legais e metodológicos em Belo Horizonte*. Dissertação de Mestrado Escola de Engenharia Universidade Federal de Minas Gerais.



- ROESNER, L.A; TRAINA, P. 1994. Overview of federal law and USEPA regulations for urban runoff. *Water Science & Technology* V29 n 1-2 p445-454
- SCHUELLER, T. 1987. Controlling Urban Runoff : *A Practical Manual for Planning and Designing Urban BMPs*.
- SCIENTIFICAL AMERICAN, 2003. How we can do it. Scientific American fevereiro p52-55.
- SILVEIRA, A L. L., 1999. Impactos Hidrológicos da urbanização em Porto Alegre. 4o Seminário de Hidrologia Urbana e Drenagem. *Belo Horizonte ABRH*.
- TIETENBERG, T., 2003. Environmental and Natural Resource Economics. Addison Wesley. Boston 646p.
- TUCCI, C.E.M. 1993. Hidrologia: Ciência e Aplicação. EDUSP, Editora da UFRGS, ABRH, 952p.
- TUCCI, C.E.M. 2000 a. Plano Diretor de Drenagem Urbana da Região Metropolitana de Curitiba Memorando n. 8. CHMHill / SUDHERSA.
- TUCCI, C.E.M., GENZ, F., 1994. Medidas de controle de inundações in: Estudos Hidrossedimentológicos do Alto Paraguai, IPH/MMA.
- TUCCI, C. E. M.; PORTO, R. L. 2000. Storm hydrology and urban drainage. In: Tucci, C. Humid Tropics Urban Drainage, capítulo 4. UNESCO.
- WEIBEL, S.R., ANDERSON, R.J; WOODWARD,R.L.,1964. Urban Land Runoff as a factor in stream pollution. *Journal Water Pollution Control Federation*. Washington, V. 36, n.7, 914-924.
- WILKEN, P., 1978 *Engenharia de drenagem superficial*. São paulo: CETESB
- WHO, 1999 "*World Health Report - 1999 - Statistical Annex*", World Health Organization, Home Page.
- WORD BANK, 1999. World Development indicators. Urbanization. Word Bank.
- WRI, 1992. *World Resources 1992-1993*. New York: Oxford University Press. 385p.
- WRIGHT, A M. 1997 'Toward a Strategic Sanitation Approach: Improving the sustentability of urban Sanitation in Developing Countries'. UNDP – World Bank 38p.

# Gestão das Inundações Ribeirinhas

*Controle das áreas de risco do leito maior dos rios é fundamental  
para a gestão das áreas ribeirinhas*

**A** inundação ocorre quando as águas dos rios, riachos, galerias pluviais saem do seu leito menor<sup>1</sup> (figura 2.1) de escoamento e escoam através do seu leito maior que foi ocupado pela população para moradia, transporte (ruas, rodovias e passeios), recreação, comércio, indústria, entre outros. Isto ocorre quando a precipitação é intensa e o solo não tem capacidade de infiltrar, grande parte do volume escoam para o sistema de drenagem, superando a capacidade do leito menor. Este é um processo natural do ciclo hidrológico devido à variabilidade climática de curto, médio e longo prazo. Estes eventos chuvosos ocorrem de forma aleatória em função dos processos climáticos locais e regionais.

Quando o rio escoam no seu leito maior é denominado neste livro de ***inundação ribeirinha***. Existem várias terminologias que serão utilizadas como sinônimos aqui como cheias, enchentes, etc. Estes termos tiveram diferentes origens que muitas vezes não dizem respeito a inundação (por exemplo *cheia* pode estar relacionada com a cheia e a vazante do mar), mas

---

<sup>1</sup> Leito menor é a seção de escoamento ou calha onde a água escoam na maior parte do tempo, delimitada por uma variação muito grande de inclinação das paredes do canal, onde o rio ocupa raramente e denominada de leito maior. O leito maior pode ser extenso, de vários quilômetros de largura e o leito menor tem alguns metros (excetuando rios de grande porte).

neste livro será sido utilizado indistintamente para mencionar o processo tratado de inundação ribeirinha, definido acima.

## **2.1 Características das inundações ribeirinhas**

As condições meteorológica e hidrológica propiciam a ocorrência de inundação. A capacidade de prever a meteorologia com grande antecedência é muito pequena devido ao grande número de fatores envolvidos nos fenômenos meteorológicos e à interdependência dos processos físicos a que a atmosfera terrestre está sujeita. As condições hidrológicas que produzem a inundação podem ser naturais ou artificiais. As condições naturais são aquelas cuja ocorrência é propiciada pela bacia em seu estado natural. Algumas dessas condições são: relevo, tipo de precipitação, cobertura vegetal e capacidade de drenagem.

Os rios normalmente drenam nas suas cabeceiras, áreas com grande declividade produzindo escoamento de alta velocidade, quando a declividade diminui a capacidade de escoamento diminui e ocorrem alagamentos no leito maior<sup>2</sup>. A variação de nível durante a enchente pode ser de vários metros em poucas horas. Quando o relevo é acidentado as áreas mais propícias à ocupação são as planas e mais baixas, justamente

---

<sup>2</sup> A capacidade de escoamento é diretamente proporcional a área e raio hidráulico da seção e da declividade e inversamente proporcional a sua declividade.

aquelas que apresentam alto de risco de inundação e são as mais ocupadas pela população. A várzea de inundação de um rio morfológicamente cresce nos seus cursos médio e baixo, onde a declividade se reduz e aumenta a incidência de áreas planas.

As precipitações mais intensas atingem áreas localizadas e são em geral dos tipos convectiva e orográfica. Essas formas de precipitação atuam, em geral, sobre pequenas áreas. A precipitação ocorrida em Porto Alegre, em 13 de fevereiro de 1981, com cerca de 100 mm em 1 hora é um exemplo. As precipitações frontais atuam sobre grandes áreas provocando as maiores inundações dos grandes rios.

A cobertura vegetal tem como efeito a interceptação de parte da precipitação que pode gerar escoamento e a proteção do solo contra a erosão. A perda desta cobertura para uso agrícola tem produzido como consequência o aumento da frequência de inundações devido à falta de interceptação da precipitação e ao assoreamento dos rios. Deve-se considerar que este efeito é maior para chuvas frequentes e menor para as chuvas raras de grande duração.

As condições artificiais da bacia são aquelas provocadas pela ação do homem. Alguns exemplos são: obras hidráulicas, urbanização, desmatamento, reflorestamento e uso agrícola. A bacia rural possui maior interceptação vegetal, maiores áreas permeáveis (infiltração do solo), menor escoamento na superfície do solo e drenagem mais lenta. A bacia urbana possui superfícies impermeáveis, tais como telhados, ruas e pisos, e produz aceleração no escoamento, através da canalização e da drenagem superficial. Os resultados da urbanização sobre o escoamento são: aumento da vazão máxima e do escoamento superficial, redução do tempo de pico e diminuição do tempo de base (capítulo 3). A urbanização e o desmatamento produzem aumento da frequência da inundação nas cheias pequenas e médias. Nas grandes cheias o seu efeito é menor, pois a capacidade de saturação do solo e o armazenamento são atingidos e o efeito final pouco se altera.

## **2.2 Ocupação do espaço urbano e impacto das inundações**

As inundações são mais antigas que a existência do homem na terra. O homem sempre procurou se localizar perto dos rios para usá-lo como transporte, obter água para seu consumo e mesmo dispor seus dejetos. As áreas ribeirinhas que correspondem ao leito maior geralmente

são planas, propícias para o assentamento humano. Isto tem motivado a sua ocupação, principalmente quando a freqüente de inundações é baixa.

O desenvolvimento histórico da utilização de áreas livres explica os condicionamentos urbanos hoje existentes. Devido à grande dificuldade de meios de transporte no passado, utilizava-se o rio como a via principal. As cidades se desenvolveram às margens dos rios ou no litoral. Pela própria experiência dos antigos moradores, a população procurou habitar as zonas mais altas aonde o rio dificilmente chegaria. Com o crescimento desordenado e acelerado das cidades, principalmente na segunda metade deste século 20, as áreas de risco considerável, como as várzeas inundáveis, foram ocupadas, trazendo como consequência prejuízos humanos e materiais de grande monta devido às inundações subseqüentes.

Os prejuízos ocorrem devido à falta de planejamento do espaço e o conhecimento do risco das áreas de inundações. A experiência de gestão de inundações já existia no passado. No histórico da tabela 2.1 observa-se que cerca de 3000 no passado as pessoas já planejavam a ocupação do espaço de inundações, mas que ainda hoje ainda não é uma prática corrente.

Tabela 2.1 Histórico de ocupação de áreas de inundações.

<p>A cidade de Amarna no Egito, que Akenaton (1340 aC) escolheu para ser uma nova capital foi planejada considerando as áreas inundáveis, veja o relato: “ Correndo de leste para oeste, dois leitos secos de rio, <i>nos quais nada se construiu por medo das enchentes repentinas</i>, dividiam a cidade em três partes: o centro e os bairros residenciais de norte e do sul. “ Brier (1998).</p>
--

A história mostra em diferentes partes do globo que o homem tem procurado conviver com as inundações, desde as mais freqüentes até as mais raras. Uma experiência histórica é a da igreja católica, pois sempre que ocorre uma inundações numa cidade a igreja, apesar de ser uma das obras mais antigas, geralmente localiza-se em nível seguro.

A gestão de inundações envolve a minimização dos impactos e dificilmente eliminá-los, devido às limitações econômicas de custo das obras e a falta de completo conhecimento do comportamento climático em prever os eventos com antecedência e precisão desejada. Hoyt e Langbein (1959) (tabela 2.2) procuraram retratar esta incerteza e incapacidade histórica de prever os eventos e sua variabilidade através de três citações históricas, a primeira do Dilúvio, descrito na Bíblia, o segundo das secas e cheias do rio Nilo, também

citados na Bíblia e o terceiro uma hipótese de um evento que para os autores era num futuro remoto, representa um evento extraordinário. O texto procurou caracterizar a condição limitada que tem no homem no controle das inundações ribeirinhas.

As inundações representam 50% dos desastres naturais relacionados com a água, dos quais 20% ocorrem nas Américas. Na figura 2.1 é apresentada a curva dos prejuízos anuais dos Estados Unidos devido as inundações ribeirinhas. Pode-se observar que os valores variam de 0,02 a 0,48 do PIB (Produto Interno Bruto), com valor médio de 0,081% (cerca de US\$ 8,1 bilhões de dólares).

As inundações ribeirinhas ocorrem principalmente devido à ocupação do solo do leito maior. Nos períodos de pequena inundação existe a tendência de ocupar as áreas de risco e quando ocorrem as maiores inundações os prejuízos são significativos. A seguir são apresentados alguns casos sobre impactos devidos a este tipo de cenário:

Tabela 2.2 Histórico e suposições que demonstram a limitação da gestão das inundações (prefácio do livro "floods" de Hoyt e Langbein, 1959)

“Terra de Canaan, 2957 a C, numa grande inundação, provavelmente centrada cerca do UR no Eufrates, Noé e sua família se salvaram. Um dilúvio resultante de 40 dias e 40 noites de continua precipitação ocorreu na região. Terras ficaram inundadas por 150 dias. Todas as criaturas vivas afogaram com exceção de Noé, sua família e animais, dois a dois, foram salvos numa arca e finalmente descansaram no Monte Ararat” (passagem da bíblia sobre o Dilúvio, citada no referido prefácio). Este texto caracteriza um evento de risco muito baixo de ocorrência.

“Egito XXIII, Dinastia, 747 a C. Enchentes sucedem secas. Faraó anunciou que todo o vale do rio Nilo foi inundado, templos estão cheios de água e o homem parece planta d’água. Aparentemente os polders não são suficientemente altos ou fortes para confinar as cheias na seção normal. A presente catástrofe descreve bem os caprichos da natureza, outro faraó reclamou que por sete anos o Nilo não subiu“. Textos semelhantes aos encontrados relatos na Bíblia, que também enfatizam a incapacidade de prever o clima e seus impactos quando ocorrem.

“Em algum lugar nos Estados Unidos no futuro (o autor mencionava ano 2000, muito distante na época). A natureza toma seu inexorável preço. Cheia de 1000 anos causou indestrutível dano e perdas de vida. Engenheiros e Meteorologistas acreditam que a presente tormenta resultou da combinação de condições meteorológicas e hidrológicas que ocorreriam uma vez em

mil anos. Reservatórios, diques e outras obras de controle que provaram efetivas por um século e são efetivas para sua capacidade de projeto são incapazes de controlar os grandes volumes de água envolvidos. *Esta catástrofe traz uma lição que a proteção contra inundações é relativa e eventualmente a natureza cobra um preço daqueles que ocupam a várzea de inundação. "*

- (a) No rio Itajaí em Santa Catarina no Brasil existe uma série de níveis máximos de inundações desde 1852. Deste histórico pode-se observar que as três maiores inundações em Blumenau ocorreram entre 1852 e 1911, sendo a maior em 1880 com 17,10 m (figura 2.2). Entre 1911 e 1982 não ocorreu nenhuma inundação com cota superior a 12,90 m, o que fez com que a população perdesse a memória dos eventos críticos e ocupasse o vale de inundação. Em 1983, quando a cidade se encontrava bem desenvolvida com população de cerca de 500 mil habitantes ocorreu uma inundação (a quinta em magnitude dos últimos 150 anos) com cota máxima de 15,34 m. Os prejuízos resultantes em todo o Vale do Itajaí representaram cerca de 8% do PIB de Santa Catarina. A lição tirada deste exemplo é que a memória sobre as inundações se dissipa com passar do tempo e a população deixa de considerar o risco. Como não há planejamento do espaço de risco, a ocupação ocorre e os prejuízos são significativos. Exceções podem ser observadas como a Cia Hering (fundada em 1880, ano da maior inundação) manteve na memória o valor de 17,10m e desenvolveu suas instalações em cota superior a esta. Sem planejamento os relatos históricos são as únicas informações disponíveis para orientar as pessoas.

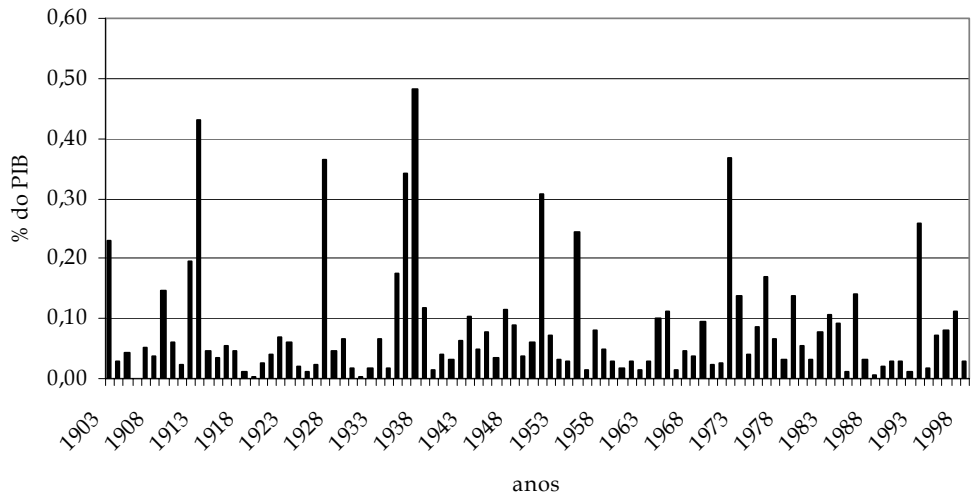


Figura 2.1 Série histórica do prejuízo anual devido inundações nos Estados Unidos como % do PIB ( Priscoli ,2001).

(b) Na figura 2.3 podem-se observar os níveis de enchentes no rio Iguaçu em União da Vitória. Entre 1959 e 1982 ocorreu apenas uma inundaçãõ com risco superior a cinco anos. Este período foi justamente o de maior crescimento econômico e expansão das cidades brasileiras As enchentes após 1982 produziram prejuízos significativos na comunidade (tabela 2.3).

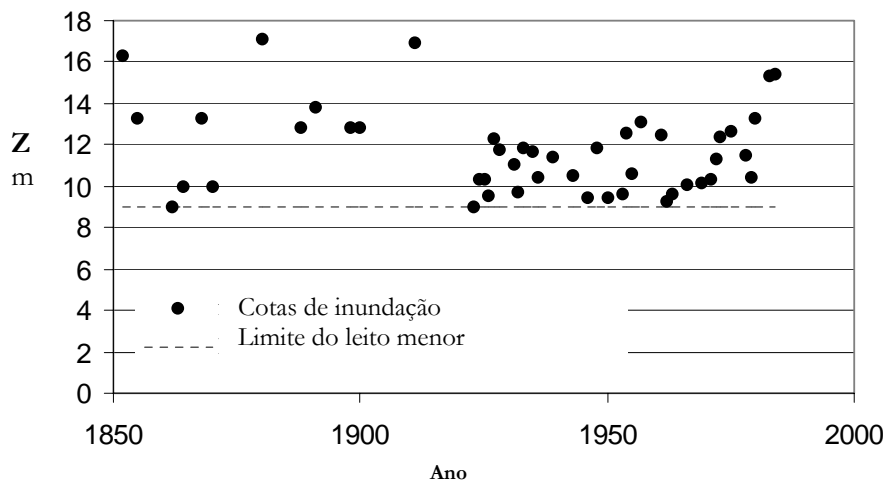




Figura 2.2 Níveis de inundações em Blumenau, S. Catarina, Brasil.

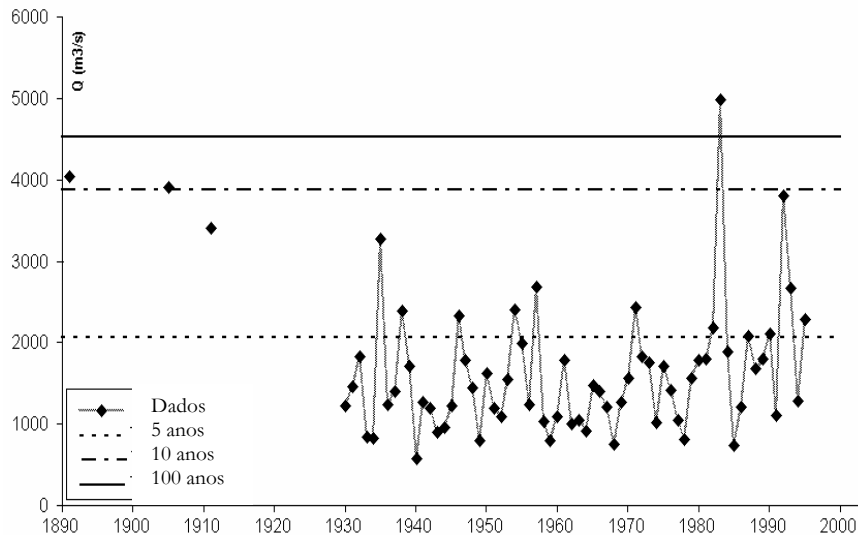


Figura 2.3 Níveis máximos de enchentes no rio Iguaçu em União da Vitória (bacia de cerca de 25.000 km<sup>2</sup>), (Tucci and Villanueva, 1997)

(c) No alto rio Paraguai existe um dos maiores banhados do mundo, denominado Pantanal. Nesta região sempre houve uma convivência pacífica entre o meio ambiente e a população. Na figura 2.4 podem-se observar os níveis máximos anuais em Ladário desde o início do século. Na tabela 2.4 são apresentados valores do nível máximo médio de inundação e das áreas inundadas do Pantanal em três períodos distintos. Pode-se observar a grande diferença da década de 60 com relação às demais. Neste período houve ocupação dos vales de inundação por períodos longos e não apenas sazonalmente. A população foi desalojada nas décadas seguintes em função do aumento da frequência dos níveis de inundação. A perda econômica do valor das propriedades e a falta de sustentação econômica foi a conseqüência imediata. Esta população passou a viver na periferia das cidades da região em estado de pobreza. Uma propriedade que inundava 20% do tempo na década de 60, atualmente fica 80% inundada.

Tabela 2.3 Perdas por inundações em União da Vitória e Porto União (JICA, 1995)

Ano	Prejuízos US\$ milhões
-----	---------------------------

1982	10.365
1983	78.121
1992	54.582
1993	25.933

(d) Em Porto Alegre, RS existem níveis de inundação desde 1899, quando se observaram vários eventos até 1967 (figura 2.5). Em 1970 foi construído um dique de proteção para a cidade e desde 1967 não ocorre nenhuma inundação com tempo de retorno superior a 10 anos (~2,94 m). Nos últimos anos houve um movimento na cidade para a retirada do dique de inundação, considerando que não tinham ocorrido eventos nos últimos 38 anos. Esta percepção errada do risco de inundação levou a Câmara de Vereadores a aprovar a derrubada do dique, que felizmente não foi executada pelo município.

O ambiente institucional de controle de inundações nos países em desenvolvimento geralmente não leva a uma solução sustentável. Existem, apenas, poucas ações isoladas de alguns poucos profissionais. Em geral, o atendimento a enchente somente é realizado depois de sua ocorrência. A tendência é que o problema fique no esquecimento após cada enchente, retornando na seguinte. Isso se deve a vários fatores, entre os quais estão os seguintes:

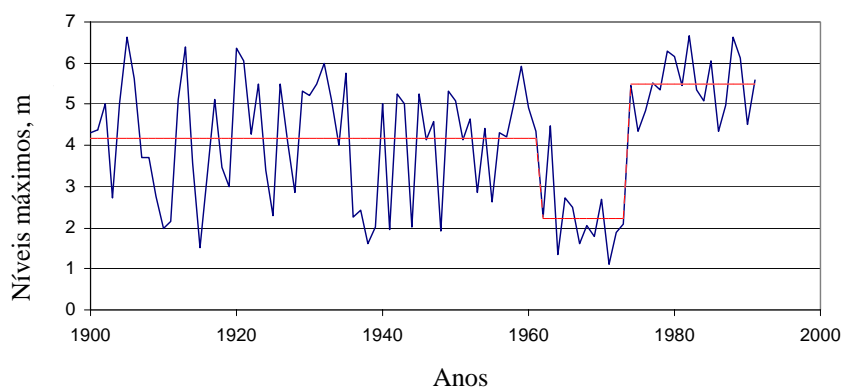


Figure 2.4 Níveis máximos anuais em Ladario no Rio Paraguai e a média dos períodos: (a) 1900-1961; (b)1961-1973; (c)1973-1991

Tabela 2.4 Valores estimados de níveis e áreas inundadas no Pantanal (valores aproximados)

Período	Nível Máximo Médio m	Área Inundada Média no Pantanal * 1000. km <sup>2</sup>
1900-1959	4,16	35
1960 – 1972	2,21	15
1973-1992	5,49	50

\* valores aproximados obtidos de Hamilton (1995)

- Falta de conhecimento sobre controle de enchentes por parte dos planejadores urbanos;
- Falta de planejamento e gestão de inundações em nível federal e estadual;
- Pouca informação técnica sobre o assunto e conhecimento na formação técnica de engenheiros;
- O desgaste político para os administradores públicos no controle não-estrutural (zoneamento), já que a população está sempre esperando uma obra hidráulica, por falta de uma maior capacitação sobre o assunto;
- Em alguns locais não existe interesse na prevenção das inundações, pois quando ocorrem, os recursos são fornecidos à fundo perdido.

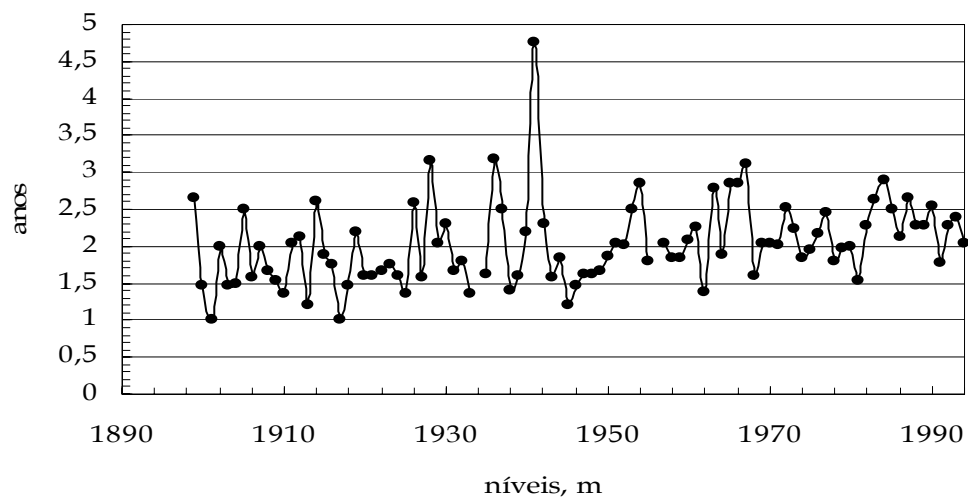


Figura 2.5 Níveis de inundação em Porto Alegre 1899-1994

## **2.3 Avaliação das enchentes**

A variação do nível ou de vazão de um rio depende das características climatológicas e físicas da bacia hidrográfica. As distribuições temporal e espacial da precipitação são as principais condições climatológicas. As mesmas somente podem ser previstas com antecedência de poucos dias ou horas, o que não permite a previsão dos níveis de enchente com antecipação muito grande. O tempo máximo possível de previsão da cheia, a partir da ocorrência da precipitação, é limitado pelo tempo médio de deslocamento da água na bacia até a seção de interesse.

A previsão dos níveis num rio pode ser realizada a curto ou em longo prazo. A previsão de cheia em curto prazo ou em tempo atual, também chamada de tempo-real, permite estabelecer o nível e seu tempo de ocorrência para a seção de um rio com antecedência que depende da previsão da precipitação e dos deslocamentos da cheia na bacia. Este tipo de previsão é utilizado para alertar a população ribeirinha e operadores de obras hidráulicas.

A previsão de cheia em longo prazo atualmente permite apenas estimar ordem de magnitudes das inundações pela tendência sazonal ou pela composição de modelos climáticos e hidrológicos.

A predição quantifica as chances de ocorrência da inundação em termos estatísticos, sem precisar quando ocorrerá a cheia. A predição se baseia na estatística de ocorrência de níveis no passado e permite estabelecer os níveis de enchente para alguns riscos escolhidos. Este tipo de análise parte do princípio que a variável hidrológica utilizada na estimativa é estacionária no tempo, ou seja, suas estatísticas não se alteraram com relação às condições do passado. A predição estima a probabilidade do evento ser superado.

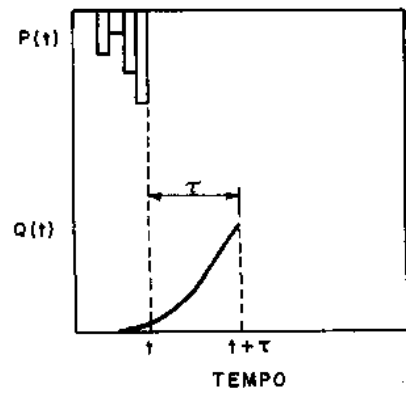
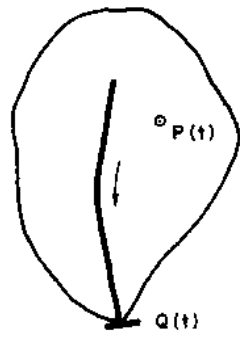
### **2.3.1 Previsão de Cheia em Tempo Atual**

Para efetuar a previsão de cheia em curto prazo são necessários: um sistema de coleta e transmissão de dados e uma metodologia de previsão. Os dados coletados são a precipitação, nível ou vazão, durante a ocorrência do evento. A estimativa é realizada através do uso de modelos matemáticos que representam o comportamento das diferentes fases do ciclo hidrológico. A previsão é utilizada em conjunto com um Plano de

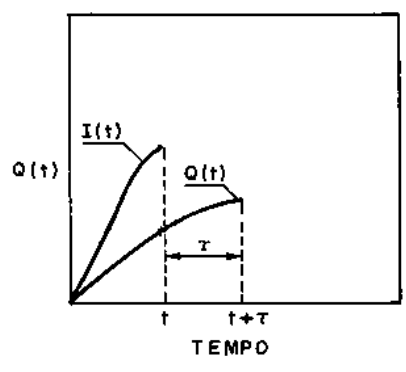
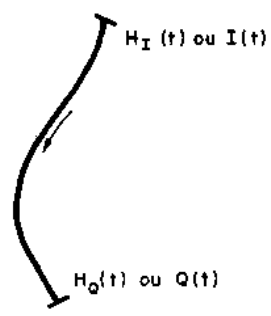
Defesa Civil, ou no caso de operação de reservatório um sistema de emergência e operação.

A previsão de níveis de enchentes pode ser realizada com base em (figura 2.6): (a) previsão da precipitação; (b) conhecida à precipitação; (c) vazão de montante; (d) combinação dos dois últimos. No primeiro caso é necessário estimar a precipitação que cairá sobre a bacia através do uso de equipamento como radar ou de sensoriamento remoto. Conhecida a precipitação sobre a bacia, é possível estimar a vazão e o nível por modelo matemático que simule a transformação de precipitação em vazão.

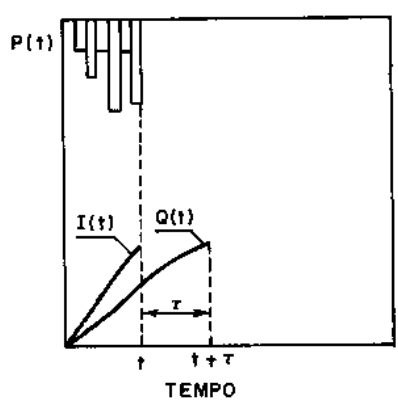
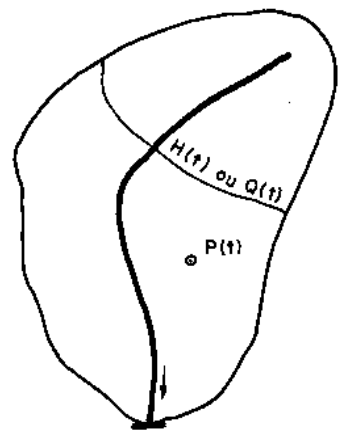
A previsão, quando é conhecida a precipitação na bacia, utiliza uma rede telemétrica de coleta e transmissão de dados (no caso anterior esta rede não é dispensável) e o referido modelo matemático de transformação de precipitação em vazão. A antecedência de previsão é menor neste caso e está limitada ao tempo médio de deslocamento do escoamento na bacia (figura 2.6a). A previsão em curto prazo, com base em posto à montante da seção de interesse, depende das características do rio e da área intermediária da bacia entre os postos. Utilizando apenas a informação do posto de montante é desprezada a contribuição da bacia intermediária, quando seu volume é pequeno com relação ao hidrograma de montante.



a) previsão com base na precipitação



b) previsão com base no nível ou vazão



c) previsão com base na precipitação ou vazão

Figura 2.6. Previsão em tempo atual.

O tempo de antecedência é menor que os anteriores (figura 2.6b). Quando a bacia intermediária, da situação anterior, apresentar uma contribuição significativa, a combinação dos dois processos anteriores é utilizada na previsão em tempo atual (figura 2.6c). A apresentação dos modelos de previsão em tempo atual foge ao escopo deste livro e pode ser encontrado na literatura especializada.

### 2.3.2 Probabilidade ou risco da inundação

O risco de uma vazão ou precipitação é entendido neste texto como a probabilidade ( $p$ ) de ocorrência de um valor igual ou superior a  $Q_p$  (vazão ou nível) num ano qualquer. O tempo de retorno ( $T$ ) é o inverso da probabilidade  $p$  e representa o tempo, *em média*, que este evento tem chance de se repetir.

$$T = \frac{1}{p} \quad (2.1)$$

Para exemplificar, considere um *dado*, que tem seis faces (números 1 a 6). Numa jogada qualquer a probabilidade de sair o número 4 é  $p=1/6$  (1 chance em seis possibilidades). O tempo de retorno é, *em média*, o número de jogadas que o número desejado se repete. Nesse caso, usando a equação 2.1 acima fica  $T = 1/(1/6)=6$ . Portanto, *em média*, o número 4 se repete a cada seis jogadas. Sabe-se que esse número não ocorre exatamente a cada seis jogadas, mas se jogarmos milhares de vezes e tirarmos a média, certamente isso ocorrerá. Sendo assim, o número 4 pode aparecer em duas jogadas consecutivas, da mesma forma pode ficar várias jogadas sem ocorrer, mas na média se repetirá em seis jogadas. Fazendo uma analogia, cada jogada do *dado* é um ano para as enchentes. O tempo de retorno de 10 anos significa que, *em média*, a cheia pode se repetir a cada 10 anos ou em cada ano esta enchente tem 10% de chance de ocorrer.

As estimativas de inundação de um determinado local pode ser realizada com base em: (a) série observada de vazões; (b) regionalização de vazões; (c) com base na precipitação e uso de modelo precipitação – vazão, que calcula a vazão resultante da precipitação. Estas metodologias estimam o risco de inundação no local com base nos históricos ocorridos e consideram que as séries históricas de vazões são:

- *Homogêneas ou estacionárias*: as estatísticas da série não se alteram com o tempo. Isto significa que a média das vazões ou seu desvio padrão não

deveriam se alterar ao longo do tempo. Por exemplo, ao ser construída uma barragem a montante de uma seção de um rio com volume importante para amortecimento de inundação, o risco da inundação deve mudar porque a série não é mais homogênea;

- As séries registradas de níveis de inundação são representativas da ocorrência no local. Poucos anos de dados não são necessariamente representativos do real risco de um local. No exemplo de Blumenau, caso fossem utilizadas séries somente a partir de 1935 e até 1982, o risco de uma inundação estimada com estes dados para a cheia de 1983 teria um risco superior a 100 anos. Quando são utilizados os níveis obtidos desde 1982 a mesma cheia de 83 teria um risco da ordem de 30 anos. Observa-se assim, que mesmo com 47 anos (exemplo de 1935 a 1982) ainda podem existir tendências na estimativa do risco;
- Os valores são independentes entre si. Geralmente uma cheia máxima de um ano não guarda dependência com a do ano seguinte se os valores de cheia máxima forem escolhidas dentro do chamado *ano hidrológico*, que é o período entre o início do mês chuvoso ao final do mês seco. Na região Sudeste do Brasil, o ano hidrológico ocorre entre outubro e setembro.

Os dois primeiros itens apresentam a maior quantidade de incertezas e a obtenção de marcas de inundações num determinado local é essencial para um ajuste confiável da curva de probabilidade de vazões. As metodologias para determinação da curva de probabilidade são descritas nos livros de hidrologia (Tucci, 1993).

## **2.4 Medidas de controle das inundações ribeirinhas**

As medidas para o controle da inundação podem ser do tipo *estrutural e não-estrutural*. As medidas *estruturais* são aquelas que modificam o sistema fluvial através de obras na bacia (medidas extensivas) ou no rio (medidas intensivas) para evitar o extravasamento do escoamento para o leito maior decorrentes das enchentes.

As *medidas não-estruturais* são aquelas em que os prejuízos são reduzidos pela melhor convivência da população com as enchentes, através de medidas preventivas como o alerta de inundação, zoneamento das áreas de risco, seguro contra inundações, e medidas de proteção individual (“flood proofing”).

É ingenuidade do homem imaginar que poderá controlar totalmente as inundações, as medidas sempre visam minimizar as suas conseqüências,



mesmo as estruturais. Na década de 30, o projeto de controle de cheias e uso da terra para a agricultura do rio Pó, na Itália era um exemplo de projeto de recursos hídricos bem-sucedido. Em 1951, uma combinação de precipitações intensas e altos níveis da maré, destruíram os polders, causaram 100 mortes e a perda de 30.000 cabeças de gado, além das perdas agrícolas (Hoyt e Langbein,1955). Este exemplo, reforça a visão limitada da gestão de controle das inundações ribeirinhas expressa na tabela 2.2.

O controle da inundação é obtido por uma combinação de medidas estruturais e não-estruturais que permita à população ribeirinha minimizar suas perdas e manter uma convivência harmônica com o rio. As ações incluem medidas de engenharia e de cunho social, econômico e administrativo. A pesquisa para a combinação ótima dessas ações constitui o planejamento da proteção contra a inundação ou seus efeitos.

Nos Estados Unidos, em 1936 foi aprovada uma lei em nível federal, sobre controle de enchentes, que identificava a natureza pública dos programas de redução de enchentes e caracterizava a implantação de medidas físicas ou estruturais como um meio de reduzir estes danos. Desta forma, não era necessário verificar as relações de custo/benefício para justificar a proteção das áreas sujeitas a inundações. Com isso, acelerou-se o desenvolvimento e ocupação das várzeas, o que resultou em aumento dos danos ocasionados pelas enchentes. As perdas médias anuais, devido às enchentes, aumentaram e a disponibilidade dos fundos públicos foi insuficiente para atender a esta tendência. Em 1966, o governo reconheceu que as medidas anteriores não eram adequadas e deu ênfase a medidas não-estruturais, que permitiriam à população conviver com a cheia. O comitê criado pela American Society of Civil Engineers sobre controle de enchentes, relatou, em 1962, o seguinte (Task, 1962): "*As limitações da presente (em 1962) Política Nacional de Controle de Enchentes, a qual é baseada principalmente na construção de obras de controle de inundação, são reconhecidas neste relatório, o qual enfatiza a necessidade para a regulamentação das várzeas de inundação como uma parte essencial de um plano racional de redução das perdas das cheias*".

Em 1973, foi aprovada uma lei sobre proteção contra desastres de enchentes, dando ênfase a medidas não-estruturais, encorajando e exigindo o seguro para enchentes e a regulamentação do uso da terra e proteção das novas construções para inundações de 100 anos tempo de retorno. Em 1974 foram aprovados, dentro da Legislação de Desenvolvimento de Recursos Hídricos, artigos específicos sobre

inundações que previam medidas não-estruturais e a distribuição de custos, como no artigo 73 da Lei de 1974: "*Em pesquisa, planejamento ou projeto de qualquer Agência Federal, ou de qualquer projeto envolvendo a proteção contra inundações, deve ser dada prioridade às alternativas não-estruturais para redução de prejuízos de inundação, incluindo, mas não limitando às construções à prova de enchentes, regulamentação das áreas de inundação; utilização das áreas de inundação para usos recreacionais, pesca, vida animal e outras finalidades públicas e relocação com vistas a formulação da solução economicamente, socialmente e de meio ambiente mais aceitável para redução dos danos de enchentes*".

Na figura 2.7 é apresentada a evolução dos benefícios anuais, benefícios acumulados e os investimentos em gestão de inundação até 1999 (com valores ajustados ao dólar de 1999). Pode-se observar desta figura que os benefícios acumulados superaram em muito os investimentos na gestão das inundações.

Em outros países como o Japão onde o espaço é reduzido (cerca de apenas 30% da área do país é habitável e 1/3 deste total representam áreas de inundação), existe uma política de implementação de obras estruturais para controle de inundações.

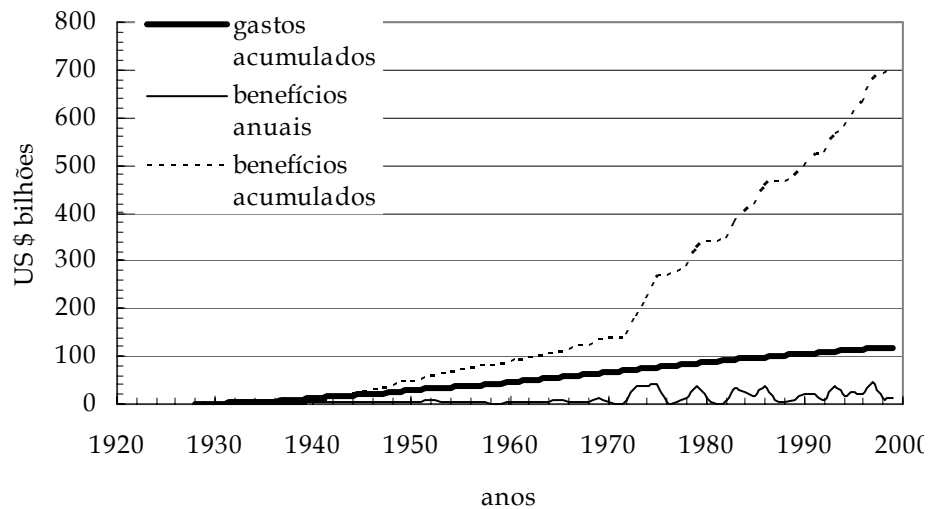


Figura 2.7 Evolução dos benefícios anuais e acumulados e dos gastos na gestão de inundação nos Estados Unidos (Priscoli,2001).

## 2.5 Medidas Estruturais

As medidas estruturais são obras de engenharia implementadas para reduzir o risco de enchentes. Essas medidas podem ser extensivas ou

intensivas. As medidas extensivas são aquelas que agem na bacia, procurando modificar as relações entre precipitação e vazão, como a alteração da cobertura vegetal do solo, que reduz e retarda os picos de enchente e controla a erosão da bacia. As medidas intensivas são aquelas que agem no rio e podem ser de três tipos (Simons et al., 1977): (a) *aceleram o escoamento*: construção de diques e *polders*, aumento da capacidade de descarga dos rios (canais) e corte de meandros; b) *retardam o escoamento*: Reservatórios e as bacias de amortecimento; c) *desvio do escoamento*, são obras como canais de desvios. Na tabela 2.5 são resumidas as principais características das medidas estruturais.

Tabela 2.5 Medidas estruturais (Simons et al. 1977)

Medida	Principal vantagem	Principal desvantagem	Aplicação
<i>Medidas extensivas</i>			
Alteração da Cobertura vegetal	Redução do pico de cheia	Impraticável para grandes áreas	Pequenas bacias
Controle de perda do solo	Reduz assoreamento	Idem ao anterior	Pequenas bacias
<i>Medidas intensivas</i>			
<b><i>Diques e polders</i></b>	Alto grau de proteção de uma área	Danos significativos caso falhe	Grandes rios e na planície.
<i>Melhoria do canal:</i>			
Redução da rugosidade por desobstrução	Aumento da vazão com pouco investimento	Efeito localizado	Pequenos rios
Corte de meandro	Amplia a área protegida e acelera o escoamento	Impacto negativo em rio com fundo aluvionar	Área de inundação estreita
<i>Reservatório:</i>			
Todos os reservatórios	Controle a jusante	Localização difícil devido a desapropriação	Bacias intermediárias
Reservatórios com comportas	Mais eficiente com o mesmo volume	Vulnerável a erros humanos	Projetos de usos múltiplos
Reservatórios para cheias	Operação com mínimo de pedras	Custo não partilhado	Restrito ao controle de enchentes
<i>Mudança de canal:</i>			
Caminho da cheia	Amortecimento de volume	Depende da topografia	Grandes Bacias
Desvios	Reduz vazão do canal	Idem ao anterior	Bacias médias e

	principal		grandes
--	-----------	--	---------

### 2.5.1 Medidas Extensivas

As medidas extensivas são:

**Cobertura vegetal:** a cobertura vegetal tem capacidade de armazenar parte do volume de água precipitado pela interceptação vegetal, aumentar a evapotranspiração e de reduzir a velocidade do escoamento superficial pela bacia hidrográfica. Quando é retirada a cobertura vegetal a tendência é de aumentar o volume escoado, as cheias e redução das estiagens, aumentando a variabilidade das vazões. O aumento da cobertura é uma medida extensiva para redução das inundações, mas aplicável a pequenas bacias, onde tem mais efeito ( $< 10 \text{ km}^2$ ). O efeito maior deste tipo de medida é sobre os eventos mais frequentes de alto risco de ocorrência. Para eventos raros de baixo risco o efeito da cobertura vegetal tende a ser pequeno.

**Controle da erosão do solo:** o aumento da erosão tem implicações ambientais pelo transporte de sedimentos e seus agregados, podendo contaminar os rios a jusante e diminuir a sua seção e alterando o balanço de carga e transporte dos rios. Um dos fatores é a redução da seção dos rios e o aumento da frequência das inundações em locais de maior sedimentação. O controle da erosão do solo pode ser realizado pelo reflorestamento, pequenos reservatórios, estabilização das margens e práticas agrícolas corretas. Esta medida contribui para a redução dos impactos das inundações.

### 2.5.2 Medidas Intensivas

As medidas intensivas são:

**Reservatório:** O reservatório de controle de enchentes funciona retendo o volume do hidrograma durante as enchentes, reduzindo o pico e o impacto a jusante da barragem. Na figura 2.8 observa-se o hidrograma natural de um rio e de entrada num reservatório com volume V. O hidrograma amortecido de saída mostra a redução da vazão máxima devido ao volume.

Os reservatórios para controle de inundações podem ter um uso exclusivo ou pode ser planejado para usos múltiplos. O primeiro tem como objetivo somente minimizar as inundações, enquanto que o segundo tem mais de um objetivo, que são muitas vezes conflitantes.

Um reservatório sem controle de sua operação é aquele que não dispõe de comportas no vertedor ou na descarga de fundo. A cheia é regulada pelas condições existente do vertedor livre e pela descarga de fundo (se houver). Quando existem comportas é possível utilizar com mais eficiência o volume disponível para controle da enchente, mas exige um plano de operação e está sujeito a risco de operação ineficiente. No período chuvoso os primeiros hidrogramas tendem a ser de menor porte até que o solo seja saturado. O volume destes hidrogramas podem ocupar o espaço disponível no reservatório, resultando pouco espaço para reduzir o pico das cheias maiores subseqüentes (figura 2.9a).

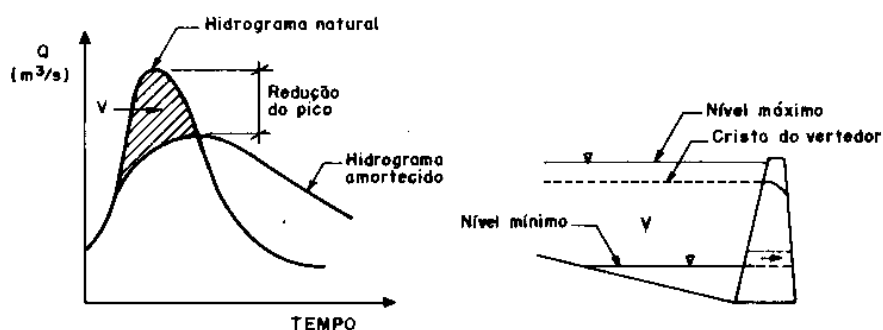


Figura 2.8 Efeito do Reservatório

A regra operacional pode ser a seguinte: (a) o reservatório deve procurar operar de tal forma a escoar a vazão natural até que a jusante seja atingida a cota limites ( $Q_{crit}$ ); (b) a partir deste momento utilize o volume do reservatório para manter ou reduzir a vazão (figura 2.9b). Estas condições operacionais dependem do projeto do reservatório e de seus órgãos extravasores. Para a busca das melhores condições de projeto e operação é necessário simular o escoamento no reservatório, identificando qual é a operação mais eficiente.

As barragens projetadas devem considerar os impactos que podem produzir para jusante e montante do empreendimento.

*Jusante:* A jusante de uma barragem pode existir área sujeita a inundação. Com a construção da barragem a tendência é de que o reservatório produza amortecimento das enchentes nestas áreas ribeirinhas, se não houver problemas operacionais da barragem. Caso a área a jusante não estiver ocupada, acaba sendo habitada pela proximidade do empreendimento e passa então estar sujeita as enchentes. Caso o empreendimento não amortecça as inundações, a tendência é que seja cobrado a reduzir os impactos a jusante pela so-

cidade. Desta forma, a restrição de jusante passa a ser a vazão máxima  $Q_{crit}$  á partir do qual o rio inunda a sua margem. Nos períodos de enchentes existirão eventos em que a barragem não terá condições de amortecer a vazão e ocorrerão inundações. A percepção pública desta situação, geralmente é de culpar a barragem pelo ocorrido, portanto é necessária que o empreendimento tenha um eficiente sistema operacional e observação confiável dos dados hidrológicos necessários a demonstração das condições operacional para a defesa de suas ações.

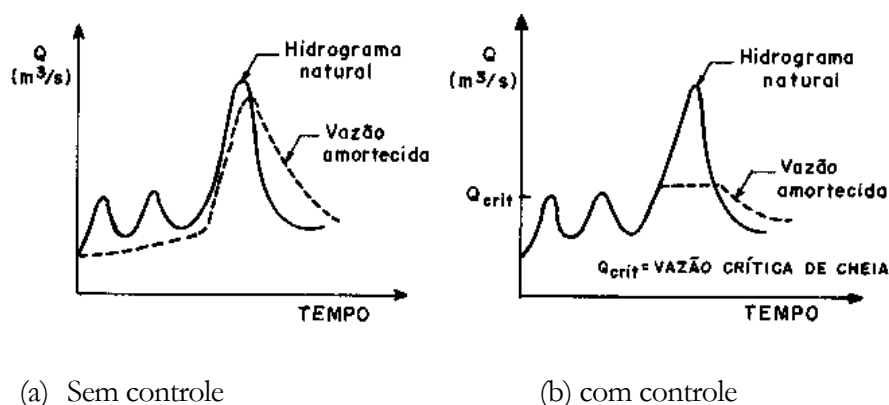


Figura 2.9 Operação do reservatório

*Montante:* A construção de um reservatório pode produzir os seguintes impactos para montante:

- De acordo com a vazão afluente, a regra operacional e a capacidade de escoamento, a linha de água de remanso pode inundar ou provocar represamentos para montante;
- as condições do item anterior podem ser alteradas com o tempo devido ao assoreamento do reservatório, que ocorre inicialmente no seu trecho mais a montante. Devido a isto os níveis de inundação anteriormente projetados podem aumentar, atingindo áreas fora do limite desapropriado.

O sistema de barragens para o controle de inundações da bacia do rio Itajaí-Açu em Santa Catarina, Brasil (figure 2.10) foi construído para proteger as cidades do Vale como Blumenau. A barragem Oeste localizada no rio Itajaí-Oeste a montante da cidade de Taió foi concluída em 1973, a Barragem Sul no Itajaí do Sul foi concluída em 1975 e a barragem de Ibirama no rio Hercílio foi concluída no final dos anos 80. Esta última não existia durante as

inundações de 1983 e 1984. O projeto destas barragens utiliza descarregadores de fundo com capacidade que tende a reter muito volume dentro dos reservatórios, utilizando um tempo muito longo para esvaziamento. A contribuição das duas primeiras barragens para controle da inundação de 1983 foi insignificante devido ao grande volume de precipitação que ocorreu durante 7 dias. No caso da inundação de 1984, que teve uma duração de apenas 2 dias, a contribuição foi maior. Examinando as séries de vazões máximas antes e depois da construção das barragens observou-se um resultado inesperado que foi o aumento da média e desvio padrão das inundações para uma das seções a jusante de uma das barragens. No entanto, o resultado deste aumento foi devido também ao aumento de precipitações na bacia justamente entre os dois períodos. Na tabela 2.6 são apresentadas algumas estatísticas desta comparação. A barragem Oeste que não produziu aumento se mostrou mais eficiente na contenção das inundações, enquanto que a barragem Sul aparentemente não possui volume e projeto adequado para redução significativa das inundações.

Tabela 2.6 Estatísticas antes e depois da construção da barragem no rio Itajaí.

Estatística	Barragem Oeste m <sup>3</sup> /s	Barragem Sul m <sup>3</sup> /s	Precipitação Anual mm	Precipitação <sup>1</sup> Mm
Média				
<i>Antes da barragem</i>	292,2	488,5	1309	224,1
<i>Depois da barragem</i>	274,5	513,3	1658	291,7
Desvio padrão				
<i>Antes</i>	73,2	267,1		
<i>Depois</i>	56,2	356,6		
Período				
<i>Antes</i>	1934-1972	1935-1974	1942-1972	1942-1972
<i>Depois</i>	1973-1983	1975-1984	1973-1984	1973-1984

1-precipitação do mês no qual ocorre a cheia máxima anual

*Reservatório de uso múltiplo:* Quando existe uma barragem projetada para abastecimento de água, irrigação ou energia elétrica, o objetivo é manter o volume do reservatório o mais alto possível para garantir a produção. Nestas condições a capacidade de amortecer as inundações é mínima, pois não existe volume para amortecimento. Existe um conflito natural entre estes usos.

A metodologia geralmente utilizada para atender aos objetivos conflitantes se baseia na reserva de um *volume de espera* no reservatório que minimize os impactos da inundação a montante e a jusante da barragem (figura 2.11). Este volume é mantido livre para receber amortecer a inundação e reduzir a

vazão para jusante, procurando atender as restrições de montante e jusante. O restante do volume da barragem atende os outros objetivos citados. No período seco este volume de espera é eliminado.

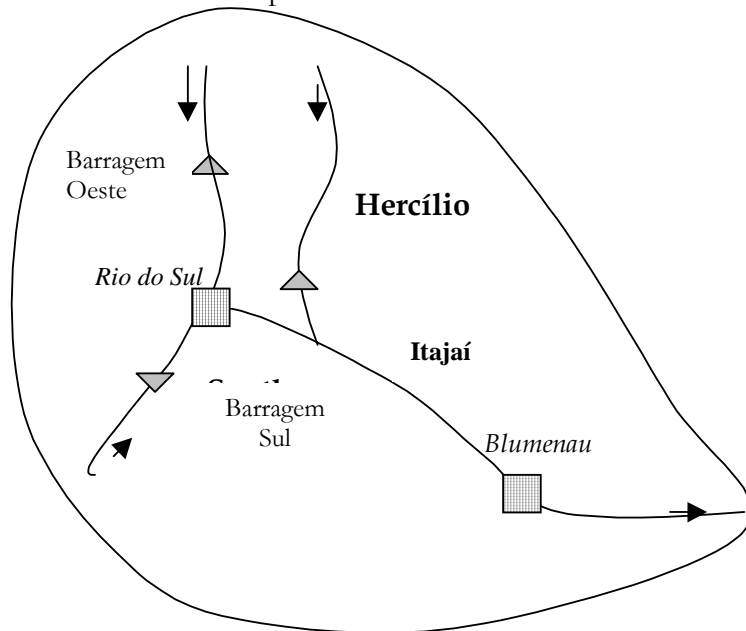


Figura 2.10 Bacia do rio Itajaí e barragens de controle de cheias.

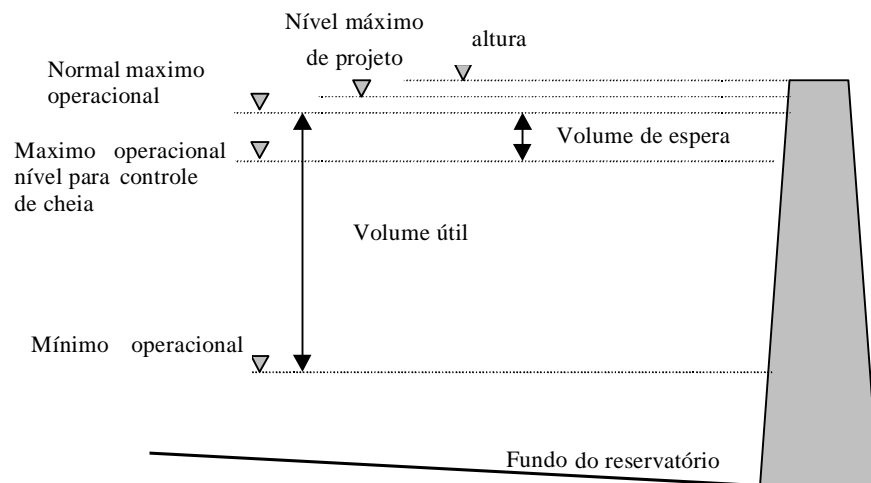


Figura 2.11 Níveis operacionais de uma barragem.



Existem várias metodologias para estimativa deste volume com base nas estatísticas das séries históricas de vazão da barragem. Os métodos utilizados no setor elétrico brasileiro tem sido o Método da Curva Volume x duração (adaptações da metodologia apresentada por Beard, 1963) ou o método das trajetórias críticas (Kelman et al, 1983). O primeiro utiliza a série histórica observada e o segundo utiliza séries de vazões geradas por modelo estocástico. Os dois métodos determinam estatisticamente o volume de espera que deve ser mantido em cada dia do período chuvoso pelo reservatório para um determinado risco de análise.

Estes procedimentos não consideram a informação existente na bacia no período da inundação. Para bacias onde a sazonalidade não é bem definido, o modelo pode subestimar ou superestimar o volume de espera com prejuízos importantes. De um lado os prejuízos devido a inundação e de outro pela perda de energia gerada.

**Diques ou *polders*.** São muros laterais de terra ou concreto, inclinados ou retos, construídos a uma certa distância das margens, que protegem as áreas ribeirinhas contra o extravasamento. Os efeitos de redução da largura do escoamento confinando o fluxo são o aumento do nível de água na seção para a mesma vazão, aumento da velocidade e erosão das margens e da seção e redução do tempo de viagem da onda de cheia, agravando a situação dos outros locais a jusante. O maior risco existente na construção de um dique é a definição correta da enchente máxima provável, pois existirá sempre um risco de colapso, quando os danos serão piores se o mesmo não existisse.

O dique permite proteção localizada para uma região ribeirinha. Devem-se evitar diques de grandes alturas, pois existe sempre o risco de rompimento para uma enchente maior do que a de projeto. No caso de rompimento, o impacto é maior do que se o mesmo não existisse.

Hidraulicamente o dique reduz a seção de escoamento e pode provocar aumento da velocidade e dos níveis de inundação (figura 2.11). Para que isso não ocorra às condições de fluxo não se deve alterar após a construção do dique. Estas condições podem ser simuladas em condição de regime permanente para as vazões de projeto. Esta metodologia não deve ser usada para escoamento sujeito ao efeito de maré, pois resultará numa cota superdimensionada. Para tanto se deve utilizar um modelo hidrodinâmico.

Os diques são normalmente construídos de terra com enrocamento e de concreto, dependendo das condições locais.

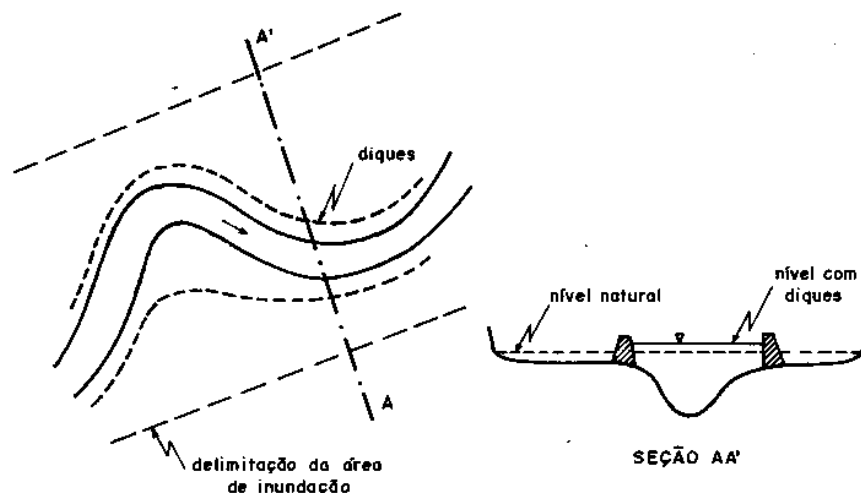
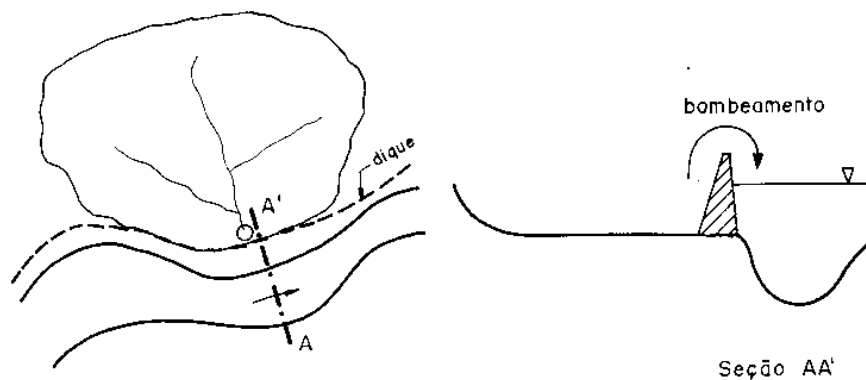


Figura 2.12. Impacto da construção do dique

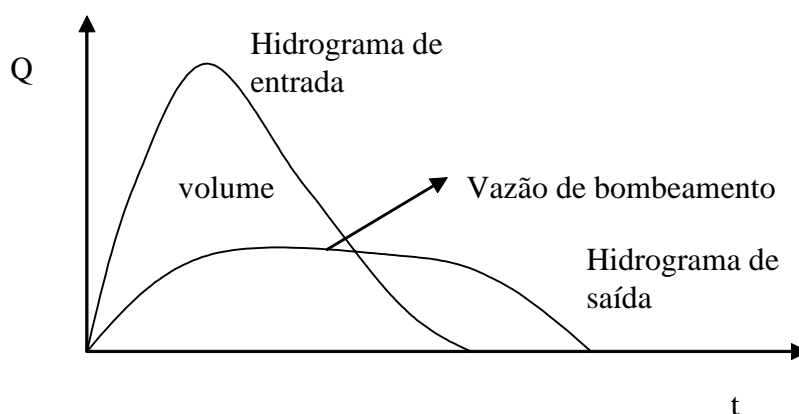
Na construção de diques para a proteção de áreas agrícolas, o risco de colapso adotado pode ser mais alto que em áreas urbanas, sempre que os danos potenciais sejam somente econômicos. Quando o colapso pode produzir danos humanos o risco deve ser menor e a obra complementada por um sistema de previsão e alerta em tempo atual. Tanto em bacias rurais como urbanas é necessário planejar a drenagem das áreas laterais que contribuem para o rio. Esta área é drenada para um ou mais pontos de bombeamento. No período em que o nível do rio é menor que o do escoamento das áreas laterais o fluxo se dá por gravidade. No período de cheia quando o nível do rio aumenta e fica superior ao das áreas laterais, o escoamento por gravidade é interrompido por um sistema automático de comportas do tipo “*stop-log*”. A partir deste momento o escoamento das áreas laterais é armazenado num pequeno lago lateral e bombeado para o rio (figura 2.13). A dimensão do lago lateral depende da dimensão da vazão de bombeamento. Na medida que se utiliza maior volume menor é a vazão e vice-versa.

**Modificações do rio:** As modificações na morfologia do rio visam aumentar a vazão para um mesmo nível, reduzindo a sua frequência de ocorrência. Isto pode ser obtido pelo aumento da seção transversal ou pelo aumento da velocidade. Para aumentar a velocidade é necessário reduzir a rugosidade, tirando obstruções ao escoamento, dragando o rio,

aumentando a declividade pelo corte de meandros ou aprofundando o rio. Essas medidas são de alto custo.



a- configuração do bombeamento

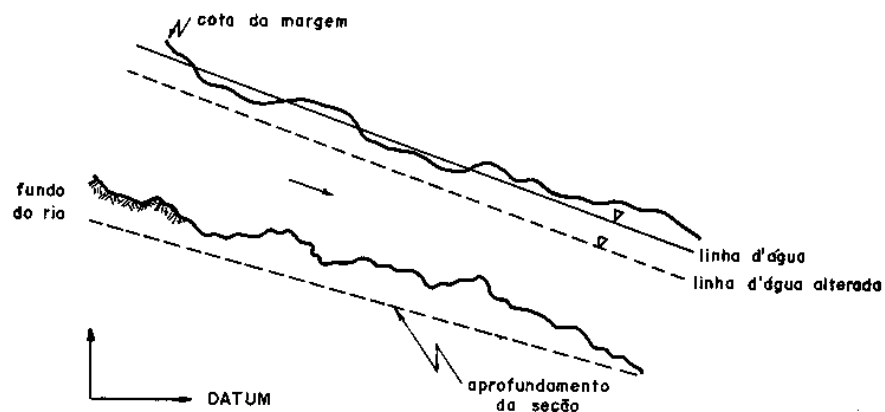


b- hidrograma de entrada e saída ao pequeno lago junto ao bombeamento

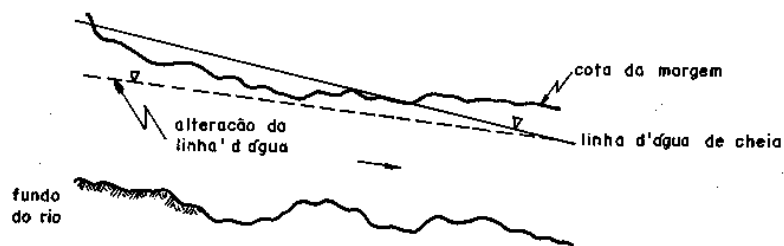
Figura 2.13. Dique - Drenagem da bacia lateral

Para a seção de um rio que escoar uma vazão  $Q$ , a cota resultante depende da área da seção, da rugosidade, raio hidráulico e da declividade. Para reduzir a cota devido a uma vazão pode-se atuar sobre as variáveis mencionadas. Para que a modificação seja efetiva é necessário modificar estas condições para o trecho que atua hidráulicamente sobre a área de

interesse. Aprofundando o canal, a linha de água é rebaixada evitando inundação, mas as obras para serem efetivas poderão ter que ser realizadas para um trecho muito extenso, que resultará em aumento do custo final (figura 2.14a). A ampliação da seção de medição ou a redução da rugosidade produz redução da declividade da linha de água e redução de níveis para montante (figura 2.14b). Estas obras devem ser examinadas quanto à alteração que podem provocar na energia do rio e na estabilidade do leito. Os trechos de montante e jusante das obras podem sofrer sedimentação ou erosão de acordo com alteração produzida.



a- Aprofundamento da seção



b- Ampliação lateral da seção ou redução da rugosidade

Figura 2.14 Modificações no rio.

## 2.6 Medidas não-estruturais

As medidas estruturais não são projetadas para dar uma proteção completa. Isto exigiria a proteção contra a maior enchente possível. Esta proteção é fisicamente e economicamente inviável na maioria das situações. A medida estrutural pode criar uma falsa sensação de segurança, permitindo a ampliação da ocupação das áreas inundáveis, que futuramente podem resultar em danos significativos. As medidas não-estruturais, em conjunto com as anteriores ou sem essas, podem minimizar significativamente os prejuízos com um custo menor. O custo de proteção de uma área inundável por medidas estruturais, em geral, é superior ao de medidas não-estruturais. Em Denver (Estados Unidos), em 1972, o custo de proteção por medidas estruturais de um quarto da área era equivalente ao de medidas não-estruturais para proteger os restantes três quartos da área inundável.

As principais medidas não-estruturais são do tipo preventiva como: previsão e alerta de inundação, zoneamento das áreas de risco de inundação, seguro e proteção individual contra inundação. A previsão de inundação foi apresentada no item anterior.

### 2.6.1 Sistema de previsão e alerta

O sistema de previsão de alerta tem a finalidade de se antecipar à ocorrência da inundação, avisando a população e tomando as medidas necessárias para reduzir os prejuízos resultantes da inundação. Um sistema de alerta de previsão tempo real envolve os seguintes aspectos (figura 2.15):

- Sistema de coleta e transmissão de informações de tempo e hidrológicas: sistema de monitoramento por rede telemétrica, satélite ou radar e transmissão destas informações para o centro de previsão;
- Centro de Previsão: recepção e processamento de informações, modelo de previsão (veja item anterior), avaliação e alerta;
- Defesa Civil: programas de preventivos: educação, mapa de alerta, locais críticos; alerta aos sistemas públicos: escolas, hospitais, infraestrutura; alerta a população de risco, remoção e proteção à população atingida durante a emergência ou nas inundações.

Este sistema possui três fases distintas que são: prevenção, alerta e mitigação. Na *prevenção* são desenvolvidas as atividades preventivas para minimizar as inundações quando as mesmas ocorrerem. Isto envolve o

treinamento da equipe da Defesa Civil, da população através de informações, mapa de alerta que identifique as áreas alagadas durante a sua ocorrência, planejamento de áreas para receber a população flagelada, entre outros.

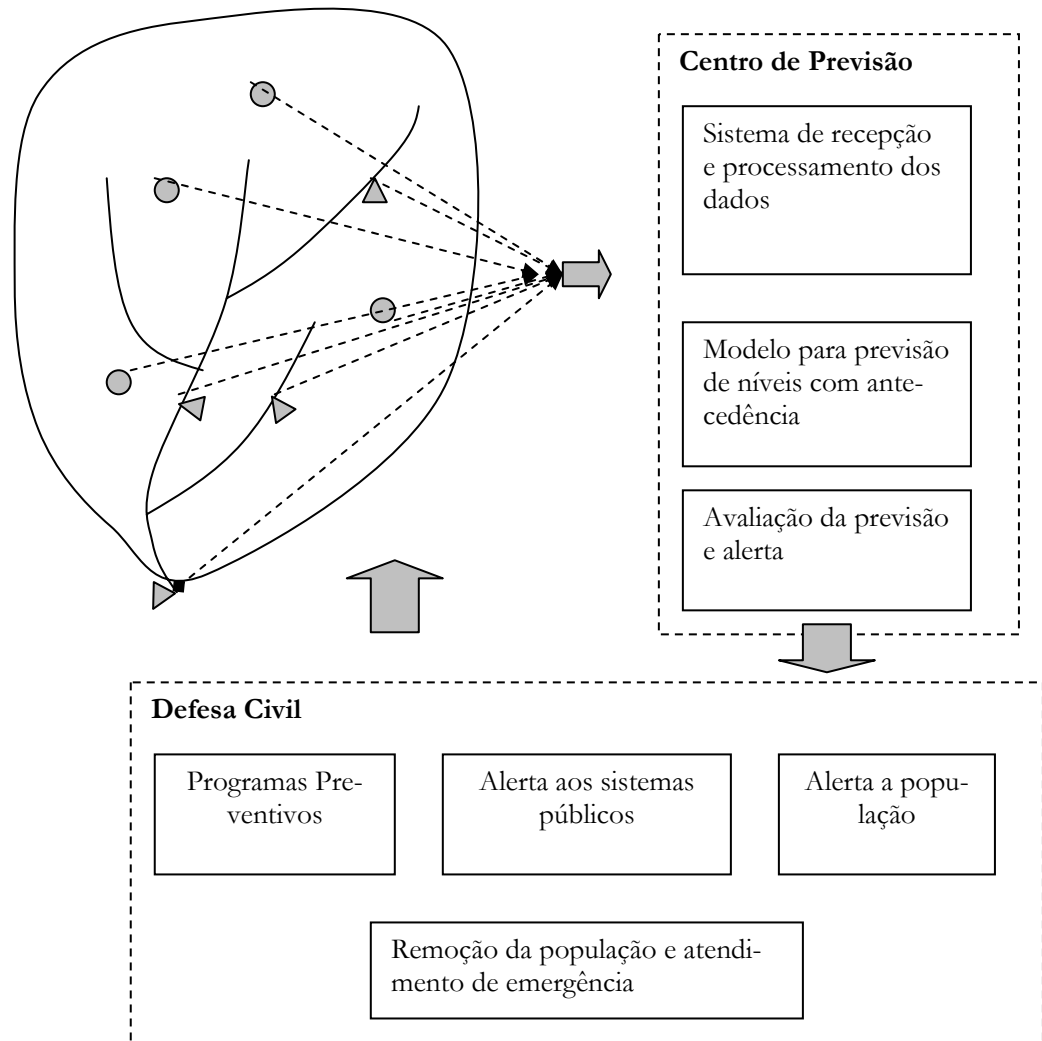


Figura 2.15 Sistema de previsão e Alerta.

O *alerta* trata da fase de acompanhamento da ocorrência dos eventos chuvosos com base no seguinte:

1. *Nível de acompanhamento:* nível a partir do qual, existe um acompanhamento por parte dos técnicos, da evolução da enchente. Nesse momento, é alertada a Defesa Civil da eventualidade da chegada de uma enchente. Inicia-se nesse momento a previsão de níveis em tempo real;
2. *Nível de alerta:* é o nível a partir do qual é previsto que um nível futuro crítico será atingido dentro de um horizonte de tempo da previsão. A Defesa Civil, Administrações municipais passam a receber regularmente as previsões para a cidade e a população recebe o alerta e instruções da Defesa Civil;
3. *Nível de emergência:* nível no qual ocorrem prejuízos materiais e humanos. Essas informações são o nível atual e previsto com antecedência e o intervalo provável dos erros, obtidos dos modelos;

A fase de *mitigação* trata das ações que devem ser realizadas para diminuir o prejuízo da população quando a inundação ocorre, como isolar ruas e áreas de risco, remoção da população, animais e proteção de locais de interesse público.

O *mapa de alerta* é preparado com valores de cotas em cada esquina da área de risco. Com base na cota absoluta das esquinas, deve-se transformar esse valor na cota referente à régua. Isto significa que, quando um determinado valor de nível de água estiver ocorrendo na régua, a população saberá quanto falta para inundar cada esquina. Isto auxilia a convivência com a inundação durante a sua ocorrência.

Para que este mapa possa ser determinado, é necessário obter todas as cotas de cada esquina e realizar o seguinte:

1. Para cada cota de esquina, trace uma perpendicular do seu ponto de localização com relação ao eixo do rio;
2. Considere a cota da referida esquina como sendo a mesma nesta seção do rio;
3. Obtenha a declividade da linha de água. Escolha o tempo de retorno aproximadamente pela faixa (mapa de planejamento) em que se encontra a esquina;
4. A cota da régua da esquina será:

$$CR = CT \pm DxDist$$

onde CR é cota da régua; CT é a cota topográfica da esquina; D é declividade ao longo do rio; Dist é a distância ao longo do rio entre a seção da régua. O sinal será negativo se a esquina estiver a montante da seção da régua, enquanto que será positivo se estiver à jusante.

O valor a ser colocado no mapa é CR. No entanto, caso a população esteja mais acostumada com o valor da régua e não da sua cota absoluta deve-se utilizar o nível da régua, que é:

$$NR=CR-ZR$$

onde NR é o nível da régua; CR é a cota da régua e ZR é a cota do zero da régua.

### **2.6.2 Zoneamento de áreas inundáveis**

O zoneamento das áreas de inundação engloba as seguintes etapas: a) determinação do risco das enchentes; b) mapeamento das áreas sujeitas à inundação; c) zoneamento. A estimativa do risco foi mencionado no item 2.2. A seguir são descritos os aspectos do mapeamento e do zoneamento.

#### **Mapa de inundação de cidade**

Os mapas de inundação podem ser de dois tipos: *mapas de planejamento e mapas de alerta*. O *mapa de planejamento* define as áreas atingidas por cheias de tempos de retorno escolhidos. O *mapa de alerta* foi descrito no item anterior

Para a elaboração desses mapas são necessários os seguintes dados: a) nivelamento da régua a um zero absoluto; b) topografia da cidade no mesmo referencial absoluto da régua linimétrica. Cota da rua no meio de cada esquina das áreas de risco; c) estudo de probabilidade de inundações de níveis para uma seção na proximidade da cidade; d) níveis de enchentes, ou marcas ao longo da cidade que permita a definição da linha de água; e) seções batimétricas ao longo do rio no perímetro urbano. Caso a localização da seção de observação se encontre fora do perímetro urbano, a batimetria deve ir até a referida seção. O espaçamento das seções depende das modificações do leito e da declividade da linha de água, mas espaçamentos entre 500 e 1000 m são suficientes; f) cadastramento das



obstruções ao escoamento ao longo do trecho urbano como pontes, edifícios e estradas, entre outros.

Quando a declividade da linha de água ao longo da cidade é muito pequena e não existem arroios significativos no perímetro urbano os itens **d**, **e**, **f** são desnecessários. No caso das obstruções, essas podem ser importantes se reduzirem significativamente à seção transversal.

Na prática, é muito difícil a obtenção de todas as informações relacionadas acima, portanto, é conveniente dividir o estudo em duas fases. Na primeira fase, dita preliminar, seriam delimitadas com precisão reduzida às áreas de inundação com base em mapas topográficos existentes e marcas de enchentes. Na segunda fase, com a delimitação aproximada das áreas de inundação, seria determinada a topografia mais detalhada para esta área, juntamente com a batimetria do rio.

**Mapeamento preliminar:** Nas cidades de porte superior a 10.000 habitantes existem projetos de abastecimento de água. Para esses projetos é necessário obter a topografia no mínimo com espaçamento de 5 m em 5 m (1:10.000). Estes mapas não possuem a precisão desejada para este tipo de estudo, mas podem ser utilizados preliminarmente. Os erros podem ser minimizados com visitas *in loco*, fotografias aéreas e verificação de pontos característicos do levantamento. Nem sempre estes mapas se referem à cota absoluta desejada. Nesta situação é necessário procurar o RN do mapa disponível e estabelecer a amarração topográfica com o zero da régua linimétrica onde são medidos os níveis do rio.

Considerando que os níveis de enchentes são conhecidos na seção da régua, para transportá-lo para as seções ao longo do trecho urbano é necessário conhecer a declividade da linha de água. Esta declividade pode ser obtida através das marcas de enchentes ou medindo a mesma durante a estiagem. Este último procedimento pode apresentar erros, já que se existirem obstruções ao escoamento durante as enchentes, a declividade pode-se modificar significativamente.

Para a determinação da declividade da linha de água deve-se recomendar ao topógrafo o seguinte: a) nivelar todas as marcas de enchente existentes na cidade; b) medir o nível de água com espaçamento entre 500m e 1000 m ao longo do trecho urbano, anotando a cota da régua para o momento do levantamento. Para verificar o trabalho do topógrafo pode-se utilizar o seguinte: a) conferir se a declividade é decrescente na direção do fluxo; b) para verificar o nivelamento das marcas na vizinhança da seção da régua linimétrica some ao zero da régua

os valores observados no linígrafo e verifique se correspondem às marcas niveladas. Deve-se considerar que a marca de enchente não corresponde ao nível máximo ocorrido, já que o rio deixa a parede manchada quando o nível se mantém por algum tempo. No caso do rio ficar muito pouco tempo no pico, a marca deve aparecer para níveis menores.

Os critérios para determinação da linha de água e os níveis de enchente ao longo da cidade são os seguintes:

- (a) Conhecida a curva de frequência de níveis de inundação na seção da régua linimétrica, obtenha os níveis absolutos correspondentes aos tempos de retorno desejados;
- (b) Defina as seções ao longo do rio. Essas seções são escolhidas com base nas marcas existentes e/ou nos níveis medidos da ordem de 500m a 1000 m de espaçamento, dependendo das irregularidades do rio dentro da cidade (pontes, obstruções e outros);
- (c) Calcule a declividade da linha de água para os diferentes trechos definidos pelas seções referenciadas. A declividade é calculada com a distância medida ao longo do rio. Deve-se tomar cuidado quando existirem pontes e/ou estradas que obstruam o escoamento;
- (d) Para os níveis calculados nas seções do posto, obtenha as cotas correspondentes para as outras seções, utilizando a declividade da linha de água obtida.

**Mapeamento definitivo:** Neste caso é necessário o levantamento detalhado da topografia das áreas de risco com o tempo de retorno menor ou igual a 100 anos. A escolha do tempo de retorno é arbitrária e depende da definição do futuro zoneamento. Caso tenha ocorrido uma enchente com tempo de retorno superior a 100 anos, deve-se escolher o maior valor ocorrido.

O levantamento detalhado engloba a determinação das curvas de nível com espaçamento de 0,5m ou 1,0m, dependendo das condições do terreno. Em algumas cidades o espaçamento pode ser muito detalhado. Nesse levantamento deve constar o nível do meio da rua de cada esquina das áreas de risco.

Além da topografia é necessário o levantamento das obstruções ao escoamento, como pilares e encostos de pontes, estradas com taludes, edifícios, caracterizando em planta e, em seção, o tipo de cobertura e obstrução. Com a batimetria ao longo da cidade é possível determinar as cotas de inundação, de acordo com o seguinte procedimento:

- a) um modelo de escoamento permanente, para cálculo da linha de água, deve ser utilizado. O método é utilizado, inicialmente, para ajuste das rugosidades, com base nas marcas de enchentes e na curva de descarga do posto fluviométrico. Para tanto, a linha de água é determinada para a vazão máxima no posto fluviométrico e o nível correspondente no sentido de jusante para montante. A rugosidade correta será aquela cuja linha de água se aproximar das marcas de enchente;
- b) conhecidas as rugosidades pode-se estabelecer a linha de água para as vazões correspondentes aos diferentes tempos de retorno e, em consequência, determinar os níveis em cada seção correspondente aquele tempo de retorno. Repetindo o procedimento para cada tempo de retorno obtém-se das áreas de risco de inundação.

## **Zoneamento**

O zoneamento propriamente dito é a definição de um conjunto de regras para a ocupação das áreas de risco de inundação, visando à minimização futura das perdas materiais e humanas em face das grandes cheias. O zoneamento urbano permite o desenvolvimento racional das áreas ribeirinhas.

A regulamentação do uso das zonas de inundação apóia-se em mapas com demarcação de áreas de diferentes riscos e nos critérios de ocupação das mesmas, tanto quanto ao uso como quanto aos aspectos construtivos. Para que esta regulamentação seja utilizada, beneficiando as comunidades, a mesma deve ser integrada à legislação municipal sobre loteamentos, construções e habitações, a fim de garantir a sua observância. Sendo assim, o conteúdo deste capítulo tem a finalidade de servir de base para a regulamentação da várzea de inundação, através dos planos diretores urbanos, permitindo às prefeituras a viabilização do controle efetivo.

O Water Resources Council (1971) definiu Zoneamento por: “Zoneamento envolve a divisão de unidades governamentais em distritos e a regulamentação dentro desses distritos de: (a) usos de estruturas e da terra; (b) altura e volume das estruturas; (c) o tamanho dos lotes e densidade de uso”. As características do Zoneamento, que o distingue de outros controles é que a regulamentação varia de distrito para distrito. Por essa razão, o Zoneamento pode ser usado, para estabelecer padrões

especiais para uso da terra em áreas sujeitas à inundação. A divisão em distritos de terras, através da comunidade é usualmente baseada em planos globais de uso, que orientam o crescimento da comunidade".

**Condições técnicas do zoneamento:** O risco de ocorrência de inundação varia com a respectiva cota da várzea. As áreas mais baixas obviamente estão sujeitas a maior frequência de ocorrência de enchentes. Assim sendo, a delimitação das áreas do zoneamento depende das cotas altimétricas das áreas urbanas.

O rio possui normalmente um ou mais leitos. O leito menor corresponde a seção de escoamento em regime de estiagem, ou de níveis médios. O leito maior pode ter diferentes níveis de risco, de acordo com a seção transversal considerada e a topografia da várzea inundável. Esse leito, o rio costuma ocupar durante as enchentes. Quando o tempo de retorno de extravasamento do leito menor é superior a 2 anos, existe a tendência da população em ocupar a várzea nas mais diversas e significativas formas socioeconômicas. Essa ocupação gera, por ocasião das cheias, danos de grande monta aos ocupantes dessas áreas e, também, às populações a montante, que são afetadas pelas elevações de níveis decorrentes da obstrução ao escoamento natural causada pelos primeiros ocupantes (figura 2.15).

A seção de escoamento do rio pode ser dividida em três partes principais (figura 2.16), descritas a seguir.

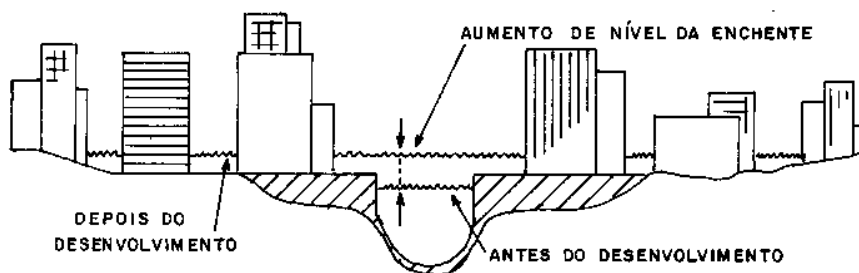


Figura 2.15. Invasões da várzea

Zona de passagem da enchente (faixa 1) - Esta parte da seção funciona hidráulicamente e permite o escoamento da enchente. Qualquer construção nessa área reduzirá a área de escoamento, elevando os níveis a

montante desta seção (figura 2.15 e 2.16). Portanto, em qualquer planejamento urbano, deve-se procurar manter esta zona desobstruída.

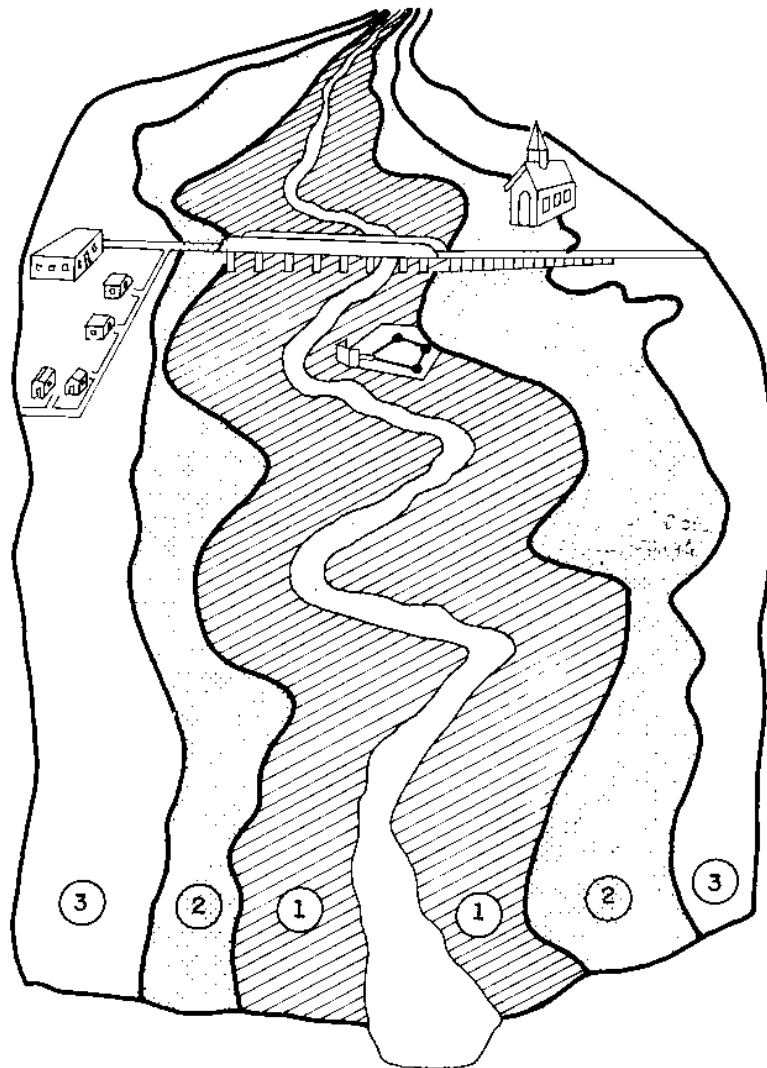


Figura 2.16. Regulamentação da zona inundável (U.S.WATER RESOURCES COUNCIL,1971).

Os critérios técnicos geralmente utilizados para determinar esta faixa são os seguintes :

- (a) Determine a cheia de 100 anos de tempo de retorno ou a que determina os limites da área de inundação;
- (b) a seção de passagem da enchente será aquela que evitar aumentar os níveis para o leito principal para o vale de inundação. Como este valor dificilmente é nulo. Adota-se um acréscimo mínimo aceito para o leito principal. Nos Estados Unidos adotou-se como acréscimo máximo igual a um pé ou 30,45 cm. Veja a figura 2.17 para a definição desta faixa da várzea.

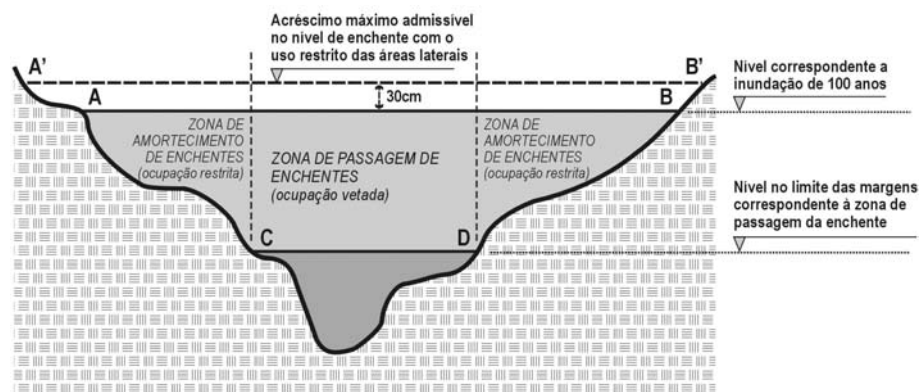


Figura 2.17 Definição da zona de passagem de enchente.

Esta faixa do rio deve ficar desobstruída para evitar danos de monta e represamentos. Nessa faixa não deve ser permitida nenhuma nova construção e a Prefeitura poderá, paulatinamente, relocar as habitações existentes. Na construção de obras como rodovias e pontes deve ser verificado se as mesmas produzem obstruções ao escoamento. Naquelas já existentes deve-se calcular o efeito da obstrução e verificar as medidas que podem ser tomadas para a correção. Não deve ser permitida a construção de aterro que obstrua o escoamento. Essa área poderia ter seu uso destinado para a agricultura ou outro uso similar às condições da natureza. Adicionalmente, seria permitidos a instalação de linhas de transmissão e condutos hidráulicos ou qualquer tipo de obra que não produza obstrução ao escoamento, como estacionamento, campos de esporte, entre outros.

Em algumas cidades poderão ser necessárias construções próximas aos rios. Nessa circunstância, deve ser avaliado o efeito da obstrução e as obras devem estar estruturalmente protegidas contra inundações.

Zona com restrições (faixa 2) - Esta é a área restante da superfície inundável que deve ser regulamentada. Esta zona fica inundada, mas

devido às pequenas profundidades e baixas velocidades, não contribuem muito para a drenagem da enchente. Esta zona pode ser subdividida em subáreas, mas essencialmente os seus usos podem ser:

- (a) Parques e atividades recreativas ou esportivas cuja manutenção, após cada cheia, seja simples e de baixo custo. Normalmente uma simples limpeza a reporá em condições de utilização, em curto espaço de tempo;
- (b) Uso agrícola;
- (c) Habitação com mais de um piso, onde o piso superior ficará situado, no mínimo, no nível do limite da enchente e estruturalmente protegida contra enchentes;
- (d) Industrial, comercial, como áreas de carregamento, estacionamento, áreas de armazenamento de equipamentos ou maquinaria facilmente removível ou que não estejam sujeitos a danos de cheia. Neste caso, não deve ser permitido armazenamento de artigos perecíveis e principalmente tóxicos;
- (e) Serviços básicos: linhas de transmissão, estradas e pontes, desde que corretamente projetados.

Zona de baixo risco (faixa 3) - Esta zona possui pequena probabilidade de ocorrência de inundações, sendo atingida em anos excepcionais por pequenas lâminas de água e baixas velocidades. A definição dessa área é útil para informar a população sobre a grandeza do risco a que está sujeita. Esta área não necessita regulamentação, quanto às cheias.

Nesta área, delimitada por cheia de baixa frequência, pode-se dispensar medidas individuais de proteção para as habitações, mas orientar a população para a eventual possibilidade de enchente e dos meios de proteger-se das perdas decorrentes, recomendando o uso de obras com, pelo menos, dois pisos, onde o segundo pode ser usado nos períodos críticos.

**Regulamentação das zonas de inundação:** Usualmente, nas cidades de países em desenvolvimento, a população de menor poder aquisitivo e marginalizada ocupa as áreas ribeirinhas de maior risco. A regulamentação da ocupação de áreas urbanas é um processo, que passa por uma proposta técnica discutida com a comunidade antes de ser incorporada ao Plano Diretor da cidade. Portanto, não existem critérios rígidos aplicáveis a todas as cidades, mas sim recomendações básicas que podem ser seguidas de acordo com o caso.

Water Resources Council (1971) orienta a regulamentação com base em distritos, definido-se em cada um o seguinte: (a) um texto que apresente os regulamentos que se aplicam a cada distrito, junto com as providências administrativas; (b) um mapa delineando os limites dos vários usos nos distritos.

O zoneamento é complementado com a subdivisão das regulamentações, onde são orientadas as divisões de grandes parcelas de terra em pequenos lotes, com o objetivo de desenvolvimento e venda de prédios. Portanto, essa é a fase de controle sobre os loteamentos. O Código de Construção orienta a construção de prédios quanto a aspectos estruturais, hidráulicos, de material e vedação. A regulamentação das construções permite evitar futuros danos. A seguir relacionamos alguns indicadores gerais que podem ser usados no zoneamento.

A proteção das habitações com relação às enchentes depende da capacidade econômica do proprietário em realizá-la. Com a implantação de um plano, a municipalidade poderá permitir as construções nessas áreas, desde que atendam condições como as seguintes (Tucci e Simões Lopes, 1985):

- (a) Estabelecimento de, pelo menos, um piso com nível superior à cheia que limita a zona de baixo risco;
- (b) Uso de materiais resistentes à submersão ou contato com a água;
- (c) Proibição de armazenamento ou manipulação e processamento de materiais inflamáveis, que possam pôr em perigo a vida humana ou animal durante as enchentes. Os equipamentos elétricos devem ficar em cota segura;
- (d) Proteção dos aterros contra erosões através de cobertura vegetal, gabiões ou outros dispositivos;
- (e) Prever os efeitos das enchentes nos projetos de esgotos pluvial e sanitário;
- (f) Estruturalmente, as construções devem ser projetadas para resistir à pressão hidrostática, que pode causar problemas de vazamento, entre outros, aos empuxos e momentos que podem exigir ancoragem, bem como às erosões que podem minar as fundações;
- (g) Fechamento de aberturas como portas, janelas e dispositivos de ventilação;
- (h) Estanqueidade e reforço das paredes de porões;
- (i) Reforço ou drenagem da laje do piso;
- (j) Válvulas em conduto;
- (k) proteção de equipamentos fixos;



(l) Ancoragem de paredes contra deslizamentos.

A decisão sobre a obrigatoriedade de proteção das novas construções na zona de inundação é um processo que deve passar por uma discussão ampla da comunidade envolvida. No entanto, deve-se ter presente que, logo após as últimas enchentes, houve desvalorização imobiliária das áreas de risco. Com o passar do tempo, essas áreas adquirirão gradualmente valor imobiliário, devido ao natural espaçamento no tempo das cheias e assim, a implementação de um plano de zoneamento poderá trazer custos maiores de desapropriações (se forem necessárias) ou dificuldades no processo de obediência à regulamentação. Essa situação somente sofrerá modificação com a ocorrência de nova enchente, com mais danos. Essas condições são mais graves na zona de passagem da cheia, na qual a municipalidade necessita gradualmente remover as obras que obstruem o escoamento.

Para manter a memória das inundações nas ruas pode-se utilizar a pintura dos postes de luz com diferentes cores. Isto democratiza a informação sobre a inundação e evita problemas imobiliários de compra e venda nas áreas de risco.

Quanto às construções já existentes nas áreas de inundação, deverá ser realizado um cadastramento completo das mesmas e estabelecido um plano para reduzir as perdas no local, bem como àquelas provocadas pelo remanso, resultante da obstrução do escoamento. Várias são as condições existentes que deverão ser analisadas caso a caso. Algumas situações podem ser: (a) para as obras públicas como escolas, hospitais, e prédios administrativos devem-se verificar a viabilidade de protegê-los ou removê-los para áreas seguras, a médio prazo; (b) as subabitações como favelas e habitações de população de baixa renda, devem ter sua transferência negociada para áreas mais seguras; (c) para áreas industriais e comerciais pode-se incentivar as medidas de proteção às construções e, se for o caso, de toda a área, às expensas dos beneficiados.

Quando ocorrem remoções ou transferências, o poder público deve estar preparado com planos urbanos para destinar estas áreas para outros usos ou finalidades de lazer, parques, evitando que venham a ser ocupadas novamente por subabitações.

Algumas ações públicas são essenciais neste processo tais como :

- (a) Evitar construção de qualquer obra pública nas áreas de risco como escolas, hospitais e prédios em geral. As existentes devem possuir um plano de remoção com o passar do tempo;

- (b) Planejar a cidade para gradualmente deslocar seu eixo principal para os locais de baixo risco ;
- (c) As entidades de financiamento deveriam evitar financiar obras em áreas de risco.
- (d) Utilizar mecanismos econômicos para o processo de incentivo e controle das áreas de risco : (a) retirar o imposto predial dos proprietários que mantiverem sem construção as áreas de risco e utilizem, por exemplo, para agricultura, lazer, etc ; (b) procurar criar um mercado para as áreas de risco de tal forma que as mesmas se tornem públicas com o passar do tempo ;
- (e) Prever a imediata ocupação das áreas de risco público quando desocupadas com algum plano que demarque a presença no município ou do Estado.

### **2.6.3 Construção à prova de enchente**

A construção à prova de enchente é definida como o conjunto de medidas projetadas para reduzir as perdas de prédios localizados nas várzeas de inundação durante a ocorrência das cheias. Algumas destas medidas são as seguintes:

- Instalação de vedação temporária ou permanente nas aberturas das estruturas;
- Elevação de estruturas existentes;
- Construção de novas estruturas sob pilotis;
- Construção de pequenas paredes ou diques circundando a estrutura, relocação ou proteção de artigos que possam ser danificados dentro da estrutura existente,
- Relocação de estruturas para fora da área de inundação,
- Uso de material resistente à água ou novas estruturas,
- Regulamentação da ocupação da área de inundação por cercamento.

### **2.6.4 Seguro de inundação**

O seguro de inundação é um procedimento preventivo viável para empreendimentos com valor agregado importante no qual os proprietários possuem capacidade econômica de pagar o prêmio do seguro. Além disso,

nem todas as companhias estão dispostas a fazer o seguro de inundações se não houver um sistema de resseguros para distribuição do risco.

O sistema de seguros americanos é o mais conhecido, onde a cidade entra no programa de seguros federais e a população pode fazer o seguro, onde o custo de um risco médio é da ordem de US 300 de prêmio para uma propriedade de valor de US 10.000. Os bancos somente financiam obras em áreas de risco que possuem este tipo de seguro. Portanto, este seguro cobra mais dos que ocupam áreas de maior risco e menos dos que ocupam as áreas de menor risco. Isto é possível num país onde é possível distribuir o risco entre diferentes regiões como os Estados Unidos. Na Inglaterra o custo pelo seguro da inundação é pago por todos, mesmo que não estejam na área de inundação. Como é diluído por toda a população o prêmio pago é pequeno, mas pode incentivar a ocupação de área de risco. Quando a população que ocupa a área de inundação é de baixa renda este tipo de solução torna-se inviável pela incapacidade da população de pagar o prêmio e próprio baixo valor da sua propriedade.

## **2.7 Avaliação dos prejuízos das enchentes**

Os prejuízos por inundação podem ser classificados em tangíveis e intangíveis. Os prejuízos tangíveis são classificados em danos físicos, custos de emergência e prejuízos financeiros. Os danos físicos incluem os custos de separação e limpeza dos prédios, e as perdas de objetos, mobília, equipamentos, elementos decorativos, material armazenado e material em elaboração. Os custos emergenciais se referem à evacuação, reocupação, habitação provisório como acampamentos, alertas, entre outros. Os custos financeiros são aqueles devidos à interrupção do comércio, da fabricação de produtos industriais e aos lucros cessantes.

Os custos intangíveis se referem aos danos de enchente que não têm valor de mercado ou valor monetário, como a perda de vida ou obras e prédios históricos. Os métodos utilizados para a avaliação dos danos causados pelas enchentes são (Simons et al., 1977): a) curva nível-prejuízo; b) método da curva de prejuízo histórico; c) equação de dano-agregado.

### **2.7.1 Curva nível-prejuízo**

O desenvolvimento deste método é citado em U.S. Army Corps of Engineers (1976). Consiste na determinação de curva que relaciona prejuízos e probabilidade ou tempo de retorno. Para determinar esta curva

é necessário obter as seguintes relações: a) curva de descarga; b) curva de probabilidade de vazões máximas; c) curva de nível versus prejuízo.

A curva de descarga é a relação entre a vazão e o nível de água na seção de medição. A curva de frequência de probabilidade de vazões relaciona o risco de ocorrência das inundações. Para obter a relação entre o nível na seção da régua e a probabilidade, basta efetuar a combinação das duas curvas.

A grande dificuldade está na determinação da relação entre nível e prejuízo. Para tanto é necessário um cadastramento de ocupação da várzea e a estimativa do prejuízo para os diferentes componentes dessa ocupação. Esta estimativa pode ser realizada para construções-padrão como residências, ocupação industrial e comercial, quando for o caso, além de uso agro-pastoril. Nos Estados Unidos as entidades como Soil Conservation Service, Corps of Engineers e Administração Federal de Seguros procuram relacionar, para cada tipo básico de construção, a altura a partir do piso com a percentagem de dano do valor total do prédio. Nas figuras 2.18 e 2.19 são apresentados, respectivamente, exemplos da comparação das curvas propostas pelas três organizações para os casos de uma casa de um e de dois pisos, ambas sem porão. A composição dos custos por áreas da cidade, através de amostragem, permite uma avaliação global dos danos envolvidos. Individualmente, uma indústria ou um estabelecimento comercial pode levantar os seus prejuízos potenciais de acordo com o nível de água.

Conhecida a relação entre profundidade e prejuízo é possível estabelecer a relação entre prejuízo e probabilidade, pelo uso das duas últimas curvas (figura 2.20). A curva prejuízo-probabilidade permite a estimativa do custo médio de inundação para uma cidade ou, individualmente, para uma indústria, sem estabelecimento comercial ou uma residência. Adicionalmente, ela permite informar os riscos econômicos envolvidos na instalação em área sujeita à inundação. O custo médio de inundação é obtido pela integração da curva prejuízo-probabilidade.

### **2.7.2 Método da curva de prejuízo histórico**

Este tipo de metodologia foi proposta por Eckstein (1958) e baseia-se na determinação dos prejuízos de cheias ocorridas nos últimos anos. Relacionando o prejuízo de cada evento com relação aos níveis máximos observado no evento, obtém-se a curva desejada. As limitações

deste procedimento são: : a) admite-se que, nos últimos anos, o crescimento da região tenha sido praticamente nulo na área de inundação e que não tenham havido relocação; b) admite que os prejuízos provocados pelas cheias tenham sido repostos; c) que os valores dos prejuízos devem estar uniformizados, ou seja, deve considerar a inflação dos períodos; d) que o procedimento de avaliação dos prejuízos deve ser o mesmo nas diferentes enchentes, para que não haja tendenciosidade de avaliação.

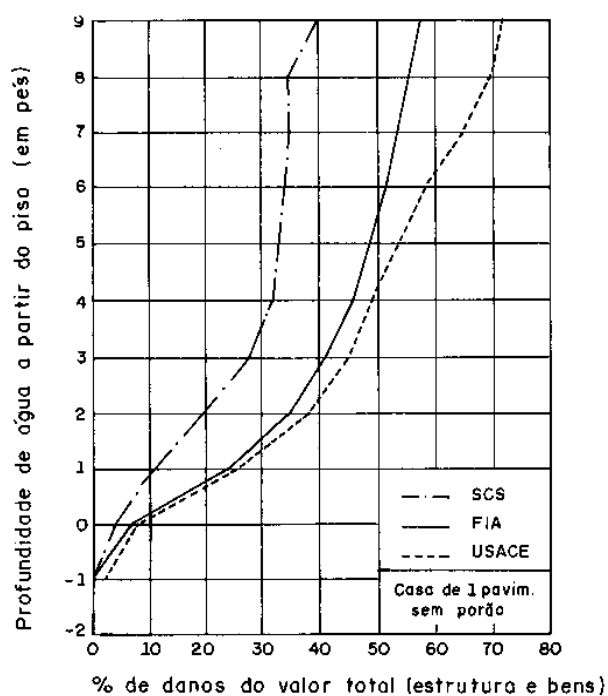


Figura 2.18. Curvas de profundidade-dano para uma casa de um pavimento sem porão (Simons et al.,1977)

### 2.7.3 Equação do prejuízo agregado

James (1972) apresentou a equação de dano agregado, que se baseia no crescimento linear entre o dano e o nível médio de inundação da várzea. A equação é a seguinte:

$$C_D = K_D h M U A \quad (2.1)$$

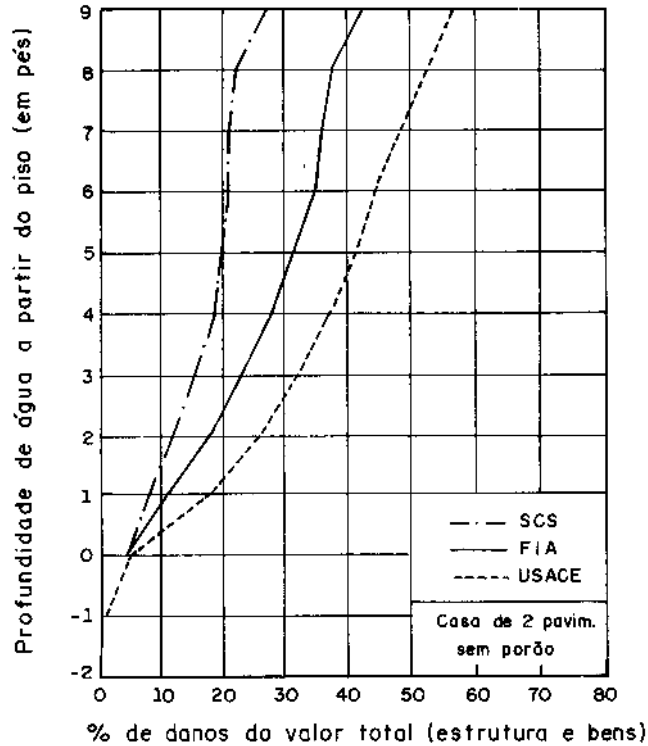


Figura 2.19. Curva de profundidade-dano para uma casa de dois pavimentos sem porão (Simons et al., 1977)

onde  $C_D$  = dano total, devido a enchente para um evento;  $K_D$  = um índice de dano de enchente, em unidades monetárias por unidades de profundidade de inundação;  $h$  = profundidade média de inundação;  $M$  = índice de valor de mercado de desenvolvimento da área de inundação, em unidades monetárias por unidades de desenvolvimento;  $U$  = a proporção de ocupação, ou seja, proporção da área de inundação desenvolvida pela área total inundada;  $A$  = área total de inundação.

O índice  $K_D$  é definido por:

$$K_D = \frac{dD}{dy} \quad (2.2)$$

onde  $D$  = dano;  $y$  = a profundidade. Esta derivada é obtida com base na relação entre dano e profundidade. Homan e Waybur (1960) determinaram este valor para cheias de cerca de 5 pés de profundidade (1,5m) e obtiveram  $K_D = 0,052$ . James (1964) apresentou um valor médio

de 0,044. Quando na cheia existe grande quantidade de sedimentos ou alta velocidade, o valor de  $K_D$  cresce. O nível médio da enchente e o índice do valor de mercado são obtidos para cada local. O fator  $U$  também é obtido por dados locais.

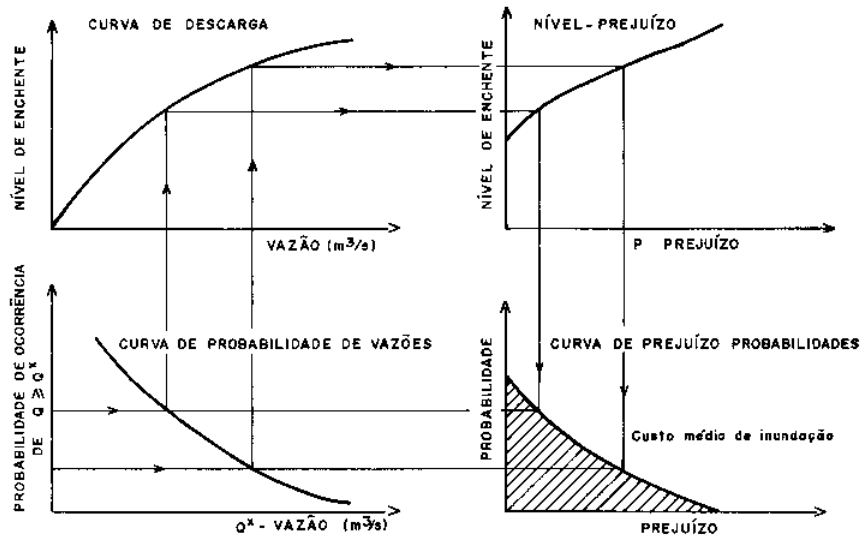


Figura 2.20. Método Nível-Prejuízo

Kates (1965) apresentou uma seqüência de procedimentos para a avaliação dos prejuízos de áreas de inundação com crescimento, ou modificações de danos potenciais, com o tempo. A seqüência é a seguinte: a) utilize um modelo regional de economia para projetar o crescimento urbano regional através do período de análise; b) defina os limites das áreas de inundação com base em análise hidrológica e aloque o crescimento urbano nesta área; c) especifique cada estrutura na área de inundação por localização, tipo, conteúdo e valor econômico, como função do tempo; d) desenvolva curvas apropriadas, relacionando danos na estrutura com nível como função do tempo; e) agregue as curvas individuais de dano para permitir a avaliação de toda a enchente, refletindo a mudança no tempo.

## Problemas

1. Por que inunda?

2. Quais são as fontes dos problemas na inundação ribeirinha?
3. Qual a diferença entre as medidas estruturais e não-estruturais? Quando se deve utilizar cada tipo de medida?
4. Quais são as medidas estruturais? Quais as limitações extensivas?
5. Quando se utilizam as medidas intensivas?
6. Quais são as medidas não-estruturais? Quais as dificuldades de implementá-las?
7. Como você determinaria o mapeamento de inundação numa cidade?
8. Se não houver dados históricos é possível mapear?
9. Como o mapa preparado no item pode ser utilizado para o planejamento de ocupação da cidade. Caso você fosse orientar o prefeito da cidade, quais seriam suas recomendações?
10. Você foi convidado para fazer um estudo de alternativa de uma indústria que se encontra na área de inundação. Quais são as alternativas de avaliação econômica?
11. Numa bacia de 100.000 km<sup>2</sup> quais são as alternativas de controle de inundação? Analise as alternativas.
12. Quais os critérios para determinar área que deve ficar desobstruída no zoneamento de área de inundação?
13. Quais os critérios de zoneamento das áreas de inundação em associação com o Plano Diretor urbano?
14. Por que as medidas estruturais são mais caras que as medidas não-estruturais?
15. Quais os principais impactos que envolvem o corte de meandros para controle de inundação de um trecho de rio?
16. Quando é viável a canalização de um rio para controle de enchente? Quais são os benefícios?
17. Como você definiria um plano de determinação dos níveis de inundação para um local sem dados?
18. Quais as medidas complementares ao zoneamento da planície de inundação?



## REFERÊNCIAS

- ECKSTEIN, O. 1958. Water resources development, the economics of project damage in urban areas. *Water Resources Bulletin*. Minneapolis, v. 11, n.2, Apr.
- HOMAN, G.A., WAYBUR, B. 1960. *A study of procedure in estimating flood damage to residential, commercial and industrial properties in California*. Stanford Research Institute.
- HOYT, W.G., LANGBEIN, W.B. 1955. *Floods*. Princeton: Princeton University Press, Princeton. 469p.
- JAMES, L.D. 1964. *A time-dependent planning process for combining structural measures, land use and flood proofing to minimize the economic cost of flood*. Stanford University, Institute in Engineering Economic Systems.
- JAMES, L.D. 1972. Role of economics in planning flood plain land use. *Journal of the Hydraulics Division, American Society of Civil Engineers*. New York, v. 98, n.6, p. 981-92.
- JOHNSON, W. 1978. *Physical and economic feasibility of nonstructural flood plain management measures*. Davis: Hydrologic Engineer Center.
- KATES, R.W. 1965. *Industrial flood losses: damage estimation in the Lehigh Valley*. University of Chicago, Department of Geography. (Research Paper 98).
- PRISCOLLI, J. 2001. Flood Management experiences in USA. Apresentação em workshop em Santiago do Chile, Janeiro de 2001. SAMTAC.
- REZENDE, B. e TUCCI, C.E. M., 1979. *Análise hidráulica e hidrológica dos problemas de inundação urbana na cidade de Estrela, RS*. Relatório Técnico, p.29.
- SIMONS, D.B. et al. 1977. *Flood flows, stages and damages*. Fort Collins: Colorado State University.
- TASK, 1962. Guide for the development of flood plain regulation. *Journal of the Hydraulics Division, American Society of Civil Engineers*. New York, v.88, n.5, p.73-119, Sept.
- TUCCI, C. e SIMÕES LOPES, M. 1985. Zoneamento das áreas de inundação: rio Uruguai. *Revista Brasileira de Engenharia Caderno de Recursos Hídricos*. Rio de Janeiro, v.3, n. 1, p.19-45, maio.
- U. S. ARMY. CORPS OF ENGINEERS. 1976. *Guidelines for flood damage reduction*. Sacramento.
- WATER RESOURCES COUNCIL, 1971. *Regulation of flood hazard areas to reduce flood losses*. Washington. Não paginado.

# Gestão das Inundações na drenagem urbana

*Controle da drenagem urbana envolve a gestão do espaço urbano para controlar o impacto da impermeabilização e evitar a canalização.*

O desenvolvimento urbano altera a cobertura vegetal provocando vários efeitos que alteram os componentes do ciclo hidrológico natural. Este capítulo trata do impacto da urbanização nas águas pluviais.

## 3.1 Impacto do desenvolvimento urbano no ciclo hidrológico

Com a impermeabilização do solo através de telhados, ruas, calçadas e pátios, a água que infiltrava, passa a escoar pelos condutos, aumentando o escoamento superficial. O volume que escoava lentamente pela superfície do solo e ficava retido pelas plantas, com a urbanização, passa a escoar através de superfícies impermeáveis, condutos e canais, exigindo maior capacidade de escoamento e aumento das seções e declividade do conduto ou canal.

Na figura 3.1 é apresentado efeito da urbanização sobre as variáveis do ciclo hidrológico. O hidrograma típico de uma bacia natural e aquele resultante da urbanização são apresentados na figura 3.2. Com a urbanização são introduzidas as seguintes alterações no ciclo hidrológico:

- Redução da infiltração no solo;
- O volume que deixa de infiltrar fica na superfície, aumentando o escoamento superficial. Com os condutos pluviais aumenta a velocidade do escoamento superficial, reduzindo o tempo de deslocamento. As vazões máximas também aumentam, antecipando seus

picos no tempo (figura 3.2) A vazão máxima média de inundação pode aumentar de seis a sete vezes. Na bacia do rio Belém em Curitiba, com área de drenagem de 42 km<sup>2</sup> e áreas impermeáveis da ordem de 60% foi obtido um aumento de 6 vezes na vazão média de cheia das condições rurais para a condição atual de urbanização. Na figura 3.3 é apresentada a vazão média de cheia em função da área de drenagem para bacias rurais e para a bacia do rio Belém. A tendência dos valores das bacias rurais permitiu estimar a vazão média de cheia da sua situação de pré-desenvolvimento, comparando com o valor atual (ponto na figura).

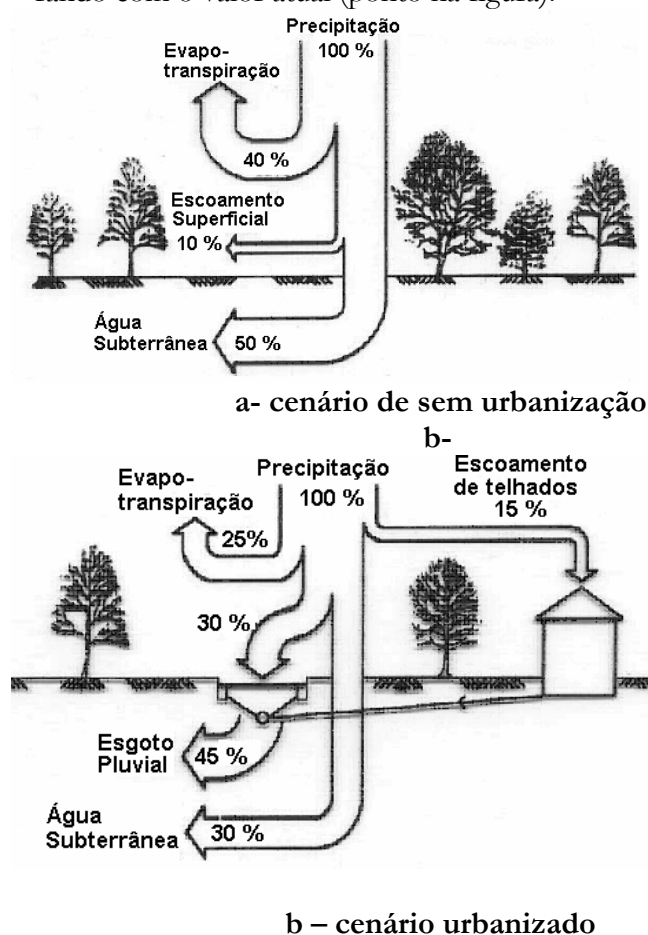


Figura 3.1 Balanço hídrico numa bacia urbana (OECD, 1986).

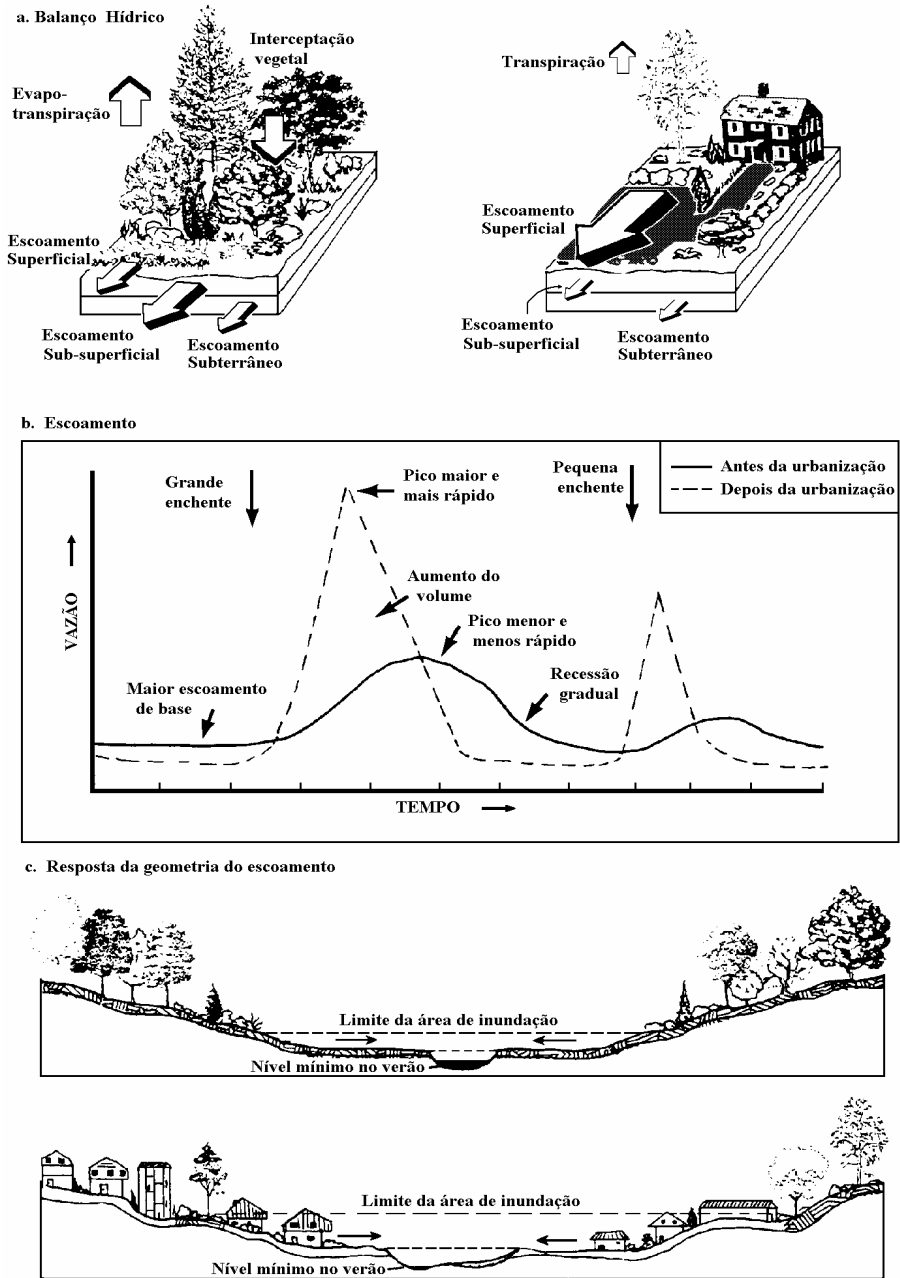


Figura 3.2 - Impacto devido a urbanização (Schueler, 1987).

- Com a redução da infiltração, o aquífero tende a diminuir o nível do lençol freático por falta de alimentação (principalmente quando a área urbana é muito extensa), reduzindo o escoamento subterrâneo;
- Devido a substituição da cobertura natural por áreas impermeáveis ocorre uma redução da evapotranspiração, já que a superfície urbana não retém água como a cobertura vegetal e não permite a evapotranspiração como ocorre pelas folhagens e do solo.

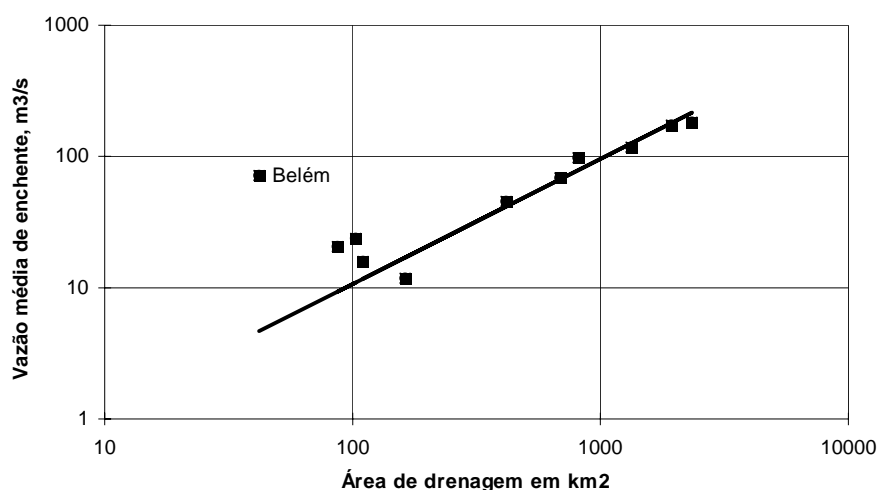


Figura 3.3 Vazão média de cheia em função da área de drenagem na Região Metropolitana de Curitiba.

### 3.2 Impacto Ambiental sobre o ecossistema aquático

Com o desenvolvimento urbano, vários elementos antrópicos são introduzidos na bacia hidrográfica que atuam sobre o ambiente. Alguns dos principais problemas são discutidos a seguir.

**Aumento da Temperatura:** As superfícies impermeáveis absorvem parte da energia solar aumentando a temperatura ambiente, produzindo ilhas de calor na parte central dos centros urbanos, onde predomina o concreto e o asfalto. O asfalto, devido a sua cor, absorve mais energia do que as superfícies naturais e o concreto. À medida que a sua superfície envelhece escurece aumentando a absorção de radiação solar. O aumento da absorção de radiação solar por parte da superfície aumenta a emissão de radiação térmica de volta

para o ambiente, gerando, calor. O aumento de temperatura também cria condições de movimento de ar ascendente que pode criar de aumento de precipitação. Silveira (1997) mostra que a parte central de Porto Alegre apresenta maior índice pluviométrico que a sua periferia, atribuindo essa tendência a urbanização.

**Aumento de Sedimentos e Material Sólido:** Durante o desenvolvimento urbano, o aumento dos sedimentos produzidos pela bacia hidrográfica é significativo, devido às construções, limpeza de terrenos para novos loteamentos, construção de ruas, avenidas e rodovias entre outras causas. Na figura 3.4 pode-se observar a tendência de produção de sedimentos de uma bacia nos seus diferentes estágios de desenvolvimento.

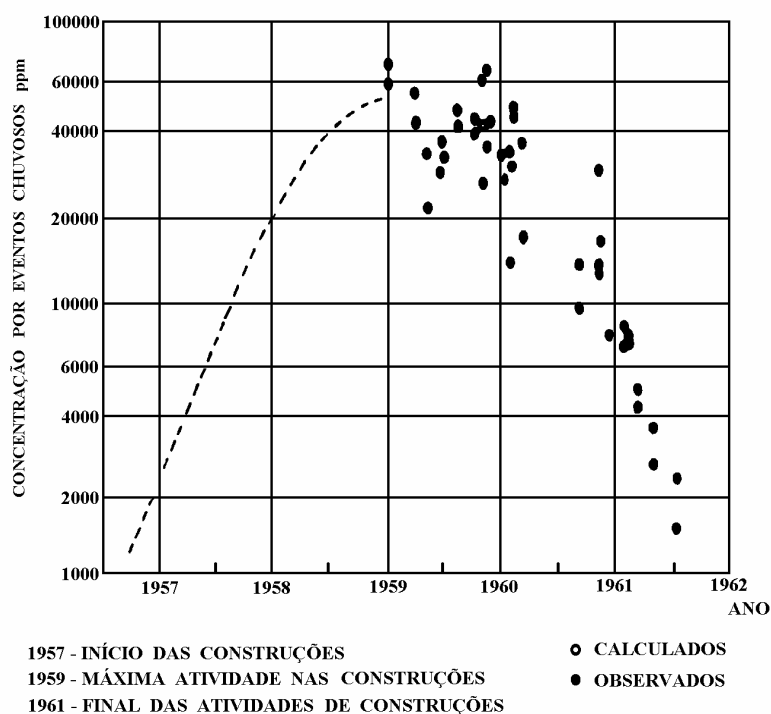


Figura 3.4 Variação da produção de sedimentos em decorrência do desenvolvimento urbano (Dawdy, 1967)

As principais conseqüências ambientais da produção de sedimentos são as seguintes:

- Erosão das superfícies gerando fortes áreas degradadas. Na figura 3.5 e 3.6 pode ser observado o efeito da erosão sobre as superfícies urbanas desprotegidas. Na foto da direita da referida observa-se a erosão gerada pelo aumento de escoamento de drenagem à montante. O aumento da energia e da velocidade do escoamento pode produzir verdadeiros *canyons* que chegam a 30m de profundidade e 50 m de largura em solos frágeis;
- Assoreamento das seções da drenagem, com redução da capacidade de escoamento de condutos, rios e lagos urbanos. A lagoa da Pampulha é um exemplo de um lago urbano que tem sido assoreado. O arroio Dilúvio em Porto Alegre, devido a sua largura e pequena profundidade, durante as estiagens, tem depositado no canal a produção de sedimentos da bacia e criado vegetação, reduzindo a capacidade de escoamento durante as enchentes;
- Transporte de poluentes agregados ao sedimento, que contaminam as águas pluviais.



Figura 3.5 Erosão urbana (Campana, 2004).



Figura 3.6 Erosão urbana (Campana, 2004)

**Obstruções ao escoamento:** obstruções ao escoamento como aterros e pontes, drenagens inadequadas e obstruções ao escoamento junto a condutos e assoreamento. Alguns dos exemplos de obstrução do escoamento são documentados a seguir:

- (a) *Produção de resíduo sólido que obstrui o escoamento:* o material sólido, além de reduzir a capacidade de escoamento, obstrui as detenções urbanas para o controle local do escoamento. Na figura 3.7 são apresentados sistemas obstruídos por material sólido e por canalização atravessando a drenagem;
- (b) *Resíduo sólido no sistema de retenção:* A medida que a bacia é urbanizada, e a densificação consolidada, a produção de sedimentos pode reduzir (figura 3.4), mas um outro problema aparece, que é a produção de lixo. O lixo obstrui ainda mais a drenagem e cria condições ambientais ainda piores. Esse problema somente é minimizado com adequada frequência da coleta e educação da população com muitas pesadas. Na figura 3.8 pode-se observar a quantidade de lixo urbano no sistema de drenagem. Como se observa grande parte deste lixo é devido a plásticos, com grande concentração das garrafas do tipo pet e de sacos de supermercado;
- (c) *Problemas de manutenção:* podem ocorrer vários problemas de escoamento em função da falta de limpeza do sistema de drenagem e de projetos inadequados que não consideram o assoreamento em seções muito largas (figura 3.9).





Figura 3.7 Obstrução e resíduo na drenagem (Belo Horizonte e São Paulo).



Figura 3.8 Lixo retido na drenagem (São Paulo)

*(d) Obstrução do escoamento por construções e aumento do risco. O desenvolvimento urbano tende a ocupar a drenagem deixando pouco espaço para a drena-*

gem, trazendo risco para a própria habitação e para montante (figura 3.10).



Figura 3.9 Obstruções ao escoamento em canais (Porto Alegre).



Figura 3.10 Construções na drenagem (Caxias do Sul)

**Áreas de risco de encostas:** a ocupação das áreas de relevo nas cidades é uma das principais causas de morte durante o período chuvoso devido ao escorregamento de terra das encostas em consequência da infiltração de água no solo e falta de sustentação de maciços naturais e alterados (figura 3.11).

**Qualidade da Água Pluvial:** A qualidade da água do pluvial não é melhor que a do efluente de um tratamento secundário. A quantidade de

material suspenso na drenagem pluvial é superior à encontrada no esgoto *in natura*. Esse volume é mais significativo no início das enchentes. Na figura 3.12 pode-se observar a amostra de água pluvial em tempos representado por um relógio (figura das garrafas). No início existe pequena concentração, logo após a concentração é alta, para após alguns intervalos de tempo se reduzir substancialmente. Nos primeiros 25 mm de chuva geralmente se concentram 95% da carga. O polutograma gerado por uma área urbana após um período seco mostra um pico de concentração antes do pico do hidrograma, indicando que a concentração no início é alta, mesmo com pequena vazão.



Figura 3.11 Ocupação em áreas de risco

Os esgotos podem ser combinados (cloacal e pluvial num mesmo conduto) ou separados (rede pluvial e cloacal separadas). No Brasil, a maioria das redes é do segundo tipo; somente em áreas antigas de algumas cidades existem sistemas combinados. Atualmente, devido a falta de capacidade financeira para ampliação da rede de cloacal, algumas prefeituras tem permitido o uso da rede pluvial para transporte do cloacal, o que pode ser uma solução inadequada à medida que esse esgoto não é tratado, além de inviabilizar algumas soluções de controle quantitativo do pluvial.

Os poluentes que ocorrem na área urbana variam muito, desde compostos orgânicos a metais altamente tóxicos. Alguns poluentes são colocados para diferentes funções no ambiente urbano como inseticidas, fertilizantes e chumbo proveniente das emissões dos automóveis e óleos

de vazamento ou de caminhões, ônibus e automóveis são resultados de atividades dentro do ambiente urbano. A fuligem resultante das emissões de gases dentro do ambiente urbano dos veículos, das indústrias, queima de resíduos se depositam na superfície e são lavados pela chuva. A água, resultante desta lavagem chega aos rios contaminada.

Os principais poluentes encontrados no escoamento superficial urbano são: sedimentos, nutrientes, substâncias que consomem oxigênio, metais pesados, hidrocarbonetos de petróleo, bactérias e vírus patogênicos. Os valores médios americanos são apresentados na Tabela abaixo.



Figura 3.12 Amostradores de qualidade da água pluvial. Início da precipitação com a garrafa marrom (posição do relógio a 45 min).

A qualidade da água da rede pluvial depende de vários fatores: da limpeza urbana e sua frequência, da intensidade da precipitação e sua distribuição temporal e espacial, da época do ano e do tipo de uso da área urbana. Os principais indicadores da qualidade da água são os parâmetros que caracterizam a poluição orgânica e a quantidade de metais.

**Contaminação de aquíferos:** As principais condições de contaminação dos aquíferos urbanos são devido ao seguinte:

- Aterros sanitários contaminam as águas subterrâneas pelo processo natural de precipitação e infiltração. Deve-se evitar que se-

jam construídos aterros sanitários em áreas de recarga e procurar escolher as áreas com baixa permeabilidade. Os efeitos da contaminação nas águas subterrâneas devem ser examinados quando da escolha do local do aterro;

Tabela 3.1 Concentração para escoamento médio para alguns usos da terra urbana baseado no Programa Nacional de Escoamento urbano (americano) sendo Whalen e Cullum (1989).

Parâmetro	Residencial	Comercial	Industrial
TKN (mg/l)	0,23	1,5	1,6
No3 + No2 (mg/l)	1,8	0,8	0,93
Total P (mg/l)	0,62	2,29	0,42
Cobre (µmg/l)	56	50	32
Zinco (µmg/l)	254	416	1.063
Chumbo (mg/l)	293	203	115
COD (mg/l)	102	84	62
TSS (mg/l)	228	168	106
DBO (mg/l)	13	14	62

- Grande parte das cidades brasileiras utiliza fossas sépticas como destino final do esgoto. Esse conjunto tende a contaminar a parte superior do aquífero. Esta contaminação pode comprometer o abastecimento de água urbana quando existe comunicação entre diferentes camadas dos aquíferos através de percolação e de perfuração inadequada dos poços artesianos;
- A rede de condutos de pluviais pode contaminar o solo através de perdas de volume no seu transporte e até por entupimento de trechos da rede que pressionam a água contaminada para fora do sistema de condutos.

### 3.3 Gestão na macrodrenagem que geram impactos

#### 3.3.1 Gestão na drenagem urbana

O controle atual do escoamento na drenagem urbana têm sido realizado de forma equivocada com sensíveis prejuízos para a população. A origem dos impactos é devida principalmente a dois tipos de erros:

- *Princípio dos projetos de drenagem:* A drenagem urbana tem sido desenvolvida com base no seguinte princípio errado: “ A melhor drena-

gem é a que retira a água pluvial excedente o mais rápido possível do seu local de origem “.

- *Avaliação e controle por trechos:* Na microdrenagem os projetos aumentam a vazão e transfere todo o seu volume para jusante. Na macrodrenagem são construídos canais para evitar a inundação em cada trecho crítico. Este tipo de solução segue a visão particular de um trecho da bacia, sem que as conseqüências sejam previstas para o restante da mesma ou dentro de diferentes horizontes de ocupação urbana. A canalização dos pontos críticos acaba apenas transferindo a inundação de um lugar para outro na bacia.

A combinação destes dois tipos de gestão tem os seguintes impactos na macrodrenagem das cidades que podem ocorrer na seguinte seqüência:

**Estágio 1:** A bacia começa a ser urbanizada de forma distribuída, com maior densificação a jusante. Com a impermeabilização e o uso de condutos, nos locais de seção pequena ou mudança de declividade ocorrem inundações (figura 3.13a). Neste momento a bacia está parcialmente urbanizada (geralmente ocorre de montante para jusante).

**Estágio 2:** As primeiras canalizações são executadas a jusante, com base na urbanização atual, com isso, o hidrograma à jusante do trecho canalizado aumenta (figura 3.13b)

**Estágio 3:** Com a urbanização se expandindo para montante juntamente com a canalização, o aumento das vazões máximas e dos volumes é significativo, retornando as inundações nos trechos anteriormente canalizados. Reiniciando uma nova rodada de aumento de seções. A canalização simplesmente *transfere a inundação para jusante* (figura 3.13c). Já não existem espaços laterais para ampliar os canais a jusante, e as soluções convergem para o aprofundamento do canal, com custos extremamente altos (podendo chegar a US\$ 50 milhões/km, dependendo do subsolo, largura, revestimento, etc.).

Este processo é prejudicial aos interesses públicos e representa um prejuízo extremamente alto para toda a sociedade ao longo do tempo. A sociedade perde duas vezes paga cerca de 1000% a mais pela canalização contra uma solução de amortecimento e ainda aumenta dramaticamente as inundações para a população de jusante. Infelizmente esta visão defasada de conhecimento técnico ou por interesse no maior custo das obras, perdura num grande número de engenheiros que usam como desculpa a

seguinte frase: “não existe espaço para amortecimento”. O espaço necessário para o amortecimento é da ordem de 1 % da bacia (ver itens a seguir neste capítulo) e pode ser distribuído por diferentes áreas que podem ser exploradas e, que nem sempre é facilmente identificada, mas basta ter *vontade técnica* que é possível identificar combinações de transferência de escoamento e amortecimento sem transferir impactos para jusante.

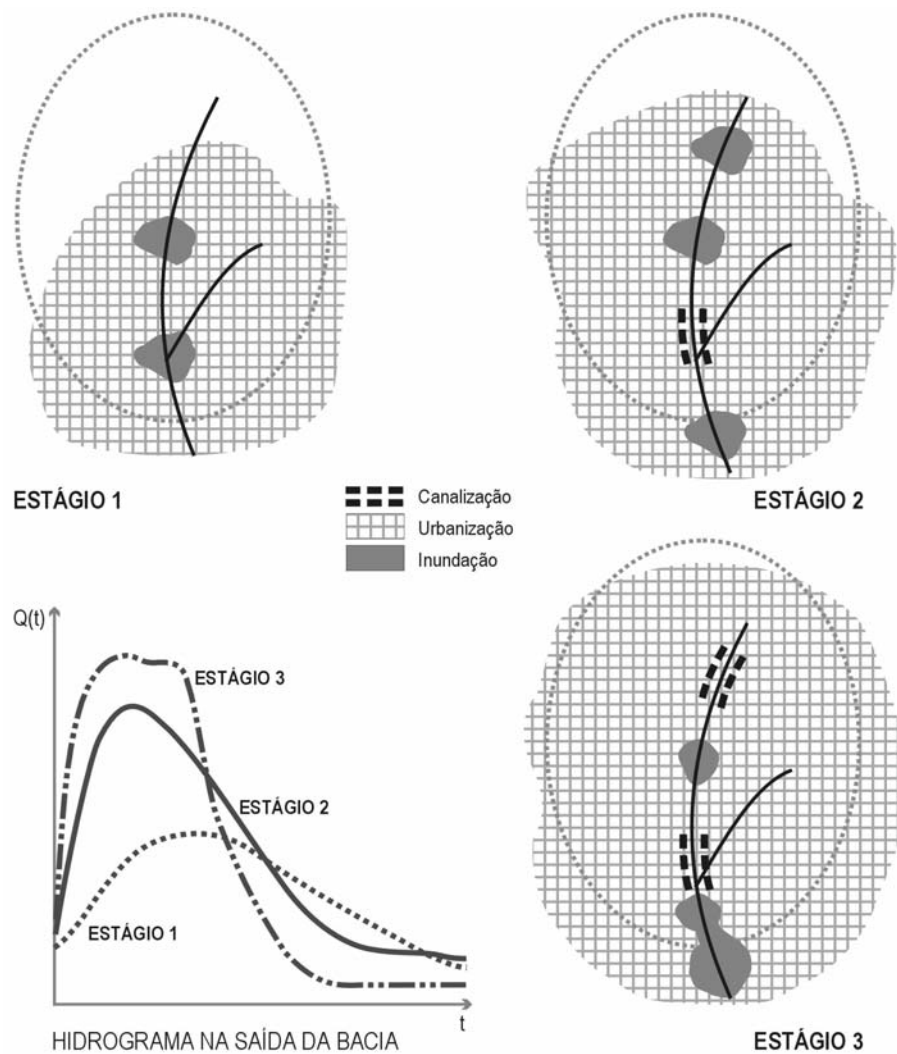


Figura 3.13 Estágio do desenvolvimento da drenagem

O principal conceito é que não se deve ter uma solução pré-concebida, mas buscar uma solução combinada, com a meta fundamental que nenhum novo projeto transferira impacto na bacia.

### **3.3.2 Gestão inadequada das áreas ribeirinhas em combinação com a drenagem urbana**

A tendência do desenvolvimento urbano é de pressionar para a ocupação das áreas ribeirinhas, como foi destacado no capítulo anterior. A gestão tem sido de aumentar a capacidade do rio, permitindo que a população ocupe o leito menor dos rios até a sua margem (primeiro estágio da gestão inadequada, caracterizado na figura 3.14). Com o passar dos anos a bacia hidrográfica se desenvolve para montante ampliando o pico de cheia e aumentando a frequência devido a impermeabilização, canalizando e condutos. Como o projeto de aumentar a capacidade de escoamento do trecho de jusante estudou apenas o cenário urbano da sua época, sem avaliar os futuros impactos, a urbanização para montante volta a produzir inundação na várzea agora ocupada, restando apenas obras de alto custo como o aumento do fundo do rio através de aprofundamento e aumento de rugosidade, túneis de desvios, entre outros. Estas obras são economicamente inviáveis, reduzindo o valor das propriedades e aumentando os prejuízos. Este foi cenário observado no rio Tietê em São Paulo (figura 3.15).

Na figura 3.16 pode-se observar o conjunto dos processos que se origina no uso do solo (ocupação da área de inundação ribeirinha e impermeabilização e canalização do escoamento), resultando na aceleração do escoamento na drenagem e os conseqüentes impactos.

## **3.4 Princípios da gestão sustentável**

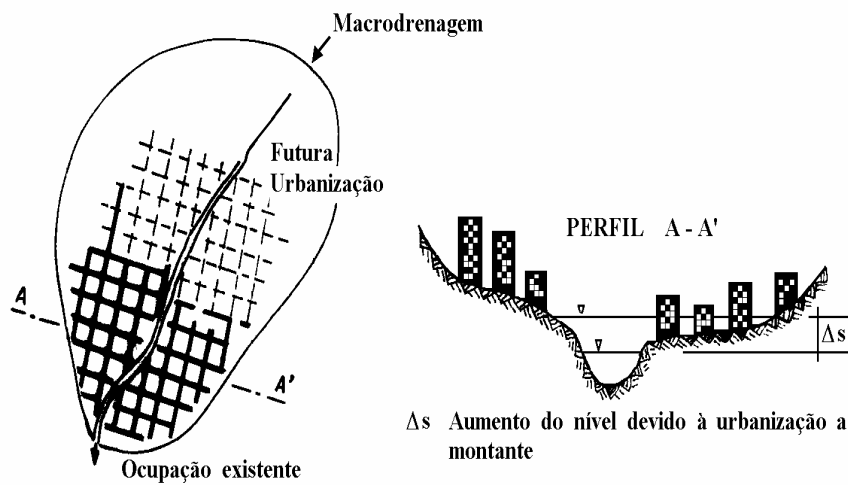
Os princípios básicos do controle do escoamento pluvial tanto devido as enchentes naturais da várzea como à urbanização são os seguintes:

**A bacia como sistema:** Um Plano de Controle de águas pluviais de uma cidade ou Região Metropolitana deve contemplar as bacias hidrográficas sobre as quais a urbanização se desenvolve. As medidas não podem reduzir um impacto de uma área em detrimento de outra, ou seja os impactos de quaisquer medidas não devem ser transferidos.

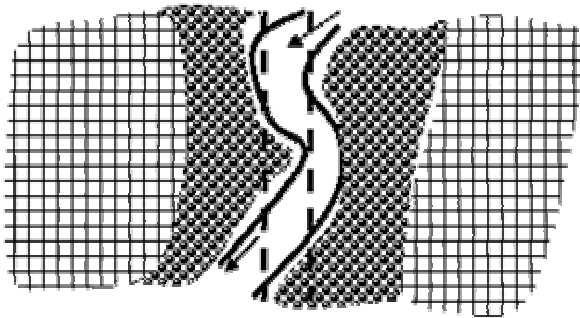
**As medidas de controle no conjunto da bacia:** O controle de enchentes envolve medidas estruturais e não-estruturais, que dificilmente estão



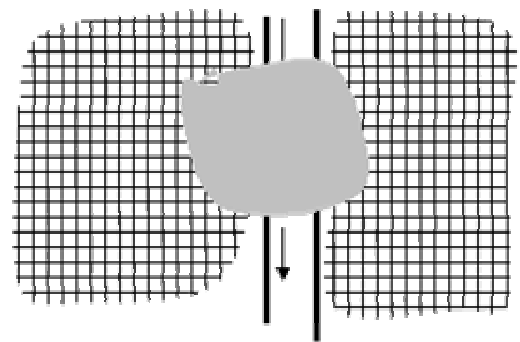
desassociadas. As medidas estruturais envolvem custos que a maioria das cidades não possui recursos para enfrentar e devem ser minimizadas. A política de controle de enchentes certamente poderá chegar a soluções estruturais para alguns locais, mas dentro da visão de conjunto de toda a bacia, onde a mesma está racionalmente integrada com outras medidas preventivas (não-estruturais) e compatibilizadas com o desenvolvimento urbano.



(a) tendência da evolução urbana na bacia.



(b) seção A-A' no início da urbanização



(c) seção A-A' na fase futura com impacto

Figura 3.14 Aumento da urbanização, ocupação das áreas ribeirinhas e aumento da frequência de inundações.



Figura 3.15 Inundação do rio Tietê na ponte das Bandeiras devido a urbanização da cidade de São Paulo.

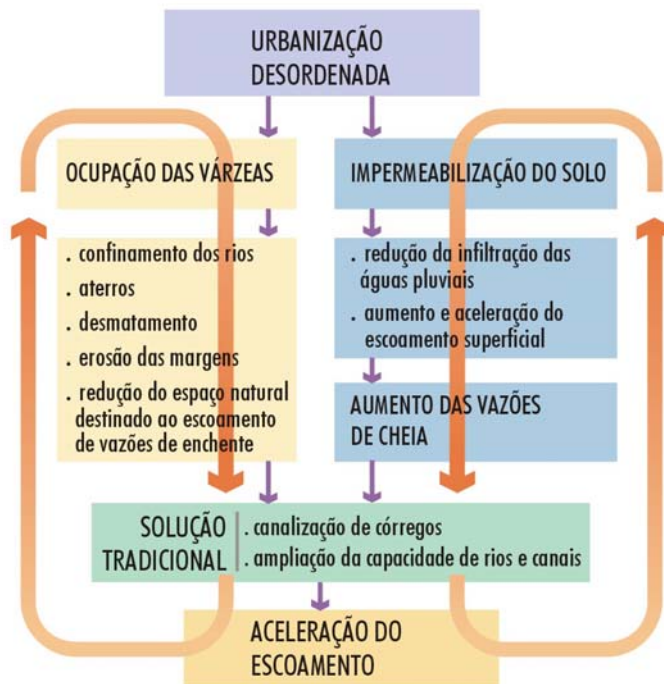


Figura 3.16 Processo de impacto da drenagem urbana (Sudersha, 2002)

**Os meios:** Os meios de implantação do controle de enchentes são o Plano Diretor Urbano, Legislação Municipal/Estadual e Manual de Drenagem. O primeiro estabelece as linhas principais, a legislação controla e o Manual orienta.

**O horizonte de expansão:** depois que a bacia ou parte da mesma estiver ocupada, dificilmente o poder público conseguirá responsabilizar aqueles que estiverem ampliando a cheia, portanto se a ação pública não for realizada preventivamente, através do gerenciamento, as conseqüências econômicas e sociais futuras serão muito maiores para todo o município. O Plano Diretor Urbano deve contemplar o planejamento das áreas a serem desenvolvidas e a densificação das áreas atualmente loteadas.

**Os critérios sustentáveis:** (a) A cheia natural não deve ser ampliada pelos que ocupam a bacia, seja num simples loteamento, como nas obras existentes no ambiente urbano. Isso se aplica a um simples aterro urbano, a construção de pontes, rodovias, e fundamentalmente a impermeabilização dos loteamentos. O princípio é que, de cada usuário urbano, não deve ampliar a cheia natural (b) a ocupação do espaço urbano e a drenagem das águas pluviais devem priorizar os mecanismos naturais do escoamento como a infiltração;

**O controle permanente:** O controle de enchentes é um processo permanente, não basta estabelecer regulamentos e construir obras de proteção, é necessário estar atento a potenciais violações da legislação e a expansão da ocupação do solo das áreas de risco. Portanto, recomenda-se que: (a) nenhum espaço de risco deve ser desapropriado se não houver uma imediata ocupação pública que evite a sua invasão; (b) a comunidade deve ter uma participação nos anseios, nos planos, na sua execução e na contínua obediência das medidas de controle de enchentes.

**A educação:** A educação de engenheiros, arquitetos, agrônomos, geólogos entre outras profissões, da população e de administradores público é essencial para que as decisões públicas sejam tomadas conscientemente por todos.

**A administração:** A administração da manutenção e controle é um processo local e depende dos municípios, através da aprovação de projetos de loteamentos, obras públicas e drenagens. Os aspectos ambientais são também verificados na implantação da rede de drenagem.

### 3.5 Tipos de Medidas de Controle

As medidas de controle do escoamento podem ser classificadas, de acordo com sua ação na bacia hidrográfica, em:

- **Distribuída ou na fonte:** é o tipo de controle que atua sobre o lote, praças e passeios;
- **Na microdrenagem:** é o controle que age sobre o hidrograma resultante de um ou mais loteamentos;
- **Na macrodrenagem:** é o controle sobre os principais riachos urbanos.

As medidas de controle podem ser organizadas, de acordo com a sua ação sobre o hidrograma em cada uma das partes das bacias mencionadas acima, em:

**Infiltração e percolação:** este tipo de solução encaminha o escoamento para áreas de infiltração e percolação no solo, utilizando o armazenamento e o fluxo subterrâneo para retardar o escoamento superficial. Este tipo de solução busca recuperar as funções hidrológicas naturais da área. A infiltração não deve ser utilizada em áreas onde a contaminação da água pluvial é alta ou o lençol freático é muito alto;

**Armazenamento:** através de reservatórios que podem ocupar espaços abertos ou fechados. O efeito do reservatório é o de reter parte do volume do escoamento superficial, reduzindo o seu pico e distribuindo a vazão no tempo;

**Aumento da eficiência do escoamento:** através de condutos e canais, drenando áreas inundadas. Esse tipo de solução tende a transferir enchentes de uma área para outra, mas pode ser benéfico quando utilizado em conjunto com reservatórios de detenção;

**Diques e estações de bombeamento:** solução tradicional de controle localizado de enchentes em áreas urbanas que não possuem espaço para amortecimento da inundação.

#### 3.5.1 Medidas de controle distribuído

As principais medidas de controle localizado no lote, estacionamento, parques e passeios são denominadas, normalmente, de controle na fonte (*source control*). As principais medidas são as seguintes:

- Aumento de áreas de infiltração e percolação; e
- Dispositivos de armazenamento temporário em reservatórios residenciais ou telhados.

As principais características do controle local do escoamento são as seguintes (Urbonas e Stahre, 1993):

- Aumento da eficiência do sistema de drenagem de jusante dos locais controlados;
- Aumento da capacidade de controle de enchentes dos sistemas;
- Dificuldade de controlar, projetar e fazer manutenção de um grande número de sistemas;
- Os custos de operação e manutenção podem ser altos.

Esse tipo de sistema tem sido adotado em muitos países através de legislação apropriada, ou como um programa global de controle de enchentes, como descrito por Yoshimoto e Suetsugi (1990) para a bacia do rio Tsurumi, onde foram construídos cerca de 500 reservatórios de retenção de 1,3 m<sup>3</sup>.

Um dos principais critérios adotados por muitas cidades (Seattle, Denver, Porto Alegre, entre outras) é o de uma vazão máxima que pode entrar no sistema público de drenagem proveniente dos loteamentos, instalações comerciais e industriais no sistema. Este limite corresponde geralmente a vazão natural do lote para um tempo de retorno (geralmente 10 anos de tempo de retorno e 1 hora de duração). Esta vazão é restritiva e obriga ao empreendedor a utilizar os dispositivos citados dentro da área de desenvolvimento para manter esta vazão para jusante.

A seguir são discutidos os tipos de dispositivos que podem ser utilizados e suas características:

### **Infiltração e percolação**

Os sistemas urbanos, como mencionado anteriormente, criam superfícies impermeáveis que não existiam na bacia hidrográfica, gerando impactos de aumento do escoamento, que é transportado através de condutos e canais. Esses dispositivos hidráulicos apresentam custos diretamente relacionados com as vazões máximas, aumentadas pela impermeabilização. Para reduzir esses custos e minimizar os impactos a jusante, uma das ações é a de permitir maior infiltração da precipitação, criando condição, a mais próxima possível, às condições naturais.

As vantagens e desvantagens dos dispositivos que permitem maior infiltração e percolação são as seguintes (Urbonas e Stahre, 1993):

- Aumento da recarga; redução de ocupação em áreas com lençol freático baixo; preservação da vegetação natural; redução da poluição transportada para os rios; redução das vazões máximas à jusante; redução do tamanho dos condutos;
- Os solos de algumas áreas podem ficar impermeáveis com o tempo; falta de manutenção; aumento do nível do lençol freático, atingindo construções em subsolo.

A *infiltração* é o processo de transferência do fluxo da superfície para o interior do solo. A *capacidade de infiltração* depende das características do solo e do estado de umidade da camada superior do solo, denominada também de zona não-saturada. A velocidade do escoamento através da camada não-saturada do solo até o lençol freático (zona saturada) é denominada de *percolação*. A percolação também depende do estado de umidade da camada superior do solo e do tipo de solo. Determinados tipos de solos apresentam maiores dificuldades de percolação e pequeno volume de armazenamento, o que inviabiliza seu uso, já que poderão: (a) manter níveis de água altos por muito tempo na superfície; (b) ter pouco efeito na redução do volume final do hidrograma.

Os principais dispositivos para criar maior infiltração são discutidos a seguir:

**Planos de infiltração:** existem vários tipos, de acordo com a sua disposição local. Em geral, a área de infiltração é um gramado lateral que recebe a precipitação de uma área impermeável, como em residência ou edifícios (figura 3.17). Durante precipitações intensas, essas áreas podem ficar submersas, se a sua capacidade for muito inferior à intensidade da precipitação. Caso a drenagem transporte muito material fino, a capacidade de infiltração pode ser reduzida, necessitando limpeza do plano para manter sua capacidade de funcionamento.

**Valos de infiltração:** esses são dispositivos de drenagem lateral, muitas vezes utilizados paralelos às ruas, estradas, estacionamentos e conjuntos habitacionais, entre outros (Figura 3.18). Esses valos concentram o fluxo das áreas adjacentes e criam condições para uma infiltração ao longo do seu comprimento. Após uma precipitação intensa, o nível sobe e, como a infiltração é mais lenta, mantém-se com água durante algum tempo. Portanto, o seu volume deve ser o suficiente para não ocorrer alagamento.

Esse dispositivo funciona, na realidade, como um reservatório de detenção, à medida que a drenagem que escoar para o valo é superior à capacidade de infiltração. Nos períodos com pouca precipitação ou de estiagem, ele é mantido seco. Esse dispositivo permite, também, a redução da quantidade de poluição transportado a jusante.

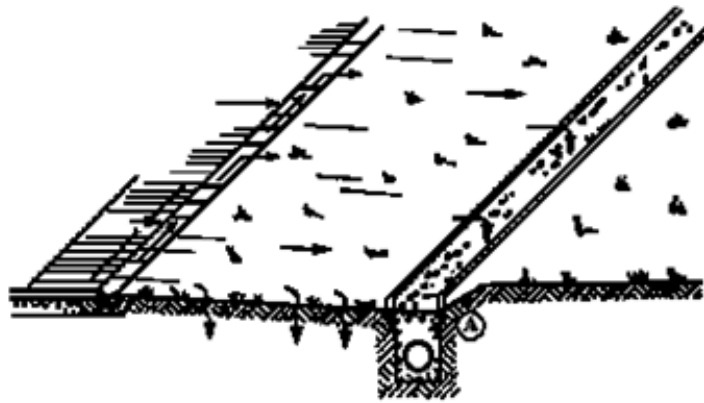


Figura 3.17 - Plano de infiltração com valo.

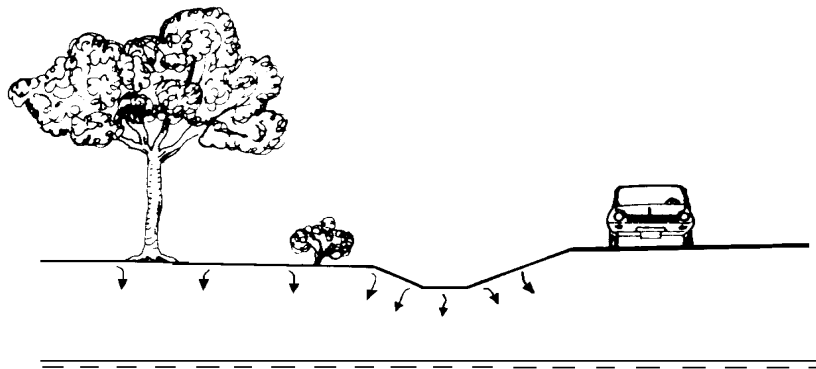


Figura 3.18 - Valos de infiltração (Urbonas e Stahre, 1993)

**Bacias de percolação:** dispositivos de percolação dentro de lotes permitem, também, aumentar a recarga e reduzir o escoamento superficial. O armazenamento é realizado na camada superior do solo e depende da porosidade e da percolação. Portanto, o lençol freático deve ser baixo,

criando espaço para armazenamento. Para áreas de lençol freático alto, esse tipo de dispositivo não é recomendado. As bacias são construídas para recolher a água do telhado e criar condições de escoamento através do solo. Essas bacias são construídas removendo-se o solo e preenchendo-o com cascalho, que cria o espaço para o armazenamento (figura 3.19). De acordo com o solo, é necessário criar-se maiores condições de drenagem. Para o solo argiloso com menor percolação, é necessário drenar o dispositivo de saída. A principal dificuldade encontrada com o uso desse tipo de dispositivo é o entupimento dos espaços entre os elementos pelo material fino transportado, portanto é recomendável o uso de um filtro de material geotextil. De qualquer forma, é necessária a sua limpeza após algum tempo (Urbonas e Stahre, 1993).

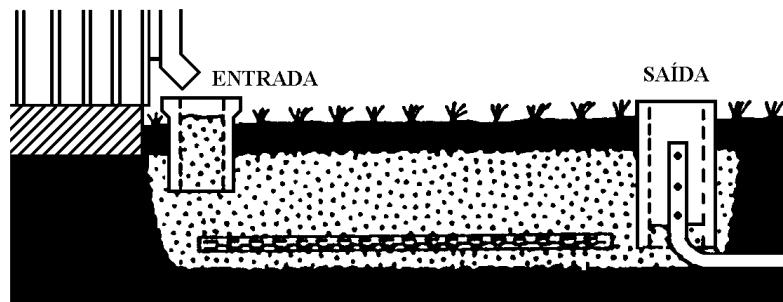


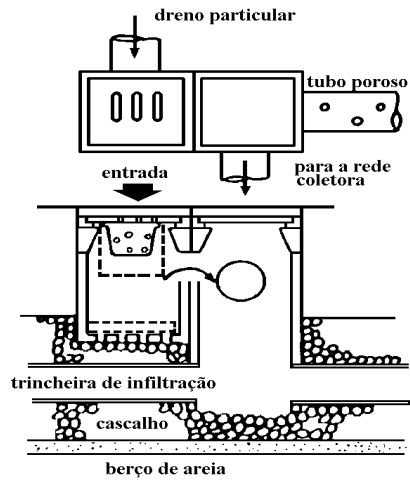
Figura 3.19 Exemplo de bacia de percolação (Holmstrand, 1984)

**Dispositivos hidráulicos permeáveis:** existem diferentes tipos de dispositivos que drenam o escoamento e podem ser construídos de forma a permitir a infiltração. Alguns desses dispositivos são:

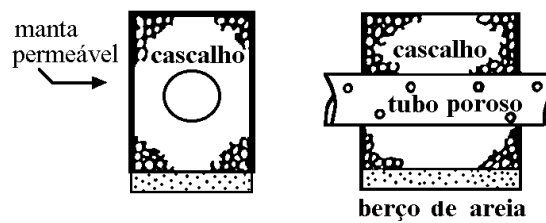
- *Entradas permeáveis na rede de drenagem.* Na figura 3.20a, observa-se um filtro, na parte superior da caixa, para evitar entupimento;
- *Trincheira ou vala permeável* é um caso especial de bacia de percolação e consiste de uma caixa com cascalho e filtro por onde passa um conduto poroso ou perfurado (figura 3.20b);
- *Meio fio permeável:* esse dispositivo é utilizado fora do lote ou dentro de condomínios, indústrias ou áreas comerciais (figura 3.20c).

**Pavimentos permeáveis:** o pavimento permeável pode ser utilizado em passeios, estacionamentos, quadras esportivas e ruas de pouco tráfego. Em ruas de grande tráfego, esse pavimento pode ser deformado e entupido, tornando-se impermeável.

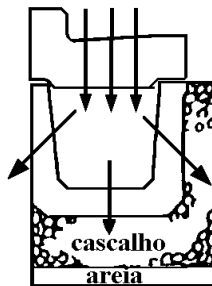




a - entradas permeáveis da drenagem



b - trincheiras ou valas permeáveis



c - meio fio permeável

Figura 3.20 - Dispositivos hidráulicos permeáveis (Fujita, 1984).

Esse tipo de pavimento pode ser de bloco vazado, concreto ou de asfalto (figura 3.21). Nos caso dos dois últimos é construído da mesma forma que os pavimentos tradicionais, com a diferença que o material

fino é retirado da mistura. Quando esses pavimentos são construídos para reter parte da drenagem, é necessário que sua base esteja, pelo menos, 1,2 m acima do lençol freático do período chuvoso. A base é drenada com canos perfurados espaçados de 3 a 8 m. O sistema de drenagem deve prever o esgotamento do volume existente na camada do solo num período de 6 a 12 horas (Urbonas e Stahre, 1993). Este sistema é viável quando o solo tem capacidade de infiltração superior a 7 mm/h. Para solos com um percentual superior a 30% de argila ou 40% de silte e argila combinados não são recomendáveis para uso deste tipo de dispositivo.

As vantagens desse tipo de controle podem ser as seguintes: redução do escoamento superficial previsto com relação a superfície impermeável; redução dos condutos da drenagem pluvial; redução de custos do sistema de drenagem pluvial e da lâmina de água de estacionamentos e passeios. As desvantagens são: a manutenção do sistema para evitar que fique colmatado com o tempo; maior custo direto de construção (sem considerar o benefício de redução dos condutos); contaminação dos aquíferos.

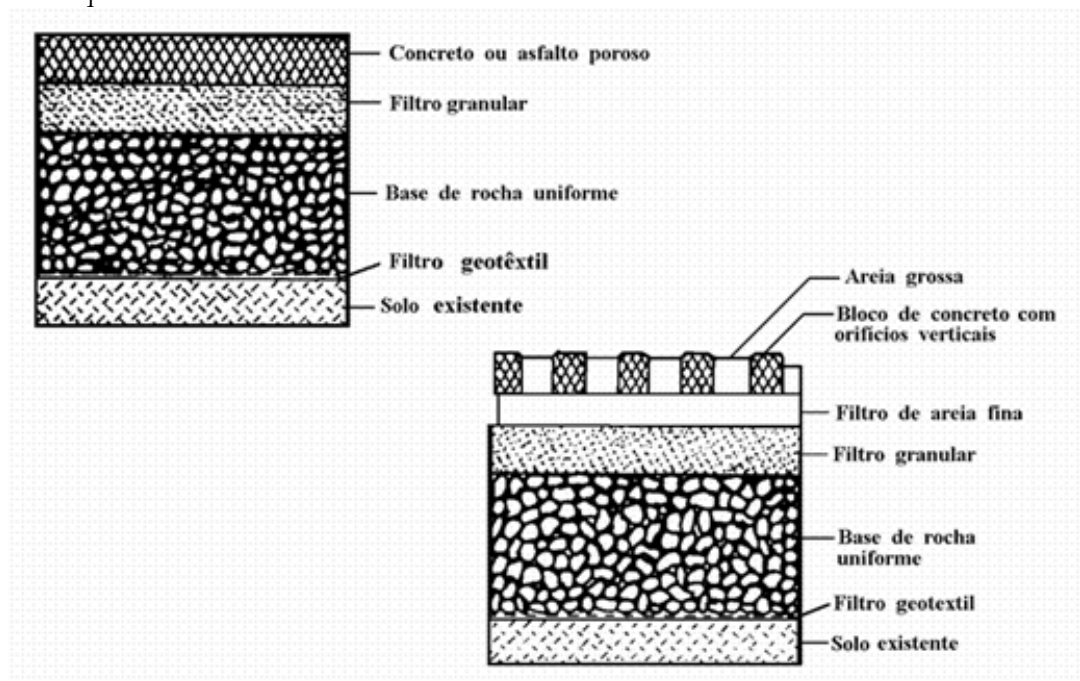


Figura 3.21 Pavimentos permeáveis

Araujo et al (2001) realizaram experimentos com diferentes superfícies : (a) Solo compactado com declividade de 1 a 3 % ; (b) Pavimentos impermeáveis: uma parcela de concreto convencional de cimento, areia e brita, com declividade de 4%; (c) Pavimentos semi-permeáveis: uma parcela de superfície com pedras regulares de granito com juntas de areia, conhecidas por paralelepípedos, com declividade de 4 %; e outra parcela revestida com pedras de concreto industrializado tipo “pavi S” igualmente com juntas de areia , conhecida por blocket, com declividade de 2%; (d) Pavimentos permeáveis: uma parcela de blocos de concreto com orifícios verticais preenchidos com material granular (areia) com declividade de 2 % e uma parcela de concreto poroso com declividade de 2%. Os experimentos foram realizados com precipitação de 110 mm/h, equivalente a um tempo de retorno de 5 anos para uma duração de 10 minutos. Os resultados dos experimentos são apresentados na tabela 3.2 onde se observa que os paralelepípedos absorvem parte da precipitação para uma intensidade muito alta e os pavimentos permeáveis praticamente não geram escoamento. Deve-se considerar que o experimento foi realizado com simulador de chuva numa superfície de 1 m<sup>2</sup>, onde o efeito de armazenamento na superfície e no reservatório dos pavimentos permeáveis tem mais efeito.

O custo do pavimento permeável pode ser da ordem de 30 % maior que o pavimento comum devido a base necessária a sua implantação. Pode-se observar dos valores da tabela 3.2 que paralelepípedos ou blocos, quando não possuem junta cimentada podem permitir armazenar e infiltrar uma parte importante das precipitações freqüentes. Arruamentos com este tipo de dispositivo deveriam ser preservados para evitar o agravamento dos problemas de drenagem localizados nas cidades. Na eventualidade de asfaltar o pavimento, pelo menos o meio deveria ser mantido sem asfalto, permitindo a infiltração e acumulação de parte do volume.

Tabela 3.2 Coeficiente de escoamento para simulação de chuva em diferentes superfícies para uma intensidade de 110 mm/h (Araujo et al, 2001)

Superfície	C
Solo compactado	0,66
Concreto	0,95
Bloco de concreto	0,78
Paralelepípedo	0,60
Bloco vazado	0,03
Concreto permeável	0,03

Nas figuras 3.22 a 3.25 são apresentadas fotos de diferentes dispositivos que procuram priorizar a infiltração do escoamento, além de terem sua função urbanística no contexto dos empreendimentos. As vantagens e desvantagens dos dispositivos de infiltração, utilizados para o controle distribuído do escoamento são apresentados na tabela 3.3.

## Armazenamento

O armazenamento pode ser efetuado em telhados, em pequenos reservatórios residenciais, em estacionamentos em áreas esportivas, entre outros.

**Telhados:** o armazenamento em telhados apresenta algumas dificuldades, que são a manutenção e o reforço das estruturas. Devido às características de clima brasileiro e do tipo de material usualmente utilizado nas coberturas, esse tipo de controle dificilmente seria aplicável à nossa realidade.

**Lotes urbanos:** o armazenamento no lote pode ser utilizado para amortecer o escoamento, em conjunto com outros usos, como abastecimento de água, irrigação de grama e lavagem de superfícies ou de automóveis. Na figura 3.26, é apresentado um reservatório desse tipo.



Figura 3.22 Uso de dispositivos para reter a água de áreas impermeáveis (a) foto da esquerda mostra as áreas drenadas de pavimentos para o gramado e dos telhados para reservatórios de pedra: (b) calçadas com grammas laterais para aumentar a infiltração.



Figura 3.23 Foto da esquerda mostra exemplo de Valo de infiltração e foto à direita pavimento permeável com blocos vazados em estacionamento.



Figura 3.24 Foto da esquerda mostra rua sem meio fio que permitem a infiltração de parte do escoamento nas laterais gramadas. Na foto da direita é apresentada uma área de infiltração num canteiro (incluir fonte).

Em regiões com pequena capacidade de distribuição de água, a precipitação que cai nos telhados é escoada diretamente para um poço subterrâneo e, depois, clorada para uso doméstico. A água coletada em telhados de centros esportivos pode ser coletada diretamente para uso de limpeza. Considerando-se uma superfície de  $120 \text{ m}^2$ , com uma precipitação anual de  $1500 \text{ mm}$ , é possível obter-se  $360 \text{ m}^3$  por ano, que, distribuídos, representam cerca de  $15 \text{ m}^3$  por mês, o suficiente para abastecer uma residência. Evidentemente que, à medida que o reservatório é mantido com água, reduz-se sua capacidade de amortecimento. Em regiões com período longo com estiagem o reservatório deveria aumentar de volume.

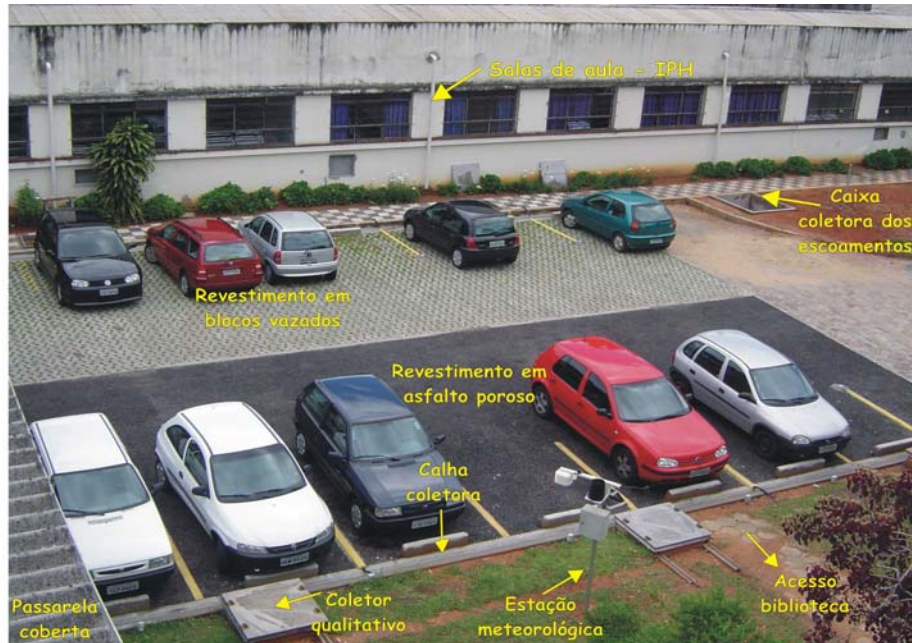


Figura 3.25 Duas áreas experimentais no estacionamento do Instituto de Pesquisas Hidráulicas com bloco vazado e asfalto poroso.

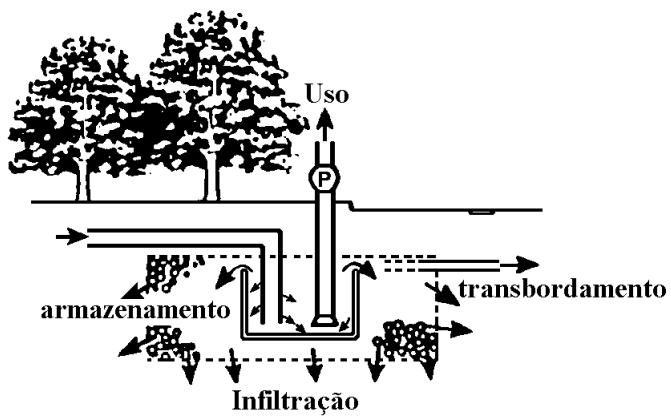


Figura 3.26 Reservatório com usos variados (Fujita, 1993)

Tabela 3.3 Dispositivos de Infiltração

Dispositivo	Características	Vantagens	Desvantagens
Planos e Valos de Infiltração com drenagem	Gramados, áreas com seixos ou outro material que permita a infiltração natural	Permite infiltração de parte da água para o sub-solo.	Planos com declividade > 0,1% não devem ser usados; o transporte de material sólido para a área de infiltração pode reduzir sua capacidade de infiltração
Planos e Valos de Infiltração sem drenagem	Gramados, áreas com seixos ou outro material que permita a infiltração natural	Permite infiltração da água para o sub-solo.	O acúmulo de água no plano durante o período chuvoso não permite trânsito sobre a área. Planos com declividade que permita escoamento para fora do mesmo.
Pavimentos permeáveis	concreto, asfalto ou bloco vazado com alta capacidade de infiltração	Permite infiltração da água.	Não deve ser utilizado para ruas com tráfego intenso e/ou de carga pesada, pois a sua eficiência pode diminuir.
Poços de Infiltração, trincheiras de infiltração e bacias de percolação	Volume gerado no interior do solo que permite armazenar a água e infiltrar	Redução do escoamento superficial e amortecimento em função do armazenamento	Pode reduzir a eficiência ao longo do tempo dependendo da quantidade de material sólido que drena para a área.

(1) Condicionantes físicos: Profundidade do lençol freático no período chuvoso > 1,20 m. A camada impermeável deve > 1,20 m de profundidade. A taxa de infiltração de solo saturado > 7,60 mm/h. Bacias de percolação a condutividade hidráulica saturada > 2.10<sup>-5</sup> m/s.

Existem várias configurações possíveis para a introdução do reservatório dentro de lotes e empreendimentos urbanos, como mostram as figuras 3.27 e 3.28. A estimativa do volume geralmente é realizada com base nas condições estabelecidas pelo poder público quanto ao limite de vazão pluvial para entrada na rede pluvial. Em Porto Alegre o limite é de 20,8 l/(s.ha) o que leva a um reservatório obtido pela equação seguinte:

$$V = 4,15.AI.A$$

onde AI é área impermeável em %, A é a área do lote ou do empreendimento em ha e V é o volume necessário em  $m^3$ . Para um edifício que urbaniza um lote de  $1000 m^2$  e possui área impermeável de 80%, o volume necessário para manter a vazão específica citada acima será de  $33 m^3$ . Considerando uma profundidade de 1,5 m, seria necessária a área de  $22 m^2$ . A legislação prevê que se a água das superfícies permeáveis forem drenadas para superfícies que infiltram e as mesmas não tenham drenagem, a área impermeável no cálculo pode ser diminuída em 80%, resultando  $AI = 16\%$  e  $V = 6,8 m^3$  e  $4,5 m^2$ . Este tipo de gestão induz a cada empreendedor desenvolver as medidas distribuídas de infiltração.

Tanto a vazão de restrição acima como a equação do volume, citada acima, foram estabelecidas com base nas características de precipitação de Porto Alegre e do coeficiente de escoamento sem urbanização adotado para toda a cidade, que pode variar de acordo com o tipo de solo local. O reservatório pode ser construído como um volume simples como nas figuras 3.26, 3.27 e 3.28 ou pelo simples ou integrado de forma inteligente ao paisagismo da área como na figura 3.29.



Figura 3.27 Reservatório em edifício (Canpana, 2004).



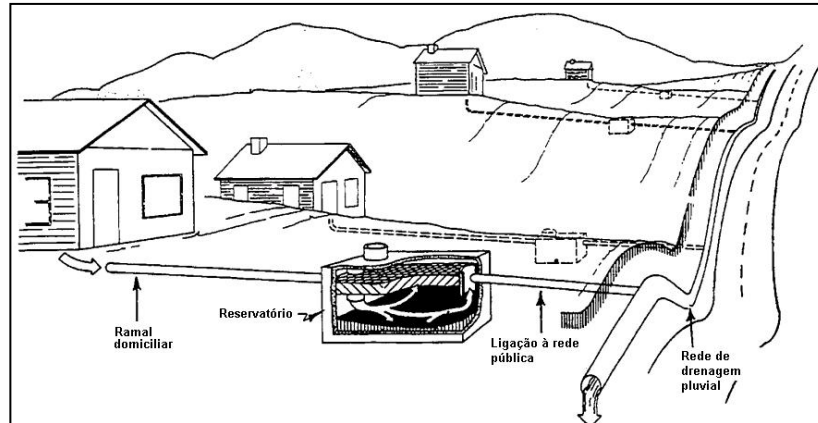


Figura 3.28 Reservatório em área residencial (Campana, 2004).



Figura 3.29 Armazenamento num condomínio (esquerda) e no estacionamento de uma área comercial (direita).

### 3.5.2 Medidas de Controle na microdrenagem e macrodrenagem

A medida de controle de escoamento na microdrenagem tradicionalmente utilizada consiste em drenar a área desenvolvida através de condutos pluviais até um coletor principal ou riacho urbano. Esse tipo de solução acaba transferindo para jusante o aumento do escoamento superficial com maior velocidade, já que o tempo de deslocamento do escoamento é menor que nas condições pré-existentes. Dessa forma, acaba provocando inundações nos troncos principais ou na macrodrenagem.

Como o aumento da impermeabilização e a canalização, ocorre aumento na vazão máxima e no escoamento superficial. Para que esse acréscimo de vazão máxima não seja transferido para jusante, utiliza-se o amortecimento do volume gerado, através de dispositivos como: tanques, lagos e pequenos reservatórios abertos ou enterrados, entre outros. Essas medidas são denominadas de controle a jusante (*downstream control*).

O objetivo das bacias ou reservatórios é o de minimizar o impacto hidrológico da redução da capacidade de armazenamento natural da bacia hidrográfica. Esse controle tem as seguintes vantagens e desvantagens (Urbonas e Stahre, 1993): custos reduzidos, se comparados a um grande número de controles distribuídos; custo menor de operação e manutenção; facilidade de administrar a construção; dificuldade de achar locais adequados; custo de aquisição da área; reservatórios maiores têm oposição por parte da população.

Esse controle tem sido utilizado quando existem restrições por parte da administração municipal ao aumento da vazão máxima devido ao desenvolvimento urbano, e assim, já foi implantado em muitas cidades de diferentes países. O critério normalmente utilizado é que *a vazão máxima da área, com o desenvolvimento urbano, deve ser menor ou igual à vazão máxima das condições preexistentes para um tempo de retorno escolhido*.

### **Características e funções dos reservatórios**

Os reservatórios de detenção são utilizados de acordo com o objetivo do controle desejado. Esse dispositivo pode ser utilizado para:

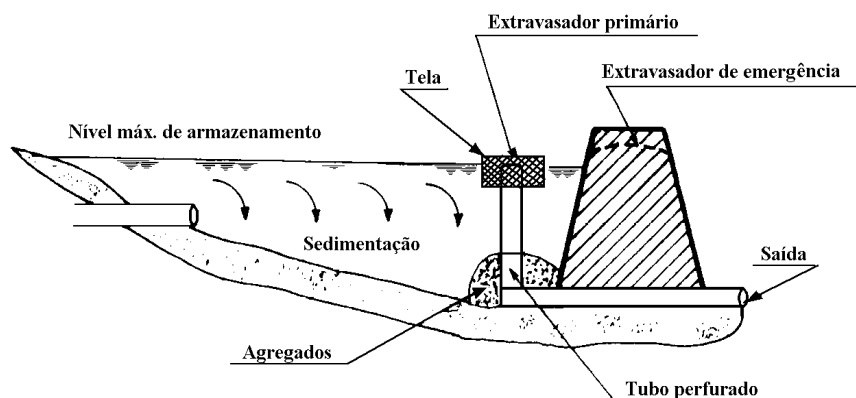
**Controle da vazão máxima:** Este é o caso típico de controle dos efeitos de inundação sobre áreas urbanas. O reservatório é utilizado para amortecer o pico a jusante, reduzindo a seção hidráulica dos condutos e mantendo as condições de vazão pré-existente na área desenvolvida.

**Controle do volume:** normalmente, esse tipo de controle é utilizado quando os escoamentos sanitários e pluviais são transportados por condutos combinados ou quando recebe a água de uma área sujeita a contaminação. Como a capacidade de uma estação de tratamento é limitada, é necessário armazenar o volume para que possa ser tratado. O reservatório também é utilizado para a deposição de sedimentos e depuração da qualidade da água, mantendo seu volume por mais tempo dentro do reservatório. O *tempo de detenção*, que é a diferença entre o centro de gravidade do hidrograma de entrada e o de saída, é um dos indicadores utilizados para avaliar a capacidade de depuração do reservatório.

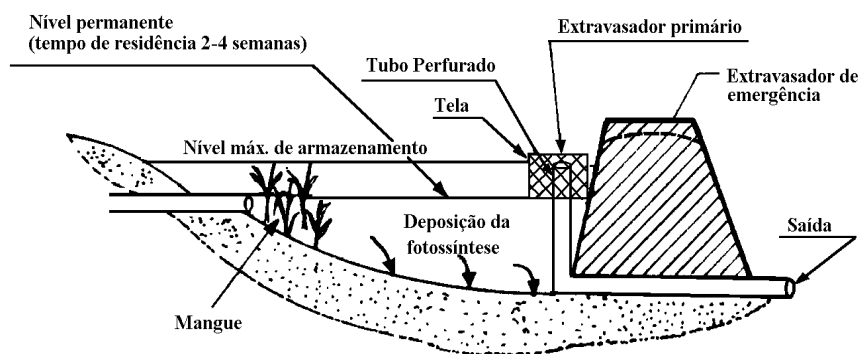
**Controle de material sólido:** quando a quantidade de sedimentos produzida é significativa, esse tipo de dispositivo pode reter parte dos sedimentos para que sejam retirados do sistema de drenagem.

### Tipo dos Reservatórios

Os reservatórios podem ser dimensionados para manterem uma lâmina permanente de água, denominados de *retenção*, ou para secarem após o seu uso, durante uma chuva intensa e depois utilizada para outras finalidades. Este tipo de reservatório é chamado *detenção* (figura 3.30a).



a - reservatório de detenção



b - reservatório de retenção

Figura 3.30 - Reservatórios para controle de material sólido (Maidment, 1993).

A Retenção que mantém lâmina de água tem a finalidade de evitar o crescimento de vegetação indesejável no fundo e redução da poluição

para jusante, tornando o reservatório mais eficiente para controle da qualidade da água pluvial. O seu uso integrado, junto a parques, pode permitir um bom ambiente recreacional. A vantagem de utilização desse dispositivo seco é que pode ser utilizado para outras finalidades. Uma prática comum consiste em dimensionar uma área com lâmina de água para escoar uma cheia freqüente, como a de dois anos, e planejar a área de extravasamento com paisagismo e campos de esporte para as cheias acima da cota referente ao risco mencionado. Quando a mesma ocorrer, será necessário realizar apenas a limpeza da área atingida, sem maiores danos a montante ou a jusante. A principal desvantagem da retenção é a necessidade de maior volume do reservatório e o controle da sua qualidade da água

Na figura 3.30, são apresentados, de forma esquemática, o reservatório mantido seco e o com lâmina de água. Os reservatórios ou bacias de detenção mantidas secas são os mais utilizados nos Estados Unidos, Canadá e Austrália. Quando projetados para controle de vazão, seu esvaziamento é rápido de até seis horas e com pouco efeito sobre a remoção de poluentes. Aumentando-se a detenção para 24 a 60 h, poderá haver melhora na remoção de poluentes (Urbonas e Roesner, 1994). Esse tipo de dispositivo retém uma parte importante do material sólido.

Quando a drenagem utiliza a folga de volume do sistema para amortecimento, e estão ligados diretamente a rede de drenagem ele é chamado de *on-line* (figura 3.34). No caso em que o escoamento é transferido para a área de amortecimento, após atingir uma certa vazão, portanto recebem somente o excedente da rede de drenagem o sistema é denominado *off-line* (figuras 3.31 e 3.33).

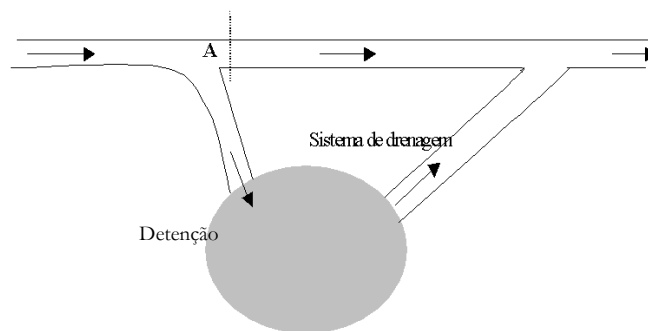


Figura 3.31 Detenção off-line (esquerda) conectado por condutos e on-line (direita).

Nas detenções “on-line” existem problemas para drenagem com esgoto misto ou grande ligação clandestina na rede de drenagem, devido a grande contaminação do reservatório, principalmente na estiagem. Nesse caso, é conveniente que o fundo dessa drenagem seja de concreto para facilitar a limpeza. Esse tipo reservatório pode ter um fundo natural, escavado ou de concreto. Os reservatórios em concreto são mais caros, mas permitem paredes verticais, com aumento de volume. Isso é útil onde o espaço tem um custo alto.

Os reservatórios também podem ser abertos ou fechados. Os primeiros geralmente possuem custo menor e maior facilidade para manutenção. Os segundos têm maior custo (podem chegar a 7 vezes dos primeiros) e grande dificuldade de manutenção. Geralmente são utilizados quando se deseja utilizar o espaço superior, devido a topografia ou a pressão da população vizinha com receio do lixo e qualidade do sistema.

Os reservatórios “off-line” podem funcionar automaticamente por gravidade, como mostra a figura 3.32 ou sistema de bombas quando é necessário obter mais volume para um definido espaço (figura 3.33). A diferença é que no primeiro caso a vazão inunda a área lateral e retorna para o sistema de drenagem por gravidade, sem operação. Enquanto que no segundo caso, devido a necessidade de aumentar o volume é necessário escavar abaixo da cota do sistema de drenagem e para esgotar o volume é necessário o bombeamento.

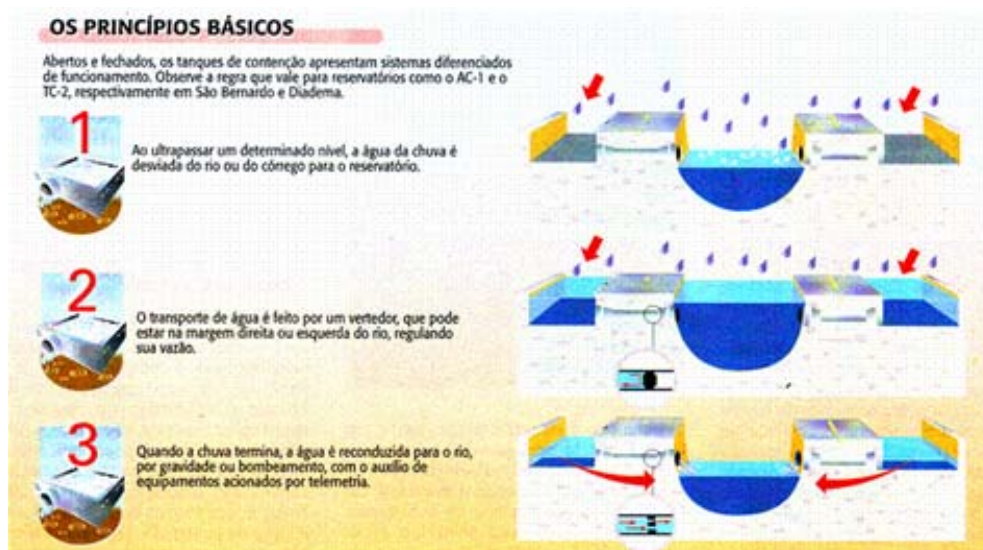


Figura 3.32 Detenção off-line com volume lateral (DAEE, )

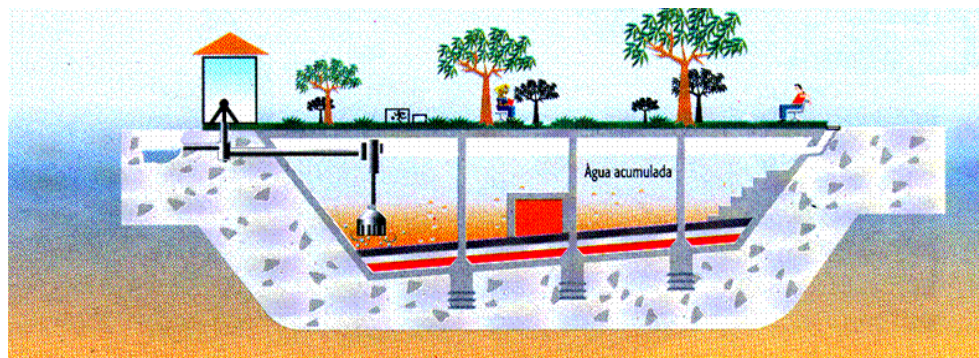


Figura 3.33 Detenção fechada (DAEE, ).

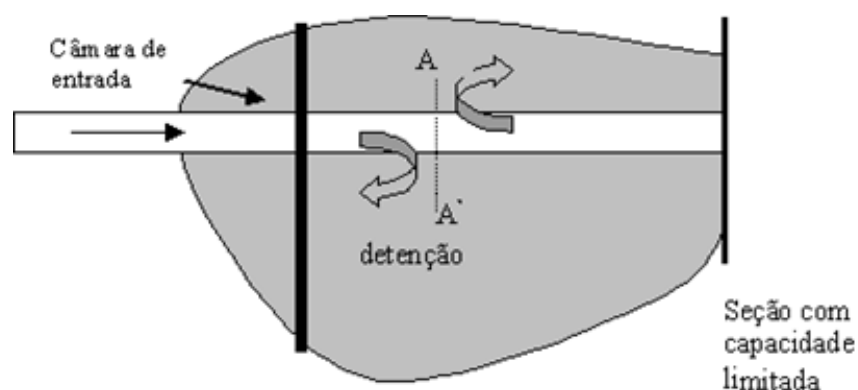


Figura 3.34 Detenção on-line.

ASCE (1985) menciona que as instalações de detenção desse tipo que tiveram maior sucesso foram as que se integraram a outros usos, como a recreação, já que a comunidade, no seu cotidiano, usará esse espaço de recreação. Portanto, é desejável que o projeto desse sistema esteja integrado ao planejamento do uso da área.

### Localização

Os reservatórios enterrados são utilizados quando a topografia não favorece ou a superfície é utilizada para outros usos. No primeiro caso ocorre quando a drenagem está numa cota muito inferior a área disponível.

vel para amortecimento. O segundo caso ocorre quando o Em locais o espaço é muito reduzido é necessário manter uma superfície superior integrada com outros usos. Estes reservatórios abertos ou fechados podem ainda ter bombeamento (figura 3.33) ou não. Com bombeamento o custo de implantação e operação aumenta. O reservatório com bombeamento é construído quando é necessário maior volume para uma mesma área disponível e a topografia não permite o escoamento por gravidade. A única forma de obter maior volume é aumentar a profundidade do reservatório e parte deste volume fica numa cota inferior a da drenagem do rio externa a detenção, exigindo o seu bombeamento para esvaziar e manter o volume vazio para a próxima cheia.



Figura 3.35 Detenções com uso esportivo em Curitiba (esquerda) e Porto Alegre (direita).

A localização depende dos seguintes fatores:

- Em áreas muito urbanizadas, a localização depende da disponibilidade de espaço e da capacidade de interferir no amortecimento. Se existe espaço somente a montante, que drena pouco volume, o efeito será reduzido;
- Em áreas a serem desenvolvidas, deve-se procurar localizar o reservatório nas partes de pouco valor, aproveitando as depressões naturais ou parques existentes. Um bom indicador de localização são as áreas naturais que formam pequenos lagos antes do seu desenvolvimento.

## Compatibilização com os sistemas esgotamento sanitário

Existem os seguintes cenários que combinam os sistemas de esgotamento sanitário e pluvial:

**Sistema misto:** neste caso existe apenas uma rede de coleta que recebe esgoto sanitário e pluvial. Este sistema é dimensionado para o escoamento pluvial que necessita maior vazão para escoar. O tratamento do esgoto sanitário é realizado coletando a vazão seguinte:

$$Q = k Q_s$$

onde  $Q$  é a vazão encaminhada para a estação de tratamento;  $Q_s$  é a vazão sanitária e  $k$  um multiplicador da vazão sanitária para introduzir a primeira parte da vazão pluvial (“first flush”) que é mais poluída. Existem vários valores para  $k$  em função dos critérios de projetos e varia entre 2 e 4 de acordo com a magnitude esperada para o escoamento pluvial e sua urbanização. Estima-se que 90% da carga pluvial (=  $Q_p.C$ , onde  $Q_p$  vazão pluvial e  $C$  a sua concentração) ocorra nos primeiros 10 a 20 mm de precipitação efetiva.

Junto a estação de tratamento é conveniente a existência de um reservatório para regularizar o volume de tratamento que evite a grande variação de concentração, o que torna ineficiente o tratamento do esgoto.

No sistema de controle das inundações pluviais utiliza-se de detenção do tipo *off-line* (figura 3.31), pois se evita que a vazão sanitária escoe por dentro do reservatório, apenas o excedente às vazões do sistema de escoamento, que deve ter melhor qualidade se comparada a do esgoto sanitário.

A principal vantagem deste sistema de coleta de esgoto é a redução do custo pelo uso de apenas uma rede. Em muitas cidades implantadas como sistema separador, acabam virando um sistema misto e o custo de encontrar todas as ligações inadequadas pode ser muito alto. As desvantagens deste sistema são: mau cheiro durante os períodos de seca (quando não existe sifão); proliferação de doenças quando ocorrem inundações acima da capacidade do sistema pela mistura de esgoto sanitário e pluvial; vetores que podem produzir doenças; corrosão da rede pluvial. Muitos destes fatores estão relacionados com o clima quente permanente, como em climas dos trópicos úmidos.



**Sistema separador:** Este sistema tem uma rede de coleta de esgoto independente da rede de drenagem (figura 3.36). Utilizam-se detenções “on-line” com controle do resíduo sólido e manejo da carga poluente pluvial.

As vantagens são as seguintes: manejo adequado das detenções e retenções urbanas com maior tempo de residência, permite o controle da qualidade da água; evita-se os problemas citados para o esgoto misto. As desvantagens são as seguintes: maior custo na medida que são construídas duas redes; grande quantidade de ligações de esgoto sanitário na rede pluvial e vice-versa o que inviabiliza a rede como separadora com a soma das desvantagens dos dois tipos de rede. Grande parte destes problemas ocorre devido ao seguinte:

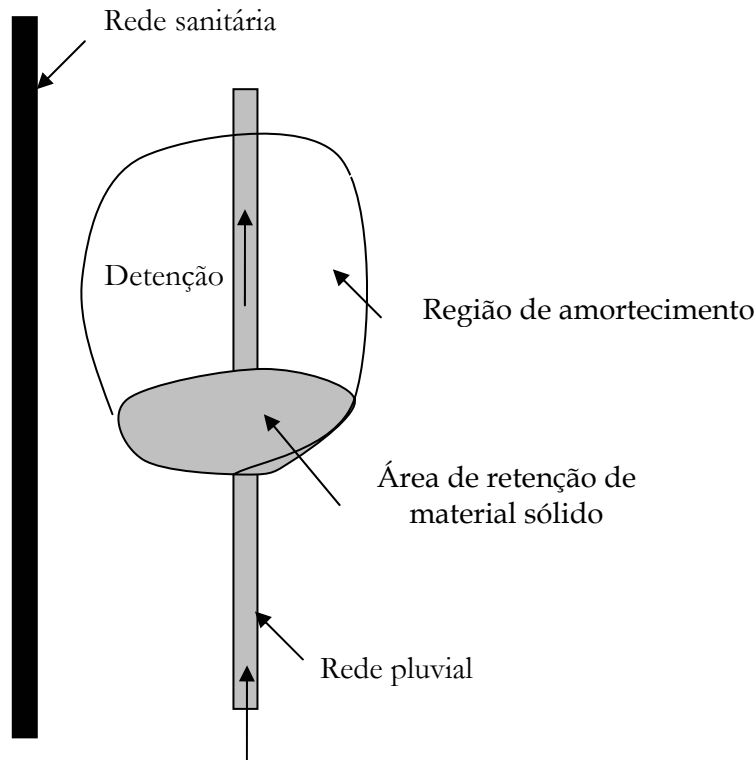


Figura 3.36 Características do sistema separador

- A ligação das residências, edifícios e outros é realizado pelo usuário e não pela empresa concessionária dos serviços, isto induz a

falta de padrões e ligações inadequadas, já que a rede pluvial normalmente está mais próxima que a rede sanitária;

- Defeitos nas redes, o que permite infiltração nas redes e mesmo contaminação do aquífero.

**Sistema de Transição:** Quando a cidade tem uma rede extensa de pluviais, mas pequena de sanitário, os custos para sair de um sistema misto para separador pode ser alto. Para escalonar no tempo é possível iniciar pela macrodrenagem a estratégia de sistemas mistos (figura 3.37). Ao longo do tempo é possível desenvolver o projeto de separação da rede dos esgotos através da rede secundária, cobrindo a cidade com o tempo. Na medida que avança a rede são modificas as ligações as redes.

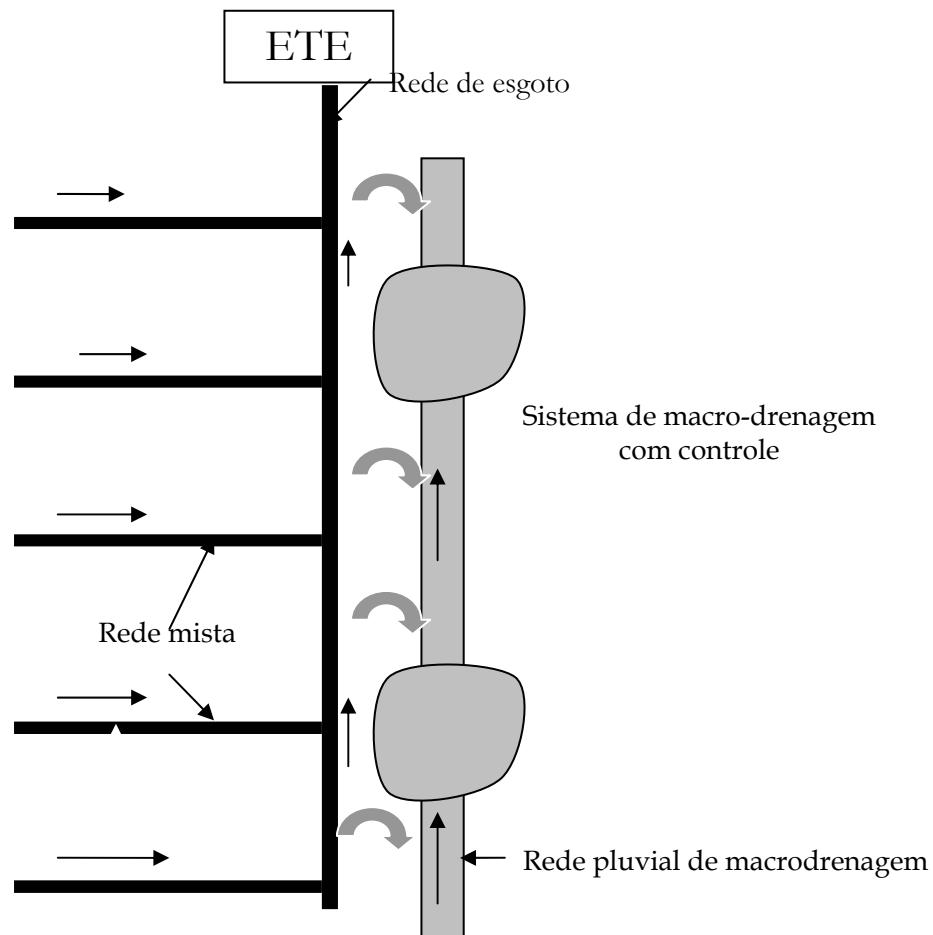


Figura 3.37 Sistema de transição

## Planejamento no controle da macrodrenagem

O controle do impacto do aumento do escoamento devido à urbanização, na macrodrenagem, tem sido realizado, na realidade brasileira, através da canalização. O canal é dimensionado para escoar uma vazão de projeto para tempos de retorno que variam de 10 a 100 anos. Para evitar as inundações somente com drenagem a cidade toda deveria ter seus condutos ampliados para a urbanização de toda a bacia, o que seria insustentável economicamente. A solução de controle numa bacia urbana envolve a combinação de medidas distribuídas, mas principalmente a combinação do aumento de capacidade com o amortecimento.

Existem os seguintes cenários de desenvolvimento: (a) bacia desenvolvida com vários locais de inundação; (b) bacia com pequena área ocupada e tendendo a urbanização.

### Bacia desenvolvida

Neste cenário deve-se procurar identificar os locais de inundação e buscar encontrar áreas para amortecer o escoamento e não transferi-lo para jusante para cada um dos locais de inundação. A combinação ótima será a de menor custo de reservatórios e ampliação de escoamento que melhor que adaptem a área urbana, menor custo e ambientalmente adequado. Deve-se considerar que o uso de reservatório para controle de volumes geralmente necessita de 0,6 a 1,5% da área da bacia, com custos que variam entre R\$ 0,5 to 8 milhões/km<sup>2</sup>. Os custos menores são quando é possível utilizar apenas reservatórios abertos sem ampliação de condutos, tempo de retorno menores (10 anos) sem desapropriação e no limite superior, tempo de retorno alto (>10 anos), grande quantidade de ampliação de condutos.

No estudo de alternativas de compatibilizar a detenção ou retenção a paisagem urbana da cidade, tornando-se um espaço integrado ao lazer da cidade, minimizando os impactos ambientais. Wisner e Cheung (1982) apresentaram, conforme tabela 3.4, uma comparação entre alternativas e o uso de parques para amortecimento. Na figura 3.38, são apresentados o parque e os fluxos numa área urbana. No planejamento do espaço deve ser considerado que uma parte do reservatório será utilizado com grande frequência, cheias menores e uma parte que somente será utilizada raramente. Portanto, deve-se planejar a manutenção e uso do espaço. Geralmente para frequências inferiores a 2 anos de recorrência o espaço

deve ficar contigo para uso recreacional, enquanto que para espaços superiores a este poderá ocorrer uma convivência. Como muitos reservatórios são projetados para cenários futuros, por muito tempo os espaços poderão ficar sem inundação, permitindo o seu uso. Portanto é essencial que além de dimensionar o reservatório deva também estabelecido a frequência como é utilizado.

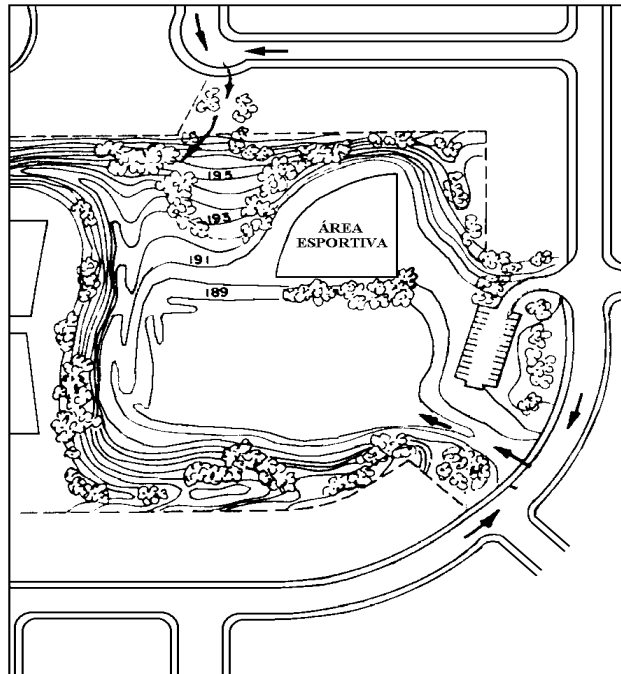
Tabela 3.4 Comparação entre alternativas num parque (Wisner e Cheung, 1982).

Tipo	Armazenamento de vale	Detenção com água	Detenção seca	Armazenamento em parque
Armazenamento	Contínuo	contínuo	freqüente	raro
Estética	sem importância	muito importante	muito importante	menos importante
Manutenção	Pequena	Alta	moderada	muito pequena
Probabilidade de acidente	Pequena	moderada	pequena	muito pequena
Custo	Alto	moderado	moderado	pequeno
Custo da terra	Nenhum	Alto	alto	nenhum
Custo do paisagismo	Pequeno	Alto	médio	médio
Planejamento	pouco importante	Muito importante	Muito importante	muito importante

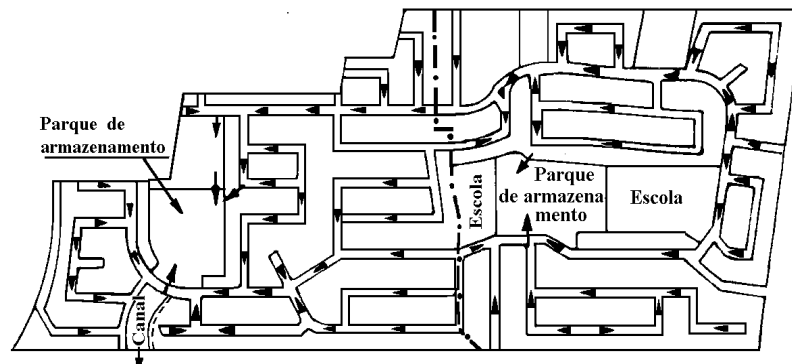
### Bacia em desenvolvimento

Considere a bacia da figura 3.39. No primeiro estágio a bacia não está totalmente urbanizada, e as inundações ocorrem no trecho urbanizado, onde algumas áreas não estão ocupadas, porque inundam com frequência (devido a inundações naturais). Quando a bacia encontra-se num estágio avançado de desenvolvimento, a tendência é que as medidas estruturais predominem, com custos altos. Para áreas que futuramente serão examinadas existe muito espaço e o direcionamento da gestão pública pode reduzir muito os custos futuros de controle e de prejuízos.

No planejamento da bacia podem ser adotadas medidas não-estruturais para controlar o aumento da vazão máxima para jusante, no entanto, é possível que a sua eficiência não seja completa devido ao seguinte:



a - parque



b - o parque e a rede de drenagem

Figura 3.38 Parque de armazenamento (Wisner e Cheung, 1982).

- Loteamentos já existentes que são densificados;
- Ocupação ilegal e loteamentos irregulares que não obedecem a regulação da cidade;
- Aprovação indevida de loteamentos.

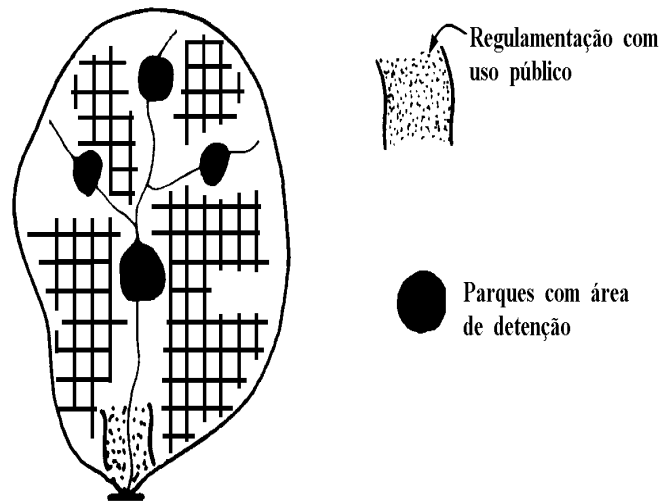


Figura 3.39 Planejamento de controle de bacia no primeiro estágio de urbanização

Para evitar que estes problemas continuem transferindo impactos para jusante é possível reservar áreas na bacia que podem ser obtidos no desmembramento dos loteamentos dentro da quota pública prevista nos Planos Diretores. Considerando que são necessários da ordem de 1% da área da bacia, este espaço pode ser reservado juntamente com as futuras áreas públicas de parques em locais apropriados quanto à drenagem. Isto permitirá aumentar a capacidade de amortecimento da bacia.

Yoshimoto e Suetsugi (1990) descreveram as medidas tomadas para reduzir a frequência de inundações no rio Tsurumi, dentro da área da cidade de Tóquio. A bacia foi subdividida em três: retenção, retardo e áreas inferiores, e definida a vazão de controle. Na área de retenção, foram obtidos 2,2 milhões de m<sup>3</sup> para amortecimento através de ação municipal, além de outras medidas de retardo. Essas ações reduziram os prejuízos para enchentes recentes.

### Problemas

1. Analise os tipos de medidas de controle do escoamento na fonte para a drenagem urbana e apresente seus usos, vantagens e desvantagens.

2. Qual a utilização de pavimento permeáveis num projeto de drenagem? Suas vantagens e desvantagens.
3. Qual a diferença entre detenção e retenção no controle das inundações decorrentes do processo de urbanização? Quais os impactos que estes dispositivos promovem com relação às inundações?
4. Quais os tipos de inundações e quais os impactos relacionados?
5. Identifique também para a questão anterior quando ocorre transferência de impactos?
6. Quais são as principais estratégias de gestão da drenagem urbana para cidade implantada e para o futuro desenvolvimento?
7. Quais as vantagens e desvantagens dos controles na fonte? Quais são mais sustentáveis?
8. Quais as relações que devem existir entre um Plano Diretor Urbano e o Plano de Drenagem e este com do esgotamento sanitário e resíduo sólido?
9. Muitas cidades utilizam o controle sobre as áreas impermeáveis, mas não conseguem evitar o impacto sobre a drenagem? Qual é o problema e como resolver através de medidas não-estruturais?
10. Quais as vantagens e desvantagens das medidas de controle na micro e macro-drenagem?
11. Descreva as etapas de um Plano Diretor de Drenagem Urbana. Quais as principais não estruturais?
12. Identifique os princípios de um Plano Diretor de Drenagem urbana.
13. Na avaliação econômica dos prejuízos de inundação como os custos deveriam ser distribuídos entre a população?
14. Quais os tipos de inundações e quais os impactos relacionados?
15. Identifique também para a questão anterior quando ocorre transferência de impactos?
16. Quais são as principais estratégias de gestão da drenagem urbana para cidade implantada e para o futuro desenvolvimento?
17. Quais as vantagens e desvantagens dos controles na fonte? Quais são mais sustentáveis?
18. Quais as relações que devem existir entre um Plano Diretor Urbano e o Plano de Drenagem e este com do esgotamento sanitário e resíduo sólido?
19. Muitas cidades utilizam o controle sobre as áreas impermeáveis, mas não conseguem evitar o impacto sobre a drenagem? Qual é o problema e como resolver através de medidas não-estruturais?

20. Quais as vantagens e desvantagens das medidas de controle na micro e macro-drenagem?
21. Descreva as etapas de um Plano Diretor de Drenagem Urbana. Quais as principais não estruturais?
22. Identifique os princípios de um Plano Diretor de Drenagem urbana.
23. Na avaliação econômica dos prejuízos de inundação como os custos deveriam ser distribuídos entre a população?

### Referências

- APWA, 1969. *Water pollution aspects of urban runoff*. Water Quality Administration. (Water Pollution Control Research Series. Report N. WP-20-15).
- ASCE, 1985. *Stormwater Detention Outlet Control Structures*. Task Comitee on the Design of Outlet Structures. American Society of Civil Engineers, New York.
- ASCE, 1992. Design and construction of stormwater management systems. The urban water resources research council of the American Society of Civil Engineers (ASCE) and the Water Environmental Federation. New York, NY.
- AVCO, 1970. *Stormwater pollution from urban activity*. Water Quality Administration. (Water Pollution Control Research Series. Report n. 11034 FKL).
- BOYD, M.J., 1981. Preliminary Design Procedures for Detention Basins. in: Second International Conference on Urban Drainage, Urbana, pp. 370 - 378. (Water Resources Publications).
- BRAS, R. L.; PERKINS, F.E., 1975. Effects of urbanization on catchment response. *J. Hydr. Div. ASCE*, 101(HY3), 451-466
- COLLISCHONN, W. TUCCI, C. E.M. 1998. Drenagem urbana e Controle de Erosão. VI Simpósio nacional de controle da erosão. 29/3 a 1/4 1998, Presidente Prudente, São Paulo.
- COLSON, N.V., 1974. *Characterization ant treatment of urban land runoff*. EPA. 670/2-74-096.
- EPA, 1985. *Methodology for analysis of detention basins for control of urban runoff quality*. Washington. (Environmental Protection Agency 440/5-87-001).
- ESTADOS UNIDOS, Departament of tranportation, 1979. *Design of urban highway drainage*. Washington: Federal Highway Administration.
- FUJITA, S., 1984. Experimental Sewer Systems for Reduction of Urban Storm Runoff. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON URBAN STORM DRAINAGE, 3, 1984, Göteborg, *Proceedings*. Göterburg: Chalmers University of Technology, 4v. v3., p. 1211-1220.
- FUJITA, S., 1993. Stormwater goes to ground as Japan chooses infiltration. *Water Quality International*. London, n.3, p. 18-19.



- GUARULHOS, 2000. *Código de Obras do Município de Guarulhos* Lei 5617 de 9 de novembro de 2000, Município de Guarulhos.
- HOGLAND, W.; NIEMCZYNOWICZ, J., 1986. The unit Superstructure - A New Construction to prevent groundwater depletion. In: BUDAPEST SYMPOSIUM, 1986. *Conjunctive Water Use: Proceedings*. Wallingford: IAHS. 547p. 512-522 (International Association of Hydrological Sciences. Publication n. 156)
- HOLMSTRAND, O. 1984. Infiltration of Stormwater: research at Chalmers University of Technology. Results and examples of Application. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON URBAN STORM DRAINAGE, 3, 1984, Göteborg. *proceedings*. Göteborg: chalmers University of Technology. 4v. v3, p1057-1066.
- HOYT, W.G., LANGBEIN, W.B. 1955. *Floods*. Princeton: Princeton University Press, Princeton. 469p.
- IBGE, 1998 “Anuário Estatístico do Brasil – 1997”, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Rio de Janeiro, 1998 (CD-ROM)
- IDE, C., 1984. *Qualidade da drenagem pluvial urbana*. Porto Alegre:UFRGS-Curso de Pós-Graduação em recursos Hídricos e Saneamento 137f. Dissertação(mestrado).
- JACOBSEN, P.; HARREMOËS, P. 1981. Significance of Semi-Pervious Surfaces in Urban Hydrology. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON URBAN STORM DRAINAGE, 2, 1981, Urbana. *Proceedings Urbana: University of Illinois*, v.1, p 424-433.
- JOHNSON, W. 1978. *Physical and economic feasibility of nonstructural flood plain management measures*. Davis: Hydrologic Engineer Center.
- LARGER, J.<sup>a</sup>; SMITH, W.G.; LYNARD, W.G.; FINN, R.M.; FINNEMORE, E.J. 1977 *Urban Stormwater management and technology: update and user's guide*. US EPA Report – 600/8-77-014 NTIS N. PB 275654.
- LEOPOLD, L.B.,1968. *Hydrology for Urban Planning - A Guide Book on the Hydrologic Effects on Urban Land Use*. USGS circ. 554, 18p.
- LORET RAMOS, C.; HELOU, G. C. N.; BRIGHETTI, G. 1993 Dinâmica do transporte sólido nos rios Tietê e Pinheiros na região metropolitana de São Paulo. *Anais. X Simpósio brasileiro de recursos hídricos*. Gramado.
- MAIDMENT, D.R. (ed.) 1993. *Handbook of Hydrology*. New York: McGraw-Hill.
- NAKAE, T.; BRIGHETTI, G. 1993 Dragagem a longa distância aplicada ao desassoreamento da calha do rio Tietê. *Anais. X Simpósio brasileiro de recursos hídricos*. Gramado.
- OLIVEIRA, M. G. B.; BAPTISTA, M. B. 1997 Análise da evolução temporal da produção de sedimentos na bacia hidrográfica da Pampulha e avaliação do assoreamento do reservatório. *Anais. XII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos - ABRH*. Vitória.

- PMBH, 1996 Plano Diretor Urbano. Prefeitura Municipal de Belo Horizonte.
- PMPA, 2000. Segundo Plano de Desenvolvimento Urbano e Ambiental de Porto Alegre. Prefeitura Municipal de Porto Alegre.
- RAMOS, M.M.G. 1998 *Drenagem Urbana: Aspectos urbanísticos, legais e metodológicos em Belo Horizonte*. Dissertação de Mestrado Escola de Engenharia Universidade Federal de Minas Gerais.
- REZENDE, B. e TUCCI, C.E. M., 1979. *Análise hidráulica e hidrológica dos problemas de inundação urbana na cidade de Estrela, RS*. Relatório Técnico, p.29.
- ROESNER, L.A; TRAINA, P. 1994. Overview of federal law and USEPA regulations for urban runoff. *Water Science & Technology* V29 n 1-2 p445-454
- SCHUELLER, T. 1987. Controlling Urban Runoff : *A Practical Manual for Planning and Designing Urban BMPs*.
- SILVEIRA, A L. L., 1999. Impactos Hidrológicos da urbanização em Porto Alegre. 4º Seminário de Hidrologia Urbana e Drenagem. Belo Horizonte ABRH.
- SIMONS, D.B. et al. 1977. *Flood flows, stages and damages*. Fort Collins: Colorado State University
- SUDERSHA, 2002. Medidas não-estruturais. Plano Diretor de Drenagem Urbana da Região Metropolitana de Curitiba. CH2MHILL Engenharia do Brasil Lt.da
- TASK, 1962. Guide for the development of flood plain regulation. *Journal of the Hydraulics Division. American Society of Civil Engineers*. New York, v.88, n.5, p.73-119,Sept.
- TUCCI, C.E.M. 1993. Hidrologia: Ciência e Aplicação. EDUSP, Editora da UFRGS, ABRH, 952p.
- TUCCI, C.E.M., 1998. *Modelos Hidrológicos*. ABRH Editora da Universidade, 652p.
- TUCCI, C.E.M. 2000 a. Plano Diretor de Drenagem Urbana da Região Metropolitana de Curitiba Memorando n. 8. CHMHill / SUDHERSA.
- TUCCI, C.E.M., GENZ, F., 1994. Medidas de controle de inundações in: Estudos Hidrossedimentológicos do Alto Paraguai, IPH/MMA.
- TUCCI, C. E. M.; PORTO, R. L. 2000. Storm hydrology and urban drainage. In: Tucci, C. Humid Tropics Urban Drainage, capítulo 4. UNESCO.
- TUCCI, C. e SIMÕES LOPES, M. 1985. Zoneamento das áreas de inundação: rio Uruguai. *Revista Brasileira de Engenharia Caderno de Recursos Hídricos*. Rio de Janeiro, v.3, n. 1, p.19-45, maio.
- URBONAS, B.; ROESNER, L.A., 1993. Hydrologic Design for Urban Drainage and Flood Control. In: *Handbook of Hydrology*. D.R. Maidment (ed.). Cap. 28.
- URBONAS, B.; STAHR, P., 1993. *Stormwater Best Management Practices and Detention*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey. 450p.

- U. S. Army. Corps of Engineers. 1976. *Guidelines for flood damage reduction*. Sacramento.
- VEN,F.H.M., 1990. Water Balances of Urban Areas. in: DUISBERG SYMPOSIUM, 1988. *Hydrological Processes and Water Management in Urban Areas*, IAHS , p21-32 International Association of Hydrological Sciences Publication 198).
- YOSHIMOTO, T.; SUETSUGI, T., 1990. Comprehensive Flood Disaster Prevention Measures in Japan. in: DUISBERG SYMPOSIUM, 1988. *Hydrological Processes and Water Management in Urban Areas*, IAHS , p175-183 International Association of Hydrological Sciences Publication 198).
- WATER RESOURCES COUNCIL, 1971. *Regulation of flood hazard areas to reduce flood losses*. Washington.
- WEIBEL, S.R., ANDERSON, R.J; WOODWARD,R.L.,1964. Urban Land Runoff as a factor in stream pollution. *Journal Water Pollution Control Federation*. Washington, V. 36, n.7, 914-924.
- WILKEN, P., 1978 *Engenharia de drenagem superficial*. São paulo: CETESB
- WRI, 1992. *World Resources 1992-1993*. New York: Oxford University Press. 385p.

## **Gestão Integrada das Águas Urbanas**

*A gestão integrada, entendida como interdisciplinar e intersetorial dos componentes das águas urbanas, é uma condição necessária para que o resultados atendam as condições do desenvolvimento sustentável urbano.*

O desenvolvimento urbano nas últimas décadas modificou a maioria dos conceitos utilizados na engenharia para a infraestrutura de água nas cidades. A visão do desenvolvimento destes tópicos dentro da engenharia tem sido baseada na partição disciplinar do conhecimento sem uma solução integrada.

O planejador urbano desenvolve a ocupação ciente de que o engenheiro de transportes de saneamento e de outras infra-estruturas encontrará uma solução para o uso do solo planejado ou espontâneo que ocorre nas cidades. Neste sentido a água é retirada do manancial de montante (que se espera que não esteja poluído) e entregue a jusante sem tratamento, a drenagem é projetada para retirar a água o mais rápido possível de cada local, transferindo para jusante o seu aumento. O resíduo sólido é depositado em algum local remoto para não incomodar as pessoas das cidades. Este conjunto de soluções locais pode ser justificado dentro de um projeto local com todas as equações que foram desenvolvidas ao longo dos anos pelos engenheiros hidráulicos, hidrólogos e sanitaristas para resolver um “dado problema”.

Qual a consequência destes projetos para a sociedade? Infelizmente tem sido um estrondoso desastre. Fazendo uma analogia com a medicina, seria como vários especialistas receitando remédios para diferentes sintomas numa pessoa sem que os efeitos colaterais combinados, que o

corpo humano sofre, sejam observados ou considerados no tratamento da sua saúde.

Os problemas de hoje se refletem na saúde da população, nas inundações freqüentes, na perda de meio ambiente rico e diversificado em muitas regiões. Com a transformação de um ambiente rural para urbano, este problema cada vez mais se agrava e quanto mais tempo isto perdurar, maior será a herança de prejuízos para as próximas gerações, que receberão um passivo muito alto.

O que está errado? O *desenvolvimento urbano* tem ocorrido com forte densificação, resultando em grande cobertura de áreas impermeáveis, grande demanda de água e esgoto em pequenas áreas. O conflito se transmite para as águas urbanas com a canalização do escoamento pluvial e inundações, sistema de esgoto inadequados com baixo nível de tratamento, resultando em risco para o abastecimento de água. Este conjunto de problemas se deve principalmente devido a gestão fracionada destas infra-estruturas nas áreas urbanas.

O que pode ser feito? As áreas não podem ocorrer sem a busca da sustentabilidade do espaço após a ocupação da população. Para isto devem ser definidas regras de uso e ocupação que preservem condicionantes da natureza e o sistema possa receber o transporte, abastecimento de água, esgotamento sanitário, tratamento, drenagem urbana e coleta, processamento e reciclagem dos resíduos.

O *abastecimento de água* deve ser realizado de fontes confiáveis que não são contaminadas à partir de outras fontes de montante. O *esgoto sanitário* deve ser coletado e tratado para que a água utilizada não esteja contaminada e o sistema hídrico tenha condições de se recuperar. A *drenagem urbana* deve preservar as condições naturais de infiltração, evitar transferência para jusante de aumento de vazão, volume e carga de contaminação no escoamento pluvial e erosão do solo. Os *resíduos sólidos* devem ser reciclados na busca da sustentabilidade e da renda econômica desta riqueza e a disposição do restante deve ser minimizada.

A busca destes objetivos não pode ser realizada individualmente, mas deve ser um trabalho coletivo que se inicia pela educação. Infelizmente os conceitos inadequados ainda são ensinados nas universidades e a população possui percepção errada das soluções. Portanto, é necessário mudar e buscar trazer uma visão mais sustentável do homem no espaço.

## 4.1 Fases da gestão

No final do século 19 e parte do século 20, *água urbana* se resumia no abastecimento, entregar a água à população e retirar o esgoto para longe e dispor na natureza sem tratamento. Esta é fase que pode ser chamada *higienista*, em função da preocupação dos sanitaristas em evitar a proliferação de doenças e reduzir as doenças de veiculação hídrica, retirando de perto das pessoas. Neste período a solução sempre foi de coletar a água a montante e dispor o esgoto à jusante. As águas pluviais eram planejadas para escoar pelas ruas até os rios. Este cenário foi aceitável enquanto as cidades tinham população de até 20 mil habitantes e se encontravam distantes uma da outra para que o esgoto de uma cidade não contaminasse a outra.

As cidades cresceram, ficaram mais próximas uma das outras e a estratégia de desenvolvimento se manteve na fase *higienista*, gerando o que é chamado do ciclo de contaminação (veja capítulo 1, Tucci, 2003), onde a cidade de montante polui a de jusante e esta deverá poluir a seguinte. Muitas cidades, através de seus decisores, consideraram que o investimento em tratamento de esgoto é muito alto e optaram por investimentos em setores considerados mais importantes, sem entender que estavam deixando de combater o câncer na sua origem. Hoje ele está tomando conta do sistema e o custo para sua solução é extremamente alto.

Os países desenvolvidos saíram da fase chamada aqui de *higienista* (tabela 4.1) para a fase corretiva com o tratamento de esgoto doméstico e controle das inundações urbanas com detenções (amortecimento). O esgoto doméstico foi implementado até a cobertura quase total, desta forma o ambiente urbano se tornou melhor, mas não recuperou sua condição natural. Observou-se que além do esgoto sanitário existia a carga do esgoto pluvial e a adequada distribuição dos resíduos sólidos, processos totalmente inter-relacionados no cotidiano. O resíduo que não é coletado acaba dentro do sistema de drenagem. Os países desenvolvidos estão atuando para resolver este tipo de problema, além da carga das áreas rurais denominados *de poluição ou carga difusa*. Este impacto necessita de maiores investimentos para seu controle porque é distribuído e difuso na cidade. Na busca das soluções verificou-se que não bastava atuar sobre o problema no “end of pipe”, depois que ocorreu e está nos condutos, mas

é necessário trabalhar preventivamente na origem do desenvolvimento urbano e na gestão dos efluentes. Da mesma forma que a medicina moderna está se transformando numa ação preventiva e não curativa.

Para buscar uma solução ambientalmente sustentável é necessário o gerenciamento integrado da infra-estrutura urbana, iniciando-se pela definição da ocupação do espaço com preservação das funções naturais como a infiltração e a rede natural de escoamento. Este tipo de desenvolvimento tem recebido a denominação de LID (Low Impact development) nos Estados Unidos (U.S. Department of Housing and Urban Development, 2003 e NAHB Research Center, 2004 e U.S. Environmental Protection Agency, 2000) ou *Water Sensitive Urban Design* (WSUD) na Austrália.

Tabela 4.1. Estágios do desenvolvimento sustentável urbano nos países desenvolvidos.

Anos	Período	Características
Até 1970	Higienista	Abastecimento de água sem tratamento de esgoto, transferência para jusante do escoamento pluvial por <i>canalização</i>
1970- 1990	Corretivo	Tratamento de esgoto, <i>amortecimento</i> quantitativo da drenagem e controle do impacto existente da qualidade da água pluvial. Envolve principalmente a atuação sobre os impactos.
1990* - ?	Sustentável	Planejamento da ocupação do espaço urbano, obedecendo aos mecanismos naturais de escoamento; Controle dos micropoluentes, da poluição difusa e o desenvolvimento sustentável do escoamento pluvial através da recuperação da <i>infiltração</i> .

\* período que iniciou este tipo de visão

Apesar de representar a forma moderna e ambiental de ocupação nos países desenvolvidos, no Brasil esta visão de ocupação do espaço

não é nova, pois Saturnino de Brito no início do século 20 planejou algumas cidades segundo esta concepção e estava adiante do seu tempo. Infelizmente nem todas as cidades adotaram esta visão.

Os princípios dos desenvolvimentos sustentáveis nas águas pluviais envolvem: recuperação ou manutenção das funções naturais do escoamento pluvial como a infiltração, o ravinamento natural desenvolvido pelo escoamento, redução das fontes de poluição difusas como contaminação dos postos de gasolina, estacionamento de áreas industriais, superfícies poluentes em geral.

Os países em desenvolvimento estão tentando sair da primeira fase para uma ação corretiva pouco desenvolvimento dentro da fase sustentável. A terceira fase envolve a integração entre o projeto de implantação no espaço, o projeto arquitetônico e as funções da infra-estrutura de água dentro do ambiente urbanizado e não apenas a busca de espaço de infiltração dentro do *design* de um projeto.

Apesar de representar um projeto mais sofisticado e exigir maior qualificação interdisciplinar o custo final é inferior as medidas anteriores. A canalização tende a representar de 6 a 10 maiores que o amortecimento do escoamento quanto as soluções corretivas. As medidas de infiltração tendem a ser ainda 25% inferiores ao amortecimento. As dificuldades das soluções com infiltração ocorrem quando o lençol freático é muito alto, o solo tem baixa capacidade de infiltração ou as áreas drenadas são poluídas, o que poderia contaminar o aquífero.

## **4.2 Visão integrada no ambiente urbano**

É importante caracterizar que o desenvolvimento sustentável urbano envolve a minimização do impacto da alteração natural do meio ambiente formado pelo clima, solo, ar, água, biota, entre outros. Para atingir este objetivo maior é necessário compreender primeiro os impactos que produzem cada uma das intervenções e buscar soluções em que este impacto fique restrito a um universo mínimo local através de um projeto de intervenção sustentável ao longo do tempo.

O ambiente urbano é muito complexo para ser tratado num texto introdutório como este, portanto é examinado aqui o ambiente relacionado com as águas pluviais que tem sido a base da nova concepção de intervenção para a ocupação do espaço.

Neste cenário, a ocupação tradicional não procura compreender como solo, água e plantas estão integradas na natureza para buscar miti-



gar os efeitos adversos da introdução de superfícies impermeáveis de telhados, passeios, ruas, entre outros. Na natureza a precipitação que não se infiltra tende a formar ravinamentos naturais de acordo com intensidade e frequência da precipitação, cobertura e resistência do solo. A água que infiltra, escoar pelo sub-solo e no aquífero até chegar aos rios. Com a destruição da drenagem natural, o novo sistema é formado por ruas, bueiros, condutos e canais que aceleram o escoamento e aumentando as vazões máximas em várias vezes, além de lavar as superfícies transportando o poluente gerado pelas emissões de carros, caminhões, ônibus, indústrias e hospitais.

Qual é então a receita? No início procurou-se recuperar a capacidade de amortecimento através detenções, mas ainda assim o volume superficial é aumentado devido às áreas impermeáveis e a área utilizada para a retenção é retirada da população, a poluição gerada e os conflitos para uso deste espaço. Portanto, buscou-se retornar a infiltração através de ações locais nas residências, edifícios, usos de trincheiras de infiltração, mas ainda dentro de uma visão localizada e do tipo “end of pipe”, ou seja, tratando de remediar um projeto específico ou um impacto.

Para desenvolver a gestão integrada é necessário conhecer as interfaces entre os sistemas. Veja a figura 4.1 onde são caracterizadas as principais relações entre os sistemas de infra-estrutura no ambiente urbano relacionado com a água. O desenvolvimento urbano representado pela ocupação do uso do solo é a fonte dos problemas como destacado anteriormente. A seguir são discutidas as interações geradas entre os sistemas hídricos nas áreas urbanas em função de uma gestão deficiente e desintegrada:

**Abastecimento urbano:** As principais interfaces com os outros sistemas são: (a) os esgotos sanitário e pluvial contaminam os mananciais superficiais e subterrâneos; (b) depósito de resíduos sólidos como aterros que podem contaminar as áreas de mananciais; (c) inundações podem deixar sem funcionamento o sistema de abastecimento e destruir a infraestrutura das redes pluvial e sanitária, além da Estação de Tratamento de Esgoto;

**Esgoto sanitário e drenagem urbana:** as principais inter-relações são: (a) quando o sistema é misto o sistema de transporte é o mesmo, com comportamento diverso nos períodos sem e com chuva. A gestão deve ser integrada; (b) quando os sistemas é separador existem interferências de gestão e construtivas devido a ligação de esgoto sanitário na rede de

drenagem e águas pluviais no sistema de esgoto produzindo ineficiências de funcionamento;

**Drenagem Urbana, Resíduo sólido e esgotamento sanitário:** (a) na medida em que o sistema de coleta e limpeza dos resíduos é ineficiente ocorre um grande prejuízo para o sistema de escoamento pluvial devido a obstrução dos condutos, canais e riachos urbano; (b) erosão urbana modifica o sistema de drenagem e pode destruir o sistema de esgotamento sanitário.

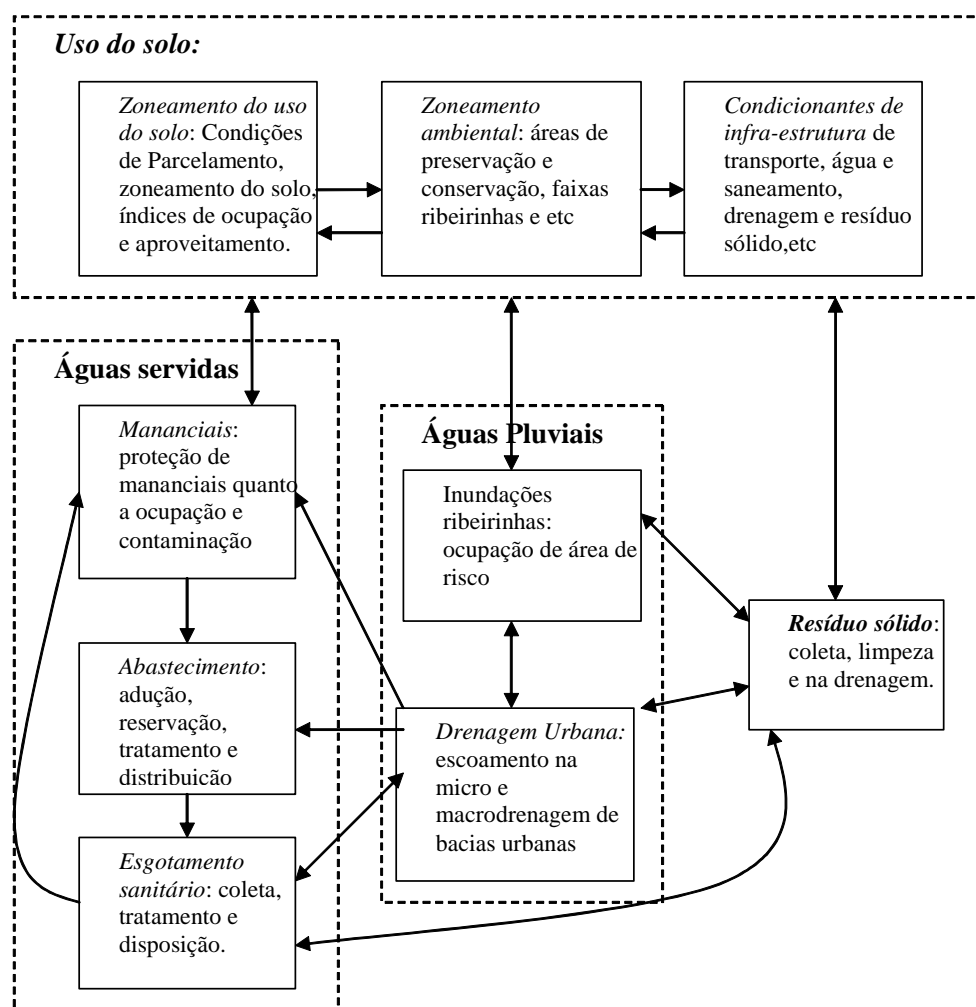


Figura 4.1 Relações entre os sistemas das águas urbanas.

A visão integrada inicia no planejamento do desmembramento e ocupação do espaço na fase do loteamento, quando o projeto deve procurar preservar o ravinamento natural existente. Ao contrário do que se projeta atualmente, baseando-se apenas na maximização da exploração do espaço independente da rede de drenagem natural, o projeto sustentável preserva o sistema natural e distribui a ocupação em lotes menores, conserva maior área verde comum, retira o meio fio das ruas de menor movimento, integrando o asfalto a gramados ou outros sistemas naturais vegetais, para que toda a água infiltre. Um projeto desta natureza retira a divisa das propriedades (como nas propriedades rurais no projeto de pequenas bacias e conservação do solo). Desta forma, é reduzido o escoamento às condições pré-existente para as chuvas freqüentes, a água se infiltra, não transferindo quantidade e qualidade para jusante. Esta é a característica de um projeto residencial, enquanto que áreas industriais e comerciais exigem projetos específicos de controle, mas ainda dentro de uma integração conceitual dos projetistas.

No âmbito de esgotamento sanitário, devem-se desenvolver a ligação a rede de esgoto com padrão adequado e executado através da gestão da empresa de serviços de água e saneamento. Desta forma evita-se ligações inadequadas, tratamento de esgoto com padrões adequados e avaliação deste tratamento e dos sistemas hídricos que recebem este efluente. Nos resíduos sólidos devem-se buscar aprimorar a coleta domiciliar e limpeza das ruas, disposição automática de retenção de lixo e educação da população com sistemas de reciclagem economicamente eficiente.

No escoamento pluvial, o custo de uma infra-estrutura sustentável tende a ser menor que o custo de sistema corretivo e este ainda menor que a infra-estrutura tradicional devido a retirada de vários sistemas como a eliminação de redes de condutos de drenagem, sarjetas, entre outros, que são substituídos por gramados que infiltram, valos gramados, e sistemas naturais protegidos.

O leitor pode imaginar que isto é uma utopia dentro da nossa realidade, no entanto, o empreendedor é sensível ao custo e a população que deseja comprar um ambiente mais adequado e esta buscando qualidade de vida. Estes são dois fatores importantes na tomada de decisão. Dificilmente os países em desenvolvimento poderão pular etapas devido ao grande passivo existente nas cidades quanto ao escoamento pluvial (sem falar nos demais). Portanto, é necessário desenvolver estratégias dentro de duas plataformas principais:

- Controlar os impactos existentes através do cenário de ações corretivas estruturais que tratam da gestão por sub-bacias urbanas;
- Medidas não-estruturais que levem aos novos desenvolvimentos a utilizarem um desenvolvimento com menor impacto e sustentável.

Estas duas medidas podem ser implementadas através do Plano Diretor de Águas Pluviais (ou como alguns denominam de Drenagem urbana) ou por um Plano Diretor Urbano que inclua estes elementos junto com Esgotamento sanitário, resíduo sólido, transportes e uso do solo. Na figura 4.2 podem-se observar como os diferentes sistemas das águas urbanas da cidade se integram e buscam identificar os componentes de integração visando a solução destes aspectos de forma integrada



Figura 4.2. Visão integrada (Tucci, 2003)

A atuação preventiva no desenvolvimento urbano reduz o custo da solução dos problemas relacionados com a água. Planejando a cidade com áreas de ocupação e controle da fonte da drenagem, a distribuição

do espaço de risco e o desenvolvimento dos sistemas de abastecimento e esgotamento, os custos serão muito menores do que quando ocorrem as crises, onde o remédio passa a ter custos inviáveis para o município.

O desenvolvimento do planejamento das áreas urbanas envolve principalmente:

- Planejamento do desenvolvimento urbano;
- Transporte;
- Abastecimento de água e saneamento;
- Drenagem urbana, controle de inundações e da erosão urbana;
- Resíduo sólido;
- Controle ambiental.



Figura 4.2 Interface entre os Planos da cidade e o Plano Diretor de Águas Pluviais ou de Drenagem urbana.

O planejamento urbano deve considerar os aspectos relacionados com a água, o uso do solo e a definição das tendências dos vetores de expansão da cidade. Considerando os aspectos relacionados com a água, existe uma forte inter-relação entre os mesmos. Algumas destas inter-relações são as seguintes:

- o abastecimento de água é realizado a partir de mananciais que podem ser contaminados pelo esgoto cloacal, pluvial ou por depósitos de resíduos sólidos;
- a solução do controle do escoamento da drenagem urbana depende da existência de rede de esgoto cloacal e tratamento de esgoto, além da eliminação das ligações entre as redes;
- a erosão do solo produz assoreamento e interfere na ocupação do solo, nas ruas, sistemas de esgoto, entre outros;
- a limpeza das ruas, a coleta e disposição de resíduos sólidos interferem na quantidade e na qualidade da água dos pluviais.

A maior dificuldade para a implementação do planejamento integrado decorre da limitada capacidade institucional dos municípios para enfrentar problemas tão complexos e interdisciplinares e a forma setorial como a gestão municipal é organizada.

### **4.3 Aspectos Institucionais**

A estrutura institucional é a base do gerenciamento dos recursos hídricos urbanos e da sua política de controle. A definição institucional depende dos espaços de atribuição da organização do país, sua inter-relação tanto legal como de gestão quanto a água, uso do solo e meio ambiente. Para estabelecer o mecanismo de gerenciamento destes elementos é necessário definir os espaços geográficos relacionados com o problema.

#### **4.3.1 Espaço Geográfico de gerenciamento**

O impacto dos efluentes de esgotamento sanitário e da drenagem urbana pode ser analisado dentro de dois contextos espaciais diferentes, discutidos a seguir:

*Impactos que extrapolam o município:* ampliando as enchentes e contaminando a jusante os corpos hídricos como rios, lagos e reservatórios. Esta contaminação é denominada *poluição pontual e difusa urbana*. Este tipo de impacto é a resultante das ações dentro da cidade, que são transferidas para o restante da bacia. Para o seu controle podem ser estabelecidos padrões a serem atingidos e geralmente são regulados por legislação ambiental e de recursos hídricos federal ou estadual;

*Impacto dentro das cidades:* estes impactos são disseminados dentro da cidade, que atingem a sua própria população. A gestão deste controle é estabelecida através de medidas desenvolvidas dentro do município através de legislação municipal e ações estruturais específicas. Desta forma, cabe ao município a gestão dentro deste espaço.

### **4.3.2 Experiências**

A experiência americana no processo tem sido aplicada através de um programa nacional desenvolvido pela EPA (Environmental Protection Agency) que obriga a todas as cidades com mais de 100 mil habitantes a estabelecer um programa de BMP (Best Management Practices). Recentemente iniciou-se a segunda fase do programa para cidades com população inferior à mencionada (Roesner e Traina, 1994). As BMPs envolvem o controle da qualidade e quantidade de água por parte do município através de medidas estruturais e não-estruturais. O município deve demonstrar que está avançando e buscar atingir estes objetivos através de um Plano. Este processo contribui para reduzir a poluição difusa dos rios da vizinhança das cidades. A penalidade que pode ser imposta é a ação judicial da EPA contra o município.

A experiência francesa envolve o gerenciamento dos impactos e controles através do comitê de bacia, que é o Fórum básico para a tomada de decisão. As metas no qual os municípios e outros atores devem ser atingidos são decididas no comitê.

### **4.3.3 Legislações**

As legislações que envolvem as águas urbanas estão relacionadas com: recursos hídricos, uso do solo e licenciamento ambiental. A seguir é apresentada uma análise dentro do cenário brasileiro onde existem os níveis: Federal (país), Estadual (Estado ou Província) e Municipal (figura 4.3).

**Quanto aos Recursos Hídricos:** A constituição Federal define o domínio dos rios e a legislação de recursos hídricos a nível federal e estabelece os princípios básicos da gestão através de bacias hidrográficas. As bacias podem ser de domínio estadual ou federal.

Algumas legislações estaduais de recursos hídricos estabelecem critérios para a outorga do uso da água, mas não legislam sobre a outorga relativa ao despejo de efluentes de drenagem (prevista na lei de recursos hídricos). A

legislação ambiental estabelece normas e padrões de qualidade da água dos rios através de classes, mas não define restrições com relação aos efluentes urbanos lançados nos rios. A ação dos órgãos estaduais de controle ambiental é limitada devido à falta de capacidade dos municípios em investir neste controle. Portanto, não existe exigência e não existe pressão para investimentos no setor.

Dentro deste contexto o escoamento pluvial (da mesma forma que o esgoto sanitário) resultante das cidades deve ser objeto de outorga ou de controle a ser previsto nos Planos de Bacia. Como estes procedimentos ainda não estão sendo cobrados pelos Estados, não existe no momento uma pressão direta para a redução dos impactos resultantes da urbanização.

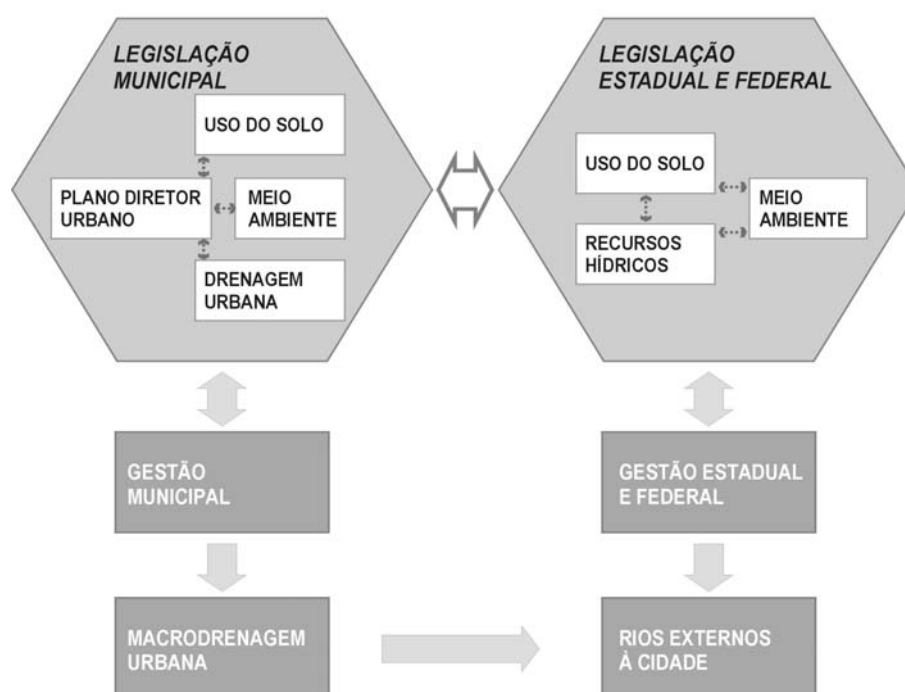


Figura 4.3 Espaços do gerenciamento (Tucci,2003)

**Quanto a uso do solo:** Na constituição Federal, artigo 30, é definido que o uso do solo é municipal. Porém, os Estados e a União podem estabelecer normas para o disciplinamento do uso do solo visando a proteção ambiental, controle da poluição, saúde pública e da segurança. Desta forma, observa-se que no caso da drenagem urbana, que envolve o meio ambiente e o controle da poluição a matéria é de competência concor-



rente entre Município, Estado e Federação. A tendência é dos municípios introduzirem diretrizes de macrozoneamento urbano nos Planos Diretores de Desenvolvimento Urbano, incentivados pelos Estados.

Observa-se que no zoneamento relativo ao uso do solo não têm sido contemplados pelos municípios os aspectos de águas urbanas como esgotamento sanitário, resíduo sólido, drenagem e inundações. O que tem sido observado são legislações restritivas quanto à proteção de mananciais e ocupação de áreas ambientais. A legislação muito restritiva somente produz reações negativas e desobediência. Portanto, não atingem os objetivos de controle ambiental. Isto ocorre na forma de invasão das áreas, loteamentos irregulares, entre outros. Um exemplo feliz foi o introduzido pelo município de Estrela (RS) Brasil, que permitiu a troca de áreas de inundação (proibida para uso) por solo criado ou índice de aproveitamento urbano acima do previsto no Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano nas áreas mais valorizadas da cidade.

Ao introduzir restrições do uso do solo é necessário que a legislação dê alternativa econômica ao proprietário da terra ou o município deve comprar a propriedade. Numa sociedade democrática o impedimento do uso do espaço privado para o bem público deve ser compensado pelo público beneficiado, caso contrário torna-se um confisco. Atualmente as legislações do uso do solo se apropriam da propriedade privada e ainda exigem o pagamento de impostos pelo proprietário, que não possui alternativa econômica. A consequência imediata na maioria das situações é a desobediência legal.

**Quanto ao licenciamento ambiental:** este licenciamento estabelece os limites para construção e operação de canais de drenagem, regulado pela Lei 6938/81 e resolução CONAMA n. 237/97. Da mesma forma, a resolução CONAMA 1/86 art 2º, VII estabelece a necessidade de licença ambiental para “obras hidráulicas para drenagem”. O licenciamento ambiental é Federal na medida que a área de influência do projeto englobe mais de um Estado, enquanto que é Estadual quando a área de influência se encontra dentro de um mesmo Estado.

#### **4.3.4 Gestão urbana e da bacia hidrográfica**

A gestão das ações dentro do ambiente urbano pode ser definida de acordo com a relação de dependência da água através da bacia hidrográfica ou da jurisdição administrativa do município, Estado ou nação. A

tendência da gestão dos recursos hídricos tem sido realizada através da bacia hidrográfica, no entanto a gestão do uso do solo é realizada pelo município ou grupo de municípios numa região Metropolitana. A gestão pode ser realizada de acordo com a definição do espaço geográfico externo e interno a cidade.

Os Planos das bacias hidrográfica tem sido desenvolvido para bacias grandes ( $>3.000 \text{ km}^2$ ). Neste cenário existem várias cidades que interferem umas nas outras transferindo impactos. O Plano da bacia dificilmente poderá envolver todas as medidas em cada cidade, mas devem estabelecer os condicionantes *externos* as cidades como a qualidade de seus efluentes, as alterações de sua quantidade, que visem a transferência de impactos.

Tabela 4.2 Espaço de Gestão das águas urbanas

<b>Espaço</b>	<b>Domínio</b>	<b>Gestores</b>	<b>Instrumento</b>	<b>Característica</b>
Bacia Hidrográfica <sup>1</sup>	Estado ou Governo Federal	Comitê e Agências	Plano de bacia	Gestão da quantidade e qualidade da água no sistema de rios que formam a bacia hidrográfica, evitando a transferência de impactos.
Município <sup>2</sup>	Município ou Região Metropolitana	Município	Plano Diretor urbano e Plano integrado de Esgotamento, Drenagem Urbana e Resíduo Sólido	Minimizar os impactos de quantidade e qualidade dentro da cidade, nas pequenas bacias urbanas e não transferir impactos para o sistema de rios.

1 – bacias de grande porte ( $> 1000 \text{ km}^2$ ); 2 – área de abrangência do município e suas pequenas sub-bacias de macrodrenagem ( $< 50 \text{ km}^2$ ). Os valores de áreas são indicativos e podem se alterar para cidades de grande porte.

O ambiente interno das cidades são as gestões dentro do município para atender os condicionantes *externos* previstos no Plano de Bacia para evitar os impactos e buscar a melhoria da quantidade e qualidade da água no conjunto da bacia, além dos condicionantes internos que tratam de evitar os impactos a população da própria cidade.

Estes dois espaços principais definem os gestores, os instrumentos e as metas de gestão destes instrumentos como descrito na tabela 4.2. A

construção global desta estrutura de gestão esbarra em algumas dificuldades:

- Limitada capacidade dos municípios para desenvolverem a gestão, considerando que a maioria destes;
- O sistema de gestão das bacias ainda não é uma realidade consolidada na maioria dos países da América do Sul;
- Reduzida capacidade de financiamento das ações pelos municípios e o alto nível de endividamento.

No primeiro caso, a solução passa pelo apoio estadual e federal através de escritórios técnico que apoiem as cidades de menor porte no desenvolvimento de suas ações de planejamento e implementação. O segundo dependerá da transição e evolução do desenvolvimento da gestão no país. O terceiro dependerá fundamentalmente do desenvolvimento de um programa a nível federal e mesmo estadual com um fundo de financiamento para viabilizar as ações.

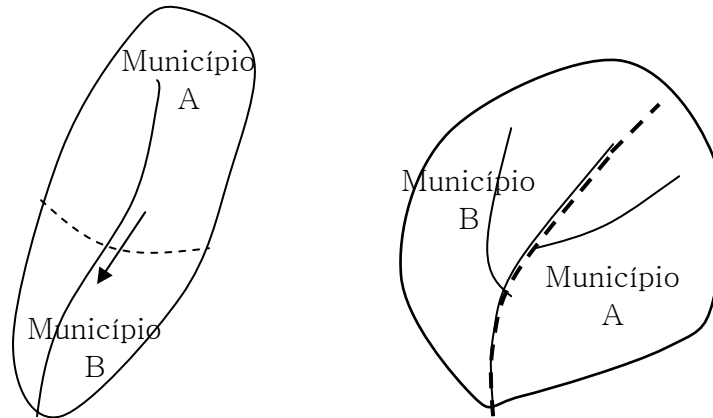
### **Gerenciamento de bacias urbanas compartilhadas**

Grande parte das cidades possui bacia hidrográfica comum com outros municípios. Geralmente existem os seguintes cenários: (a) um município está a montante de outro; (b) o rio divide os municípios (figura 4.4).

O controle institucional das águas urbanas, que envolve pelo menos dois municípios, pode ser realizado pelo seguinte:

- Através de legislação municipal adequada para cada município;
- Através de legislação estadual que estabeleça os padrões a serem mantidos nos municípios de tal forma a não serem transferidos os impactos;
- Estabelecimento de distritos de Drenagem onde cada Distrito engloba um ou mais municípios e dentro dos mesmos são estabelecidas normas de comuns quanto a gestão territorial relacionada com os elementos das águas urbanas.

Estes entendimentos podem ser realizados dentro do comitê da bacia e os Planos Estaduais desenvolvem a regulamentação setorial. Portanto, quando forem desenvolvidos os Planos das Bacias que envolvam mais de um município, deve-se buscar acordar ações conjuntas com estes municípios para se obter o planejamento de toda a bacia.



a – relação de montante para jusante

b – relação de fronteira

Figura 4.4 Relações básicas entre municípios

Os problemas atualmente existentes podem ser resumidos nos seguintes cenários:

- Nas regiões metropolitanas é comum a existência de bacias hidrográficas com grande predominância de urbanização que atravessa mais de uma cidade e as transferências de impactos entre as cidades é muito grande. Por exemplo, uma cidade a montante que canaliza seu escoamento para jusante seguramente irá aumentar as inundações na cidade de jusante, da mesma forma que a poluição ou esgoto não-tratado. Para isto não existem mecanismos legais para que isto seja evitado, apesar de que qualquer projeto deveria ser aprovado ambientalmente e estes são impactos que deveriam fazer parte do licenciamento ambiental, mas isto geralmente não ocorre e as cidades estão sujeitas a serem processadas pelas pessoas prejudicadas;
- No caso de municípios que se encontram em margens opostas, mesmo que um deles adote medidas legais para gestão de sua parte da bacia, a outra margem continuará impactando a jusante, o que inviabiliza uma solução sustentável. Neste caso, também somente é possível o desenvolvimento de medidas sustentáveis de longo prazo através de estabelecimentos de mecanismos legais

a serem exigidos dos projetos quando da sua aprovação em ambas cidades.

### **Potenciais medidas de controle externo às áreas urbanas**

O mecanismo previsto nas legislações de recursos hídricos o gerenciamento externo das cidades é o Plano de Recursos Hídricos da Bacia. No entanto, no referido Plano dificilmente será possível elaborar os Planos de Drenagem, Esgotamento Sanitário e Resíduo Sólido de cada cidade contida na bacia. O Plano deveria estabelecer as metas que as cidades devem atingir para que o rio principal e seus afluentes atinjam níveis ambientalmente adequados de qualidade da água. O Plano Integrado de Drenagem Urbana, Esgotamento Sanitários e Resíduos Sólidos deve obedecer aos controles estabelecidos no Plano da bacia no qual estiver inserido.

### **Programa**

Um Programa de para atuar na gestão da relação bacia – cidades onde existem jurisdições distintas pode ser implementado considerando os seguintes aspectos: (a) institucional e (b) econômico-financeiro; (c) Tecnológico; (d) participação pública; (e) ciência e tecnologia; (f) capacitação e (g) Plano de Ação. O institucional trata da legislação e da gestão. Define os elementos *legais* de responsabilidades entre os agentes públicos e privados e sua compatibilização com a legislação existente. A gestão estabelece os agentes da sociedade (estado, interessados e público) que implementarão as medidas e suas responsabilidades. O econômico-financeiro estabelece as bases de financiamento, subsídios e retorno econômicos das ações. A participação pública define os mecanismos de envolvimento dos “stakeholders” no processo de gestão. A ciência e tecnologia é o aspecto que trata do desenvolvimento do conhecimento relacionado os problemas e necessidades do programa. A capacitação trata da formação de pessoal em todos os níveis visando o sucesso do programa. O Plano de Ação estabelece o escalonamento no tempo das atividades do programa. Este tipo de programa pode ser implementado em nível de bacia, Estado ou país.

## **Programa Nacional de Águas Pluviais**

A seguir é apresentada uma síntese de proposta de programa para a realidade brasileira (Tucci,2005). Este exemplo tem a finalidade didática de explorar o tema e pode ser de adaptado a cada realidade dentro de suas características.

**Objetivo:** Reduzir a vulnerabilidade da população às inundações ribeirinhas e as que ocorrem na drenagem urbana e a minimização dos impactos ambientais através de uma política institucional econômica e técnica e um plano de ação para a gestão das águas pluviais em conjunto com os outros elementos do desenvolvimento urbano das cidades brasileiras. Os objetivos do programa envolvem as áreas ribeirinhas que ocorrem em médias e grandes e bacias e a drenagem urbana que tem um contexto delimitado pelo município.

**Princípios:** Os princípios gerais do programa se baseiam no seguinte:

- Os novos empreendimentos que alterem o uso do solo urbano não podem alterar a vazão natural pré-existente definida pelo poder público;
- As medidas de gestão e controle das inundações urbanas devem considerar a bacia como um todo em não trechos isolados. Este controle deve evitar aumentar a vazão para jusante da mesma.
- Valorização dos mecanismos naturais de escoamento na bacia hidrográfica, preservando, quando possível às áreas impermeáveis e os canais naturais.
- O impacto da qualidade da água e resíduos sólidos no escoamento pluvial resultante da urbanização devem ser minimizados;
- O custo da implantação das medidas estruturais e da operação e manutenção da drenagem urbana devem ser transferidos aos proprietários dos lotes, proporcionalmente a sua área impermeável.
- as medidas não-estruturais devem ser prioritárias para o controle das inundações ribeirinhas;
- O Plano Diretor de Águas Pluviais deve ser o mecanismo de orientação e regulamentação no município das medidas sustentáveis de controle das águas pluviais;

- O Plano Diretor de Águas Pluviais, Esgotamento Sanitário e Resíduos Sólidos devem ser desenvolvidos preferencialmente de forma integrada e os mesmos devem fazer parte integrada do Plano Diretor Urbano;
- A gestão do espaço de risco, impermeabilização e drenagem urbana devem ser realizadas a nível municipal;
- A participação pública deve uma parte essencial do Programa de Águas Pluviais.

**Componentes do Programa de Águas Pluviais:** O programa apresentado é baseado nos seguintes elementos (figura 4.5):

- **Institucional:** trata dos elementos legais, de gestão;
- **Ciência e tecnologia & Capacitação:** desenvolvimento de conhecimento para o programa e a formação em diferentes níveis.
- **Tecnológico:** com destaque aos elementos de quantidade e qualidade, trata dos elementos técnicos necessários ao desenvolvimento de uma gestão sustentável e a base de dados;
- **Econômico-Financeiro:** trata dos elementos de viabilidade econômica e financeira da gestão das águas pluviais.
- **Participação pública:** Trata dos mecanismos potenciais para maior participação pública no desenvolvimento do Programa
- **Plano de Ações:** utilizando a base proposta nos outros desenvolve o plano de ação para o Ministério das Cidades visando à implementação do programa.

**Estrutura de ação do Programa:** O programa proposto tem seguintes níveis fundamentais para desenvolvimento das ações entre os elementos citados, de acordo com a legislação presente na realidade brasileira: (a) Nível Federal ou Estadual; (b) nível municipal. Na figura 4.5 é apresentado como os elementos se integram dentro destes dois níveis.

A nível Federal (bacias hidrográficas federais) são estabelecidos os controles externos a cidade através da legislação. Esta legislação incentivará as entidades estaduais a regulamentarem da mesma forma em nível das bacias estaduais. A gestão pode ser dividida com relação: (a) fiscalização da outorga; (b) desenvolvimento de programa de apoio para áreas ribeirinhas através da prevenção e alerta; (c) financiamento; (d) apoio técnico; (e) capacitação e; (e) ciência e tecnologia.

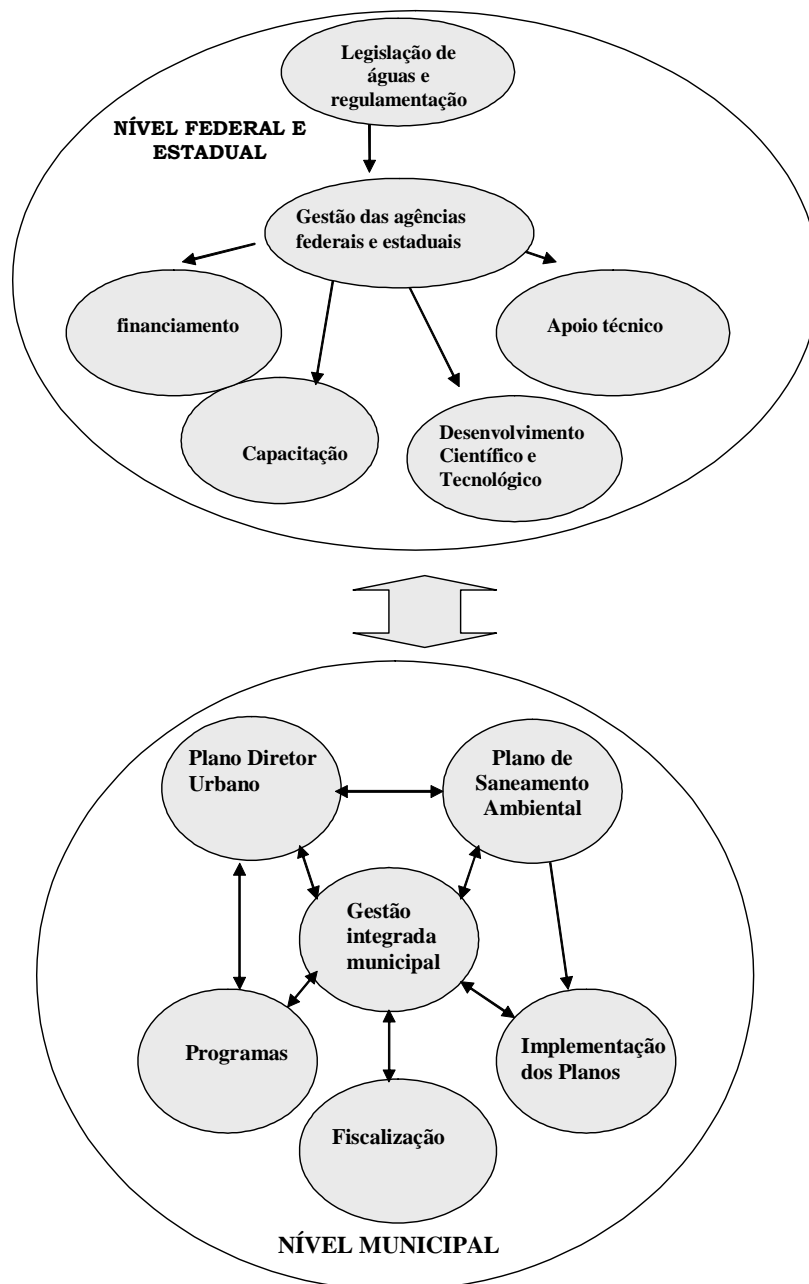


Figura 4.5 Elementos do programa de águas pluviais



A legislação levará aos municípios desenvolverem um Plano de Saneamento Ambiental onde está incluída as Águas Pluviais, associados aos Planos Diretores das cidades e a sua implementação ao longo do tempo. Dentro do nível municipal o Plano deverá incorporar os elementos de uso do solo e drenagem urbana na legislação, preparação dos Planos de Ação por bacia urbana para solução dos problemas atuais e os programas de curto, médio e longo prazo. A gestão envolverá a fiscalização e a implementação do plano com o financiamento do Programa Nacional.

**Institucional:** Os elementos institucionais são a base para o desenvolvimento da estrutura do desenvolvimento do programa. Estes elementos se dividem em: Legal e de Gestão.

#### *Aspectos Legais*

Os elementos legais estabelecem a proposta de encaminhamento de legislação que oriente o programa, a gestão a atuação das entidades envolvidas na implementação do programa e capacitação e ciência e tecnologia desenvolvem o suporte de pessoal e desenvolvimento de conhecimento.

A política de controle da drenagem urbana envolve dois ambientes: externo a cidade e o interno a cidade. Na figura 4.5, pode-se observar de forma esquemática a caracterização institucional dos elementos que podem permitir o gerenciamento dos controles das águas pluviais.

Existe uma grande inter-relação entre os elementos de uso do solo, controle ambiental e recursos hídricos tanto internamente na cidade como no Plano da bacia Hidrográfica. Como figurado, o gerenciamento da cidade é controlado monitorando o que a cidade exporta para o restante da bacia, induzindo a mesma ao seu controle interno, utilizando-se dos meios legais e financeiros.

O processo interno dentro da(s) cidade(s) é uma atribuição essencialmente do município ou de consórcios de municípios, dependendo das características das bacias urbanas e seu desenvolvimento.

*Externo à cidade:* A lei de recursos hídricos n. 9433, na seção de outorga, art.12 estabelece que está sujeita a outorga (veja acima)

“III - lançamento em corpo d’água de esgotos e demais resíduos ...”

e

“V - outros usos que alterem a quantidade e qualidade da água em corpos de água.”

A regulamentação da lei de outorga compete ao Conselho Nacional de Recursos Hídricos conferidas pelo artigo 13º lei n. 9433 de 8 de janeiro de 1997 e pelo artigo 1º do Decreto n. 2612 de 3 de junho de 1998. Em resolução n. 16 de 8 de maio de 2001 o referido Conselho definiu as bases da outorga. No artigo 12º estabelece que a outorga deve observar os Planos de Recursos Hídricos. No artigo 15º estabelece que a outorga.

“para lançamento de efluentes será dada em quantidade de água necessária para a diluição de carga poluente, que pode variar ao longo do prazo de outorga, com base nos padrões de qualidade da água correspondente à classe de enquadramento do corpo receptor e/ou critérios específicos definidos no correspondente Plano de Recursos Hídricos ou pelos órgãos competentes.”

No artigo 12º V da Lei 9.433 e na resolução do Conselho artigo 4º V é explicitado que a outorga é necessária para

“outros usos e/ou interferências, que alterem o regime, a quantidade ou a qualidade de água existente em um corpo de água.”

Desta forma, observa-se que a legislação de recursos hídricos permite a introdução da regulação do controle dos efluentes de áreas urbana através da outorga, na medida que o escoamento destas áreas comprovadamente alteram a quantidade e a qualidade (ver capítulos anteriores). Esta regulação pode, assim ser realizada através de uma resolução do Conselho Nacional de Recursos Hídricos.

O objetivo do controle externo a cidade referente são:

- de manter a qualidade da água dos rios a jusante dentro da classe do rio;
- evitar impactos devido à inundação da drenagem urbana e das áreas ribeirinhas.

O primeiro dos objetivos está claramente definido dentro dos condicionantes de outorga na medida que as áreas urbanas produzem alterações na qualidade da água e portanto o conjunto da cidade que contribui para o(s) rio(s) a jusante necessita de outorga. Quanto aos impactos quantitativos devido à urbanização (alteração do pico e volume) também

estão dentro das atribuições da outorga na medida que as áreas urbanas “alteram a quantidade e qualidade da água”. No entanto não ficaria claro o uso do mecanismo de outorga como indução ao processo de controle das inundações urbanas ribeirinhas. Considerando os seguintes aspectos:

- que a constituição prevê que o governo federal deve atuar na prevenção de cheias e secas, como também estabelece como atribuição na lei n. 9984 de 17 de julho de 2000. artigo 3º X :  
“planejar e promover ações destinadas a prevenir ou minimizar os efeitos de secas e inundações, no âmbito do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, em articulação com o órgão central do Sistema Nacional de Defesa Civil, em apoio aos Estados e Municípios.”
- que as inundações ribeirinhas também podem ocorrer ser devido a alterações no leito maior por construções ao longo da cidade, o mecanismo de outorga também é justificado.

É possível estabelecer a normatização da outorga através do Conselho Nacional de Recursos Hídricos, como mecanismo de controle externo a cidade para induzir aos municípios ao desenvolvimento das ações dentro do seu território de competência.

Alguns dos elementos fundamentais para definição desta regulamentação são:

- A proposta de *resolução* deve conter os parâmetros básicos necessários a outorga dos efluentes urbanos como um todo e não somente da drenagem urbana, já que os impactos devido ao esgotamento sanitário, drenagem urbana e resíduos sólidos não são separáveis;
- Não é possível exigir a outorga de todas as cidades do país no curto prazo, pois inviabilizaria todas as ações efetivas e não existiriam recursos para financiamento para desenvolvimento do planejamento e controle simultâneo;
- As regras da outorga devem estabelecer procedimentos e metas de resultado no Planejamento das ações de acordo com a classe do rio planejada.

Para resolver o primeiro item acima a resolução deve solicitar um Plano Saneamento Ambiental Municipal: Abastecimento de água, esgotamento Sanitário, Drenagem Urbana e Resíduos Sólidos (de acordo com

o projeto de lei em elaboração) e definir as normas no qual os municípios devem atender para ter sua outorga obtida. Estas normas devem ser desenvolvidas e serão as bases para o desenvolvimento dos Planos de Saneamento Ambiental. Para resolver o segundo item é proposto o uso de prazos de acordo com o tamanho das cidades. São dadas outorgas provisórias e renováveis de acordo com os prazos e cumprimento dos mesmos. O terceiro item acima é resolvido, estabelecendo-se metas associadas à outorga dos efluentes de acordo com metas do Programa.

A proposta foi preparada considerando a distribuição de cidades no país, a carga associada a população. Não foi avaliada a capacidade do governo em financiar o programa, que é uma decisão mais política. Portanto esta proposta deve ser utilizada para discussão. O importante de um programa desta natureza é desenvolver o mesmo com metas que permita ter uma “luz no final do túnel” da contaminação das cidades.

Na tabela 4.3 são apresentadas 4 classes de municípios de acordo com a população da cidade. De acordo com o apresentado nos capítulos anteriores os principais problemas encontra-se nas cidades de maior porte. Pode-se observar que o número de municípios com pelo menos 500 mil habitantes são 30, representando 27,25 % da população brasileira. Para os municípios entre 100 e 500 mil são 192 municípios e 23,68 % da população. Portanto, são 212 os municípios acima de 100 mil habitantes, sendo um total de 51,13 % da população. É neste universo do país onde se encontram os maiores problemas relacionados com os efluentes urbanos.

Tabela 4.3 Distribuição da população segundo censo de 2000, de acordo com dados do IBGE

Categoria	Classificação dos municípios P = população	Número de municípios	Proporção do total %	População milhões	% da população
A	P > 500 mil	30	0,54	45,257	27,25
B	100 < P < 500 mil	192	3,49	39,337	23,68
C	20 < P > 100	1224	22,23	48,155	28,99
D	P < 20 mil	3061	73,74	33,363	20,08
	Total	5507	100	166,112	100

Sendo assim, é proposto o escalonamento temporal para as ações junto aos municípios baseadas nas etapas definidas na tabela 4.4. A etapa de elaboração das medidas não-estruturais envolve a aprovação dentro

do município dos regulamentos para controle dos impactos dos novos desenvolvimentos quanto aos diferentes elementos relacionados com o Saneamento Ambiental. Na fase de conclusão do Plano, envolve a finalização e aprovação pelos poderes municipais. A conclusão é definida como a fase em que município atinge as metas previstas no Plano. A outorga será dada por prazo definido, sempre sujeita aos resultados de operação e manutenção dos sistemas tratamento e controle dos impactos. Esta fase posterior envolve a fiscalização do cumprimento da operação e manutenção dos sistemas ao longo do tempo.

Tabela 4.4 Fases e critérios para a outorga dos efluentes

Fase	Categoria de município	Período da outorga(*) Anos	Período acumulado à partir do início	Condicionante para renovação
I	A	2	2	Iniciar o Plano de Saneamento Ambiental
	B	3	3	
	C	5	5	
	D	7	7	
II	A	1	3	Implementação das Medidas não-estruturais
	B	2	5	
	C	2	7	
	D	2	9	
III	A	2	5	Conclusão do Plano de Saneamento Ambiental e início das obras
	B	2	7	
	C	3	10	
	D	5	14	
IV	A	6	11	Conclusão das obras e metas atingidas.
	B	6	13	
	C	7	17	
	D	10	24	
V	Todos	3	11 a 24	Revisão da outorga a cada cinco de acordo com indicadores das cidades

(\*) o número de anos de cada atividade deve estar condicionado a capacidade de financiamento do governo federal

Para desenvolvimento do Programa as outorgas seriam dadas de acordo com as metas acima e renovadas de acordo com o atendimento das metas. O Programa deveria introduzir bônus fiscal para os municípios que atenderem as metas antes do prazo e penalização quanto ao repasse de recursos federais para os municípios que não conseguissem as outorgas.

A normatização envolve o seguinte:

- (1) Preparação da resolução a ser proposta ao Conselho Nacional de Recursos Hídricos com base nas fases acima;
- (2) Estabelecimento de padrões a serem seguidos nos Planos Integrados dos Municípios que atendam a resolução. Deverá ser desenvolvido um manual a ser obedecido na elaboração dos Planos, resultados da implementação das obras e procedimentos para monitoramento do funcionamento dos sistemas de tratamento e controle externo às cidades.

*Regulação interna à cidade:* A regulamentação dentro da cidade é realizada através de lei ou decreto específico ou a aprovação do Plano de Saneamento Ambiental Municipal através de legislação e executivo municipal. No item anterior foram propostas a elaboração de normas que devem conter os condicionantes mínimos da regulamentação municipal e indicadores de avaliação dos impactos externos e internos a cidade, no qual o município deve estabelecer suas diretrizes e desenvolvimento.

Os condicionantes mínimos relacionados com o escoamento pluvial são estão relacionados com o seguinte:

- Regulamentação que limite o aumento do escoamento para os novos desenvolvimentos urbanos;
- Definição do zoneamento das áreas de risco de inundações ribeirinhas;
- O plano de controle dos impactos existentes por bacia hidrográfica urbana, sem transferência para o restante da cidade;
- Recuperação dos custos dos investimentos e de operação e manutenção de acordo com as áreas impermeáveis.
- Monitoramento de locais específicos externos a saída para verificação das ações na cidade.

## *Gestão*

A gestão envolve o seguinte: (a) gestão do programa; (b) gestão das entidades outorgantes; (c) gestão da implementação dos Planos dentro das cidades.

A gestão programa envolve os seguintes aspectos:

- Desenvolvimento de padrões técnicos nacionais que auxiliem as entidades outorgantes a nível estadual e federal a outorga e controle dos elementos definidos no programa (veja item 5.6);
- Desenvolvimento de programa de capacitação (veja item seguinte) para profissionais: (a) para atuação nas diferentes entidades públicas a nível federal, estadual e federal ; (b) bancos de fomentos; (c) empresas que atuarão no setor privado para prestação dos serviços;
- Desenvolver propostas de revisão do programa como atualização da resolução em face dos recursos e conhecimento dos problemas nacionais e regionais.

Esta gestão deve ser realizada com equipe designada ou absorvida pelo Ministério das Cidades na sua estrutura existente. Considerando a magnitude do programa é importante que o programa tenha estrutura própria. Estima-se que a equipe necessária para gerenciar o programa envolva no mínimo um gerente e 4 técnicos. Esta equipe não desenvolverá as atividades técnicas para gerenciar todos os procedimentos terceirizando quando necessário as atividades.

A gestão externa a cidade se dará através da entidade federal ou estadual com atribuições para outorga dos recursos hídricos em conjunto com o Ministério das Cidades que fornecerá as normas para avaliação do atendimento as condições de outorga. Para isto, é necessário que a entidade outorgante tenha qualificação para:

- Estabelecimento de normas e padrões que deverão ser seguidos pelos Planos de Saneamento Ambiental;
- Avaliação dos Planos Ambientais Municipais. A outorga será dada em função da elaboração do Plano, sua aprovação junto a entidade outorgante e o acompanhamento das metas estabelecidas no Plano.

A gestão interna à cidade envolverá os órgãos municipais que variam de acordo com cada cidade. Existem empresas municipais que englobam todos os serviços de Saneamento Ambiental como em Santo André (SP) e outras em que os serviços são partilhados em vários departamentos. Em Porto Alegre existe o DMAE Departamento Municipal de Águas e Esgotos para abastecimento de água e saneamento, DEP – Departamento de Esgotos Pluviais para águas pluviais e DMLU – Departamento municipal de Limpeza Urbana para resíduo sólido. Este tipo de partilhamento dos serviços municipais produz dificuldades gerenciais e conflitos entre as entidades.

O município poderá ter como um dos condicionantes para a outorga a definição de seu sistema de gestão para; fiscalização da regulamentação interna a cidade, a operação e manutenção dos sistemas que compõem a estrutura do saneamento ambiental da cidade. O dimensionamento da equipe a nível federal deve se basear na quantidade de cidades de atribuição de outorga federal e estadual. Nesta fase de preparação do programa não será dimensionado o número de pessoas necessárias.

**Capacitação:** O programa de capacitação tem o objetivo seguinte:

- Formar profissionais para a fiscalização dos Planos e a execução dos mesmos;
- Profissionais para atuarem nas empresas para o desenvolvimento dos projetos e a implementação das obras;
- Atualizar os decisores que de alguma forma projetam a cidade nos diferentes campos da infra-estrutura urbana sobre as diferentes funções relacionadas com o saneamento ambiental
- Preparar membros da sociedade para participar em comitê de bacia, órgãos e conselhos a nível federal, estadual e municipal.

Na tabela 4.6 abaixo é apresentado de forma resumida os diferentes níveis de treinamento a ser planejado dentro do programa. Para este processo o Ministério, através de seu núcleo técnico identificado no item anterior deverá planejar e desenvolver o programa de capacitação em associação com profissionais ou através de centros universitários de pesquisa e desenvolvimento.

O curso para Gestores envolverá muito mais a equipe técnica do programa enquanto os demais podem ser disseminados de tal forma que a maioria das universidades regionais assumam esta tarefa ao longo do tempo, pois necessitam estar próximo dos interessados nos municípios e



os cursos adaptados a realidade de cada região do país. Numa fase inicial o Programa deverá promover os cursos e material de treinamento.

**Ciência e Tecnologia:** O desenvolvimento de conhecimento em C & T para o programa deverá ser desenvolvido em conjunto com as entidades de fomento e poderá envolver o seguinte:

Tabela 4.6 Caracterização dos cursos de capacitação.

Nome	Caracterização	Público Alvo
Decisores	Conceitos fundamentais da gestão integrada do Saneamento ambiental, as relações entre urbanização e a infra-estrutura de água, o gerenciamento do sistema quanto aos impactos, seus conflitos e sustentabilidade e as metas fundamentais de um programa de ambiental sustentado.	profissionais de diferentes formações que de alguma forma atuam na estrutura urbana como urbanistas, administradores, arquitetos e projetistas de obras de qualquer natureza em áreas urbanas, ambientalistas,
Gestores	Gestão da bacia hidrográfica; Gestão do uso do solo urbano; Gerenciamento integrado de mananciais, abastecimento de água, esgotamento sanitário, águas pluviais, resíduo sólido, impacto ambientais sobre rios e aquíferos, legislação e administração.	Gestores de água a nível federal, estadual e municipal que têm as funções de fiscalização, avaliação e solicitação da outorga a nível estadual e federal (veja proposta em anexo D)
População	Noções gerais sobre o desenvolvimento das cidades e sua infra-estrutura de água, características e indicadores do saneamento ambiental e do meio ambiente urbano e das bacias hidrográficas	Participante de comitê de bacia, representante municipal, membros de ONG e população em geral.
Profissional	Em todas as áreas técnicas necessárias ao saneamento ambiental. Este tipo de curso visa o ensino das técnicas sustentáveis de do saneamento ambiental das cidades: Mananciais urbanos; Abastecimento de Água, Esgotamento Sanitário urbano; Águas Pluviais, Resíduos Sólidos; Saúde; impactos ambientais e qualidade da água; monitoramento; gestão dos serviços públicos,etc	Profissionais especializados nas áreas técnicas com atribuição profissional.

- *Gestão integrada das águas urbanas*: integração entre os indicadores de desenvolvimento urbano e a infra-estrutura de água que permitam desenvolver o planejamento do uso do solo;
- *Programa de Monitoramento de bacias urbanas*: monitoramento voltado para o conhecimento do comportamento hidrológico, qualidade da água e resíduos sólidos das bacias brasileiras sujeito a diferentes realidades de ocupação do espaço. Este tipo de monitoramento fornecerá dados para os projetos de controle dos impactos
- *Desenvolvimento de métodos de projetos de* sistemas de controle do escoamento urbano que considere os condicionamentos de ampliação da vazão, qualidade da água, resíduos sólidos e saúde.

Os potenciais financiadores de pesquisas relacionadas com o programa, além de seus próprios fundos são o CThidro – Fundo Setorial de Recursos Hídricos e o Fundo previsto no projeto de lei para o Saneamento Ambiental.

**Tecnológico:** O programa tecnológico envolve a consolidação do conhecimento técnico nacional e internacional existente que apóie os Planos de Saneamento Ambiental. No contexto de Águas Pluviais os principais elementos técnicos de apoio ao programa são:

1. *Planos de Saneamento Ambiental*: Manual de orientação para elaboração dos Planos de Saneamento Ambiental a nível municipal que orientem as cidades para a contratação, especificação dos termos de referências e condicionantes mínimos para outorga;
2. *Medidas Não-estruturais*: Os Planos geralmente são desenvolvidos com base em medidas não-estruturais e medidas estruturais. As primeiras são de âmbito legal, de gestão, capacitação entre outras. Estas medidas geralmente não envolvem um custo maior e podem ser implementadas no legislativo e executivo municipal. O programa deve desenvolver um manual de apoio às cidades para implementação das Medidas não-estruturais;
3. *Medidas Estruturais*: estas medidas envolvem as intervenções em cada sub-bacia urbana da cidade e dependem de elementos de levantamento de dados, projetos, “softwares” e elementos econômicos para elaboração do Plano de Controle de uma bacia urba-

na. O programa deve desenvolver um manual de apoio a preparação dos Planos de Controle estrutural para bacias urbanas;

4. *Manual de Águas Pluviais*: este é um dos produtos do Plano de Saneamento Ambiental, mas que elaborado a nível nacional pode ser adaptado para cada cidade aos seus condicionantes específicos regionais e locais. O manual elaborado com os elementos mínimos nacionais deve orientar os projetistas que atuam na cidade quanto aos projetos de infra-estrutura de água.

No que se refere a gestão das inundações ribeirinhas o programa a nível nacional deve planejar medidas não-estruturais de caráter nacional que apoiem os municípios na redução dos prejuízos. Neste sentido, foram previstos dois programas:

#### *Programa de Seguros*

Um das principais medidas para controle de inundações ribeirinhas é o sistema de seguros. Prática largamente utilizada nos Estados Unidos pode ser avaliada a sua implementação no Brasil. Para tanto é necessário criar uma “task force” para desenvolver um estudo de viabilidade da criação de um programa de seguros aproveitando as experiências internacionais adaptadas a realidade brasileira. Este estudo de viabilidade econômico-financeira pode ser desenvolvido com participação da Caixa Econômica Federal.

#### *Programa de Alerta de Inundações e Defesa Civil*

O programa de alerta de inundações e Defesa Civil envolve as seguintes etapas:

- Monitoramento em tempo real dos rios e das bacias brasileiras (precipitação e vazão ao longo do tempo);
- Sistema operacional de recebimento de dados e previsão com modelos matemáticos hidrológicos (associado a banco de dados);
- Transferência das previsões a Secretaria da Defesa Civil para alerta e redução dos impactos devido às inundações.

Um programa desta natureza deverá envolver mais de uma entidade federal em conjunto com outras a nível estadual. Atualmente a Defesa Civil se encontra dentro do Ministério de Integração Nacional e o monitoramento em tempo real de parte da precipitação e do escoamento

é realizado pela ANA Agência Nacional de Água, enquanto o Instituto Nacional de Meteorologia faz o monitoramento de estações climatológicas (precipitação).

Atualmente os dados monitorados não são utilizados em conjunto com modelos hidrológicos para previsão antecipada de inundações. Este programa deve envolver as entidades de monitoramento e de Defesa Civil para o estabelecimento de um programa de alerta para a população ribeirinha.

**Econômico – Financeiro:** A análise econômico–financeira relacionada com o programa tem os seguintes aspectos:

- Avaliação dos investimentos necessários para implementação do programa nas cidades brasileiras;
- Mecanismo de financiamento para os municípios;
- Estabelecimento do retorno dos investimentos dentro dos municípios que viabilize o pagamento dos investimentos.

#### *Investimentos do Programa*

A estimativa dos investimentos relacionados com o programa são os seguintes: (a) operacionais a nível federal do próprio programa; (c) os procedimentos de outorga ; (d) relacionados com os Planos de Recursos Hídricos; (e) implementação das obras e medidas; (f) operação e manutenção dos sistemas de drenagem.

O custo anual da gestão do programa, considerando o pessoal necessário, material permanente, serviços de terceiros de curto prazo (consultorias específicas, não estão incluídos os custos relacionados com os itens de capacitação) e custeio foi estimado em R\$ 1,25 milhões anuais. Estimando o custo dos manuais que devem ser desenvolvidos nos dois primeiros anos em R\$ 1,5 milhões e o programa de capacitação em R\$ 5 milhões para os cinco primeiros anos, resulta um total de R\$ 12,75 milhões para os primeiros cinco anos. Para os quinquênios posteriores se estimou um total de 1,75 milhões por ano (500 mil para capacitação e 1,25 milhões para funcionamento do escritório do programa) ou 8,75 milhões.

O custo para os procedimentos de outorga não foi possível estimar nesta fase da preparação do programa em face da necessidade de estabelecimento da administração deste processo nos órgãos de governo que terão a atribuição para a sua execução.

Os custos dos Planos e das Obras foram estimados com base em dados obtidos relacionados com estimativas de custo unitário em função da população obtido de Cruz (2004) com amostras da cidade de Porto Alegre. São valores sujeitos a revisão, mas permitem uma idéia da magnitude dos investimentos necessários nas diferentes fases dos Planos de Águas Pluviais. Com relação aos investimentos no Saneamento, Abastecimento de Águas e Resíduos Sólidos os mesmos serão agregados em fase posterior de acordo com a tomada de decisão do Ministério das Cidades com relação a este programa.

As estimativas de custo se baseiam na população e na área das bacias urbanas. Nesta etapa não dispomos das áreas das bacias urbanas de todas as cidades para esta análise e a estimativa foi realizada com base num valor unitário baseado na população. Este valor varia com as condições de urbanização das cidades. Para bacias urbanas centrais com grande dificuldade de espaço e alta quantidade de obras de transporte do escoamento o valor é da ordem de R\$ 235,00/hab, enquanto que em bacias com densidade média e com mais espaço os custos são da ordem de R\$ 125,00/hab. Para cidades menores foi adotado o valor de R\$ 80/hab. Nas cidades da faixa A foram adotados para 35% da população o custo de áreas centrais e para 65% da população o custo de áreas de densidade média. Nas cidades da Faixa B a proporção adotada foi de 20 e 80% respectivamente. Nas cidades da faixa C adotou-se somente o valor de densidade média e nas cidades da faixa D adotou-se o valor de baixa densidade. Na tabela 5.4 são apresentados os totais estimados para as obras, resultando cerca de R\$ 20,36 bilhões para todo o programa de obras.

Os custos dos Planos de Águas Pluviais urbanos dependem essencialmente dos custos do cadastro da rede de pluviais das cidades e do sistema natural de drenagem, além do desenvolvimento dos estudos e medidas não-estruturais. O custo total do Plano foi estimado em 5% das obras. Desta forma na tabela 5.4 pode-se observar que o custo total é de cerca de 21,380 bilhões de reais. Considerando a fase de ações para cidades acima de 100 mil habitantes, que representa grande parte dos impactos atuais na realidade brasileira custo total é de cerca de 13,5 bilhões.

#### *Necessidade de financiamento*

Considerando os investimentos necessários para o desenvolvimento e implementação das obras e o cronograma de outorgas, na tabela 4.8

é apresentada a necessidade de desembolso de financiamento. Pode-se observar que no primeiro quinquênio os custos se referem principalmente ao desenvolvimento dos Planos e representa um investimento anual da ordem de R \$ 278,2 milhões. No segundo quinquênio os custos sobem para 1,8 bilhões anuais. Os maiores investimentos se concentram num período de 10 anos.

Estes investimentos somente podem ser realizados com instituição de mecanismo federal de financiamento em face das condições econômicas dos Estados e Municípios brasileiros.

Tabela 4.7 Custos dos Planos e das obras de controle para risco de 10 anos

Categoria	Classificação dos municípios P = população mil	População milhões	Custos estimados das obras R\$ milhões	Custo dos Planos R\$ milhões	Custos totais R\$ milhões
A	P > 500	45,257	7252,4	362,6	7.615,1
B	100 < P < 500	39,337	5.6215,2	281,25	5.906,5
C	20 < P > 100	48,155	4.815,5	240,8	5.056,3
D	P < 20	33,363	2.669,0	133,5	2.802,5
	Total	166,112	20362,2	1018,1	21.380,3

Tabela 4.8 Investimentos necessários no programa.

Anos após as outorgas provisórias	Investimentos em Planos R\$ milhões	Investimentos em Obras R\$ milhões	Desenvolvimento do programa a nível federal R\$ milhões	Investimento anual R\$ milhões	Total do período R\$ milhões
1 a 5	731,57	659,2	12,75	278,2	1390,8
5 a 10	248,41	8746,4	8,75	1799,0	8994,8
10 a 15	38,13	6911,6	8,75	1389,0	6949,7
15 a 20		2710,4	8,75	542,1	2710,4
20 a 24		1334,5	8,75	266,9	1334,5
total	1018,1	20362,2	47,75		21380,2

(\*) foram adotados valores proporcionais ao período de planejamento

### *Recuperação dos investimentos*

Os custos relacionados com as águas pluviais a nível municipal são de dois tipos: (a) investimentos em obras de controle; (b) operação e manutenção dos serviços de drenagem.

Os primeiros se referem aos investimentos das obras de controle e o Plano de Águas Pluviais. Dificilmente estes investimentos poderão ser realizados com a cobrança do IPTU das propriedades em face do grande comprometimento dos orçamentos municipais com os gastos e pagamento de dívida. Portanto, os mesmos devem ser cobrados da população de acordo com a área impermeável das propriedades. Considerando quatro pessoas por propriedade e uma recuperação do investimento em 10 anos com juros anuais de 6% o pagamento anual por propriedade localizada em áreas densas, média densidade e baixa densidade são respectivamente R\$ 127,7; 65,2 e 43,5. Estes valores são inferiores a 1% do valor da propriedade.

Os custos de operação e manutenção representam cerca de 5% do projeto anualmente. Os valores de cada propriedade estimados representam respectivamente 47, 24 e 16 reais anuais. Enquanto que os custos das obras serão cobrados por 10 anos, os valores de operação e manutenção representam serviços permanentes. Estes valores devem variar de acordo com as áreas impermeáveis e em função de propriedades como edifícios e residências ou comerciais.

É fundamental que o financiamento por parte dos programas contemple o mecanismo de recuperação dos custos e os serviços de operação e manutenção. A principal dificuldade é a inserção de uma nova taxa ou imposto de serviços para operação e manutenção para águas pluviais.

**Participação Pública:** A participação pública deve ocorrer durante o desenvolvimento do Plano e a implementação das obras e no acompanhamento da fiscalização e manutenção dos serviços. Dificilmente um programa desta natureza evoluirá entre mandatos políticos se não houver um processo de participação pública.

São propostas as seguintes formas de participação pública: (a) através de pesquisas de opinião; (b) através de acompanhamento do processo por comitê representativo; (c) audiências ou eventos públicos. O primeiro envolve: (a) a identificação das necessidades e a importância dos investimentos e dos Planos para a população; (c) pesquisa de opinião so-

bre os condicionantes principais propostos pelo Plano; (d) resultados obtidos com os investimentos e seu impacto sobre o cidadão. No Planejamento estas pesquisas devem ser previstas.

No segundo caso, o desenvolvimento do Plano nas cidades, como prevê a proposta de lei de Saneamento Ambiental deverá ser discutido na comunidade. No entanto, somente a discussão poderá ser insuficiente, pois a estrutura da maioria dos aspectos do Plano já terá sido decidida e a inserção da comunidade ser dará mais na escolha e não da definição de linhas de ação.

Portanto, a orientação dos Planos deve incorporar um comitê de acompanhamento do mesmo com representantes da sociedade. Este comitê pode-se desmembrar quando do desenvolvimento dos Planos de bacias urbanas na representatividade de bairros. O plano deve introduzir no seu cronograma de atividades a reunião com o comitê para apresentação e discussão de propostas e metas de resultados, tendo como condicionante um mecanismo de aprovação intermediário dos resultados durante o Plano e Obras, inclusive com fiscalização econômica-financeira dos investimentos realizados.

As audiências públicas fazem parte da prática ambiental e devem ser realizadas considerando as sub-bacias da cidade e o conjunto da cidade. É importante caracterizar que a descentralização da participação pública é m tendência importante e necessária para que a população compreenda os impactos e as soluções nas quais está sujeita.

Estes aspectos devem fazer parte da orientação dos Planos a ser elaborado e dos condicionantes mínimos que farão parte da outorga dos municípios.

**Plano de Ações:** O plano de Ação foi proposto dentro de uma visão de longo e curto prazo.

#### *Plano de longo prazo*

O plano de Ação proposto para o programa estabelece as seguintes fases:

*Fase I : medidas não-estruturais a nível federal:* preparação de minuta de resolução para o Conselho e discussão do âmbito do governo e no Conselho; criação da estrutura de gestão do programa; apoio às entidades com atribuição legal de dar outorga a equipe de análise e concessão; a capacitação em todos os níveis e preparação dos documentos de apoio. Foi previsto para esta fase um período de 1 ano.



*Fase II : Outorga provisória:* Nesta fase os municípios passam a receber as outorgas provisória antes de iniciar o Plano. Esta fase envolverá um grande processo de esclarecimento a população e aos decisores municipais onde a ação do Ministério das Cidades e das entidades outorgantes envolverá eventos regionais por todo o país esclarecendo as bases do programa e as suas regras (período em função dos prazos das cidades. No total terá 6 anos).

*Fase III : Desenvolvimento dos Planos:* Acompanhamento e orientação dos PSAM junto as cidades e avaliação dos mesmos para renovação da outorga pós-plano. Esta fase deverá ter um efeito de demonstração fundamental no sentido criar um movimento pró-ativo dos municípios (período de 8 anos)

*Fase IV: Desenvolvimento das Obras:* Após os planos o desenvolvimento das obras e a implementação e fiscalização das medidas não-estruturais. Deverá ser desenvolvida metodologia de acompanhamento e orientação aos municípios deste processo (19 anos).

*Fase V : Renovação das outorgas:* Concluídas as obras o programa se encerrará e as entidades outorgantes absorverão a capacidade gerencial de fiscalização do cumprimento dos padrões dos efluentes externos as cidades e o cumprimento das medidas estruturais internas, como condicionantes a renovação das outorgas.

Pode-se observar claramente que existirão superposições entre estas fases ao longo do tempo, permitindo atualizar soluções, manuais, capacitação e utilizar os potenciais desenvolvimento tecnológicos associado.

*Plano de curto prazo:*

As atividades da fase I que representam as ações de curto prazo que devem mobilizar o programa. Para as outras fases não foi preparado um cronograma detalhe, pois depende das soluções que serão definidas ao longo da primeira fase.

Foram previstas as seguintes atividades principais:

*Desenvolvimento Institucional:* As atividades dentro deste componente são: (a) regulamentação da legislação de água; (b) mecanismos de indução nos financiamentos inter-institucionais;

*Capacitação:* As atividades de capacitação devem envolver vários atores: (a) técnicos que atuam ou venham a atuar no setor nos ministérios e agências; (b) Gestão de Águas Pluviais para decisores municipais.

*Apoio Técnico:* (a) Estudos de Avaliação; (b) Manuais e padrões; (c) Desenvolvimento de Estudos de base.

*Desenvolvimento de ações não-estruturais nos ministérios:* (a) estudo de viabilidade do seguro de inundações; (b) desenvolvimento de um programa de alerta de inundações.

O desenvolvimento institucional envolve as atividades que devem orientar os mecanismos que levam a implementação das medidas sustentáveis. Estas atividades nesta fase são: (a) regulamentação da lei das águas; (b) mecanismos de indução dentro dos ministérios

Regulamentação da lei das águas: A regulamentação da lei das águas deve ser planejada por um grupo inter-ministerial das entidades: Ministério das Cidades, Secretaria de Recursos Hídricos, Agência Nacional das Águas, Ministério da Saúde (FUNASA) e Ministério da Integração.

Neste grupo deve ser discutida e preparada uma minuta de regulamentação da lei das Águas de acordo com o proposto dentro deste Programa. Esta proposta deve estar em consonância com o Plano Nacional de Recursos Hídricos em elaboração no governo na Secretaria de Recursos Hídricos.

Recomendam-se as seguintes atividades: (1) Com base nos elementos do programa deve ser preparada uma primeira minuta para discussão dentro do grupo inter-ministerial; (2) Discutir dentro do grupo inter-ministerial até chegar a uma proposta acordada entre as entidades; (3) Apresentar a proposta a Câmara técnica do CNRH para discussão, avaliação, alterações e aprovação; (4) Encaminhar a proposta ao CNRH para avaliação, mudanças e aprovação.

Mecanismo de Indução nos ministérios: Atualmente existem vários programas e projetos dentro dos Ministérios de Meio Ambiente, Cidades, Saúde, entre outros relacionados com a sustentabilidade das cidades. Para que estes financiamentos tenham real efetividade dentro dos princípios do desenvolvimento sustentável das águas pluviais, como expresso no programa, é necessário que estes conceitos sejam internalizados na indução de seleção e análise dos projetos através do financiamento.

Neste sentido, propõem-se as seguintes atividades: (1) Identificação nos Ministérios dos programas que tenham relação com águas pluviais e possam ser utilizados de alguma forma para esta indução; (2) Prepa-

rar para cada um destes projetos uma orientação com o apoio e discussão com os gerentes destes projetos).

O programa de capacitação é essencial para o desenvolvimento do programa. Existem dois programas de capacitação que são:

- Treinamento de técnicos do governo federal e estadual para avaliação e tomada de decisão dentro dos programas de governo quanto as águas pluviais.
- Treinamento sobre Gestão de Águas Pluviais para decisores e profissionais que planejam e constroem nas cidades.

*Treinamento no Governo:* Existem três módulos de treinamento para formação de profissionais, descritos a seguir:

- *Módulo 1: Gestão Integrada de Águas Pluviais:* Trata de uma visão de conjunto da gestão de águas pluviais para decisores, planejadores e profissionais que atuam nas cidades. Este curso tem como meta mudar a forma como as águas pluviais impactam as cidades devido à ocupação inadequada do solo urbano através de projetos sustentáveis.
- *Módulo 2: Avaliação e manejo quantitativo das Águas pluviais:* é voltado para engenheiros e profissionais que atuam em projetos que envolvam o tema águas pluviais. O curso apresenta as técnicas e modelos utilizados nos projetos de obras de drenagem de águas pluviais e como algumas medidas alternativas podem ser projetadas para atender a gestão integrada.
- *Módulo 3: Manejo Sustentável das Águas Pluviais:* trata de avaliação e controle das águas pluviais nos diferentes estágios do desenvolvimento urbano, relacionada com impactos quantitativo e qualitativo da urbanização.

Os dois primeiros módulos foram desenvolvidos em curso voltado para CEF em novembro de 2004 e abril de 2005. O terceiro módulo pode ser planejado no futuro e os dois primeiros devem ser repetidos para as outras entidades de governo, ampliando a participação dos Estados.

Neste sentido é proposto o seguinte: (1) Estabelecer um calendário de cursos para serem ministrados ao longo de 2005 e 2006. Neste sentido é necessário mobilizar os setores de governo para sua participação; (2) Consolidar o material produzido dos módulos 1 e 2 para publicação e

disseminação nas entidades de governo e de apoio aos futuros cursos; (3) Preparar para o próximo ano o módulo 3, consolidando o material didático de conjunto para o programa de capacitação;

*Treinamento da Gestão de Águas Pluviais:* O treinamento de decisores e a sociedade sobre o assunto têm dois componentes principais:

1. Curso de acordo com o módulo 1 do item anterior. Este curso deveria ser realizado com a seguinte estratégia: (a) preparado e consolidado o material do módulo 1, o mesmo seria ministrado regionalmente (regiões do país), onde uma parte dos alunos deverão ser futuros professores deste curso em cada Estado (teriam compromisso de desenvolver e disseminar). Os cursos no futuro deveriam ser ministrados dentro do raio de ação de um grupo de Municípios através de Universidades Regionais ou Instituições de treinamento.
2. Palestras: Existe um grupo de decisores que dificilmente poderá participar de cursos, mas poderá participar de uma palestra. Portanto, junto com os três primeiros módulos sugerimos a consolidação do conteúdo de palestra a ser apresentada em diferentes eventos pelo Ministério das Cidades, juntamente com uma publicação resumida sobre o assunto.

O apoio técnico envolve a preparação de documentos que apóiem a implementação do programa de Desenvolvimento sustentável. Os identificados são:

1. Manual para preparação de Plano Diretor de Águas Pluviais
2. Manual de Drenagem urbana
3. Avaliação do funcionamento e dos custos relacionado com o funcionamento das detenções e retenções construídas no Brasil
4. Orientação para implementação de medidas não-estruturais nas cidades.

*Manual para Preparação de Plano Diretor de Águas Pluviais:* Uma das importantes metas do Programa é o de induzir as cidades à preparação do Plano Diretor de Águas Pluviais associado ao Plano Diretor urbano e o de Saneamento Ambiental.

Para que estes Planos possam ser induzidos e desenvolvidos dentro de bases sustentáveis é necessário o desenvolvimento de manuais que orientam os Estados e os municípios para a preparação dos mesmos.

Neste sentido sugerimos as seguintes etapas: (1) preparar um termo de referência dos principais itens a serem definidos no Manual; (2) Desenvolvimento do Manual; (3) Discussão dentro das entidades de governo.

*Manual de Drenagem Urbana:* O manual de drenagem urbana é um dos produtos dos Planos Diretores de Águas Pluviais, no entanto, existem vários elementos comuns destes manuais. Portanto, por questão de economia de escala é razoável de desenvolver um documento nacional que sirva de apoio a produção dos manuais locais.

As atividades propostas são as seguintes: (1) Identificação da itemização do Manual; (2) Adaptação e desenvolvimento do Manual; (3) Avaliação do Manual por consultores independentes e por entidades do governo.

*Avaliação das Detenções e Retenções existentes:* No Brasil e principalmente em São Paulo foram construídas várias detenções que estão em funcionamento. Como a tendência dos Planos será de aumentar o número de detenções e retenções é necessário conhecer quais os principais problemas e vantagens destes dispositivos existentes, custos de instalação e operação.

Neste sentido recomenda-se o seguinte: (1) elaboração de um termo de referência; (2) Levantamento das Detenções existentes nas principais cidades brasileiras: São Paulo, Rio de Janeiro, Belo Horizonte, Porto Alegre e algumas cidades do Nordeste: Maceió, Teresina, Natal. Este levantamento deve ser precedido por um questionário a ser preparado das informações desejadas; (3) Avaliar o funcionamento dos reservatórios ao longo do tempo e custos envolvidos; (4) Estabelecer padrões de custos relacionados com instalação e manutenção e recomendações para novos projetos, considerando a literatura internacional; (5) Gerar um cadastro nacional e padrão de questionário para sua atualização sistemática; (6) Tornar público os produtos resultantes. Orientação de Medidas Não-estruturais: As medidas não-estruturais geralmente não necessitam de grandes investimentos para sua implementação, no entanto necessita uma maior discussão pela comunidade. Neste sentido, existe um grupo pequeno de medidas não-estruturais que são importantes e podem ser documentadas para: (a) apoiar os municípios na sua elaboração, mesmo antes dos Planos para evitar os prejuízos do futuro; (b) servir de base as entidades de governo na indução; (c) educação da população sobre a necessidade de consciência do controle público das ações.

Neste sentido sugerimos as seguintes atividades: Preparar um termo de referência; Desenvolvimento do texto; Avaliação dentro das entidades de governo e de técnicos.

A principal medida não-estrutural é o seguro de inundações é um dos principais elementos potenciais para medida não-estrutural. Neste sentido é necessário avaliar da viabilidade de implementação do seguro dentro da realidade brasileira. Para isto sugerimos as seguintes atividades: (1) Elaboração de um termo de referência para o estudo de viabilidade; (2) Discussão do termo de referência dentro do governo; (3) Desenvolvimento do estudo de viabilidade; (4) Avaliação do estudo de viabilidade e da decisão de dar prosseguimento a sua implementação.

Desenvolvimento de um programa de alerta de Inundações: O programa de alerta de inundações envolve em princípios várias entidades como o Ministério de Infra-estrutura e o Sistema de Defesa Civil e a ANA que te atribuições para atuar na minimização das inundações. Propomos as seguintes atividades: (1) 1. Criar um grupo interministerial: ANA, Ministério de Integração e ANA; (2) Preparar um termo de referência para o programa; (3) Discutir e aprovar no grupo; (4) 4. Desenvolvimento das suas etapas.

Considerando o grupo interministerial sugerimos que a ANA tenha o papel de desenvolvimento e coordenação das atividades e sejam discutidos o desenvolvimento e financiamento das atividades.

## Referências

- CRUZ, M. 2004. Otimização do controle do escoamento na bacia hidrográfica urbana. Tese de doutorado. IPH – UFRGS.
- NAHB RESEARCH CENTER. 2004. Municipal Guide to Low Impact Development. Maryland. Disponível on-line em <http://www.lowimpactdevelopment.org>
- ROESNER, L.A; TRAINA, P. 1994. Overview of federal law and USEPA regulations for urban runoff. *Water Science & Technology* V29 n 1-2 p445-454
- SUDERSHA, 2002. Medidas não-estruturais. Plano Diretor de Drenagem Urbana da Região Metropolitana de Curitiba. CH2MHILL Engenharia do Brasil Lt.da
- TUCCI, C. E. M. (2002). Gerenciamento da Drenagem Urbana. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*. Volume 7, n.1.Jan/Mar, 5-27.

- TUCCI, C. E. M. (2003). Águas urbanas. In: Inundações urbanas da América do Sul GWP ABRH.
- TUCCI, C.E.M. (2005) Programa de Drenagem Sustentável: Apoio ao Desenvolvimento do Manejo das Águas Pluviais urbanas
- U.S. DEPARTMENT OF HOUSING AND URBAN DEVELOPMENT. 2003. The practice of Low Impact Development. 119p. Washington, D.C.. Disponível on-line em <<http://www.lowimpactdevelopment.org>>
- U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. 2000. Low Impact Development (LID): A Literature Review. 35p. Washington D.C.. Disponível on-line em <<ftp://lowimpactdevelopment.org/pub>>

## **Plano de Águas Pluviais**

*A gestão das águas pluviais dentro do município é realizada dentro do Plano de Águas Pluviais e deve estar subordinado ao Plano Diretor urbano das cidades*

O Plano de Águas Pluviais é o mecanismo de gerenciamento das inundações ribeirinhas e da drenagem urbana nas cidades. Este plano deve estar integrado aos diferentes planos de infraestrutura da cidade, principalmente os relacionados ao Saneamento Ambiental: Águas, esgoto, resíduo sólido e meio ambiente, e subordinado ao Plano Diretor Urbano que integra o conjunto de planejamento da cidade.

### **5.1 Interfaces entre os Planos**

Os principais aspectos relacionados com as interfaces dos Planos de Saneamento e Resíduos sólidos são os seguintes:

#### **5.1.1 Gestão**

A gestão dos serviços de águas urbanas, ou seja de água e saneamento básico, drenagem urbana e resíduos sólidos idealmente deveriam ser implementados por uma única estrutura municipal em função da sinergia e economia de escala dos serviços.

Em alguns países como o Brasil, os serviços de água e saneamento foram desenvolvidos ao longo do tempo por empresas Estaduais, enquanto que os outros serviços ficaram a nível municipal. Nos municípios onde isto ocorre dificilmente esta configuração poderá mudar em curto prazo, apesar de ser de atribuição do município a concessão dos serviços de água e saneamento. Neste caso, é necessário que os outros serviços sejam agregados numa única instituição e sejam definidos mecanismos institucionais de gestão.



**Saneamento e drenagem urbana:** Os cenários de gestão destes serviços variam de acordo com o cenário de cada cidade. Na América do Sul a tradição é de desenvolvimento de sistemas separadores de esgotamento sanitário e drenagem urbana, no entanto a realidade é muito diferente deste tipo de planejamento em função da desorganização institucional. Os principais cenários são os seguintes:

(a) *sem drenagem ou esgotamento sanitário:* este é o caso de países mais pobres ou cidades pobres em países da região. Quando a cidade é pequena e o solo com capacidade de absorção para o uso de fossas, os principais problemas estarão na drenagem urbana, com aumento das inundações e erosão do solo (por exemplo, algumas cidades do Paraguai e bairros de cidades pobres no Brasil e outros países da região).

Quando o solo é pouco permeável este cenário é semelhante ao do século 19, onde o esgoto escoava pelas ruas, junto com a drenagem, criando condições inadequadas de saúde.

(b) *com esgotamento sanitário e sem drenagem:* A capacidade de um sistema de esgoto sanitário é insuficiente para receber o esgoto pluvial que escoava pelas ruas. Os problemas maiores são o de aumento das inundações, tornando insustentável as cidades nos dias chuvosos. Em Barranquilla, Colômbia, quando chove as pessoas não podem sair a rua devido ao risco de morte. No entanto, a cidade tem cobertura completa de água e saneamento.

(c) *sem esgotamento sanitário e com drenagem:* Este é o caso freqüente no Brasil, onde a drenagem tem maior capacidade maior de transporte, escoava esgoto e drenagem. Este cenário permite levar o esgoto para longe das pessoas, mas o impacto ambiental sobre o sistema fluvial é alto e nos dias chuvosos o risco de proliferação de doenças é alto e no período seco, existe cheiro ruim pelas cidades. Neste caso, a gestão deve ser realizada de forma integrada já que existe uma forte integração entre os sistemas. Em cidades onde praticamente não existe rede de esgoto dificilmente a cidade irá desenvolver o sistema separador para toda a cidade no seu primeiro planejamento. Deverá ocorrer um período de transição entre o sistema misto e separador.

Exemplo disto foi realizado em Caxias do Sul (RS, Brasil) (IPH, 2003). A estratégia foi de na primeira fase do sistema implementar coletores de esgoto cloacal junto ao sistema de macrodrenagem para coletar o esgoto doméstico que chega pela drenagem secundária e primária, juntamente com o escoamento de estiagem. Este volume é transportado para a Estação de Tratamento. O excedente escoava para a macrodrenagem e é amortecida e escoada

pelos controles da drenagem urbana. Desta forma são dadas soluções para a qualidade e quantidade de água para jusante da cidade. Ao longo do tempo e de acordo com a capacidade de investimento, a cidade pode introduzir o separador pelo sistema secundário e primário (veja capítulo 4).

### **5.1.2 Drenagem urbana e Erosão e resíduos sólidos**

Esta interface tem os seguintes componentes:

- (a) *Erosão* desenvolvimento urbano acelera o escoamento gerando erosão em solos frágeis, gerando impactos significativos no ambiente urbano. A gestão deste problema está no treinamento de profissionais e na regulação dos novos empreendimentos para diminuir a energia do escoamento a jusante dos empreendimentos;
- (b) *Produção de resíduos sólidos*: os resíduos sólidos que chegam a drenagem produzem impactos ambientais a jusante e reduzem a capacidade do escoamento, aumentando a frequência das inundações. Quanto mais ineficiente for o sistema de coleta de resíduos de uma cidade, maior é o ônus para o sistema de drenagem. Portanto, é necessário desenvolver um sistema de eficiência que integre a drenagem e coleta dos resíduos e limpeza urbana. A grande produção de resíduos na drenagem ocorre principalmente após alguns dias sem chuva. Quando a chuva ocorre a carga é muito alta. Portanto, o planejamento da limpeza urbana antes dos dias chuvosos é uma prática fundamental para reduzir a quantidade de material sólido na drenagem.

### **5.1.3 Recuperação ambiental**

Todos os elementos do Plano de Saneamento Ambiental possuem relação direta com a conservação ambiental do ambiente urbano. Os efluentes e resíduos urbano contaminam a água e o solo, além de gerar degradação distribuída na cidade. O Plano ambiental da cidade está principalmente ligado ao Plano de Saneamento Ambiental aos seguintes aspectos :

- qualidade da água dos rios urbanos;
- áreas de degradação devido a erosão;
- controle das áreas de deposição de resíduos sólidos;
- contaminação dos aquíferos urbanos.

## 5.2 Estrutura

A estrutura do Plano Diretor de Drenagem Urbana é apresentada na figura 5.1 (Tucci, 2001). Os grandes grupos são:

- Política de Águas Pluviais
- Medidas: não-estruturais e estruturais
- Produtos
- Programas
- Informações.

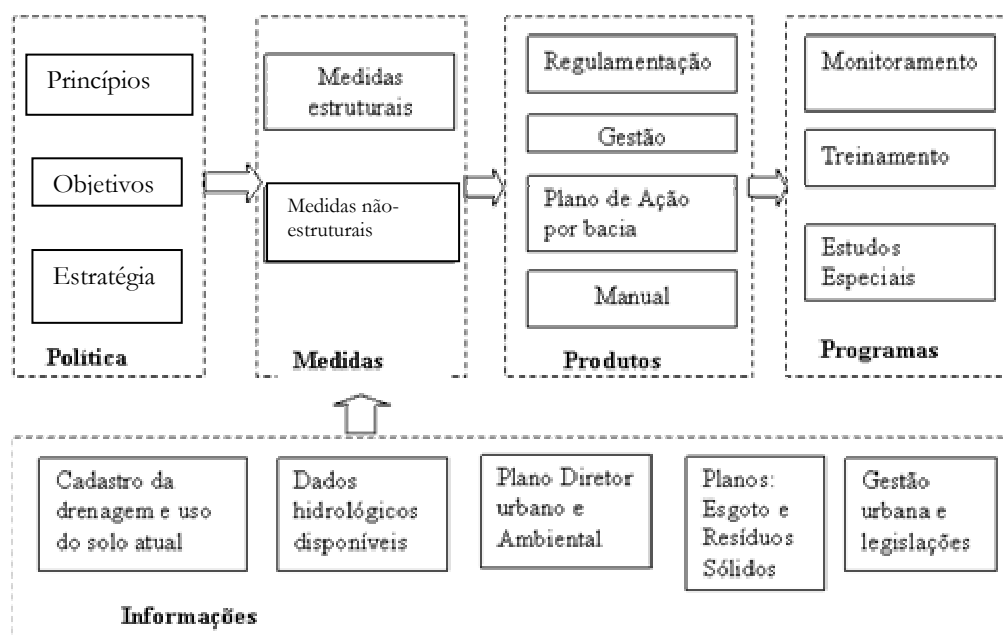


Figura 5.1 Estrutura do Plano de Águas Pluviais (adptado de Tucci, 2001)

Pode-se observar desta estrutura que existem um grupo de entradas ao Plano que são as informações básicas para o seu desenvolvimento que são: cadastro da rede pluvial (bacias hidrográficas e suas características físicas), dados hidrológicos (precipitação e vazão e sedimentos), Plano Diretor Urbano e Ambiental, Plano de Esgoto e Resíduos Sólidos e a Gestão urbana atual.

A política do Plano se baseia no seguinte:

- Princípios e objetivos do controle das águas pluviais;

- Estratégias de desenvolvimento do plano como a compatibilidade entre os Planos preparados para a cidade;
- Definição de cenários de desenvolvimento urbano e riscos para as inundações;

### 5.2.1 Princípios

Os princípios a seguir caracterizados visam evitar os problemas descritos no capítulo anterior. Estes princípios são essenciais para o bom desenvolvimento de um programa águas pluviais sustentáveis:

1. *Plano Diretor de Drenagem Urbana faz parte do Plano de Desenvolvimento Urbano e Ambiental da cidade.* A drenagem faz parte da infra-estrutura urbana, portanto deve ser planejada em conjunto dos outros sistemas, principalmente o plano de controle ambiental, esgotamento sanitário, disposição de material sólido e tráfego;
2. O escoamento durante os eventos chuvosos não pode ser ampliado pela ocupação da bacia, tanto num simples loteamento, como nas obras de macrodrenagem existentes no ambiente urbano. Isto se aplica a um simples aterro urbano, como a construção de pontes, rodovias, e à implementação dos espaços urbanos. *O princípio é de que cada usuário urbano não deve ampliar a cheia natural;*
3. Plano de controle da drenagem urbana deve contemplar as bacias hidrográficas sobre as quais a urbanização se desenvolve. As medidas não podem reduzir o impacto de uma área em detrimento de outra, ou seja, *os impactos de quaisquer medidas não devem ser transferidos.* Caso isso ocorra, deve-se prever uma medida mitigadora.
4. O Plano deve prever a *minimização do impacto ambiental devido ao escoamento pluvial* através da compatibilização com o planejamento do saneamento ambiental, controle do material sólido e a redução da carga poluente nas águas pluviais que escoam para o sistema fluvial interno e externo à cidade;
5. O Plano Diretor de Drenagem urbana, *na sua regulamentação, deve contemplar o planejamento das áreas a serem desenvolvidas e a densificação das áreas atualmente loteadas.* Depois que a bacia, ou parte dela, estiver ocupada, dificilmente o poder público terá condições de responsabilizar aqueles que estiverem ampliando a cheia. Portanto, se a ação pública não for realizada preventivamente através do ge-

renciamento, as conseqüências econômicas e sociais futuras serão muito maiores para todo o município;

6. Nas áreas ribeirinhas, o controle de enchentes é realizado através de medidas estruturais e não-estruturais, que dificilmente estão dissociadas. As medidas estruturais envolvem grande quantidade de recursos e resolvem somente problemas específicos e localizados. Isso não significa que esse tipo de medida seja totalmente descartável. A política de controle de enchentes, certamente, poderá chegar a soluções estruturais para alguns locais, mas dentro da visão de conjunto de toda a bacia, onde estas estão racionalmente integradas com outras medidas preventivas (não-estruturais) e compatibilizadas com o esperado desenvolvimento urbano;
7. O controle deve ser realizado considerando a bacia como um todo e não em trechos isolados;
8. *Os meios de implantação do controle de enchentes são o PDDUA, as Legislações Municipal /Estadual e o Manual de Drenagem.* O primeiro estabelece as linhas principais, as legislações controlam e o Manual orienta;
9. O controle permanente: *o controle de enchentes é um processo permanente*; não basta que se estabeleçam regulamentos e que se construam obras de proteção; é necessário estar atento as potenciais violações da legislação na expansão da ocupação do solo das áreas de risco. Portanto, recomenda-se que:
  - Nenhum espaço de risco seja desapropriado se não houver uma imediata ocupação pública que evite a sua invasão;
  - A comunidade tenha uma participação nos anseios, nos planos, na sua execução e na contínua obediência das medidas de controle de enchentes.
10. A educação: a educação de engenheiros, arquitetos, agrônomos e geólogos, entre outros profissionais, da população e de administradores públicos é essencial para que as decisões públicas sejam tomadas conscientemente por todos;
11. O custo da implantação das medidas estruturais e da operação e manutenção da drenagem urbana deve ser transferido aos proprietários dos lotes, proporcionalmente a sua área impermeável, que é a geradora de volume adicional, com relação as condições naturais;

12. O conjunto destes princípios trata o controle do escoamento urbano na fonte distribuindo as medidas para aqueles que produzem o aumento do escoamento e a contaminação das águas pluviais;
13. É essencial uma gestão eficiente na manutenção de drenagem e na fiscalização da regulamentação.

### **5.2.2 Objetivos do Plano**

O Plano Diretor de Drenagem Urbana tem o objetivo de criar os mecanismos de gestão da infra-estrutura urbana relacionado com o escoamento das águas pluviais e dos rios na área urbana. Este planejamento visa evitar perdas econômicas, e a melhorar as condições de saúde e meio ambiente da cidade, dentro de princípios econômicos, sociais e ambientais definidos pelo Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano e Ambiental da cidade

O Plano Diretor de Drenagem Urbana tem como meta buscar:

- Planejar a distribuição da água pluvial no tempo e no espaço, com base na tendência de ocupação urbana compatibilizando esse desenvolvimento e a infra-estrutura para evitar prejuízos econômicos de ambientais;
- Controlar a ocupação de áreas de risco de inundação através de regulamentação;
- Convivência com as enchentes nas áreas de baixo risco.

Os condicionamentos urbanos são resultados de vários fatores que não serão discutidos aqui, pois se parte do princípio que os mesmos foram definidos dentro âmbito do Plano Diretor de desenvolvimento Urbano e Ambiental. No entanto, devido a interferência que a ocupação do solo tem sobre a drenagem existem elementos do Plano de Drenagem que são utilizados para regulamentar os artigos do Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano e Ambiental.

### **5.2.3 Estratégias**

As estratégias podem ser estabelecidas considerando o desenvolvimento do Plano e controle ambiental:

**Quanto ao Desenvolvimento do Plano**

O Plano Diretor de Drenagem Urbana pode desenvolvido segundo duas estratégias básicas:

**Para as áreas não-ocupadas:** desenvolvimento de medidas não-estruturais relacionadas com a regulamentação da drenagem urbana e ocupação dos espaços de riscos, visando conter os impactos de futuros desenvolvimentos. Estas medidas buscam transferir o ônus do controle das alterações hidrológicas devida à urbanização para quem efetivamente produz as alterações;

**Para as áreas que estão ocupadas** o Plano desenvolve estudos específicos por macro-bacias urbanas visando planejar as medidas necessárias para o controle dos impactos dentro destas bacias, sem que as mesmas transfiram para jusante os impactos já existentes. Neste planejamento são priorizados os usos de armazenamento temporário através de detenções.

#### **Quanto ao controle ambiental:**

Com relação ao controles ambientais, caracterizados pela qualidade da água do escoamento pluvial, material sólido transportado e a contaminação da água subterrânea, as estratégias foram as seguintes:

1. Para as áreas onde não existe rede de esgoto cloacal ou existe grande quantidade de ligações de efluentes cloacais na rede pluvial, as medidas de controle priorizaram o controle quantitativo. Este tipo de medida utiliza a detenção apenas para o volume excedente da capacidade de drenagem atual, evitando que o escoamento em estiagem e o volume da primeira parte do hidrograma contamine as detenções. Estas áreas de armazenamento são mantidas a seco durante o ano e somente nos eventos com tempo de retorno acima de 2 anos são utilizadas. Em alguns casos foi necessário utilizar para riscos menores devido a baixa capacidade da rede existente.
2. Quando a rede cloacal estiver implementada, o Plano no seu segundo estágio, pode ser implementado, modificando-se o sistema de escoamento junto as detenções para que as mesmas possam também contribuir para o controle da qualidade da água do pluvial.
3. Para o controle da contaminação dos aquíferos e o controle de material sólido deverão ser criados programas de médio prazo vi-

sando a redução desta contaminação através de medidas distribuídas pela cidade.

#### **5.2.4 Cenários**

Devem-se considerar dois aspectos nos cenários de desenvolvimento do plano: (a) cenário de desenvolvimento urbano; (b) medidas de controle adotadas nos cenários. Os principais cenários identificados quanto ao desenvolvimento urbano neste estudo são os seguintes:

*I – Atual*: Condições de urbanização atual, obtida de acordo com estimativas demográficas e imagens de satélite;

*II - Cenário atual + PDDUA*: Este cenário envolve a ocupação atual para as partes da bacia onde o Plano foi superado na sua previsão, enquanto que para as áreas em que o Plano não foi superado.

*III - Cenário de ocupação máxima*: Este cenário envolve a ocupação máxima de acordo com o que vem sendo observado em diferentes partes da cidade que se encontram neste estágio. Este cenário representa a situação que ocorrerá se o disciplinamento do solo não for obedecido.

O primeiro cenário representa o estágio próximo do atual, o segundo é o cenário previsto pelo PDDUA da cidade. O terceiro cenário representa a situação mais realista, pois aceita o desenvolvimento realizado fora do Plano Diretor e para o restante das áreas ainda em desenvolvimento o Plano previsto.

Quanto as medidas de controle adotadas em cada cenário do Plano deve-se considerar o seguinte:

- (1) O planejamento para o cenário atual com as medidas não-estruturais pressupõe que as mesmas passam a funcionar na data em que foram realizados os levantamentos da bacia. O que não é verdade, já que haverá um tempo entre a finalização destes estudos e a aprovação da regulamentação;
- (2) É possível adotar o cenário futuro como o patamar superior de intervenções, pois pressupõe as medidas de regulamentação poderão demorar a serem adotadas; quando a regulamentação proposta for aprovada as dimensões das alternativas serão revistas em nível de projeto;



Geralmente esta segunda alternativa é escolhida. O risco de 10 anos de tempo de retorno pode ser escolhido para o dimensionamento da macrodrenagem, pois geralmente à partir deste risco não é economicamente viável as medidas de controle estruturais. Os maiores custos dos prejuízos das inundações encontram-se nas inundações com alto risco (baixo tempo de retorno), devido a sua grande frequência de ocorrência. Desta forma o benefício de uso de medidas de controle para riscos baixos (alto tempo de retorno) podem representar grandes custos e não apresentam um benefício médio alto. O risco deve ser avaliado em função do risco de vida e dos prejuízos econômicos. O uso de do risco de 10 anos é freqüente, mas deve ser avaliado em cada caso.

## **5.3 Medidas**

### **5.3.1 Medidas não-estruturais**

As principais medidas não-estruturais são as seguintes:

- legislação e regulamentação sobre o aumento da vazão devido a urbanização e a ocupação da área de risco de áreas ribeirinhas;
- gestão dos serviços urbanos relacionados com as águas pluviais.

#### **Legislação e regulamentação**

**Regulamentação da drenagem urbana:** uso de regulamentação para controle da drenagem urbana para os locais a serem desenvolvidos tanto em nível de novos loteamentos como na densificação, que envolve a aprovação de obras em áreas já loteadas. A avaliação do Plano Diretor de Porto Alegre e o o decreto apresentado em anexo A é um exemplo de regulamentação que pode ser utilizada no Plano Diretor urbano.

**Regulamentação das áreas ribeirinhas:** este componente trata da definição das zonas de passagem da inundação e das zonas de regulamentação e o uso de definições discutidas no capítulo 2, visando evitar a densificação da população em áreas de risco de inundação ribeirinha.

## **Gestão das Águas Pluviais**

A gestão trata das instituições dentro do município que deverão implementar o Plano Diretor de Águas Pluviais nos seus diferentes aspectos. Esta implementação envolve: desenvolvimento do Plano de Ações, fiscalização dos serviços, avaliação e fiscalização da implementação de loteamentos e obras relacionadas com a legislação e regulamentação além da implementação dos programas previstos.

O cenário Ideal é de que a gestão de águas pluviais, esgoto cloacal e resíduos sólidos estejam dentro da mesma entidade, pois existe economia de escala e hierarquia definida nos serviços de interface entre estes componentes. No entanto, a realidade é que Água e Esgoto sejam administradas por uma entidade e Águas Pluviais e Resíduos Sólidos por outras duas, além da própria ocupação do solo. Isto tende a gerar conflitos dentro da cidade na medida que não houver uma coordenação técnica e política.

### **5.3.2 Medidas estruturais**

Como descrito na estratégia, as medidas estruturais envolvendo Plano de cada sub-bacia urbana destacada da sua geografia de fluxo, além de medidas estruturais de proteção contra inundações ribeirinhas, quando for o caso. Na figura 5.2 são apresentadas as etapas de Plano de cada bacia.

A definição das bacias urbanas é a primeira ação do Plano quanto as medidas estruturais. Esta definição se baseia numa sub-divisão de rios que escoam para um grande sistema (lago, rio, reservatório ou estuário), os escoam para fora dos limites da cidade. Considerando que para cada sub-bacia será elaborado um Plano, admite-se que as mesmas não deverão exportar impactos, mas representam características de interferências entre si através do escoamento. Uma mesma macro-bacia urbana pode ser sub-dividida quando isto for necessário em função do seu desenvolvimento e tamanho.

#### **Plano de Bacia**

A estrutura do estudo de alternativa do Plano é apresentada na figura 5.3. Observa-se que existem três grandes grupos: Dados de En-

trada, Planos das Bacias e elaboração dos Produtos. Após o Plano são desenvolvimentos até a implementação das obras.

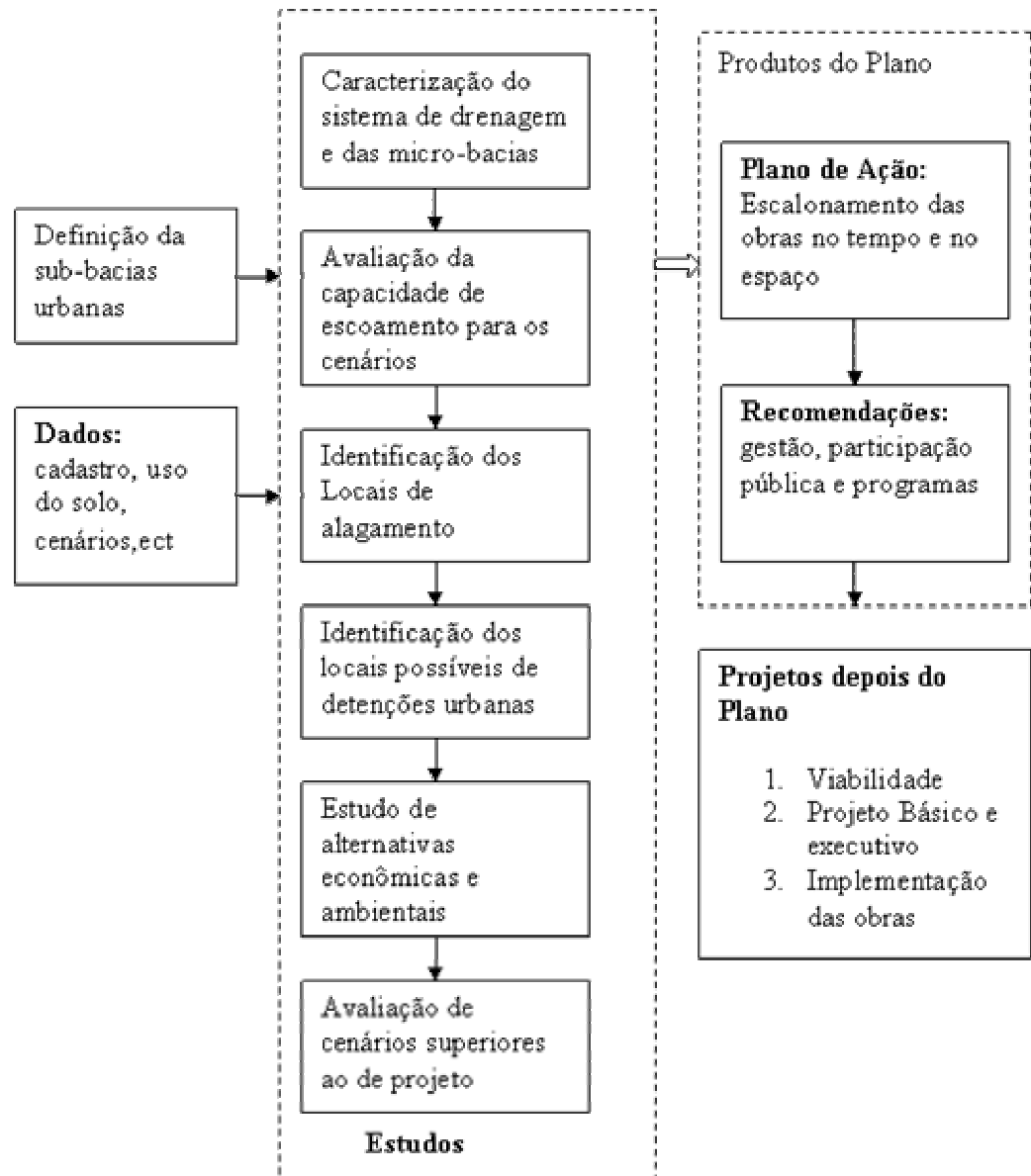


Figura 5.2 Medidas Estruturais

**Dados de Entrada:** O conjunto dos dados de entrada, necessário ao estudo de alternativas estruturais do Plano são: (a) Características urbanas atuais características físicas: como geologia, tipo de solo e topografia; (c) Hidrologia: dados de precipitação para o estabelecimento da curva de Intensidade-Duração-freqüência e eventos com precipitação e vazão para ajuste dos modelos hidrológicos; (d) topografia, preferencialmente em escala 1:2.000, cadastro da rede pluvial construída: seção do conduto ou galeria, posicionamento em planta e cota do topo ou fundo da galeria e condições da galeria quanto a assoreamento ou obstruções; seções naturais representativas dos rios da área urbana de interesse; (e) localização da rede cloacal, se existe, informações sobre o sistema de coleta de lixo e limpeza urbana.

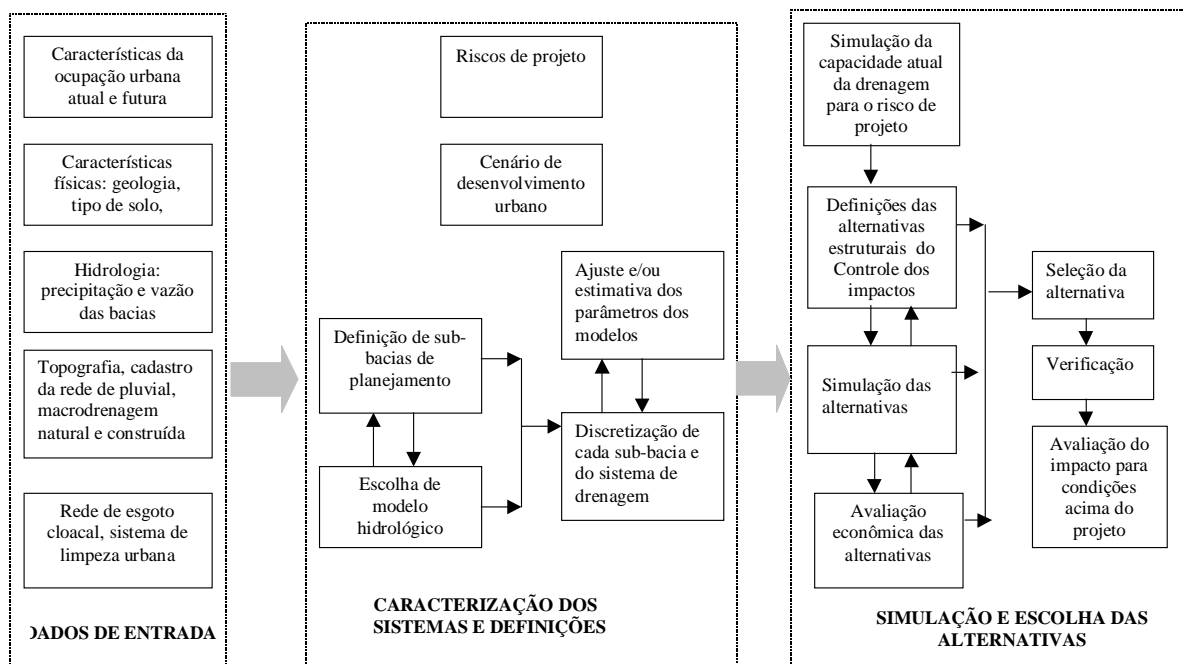


Figura 5.3 Etapas do Plano por Bacia.

**Caracterização dos Sistemas e Definições:** Este módulo envolve as definições de projeto relacionados com: (a) os cenários de análise: atual e futuro; (b) risco de projeto: tempo de retorno escolhido para o projeto;

(c) sub-divisão das bacias cidades onde serão realizados os Planos e a sub-divisão interna das mesmas para simulação; (d) ajuste do modelo ou definição dos parâmetros de simulação (maiores detalhes no item seguinte).

Os cenários de análise quantitativos de uma bacia urbana:

*Cenário atual* (capacidade do sistema existente): este é o cenário em que o sistema existente é analisado para enchentes com o risco de planejamento, fundamentalmente para os cenários de ocupação atual e curto prazo; e eventualmente com a futura ocupação do Plano Diretor urbano;

*Cenário futuro* (estudo de alternativas de controle): neste cenário são pesquisadas as condições combinadas de controle do sistema para os horizontes de planejamento, com base nas medidas de controle e de aumento de capacidade de escoamento.

**Simulação e escolha das alternativas:** As etapas desta análise envolvem:

*Capacidade de escoamento existente:* análise das condições de escoamento na rede, determinando a capacidade de escoamento em cada seção definida para a rede de drenagem discretizada na bacia. Nesta fase, já é possível identificar os locais críticos devido a variabilidade da capacidade de escoamento que geralmente ocorre nas áreas urbanas. É comum existirem seções com menor capacidade de escoamento a jusante do que montante de um trecho.

*Simulação das condições atuais de urbanização e futura* da rede de escoamento pluvial para os cenários atuais e futuros. Nesta simulação é possível identificar as seções ou trechos críticos onde a capacidade existente não permite escoar a vazão simulada. Geralmente esta simulação é realizada com um modelo a superfície livre, desprezando-se os processos que ocorrem sob-pressão.

*Definição das alternativas de controle:* formulação das possíveis medidas de controle através do seguinte: (a) identificação em campo dos possíveis locais para reservatórios de detenção; (b) avaliação dos volumes disponíveis em função das cotas; (c) trechos que podem ser ampliados e seus condicionantes.

Para determinar a combinação ótima o planejador poderá verificar as alternativas disponíveis: (a) redução do escoamento superficial através de medidas na fonte (geralmente para futuros cenários); (b) detenções em locais em que existem áreas disponíveis ou mesmo em locais enterrados quando as abertas não forem possíveis; (c) ampliação da capacidade de escoamento do sistema.

*Simulação das alternativas:* simulação das alternativas selecionadas, verificando a sua eficiência para os diferentes cenários. São definidos vários lay-out com as modificações físicas que controlem as inundações existentes. A melhor solução econômica é a que produz o menor custo de implantação. Isto pode ser realizado através de tentativa, variando algumas combinações ou através de um modelo de otimização em combinação com um modelo hidrológico.

*Avaliação econômica das alternativas :* levantamento dos custos de implementação das alternativas e escolha da alternativa de projeto e plano de ação para implementação das medidas

*Verificação do projeto* com modelo hidrodinâmico que considera o escoamento sob pressão. Verificação para condições do risco maior que o adotado no projeto: Considerando que tenha sido escolhido, por exemplo, o tempo de retorno de 10 anos para o projeto, é necessário que o Plano avalie os impactos que ocorrerá na drenagem para riscos maiores que 10 anos, propondo medidas preventivas para os diferentes locais mais críticos.

**Características dos modelos :** O modelos utilizados em bacias urbanas geralmente possuem dois módulos: (a) módulo bacia: que calcula a partir da precipitação a vazão resultante que entram nas galerias e canais; (b) módulo de rios, canais, galerias e reservatórios: que transporta o escoamento através de canais, galerias e detenções.

Geralmente os algoritmos utilizados variam com o grau de detalhamento com que se deseja representar a bacia e suas características, e com os efeitos do escoamento que devem ser levados em consideração. Dois tipos de modelos podem ser utilizados:

(a) *modelo hidrológico:* neste caso pode somente possuir o módulo bacia ou também o módulo canal (galeria). O módulo bacia é representado por funções hidrológicas de determinação do escoamento que chega nos condutos da macrodrenagem através de algoritmos como: perdas iniciais,

infiltração e a propagação do escoamento superficial. Alguns exemplos de modelos que tratam somente deste módulo são IPH II (Tucci et al., 1981); SCS (SCS, 1975). O modelo IPHS1 (Tucci et al. 1988) inclui algoritmos de bacia e de canal.

No módulo galeria o fluxo é transportado por equações do tipo armazenamento como Muskingum ou modificações deste como Muskingum-Cunge. Nas detenções é utilizado o método de Puls.

Este tipo de modelo identifica os locais de inundação por vazões superiores a capacidade de escoamento, ou pelas cotas, com auxílio de curvas chave das seções.

*(b) modelo hidrológico-hidráulico:* Geralmente este tipo de modelo é utilizado somente existem condições de remanso e escoamento sob pressão, produzindo inundações em diferentes pontos, que necessitam de soluções específicas, ou quando a interação na rede é muito grande. Neste caso o módulo galeria é representado pelas equações dinâmicas (Saint Venant) para superfície livre ou para escoamento sob pressão com a sua adaptação com fenda de Preissmann. Este modelo também é utilizado na verificação de projeto e para avaliar do impacto para riscos superiores ao de projeto.

**Elementos da simulação :** A simulação de alternativas é uma das principais etapas na elaboração de um Plano Diretor de Drenagem Urbana. As simulações a serem realizadas abrangem situações como:

- diferentes fenômenos, como transformações chuva-vazão e escoamento em canais;
- no escoamento em canais podem aparecer diferentes regimes de escoamento: livre, sob pressão, sub-crítico, super-crítico; assim como combinações e transições entre eles;
- simulação de estruturas especiais como reservatórios de detenção ou casas de bombas;
- diferentes cenários de ocupação da bacia, referidos à urbanização presente e futura; ou diferentes padrões de ocupação da bacia.

A essa variedade de condições se somam outros condicionantes:

- a necessidade de representar interações na rede de condutos (e. g. efeitos de remanso);

- os parâmetros dos métodos devem poder ser estimados com base em características físicas da bacia ou da rede de drenagem, seja por ausência de dados para ajuste ou para simular situações futuras;
- como os PDDRU geralmente só analisam a macrodrenagem, os projetos de detalhe e de microdrenagem são desenvolvidos em separado. Há, portanto, necessidade de que os parâmetros e critérios adotados nesses projetos sejam coerentes com os utilizados no plano. Isso implica em métodos e critérios acessíveis e de fácil generalização, contemplando até sua inclusão em produtos tais como manuais de drenagem.
- para poder generalizar os critérios, parâmetros e metodologias utilizados, é conveniente evitar o uso de metodologias específicas de softwares, sobre as quais não é fácil achar referências, exemplos ou outros tipos de auxílio para a aplicação (os métodos não deveriam ser software-dependentes).
- o volume de simulações a serem realizadas é muito grande. Considerando a rede de macrodrenagem a partir dos condutos de 1 m de diâmetro ou equivalentes, o tamanho médio das “bacias elementares” fica entre 0,5 e 1 km<sup>2</sup>. As metodologias adotadas não devem ser excessivamente trabalhosas, particularmente quanto à determinação de seus parâmetros.

Na escolha das metodologias de simulação e de estimativa de parâmetros é fundamental respeitar as condições de aplicabilidade de cada uma de elas, tanto em termos gerais como nas condições específicas de utilização. A maioria das técnicas comuns de simulação chuva-vazão, e de parâmetros dessa transformação, tem sido desenvolvidos para áreas rurais. O uso dessas técnicas deve ser evitado, ou utilizadas quando possam ser introduzidas correções para levar em conta condições de bacias urbanas. Por exemplo, a fórmula de Kirpich para tempo de concentração deve ser aplicada com as correções devido a urbanização (Tucci, 1993).

O uso de parâmetros da literatura não constitui uma validação, embora com frequência seja inevitável por falta de dados de chuva, e particularmente de vazão. Uma alternativa seria calibrar os modelos para alguma bacia semelhante, e realizar a transposição de parâmetros. Tanto nesse caso, como na usual de ausência de quaisquer dados, deve-se usar a calibração qualitativa (Cunge, 1980). Essa técnica consiste em comparar os resultados das simulações com a localização e grandeza aparente dos



alagamentos que ocorrem na bacia, assim como outros fenômenos tais como condições de escoamento em canais abertos, água saindo de poços de visita ou bocas de lobo, etc.. Esse procedimento é mais fácil de usar com tormentas de baixa recorrência, 1 ou 2 anos, já que essas são lembradas com mais facilidade pela população. Outra alternativa é o uso de das cheias históricas de grande impacto, que são melhor identificadas pela população, desde que se disponha dos registros de chuva.

As informações da prefeitura sobre problemas causados pelos alagamentos são muito valiosas nesse sentido; usualmente os profissionais da área de drenagem pluvial é capaz de fazer um mapeamento pelo menos razoável dos locais e frequência dos alagamentos. Outra fonte interessante de informações são as autoridades de trânsito, já que a circulação de veículos é afetada pelos alagamentos.

*Chuva de projeto:* O método mais comum é o dos blocos alternados, a partir de curvas intensidade-duração-frequência. As outras alternativas são o hietograma triangular do SCS, muito semelhante ao anterior, ou métodos baseados na distribuição temporal das chuvas da região em estudo, como Huff ou Pilgrim e Cordery.

Quanto à duração da chuva, deve-se adotar como referência o tempo de concentração de toda a bacia, e não das sub-bacias em que ela foi dividida. Uma duração entre 1,5 e 2 vezes o tempo de concentração é aconselhável. Cabe lembrar que as medidas de controle como reservatórios de retenção são usualmente previstas; e para seu cálculo o volume escoado é tão importante quanto a vazão de pico. Mesmo no cálculo de medidas em pequena escala (e. g. reservatórios de lote), deve, no mínimo, ser feita uma verificação para chuvas de longa duração.

Deve-se destacar que utilizando a chuva de projeto e um modelo chuva-vazão (situação usual por falta de dados de vazão), o risco da vazão obtida não é necessariamente o mesmo da precipitação. Portanto, o risco relacionado é o da precipitação e não da vazão.

*Chuva efetiva:* A transformação chuva-vazão tem duas componentes, a determinação da precipitação efetiva (parcela da chuva que se transforma em escoamento); e a propagação dessa água até a entrada na rede de macrodrenagem. Para a representação do primeiro fenômeno as alternativas mais frequentes são:

- método da curva número do SCS (CN): é um parâmetro extensamente tabulado, o que facilita a estimativa, e podem ser cons-

- truídas relações com a área impermeável
- curva de infiltração (Horton, Philips, etc.), combinada com estimativas da área impermeável

O coeficiente de escoamento, embora comum e muito tabelado, tem o inconveniente de não levar em conta a variação temporal da chuva, e não é adequado para cálculo de volumes. Além disso, o coeficiente de escoamento (e o método racional) são aplicáveis a áreas pequenas; embora as bacias elementares utilizadas na elaboração do plano sejam da ordem de 0,5 a 1 km<sup>2</sup>, as bacias sobre as quais se trabalha são maiores.

As metodologias de separação de escoamento tomam como referência, para determinação dos parâmetros, o tipo de solo. Em áreas urbanizadas ou em processo de urbanização, a camada superior do solo é removida, coberta ou muito alterada. Portanto, deve-se ter muito cuidado ao utilizar mapas de solos, que normalmente descrevem somente a situação natural de pré-urbanização. Neste caso a estimativa da área impermeável é fundamental.

Campana e Tucci (1999) apresentaram uma curva que relaciona a densidade habitacional e a área impermeável de uma bacia com base em dados de Curitiba, São Paulo e Porto Alegre. Esta curva permite estudar cenários futuros de ocupação urbana, já que a densidade habitacional é utilizada como indicativo de Planejamento Urbano.

**Escoamento Superficial:** Uma vez calculado quanto da chuva se transforma em escoamento, essa água deve ser propagada até sua entrada na rede de macrodrenagem. Existem na literatura diversos métodos para esse cálculo. Os métodos podem depender da disponibilidade de dados como Clark, Nash, Onda Cinemática, entre outros métodos conceituais lineares e não-lineares (Tucci, 1998) e; os métodos baseados no hidrograma sintético (lineares).

Os hidrogramas unitários sintéticos, como Snyder ou o triangular do SCS foram desenvolvidos em geral para áreas rurais, condição muito diferente da aplicação em uma área urbana. SCS (1975) adaptou para áreas urbanas. A regionalização de parâmetros destes modelos tem sido apresentada para vários locais, destacando-se Diaz e Tucci (1989) que regionalizaram o HU para bacias urbanas brasileiras.

Métodos como Clark e Nash são mais adequados, já que seus parâmetros podem ser estimados levando em conta as características da área simulada. Germano et al (1998) regionalizou os parâmetros do mo-

delo Clark utilizado no IPH-II para bacias urbanas brasileiras.

O uso da onda cinemática depende de um detalhamento muito grande do sistema físico que nem sempre é possível estabelecer. Além disso, a representatividade depende das reais condições do escoamento e da escala de aplicação. Por exemplo, uma sarjeta poderia ser considerada como um canal triangular; mas na realidade costuma ter carros estacionados, assim como sacolas de lixo e outros objetos semelhantes, que fazem com que o escoamento pareça mais uma cascata de reservatórios que um canal. Por outro lado, quando a unidade de representação é um quarteirão ou mais, a definição da “rugosidade” ou a “declividade” de um conjunto de telhado, pátios, gramados, etc. considerados em conjunto requer um ajuste com dados observados.

**Escoamento na rede de macrodrenagem:** No escoamento de uma rede de macrodrenagem e das alternativas de controle, a interação (tanto física como operacional) entre as componentes da rede é fundamental. O desenvolvimento de alternativas eficientes de solução, e a garantia de seu adequado funcionamento dependem de levar em conta as interações existentes. Geralmente existem duas classes de modelos como citado anteriormente: modelos hidrológicos e hidrodinâmicos. O primeiro tipo de modelo é utilizado para a fase de estudo de alternativas e o segundo para verificação da alternativa escolhida e para cenários superiores ao de projeto. Alguns dos principais aspectos relacionados com os modelos de escoamento são destacados a seguir:

- Com o objetivo de representar mais fielmente o funcionamento da rede de drenagem, os modelos de rede usualmente limitam à entrada do escoamento superficial nos condutos da rede, em função da capacidade do conduto e das condições de escoamento, tal qual acontece na realidade. A maioria dos modelos armazena o escoamento excedente, usualmente no ponto em que este chega à rede, para eventualmente liberá-lo depois, a medida que as condições nos condutos permitem o escoamento. A água que escoar para fora da rede por excesso de pressão é tratada de maneira semelhante, usualmente sendo acumulada no ponto de saída. Na realidade essa é só uma das possibilidades, existem vários comportamentos possíveis. A água poderia escoar pelas ruas até algum outro ponto, e entrar na rede ou se acumular, ou continuar escoando para jusante,

dependendo da topografia e das condições nos condutos em cada ponto, em cada instante de tempo.

Esse problema não é crítico nas simulações de projeto, já que a rede deve ser capaz de absorver em cada ponto a água que chega. Já nas simulações para calibração, quantitativa ou qualitativa, e simulações de diagnóstico em geral, é importante não confundir os pontos de insuficiência da rede com pontos onde acontecerá alagamento.

- a suposição implícita de que todo o escoamento gerado na bacia chega até a rede de macrodrenagem, ou seja, a microdrenagem funciona perfeitamente. Este tipo de consideração poder resultar em locais críticos que não registram alagamentos. Isso não é um erro, a insuficiência da rede realmente acontece, mas está sendo mascarada pelos condicionantes da microdrenagem.

Os casos mencionados acima mostram que a análise da simulação não pode se limitar aos resultados do modelo da rede de drenagem. É indispensável contemplar na análise ao comportamento da água na superfície da bacia, até ela chegar à macrodrenagem, e que a água faria em caso de não conseguir entrar na rede

**Análise de alternativas:** Na procura de alternativas de solução é fundamental a análise integrada da bacia. Isso permite levar em conta interações entre as componentes da rede de macrodrenagem e facilita a otimização da solução. As limitações das medidas de controle em uma região podem ser compensadas em outra, ou medidas de controle caras em uma região podem ser descartadas em favor de medidas mais baratas em outra região.

O critério da não ampliação da cheia natural para as medidas de controle é os princípios fundamentais de um PDDU. No entanto, como no Brasil e na maioria de América Latina estes planos são desenvolvidos a posteriori da ocupação urbana a ampliação já ocorreu em grande parte da rede e somente em novos empreendimentos imobiliários é possível estabelecer o controle através de legislação municipal. Desta forma, na análise de alternativa o controle passa a ser de não transferir para jusante os condicionantes já existente, utilizando-se a capacidade instalada de drenagem, que de alguma forma é superior a capacidade da bacia natural. Portanto, no estudo de alternativa o mais importante é a avaliação do conjunto de uma bacia onde as soluções internas evitam as inundações

internas e mantém a vazão de projeto menor ou igual as condições existentes ao projeto.

**Medidas de controle na fonte:** Na definição das medidas de controle e avaliação de seus impactos, um caso que merece atenção especial é o das medidas de controle na fonte aplicadas a escala de lote, como micro-reservatórios de retenção ou superfícies de infiltração. As questões que devem dificultar essa avaliação são: (a) incerteza quanto a sua implantação e operação e manutenção; (b) qual seu impacto real sobre o escoamento, e qual a sustentabilidade temporal desse impacto.

A efetiva implementação de medidas de controle em escala de lote depende da instalação e adequado funcionamento de um número muito alto de componentes individuais. Esses componentes freqüentemente dependem dos moradores, e não do poder público, que fica limitado a exigir a instalação, e fiscalizar o funcionamento. Por comparação, no caso de medidas de controle que operam em escalas maiores (reservatórios em loteamentos, bairros, etc.) a implantação depende de decisões administrativas do poder público, elas são mais claramente individualizadas, e a responsabilidade pela sua operação e manutenção é bem definida.

À incerteza sobre a implementação e funcionamento deve-se somar a incerteza com relação ao impacto efetivo das medidas de controle na fonte. Em outras palavras, se elas forem adequadamente implementadas e operadas, como quantificar seu impacto real sobre a geração de escoamento. Não existe um monitoramento adequado avaliando este impacto em nível de bacia hidrográfica. Parece pouco provável que se consiga anular completamente o impacto da urbanização, já que dificilmente o controle na fonte consiga atingir 100 % da superfície da bacia (por exemplo, ruas e passeios). Além disso, algumas medidas, como as orientadas à infiltração podem ser bastante vulneráveis ao tempo.

As dúvidas mencionadas não devem impedir a adoção desse tipo de medidas. Sugerem, em cambio, dois enfoques: (a) não depender exclusivamente dessas medidas para gerenciamento da drenagem urbana; e (b) iniciar programas de monitoramento de médio e longo prazo, para obter dados que permitam adotar esse tipo de enfoque nas situações adequadas.

**Reservatórios de retenção:** Por se tratar de planejamento, não são apresentados elementos de projeto executivo das estruturas propostas. No caso dos reservatórios de retenção, isso não significa que ao definir a

localização e estimar o volume necessário é suficiente, exceto quando as informações não permitem outra coisa, ou o estudo é muito preliminar. Além da estimativa do volume necessário, é necessário verificar a viabilidade do funcionamento. Isso significa verificar especialmente as condições de entrada e saída do reservatório, as cotas de operação, e as estruturas hidráulicas. Pode acontecer a situação em que um reservatório tenha um volume adequado, mas não exista uma estrutura hidráulica que consiga o efeito desejado de amortecimento do hidrograma; ou exista o volume e as estruturas hidráulicas, mas as cotas não permitam o funcionamento adequado.

**Dimensionamento de condutos e canais:** A prática usual no Brasil é utilizar um coeficiente de rugosidade de Manning de 0,013 para o cálculo dos condutos e galerias. Esse valor é adequado para tubos de concreto novos, mas não é representativo das reais condições de funcionamento de condutos reais. Depois de poucos anos de funcionamento, as condições do tubo e das juntas começam a se deteriorar, e, mesmo em redes com boas condições de manutenção, é inevitável a presença de sedimentos e outros materiais que aumentam a resistência ao escoamento. Em função disso, um  $n$  de Manning de 0,015 ou 0,016 é bem mais adequado para simular as condições de funcionamento da rede de drenagem durante sua vida útil.

Outra questão a ser destacada é que, contra o recomendado em todos os manuais de drenagem urbano, as perdas de carga singulares (poços de visita, curvas, etc.) são costumeiramente ignoradas. Na simulação de uma rede de macrodrenagem isso pode ser justificado em função da escala de trabalho, mas deve ser compensado usando técnicas como comprimento equivalente, ou aumentando o  $n$  de Manning a valores da ordem de 0,02. Em cálculos de maior grau de detalhe, ou em projetos localizados as perdas singulares devem ser obrigatoriamente contempladas, e a linha de energia verificada. Outra questão importante é que nem sempre é possível ou eficiente adotar o critério de escoamento a superfície livre.

Um fenômeno importante, quando são analisadas situações no qual o escoamento passa a ser sob pressão, é a diminuição na condutância hidráulica. Isto ocorre quando a água atinge o topo de um conduto, especialmente em condutos retangulares.

## Avaliação econômica de alternativas

Um dos principais elementos envolvidos na comparação de alternativas é o custo de implementação. Como se trata da etapa de planejamento, não são elaborados projetos detalhados das componentes de cada alternativa. As estimativas de custos devem então ser elaboradas a partir de definições esquemáticas das soluções. No caso das ampliações, duas são as situações mais frequentes: (a) é possível definir no plano qual vai ser o traçado e as características (tamanho e forma do conduto) da ampliação; (b) pode-se *avaliar* que a ampliação é viável, mas a escolha de um traçado e de características requer trabalhos fora do escopo de planejamento.

No primeiro caso, o custo pode ser estimado mediante um cálculo que leve em conta as condições específicas de construção da ampliação; ou pode-se adotar um custo por unidade de comprimento, a partir de tabelas, geralmente disponíveis nas prefeituras, de custo médio de construção em função do tamanho e tipo de conduto.

Na situação em que não é possível (ou *justificado*) definir o traçado e características da ampliação, uma possibilidade é elaborar, a partir da tabela de custo por unidade de comprimento, uma curva de custo em função da capacidade  $K$  (condutância hidráulica) adicional necessária. Na figura 7.4 é apresentada uma dessas curvas, utilizada no PDDRU de Caxias do Sul (IPH, 2001). Com essa metodologia, o trabalho na simulação de alternativas é simples, já que a ampliação é definida a partir do aumento da capacidade do conduto existente. Alguns condicionantes adicionais para a ampliação, como níveis de água máximos para evitar efeitos de remanso, ou condicionantes específicos em certos trechos ou locais, também podem, e na medida do possível devem, ser contemplados.

Na escolha de qual metodologia de cálculo de custo utilizar, deve ser levada em conta a importância da obra considerada dentro do plano, e seu peso no custo total.

Uma questão adicional que deve ser levada em conta na avaliação dos custos de cada alternativa é a transferência de impactos para jusante do sistema que está sendo estudado. Solucionar os problemas causados por essa transferência gera custos, que devem ser somados aos custos gerados dentro do sistema objeto do planejamento.

Cruz (2004) estimou o custo de várias bacias de Porto Alegre e estabeleceu uma equação em função da população e da área de drenagem

$$Ct = 0,536 \text{ POP} - 5,233 A \quad (5.1)$$

onde Ct é o custo em milhões de reais; A é a área da bacia em km<sup>2</sup> e Pop é a população em milhares de habitantes. Esta equação não deve ser utilizada para bacias com baixa densidade de ocupação (< 20 hab/ha). A equação foi obtida com R<sup>2</sup>=0,98, mas com apenas 8 bacias.

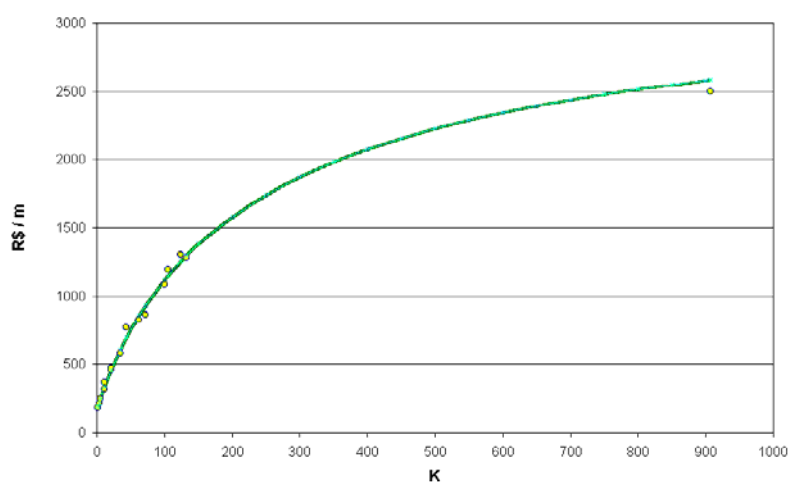


Figura 5.4 Curva custo médio de construção em função da condutância hidráulica (Villanueva e Tucci, 2003)

Estima-se a um intervalo de 1 a 4 milhões de R\$/km<sup>2</sup>, entre áreas pouco densas no intervalo inferior e mais densa no intervalo superior.

### Viabilidade Econômica

A avaliação econômica: possui dois componentes neste plano: (a) avaliação econômica das alternativas, como citado acima, onde é o avaliado o custo das obras; (b) mecanismos de financiamento das obras e da operação da drenagem destacado no final deste capítulo.

A viabilidade econômica do Desenvolvimento das Medidas Estruturais e o Controle ao longo do tempo da drenagem urbana depende da capacidade econômica de implementação das medidas

Os custos relacionados com a drenagem urbana e controle de inundações das áreas urbanas abrangem:



- Custos de implementação das obras de macrodrenagem e outras medidas estruturais para controle dos impactos existentes na cidade. Estes custos estão distribuídos pelas bacias hidrográficas através do Plano de cada bacia. Além disso, este custo ocorre quando da sua implementação;
- Custos de operação do sistema de drenagem existente da rede de pluvial, que envolve a limpeza, manutenção dos condutos e solução de problemas localizados. Este custo deve ser distribuído pelos usuários da rede de drenagem.

O princípio básico do financiamento das ações da drenagem urbana são o de distribuir os custos de acordo com as áreas impermeáveis não controladas da propriedade. Na drenagem urbana, quem aumenta o volume de escoamento superficial é responsável pelas inundações e deveria pagar pelo acréscimo do impacto. O fator fundamental do aumento do volume é a área impermeável. A distribuição dos custos da implantação da drenagem proposta neste Plano é baseada no seguinte:

Obras de controle: Para as obras de controle planejadas em cada bacia, os custos de sua implantação devem ser distribuídos dentro de cada bacia de acordo com a área impermeável de cada propriedade, a partir de uma taxa total cobrada pelo período estimado de implantação da mesma ou através de financiamento. Desta forma, a população das bacias onde a impermeabilização é maior e, portanto, com condições mais críticas de drenagem deverão pagar quantias maiores.

**Operação e manutenção:** O custo referente à operação e manutenção da rede de drenagem urbana pode ser cobrado: (a) como parte do orçamento geral do município, sem uma cobrança específica dos usuários; (b) através de uma taxa fixa para cada propriedade, sem distinção de área impermeável; (c) com base na área impermeável de cada propriedade. Esta última alternativa é a mais justa sobre vários aspectos, pois quem utiliza mais o sistema deve pagar proporcionalmente ao volume que gera de escoamento.

A principal dificuldade no processo de cobrança está na estimativa real da área impermeável de cada propriedade. Neste sentido, pode ser utilizado o seguinte procedimento:

1. Utilizar a área construída de cada propriedade projetada para o plano da área do terreno como a área impermeável. Este valor não

- é o real , pois o espaço impermeabilizado tende a ser maior em função dos pavimentos.
2. Estabelecer um programa de avaliação da área impermeável com base em imagem de satélite e verificação por amostragem através de visita local.

Rateio dos custos deve considerar:

1. Para cada bacia e para a cidade, a estimativa da área total impermeabilizada e o custo total da intervenção ou da operação e manutenção;
2. O cálculo do custo de operação e manutenção calculado com base no custo de operação total da cidade, pois as diferenças geográficas não são significativas e a separação de custo operacional por bacia é mais complexo. No anexo B é apresentada a metodologia de rateio de custo para as áreas não- controladas baseado no volume de escoamento gerado em cada superfície

## **5.4 Produtos**

Os produtos do Plano são

- Regulamentação do Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano e Ambiental nos artigos relacionados com a drenagem urbana;
- Plano de Ação: controle das bacias hidrográficas urbanas da cidade;
- Proposta de gestão para a cidade;
- Manual de Drenagem

O primeiro item foi discutido anteriormente. As atividades do Plano de Ação são destacadas a seguir. A proposta de gestão envolve a avaliação da administração atual e uma proposta de funcionamento considerando: a implementação do Plano, fiscalização das obras, aprovação de projetos considerando a nova regulamentação, operação e manutenção da rede de drenagem e áreas de risco e fiscalização do conjunto das atividades.

No plano de ação são definidos os seguintes:

- Gestão da Implementação do plano: envolve a definição das entidades que complementam as ações previstas;
- Financiamento: é o mecanismo de financiamento proposto para as ações do plano e recuperação de custos;
- Desenvolvimento: corresponde ao sequenciamento de ações no tempo e espaço relacionadas com o plano de cada sub-bacia.

O manual de drenagem é o documento que deverá orientar as atividades de planejadores e projetistas na cidade quanto ao desenvolvimento da drenagem e inundações ribeirinhas. deve ser um documento de apoio.

## **5.5 Programas**

Os programas são os estudos complementares de médio e longo prazo que são recomendados no Plano visando melhorar as deficiências encontradas na elaboração do Plano desenvolvido. Os programas identificados nesta fase do Plano estão apresentados no capítulo 4 deste volume e se destacam no seguinte:

- Programa de monitoramento;
- Estudos complementares necessários ao aprimoramento do Plano;
- Manutenção;
- Fiscalização;
- Educação.

Os programas dentro do PDDrU foram previstos como atividades de médio e longo prazo necessárias para a melhoria do planejamento da drenagem urbana cada cidade.

Dentro deste contexto, podem ser previstos programas relacionados com o monitoramento de dados necessários ao planejamento e estudos complementares, manutenção e educação. A fiscalização deve ser incorporado na gestão. As seguir apresentados exemplos de programas.

### **5.5.1 Programa de Monitoramento**

O planejamento do controle quantitativo e qualitativo da drenagem urbana passa pelo conhecimento do comportamento dos processos relacionados com a drenagem pluvial.

A quantidade de dados hidrológicos e ambientais é reduzida e o planejamento nesta etapa foi realizado com base em informações secundárias, o que tende a apresentar maiores incertezas quanto a tomada de decisão na escolha de alternativas.

O programa de Sistema de Informações deve buscar disponibilizar informações para a gestão do desenvolvimento urbano, articulando produtores e usuários e estabelecendo critérios que garantam a qualidade das informações produzidas.

O programa de monitoramento proposto neste plano tem os seguintes componentes:

- Monitoramento de bacias representativas da cidade;
- Monitoramento das áreas impermeáveis;
- Monitoramento de material sólido na drenagem.

### **Monitoramento de bacias representativas da cidade**

Avaliar a rede hidrológica estabelecida. As informações existentes geralmente são esparsas e limitadas e não obedecem necessariamente os interesses do planejamento da drenagem urbana na cidade.

**Justificativa:** Para determinação das vazões nas bacias urbanas são utilizados modelos hidrológicos que possuem parâmetros que são estimados com base em dados observados de precipitação e vazão ou estimados através de informações de literatura. Os estudos realizados utilizaram algumas das informações pré-existentes na cidade, no entanto observou-se a necessidade de uma amostra mais representativa e com um período de observação mais prolongado. Em todas as cidades brasileiras não existem dados de qualidade da água dos pluviais. Estas informações são importantes para conhecer o nível de poluição resultante deste escoamento, as cargas dos diferentes componentes, visando estabelecer medidas de controle adequadas.

**Objetivos:** Os objetivos do programa são de aumentar a informação de precipitação, vazão, parâmetros de qualidade da água de algumas bacias representativas do desenvolvimento urbano de Porto Alegre e acompanhar qualquer alteração do seu comportamento frente ao planejamento previsto.

**Metodologia:** Para o desenvolvimento deste programa recomendamos o seguinte:

- Levantamento e revisão das informações existentes sobre variáveis hidrológicas e de parâmetros de qualidade da água;
- Para os mesmos locais identificar os principais indicadores de ocupação urbana para os mesmos períodos dos dados coletados;
- Preparar um plano de complementação da rede existente;
- Criar um banco de dados para receber as informações existentes e coletadas;
- Implementar a rede prevista e torná-la operacional.

### **Monitoramento de áreas impermeáveis**

O desenvolvimento urbano da cidade é dinâmico e o monitoramento da densificação urbana visa a avaliação deste processo sobre o impacto na infra-estrutura da cidade. Em estudos hidrológicos desenvolvidos nos últimos anos com dados de cidades brasileiras, incluindo Porto Alegre, Campana e Tucci (1994) apresentaram uma relação bem definida entre a densificação urbana e as áreas impermeáveis (veja Manual de Drenagem Urbana). Portanto, o aumento da densificação tem relação direta com o aumento da impermeabilização do solo, que é a causa principal do aumento das vazões da drenagem pluvial.

**Justificativa:** Durante a realização do Plano foram utilizados para o cenário de futuro desenvolvimento a previsão de densificação prevista no Plano Diretor Urbano e obtido da relação citada anteriormente, as áreas impermeáveis previstas para estes cenários. Considerando que estes cenários podem se afastar da previsão é necessário acompanhar a alteração efetiva da impermeabilização nas bacias planejadas.

**Objetivo:** Acompanhar a variação das áreas impermeáveis das bacias hidrográficas na cidade de Porto Alegre, verificando alterações das condições de planejamento.

**Metodologia:** Este programa pode ser estabelecido com base no seguinte:

- Obter anualmente imagem de satélite da cidade;
- Para cada uma das bacias da cidade determinação sistemática das áreas impermeáveis;

- Verificar se estão dentro dos cenários previstos no PDDUA;
- Sempre que houver novos levantamentos populacionais, atualizar a relação densidade x área impermeável. Ajustar esta relação para áreas comerciais e industriais.

### **Monitoramento de resíduos sólidos na drenagem**

Existem grandes incertezas quanto à quantidade de material sólido que chega ao sistema de drenagem. A avaliação destas informações é muito limitada no Brasil. Geralmente, é conhecido a quantidade de material sólido coletado em cada área de coleta, mas não se conhece quanto efetivamente chega à drenagem. Os números podem chegar a diferenças de magnitude significativas.

**Justificativa:** Os estudos de drenagem urbana partem dos princípios que um conduto tem capacidade de transportar a vazão que chega no seu trecho de montante e não é possível estimar quanto deste conduto estará entupido em função da produção de material sólido. Desta forma, muitos alagamentos que ocorrem são devidos, não à falta de capacidade projetada do conduto hidráulico, mas por causa de obstruções provocadas pelo material sólido. Para que seja possível atuar sobre este problema é necessário conhecer melhor como os componentes da produção e transporte deste material ocorrem em bacias urbanas.

**Objetivos:** Quantificar a quantidade de material sólido que chega à drenagem pluvial, como base para implantação de medidas mitigadoras.

**Metodologia:** Para quantificar os componentes que envolvem a produção e transporte do material sólido é necessário definir uma ou mais áreas de amostra. A metodologia prevista é a seguinte:

- Definir as metas de um programa de estimativa dos componentes do processo de geração e transporte de material sólido para a drenagem;
- Escolher uma ou mais áreas representativas para amostragem;
- Definir os componentes;
- Quantificar os componentes para as áreas amostradas por um período suficientemente representativo;

- Propor medidas mitigadoras para a redução dos entupimentos

**Revisão do Cadastro do sistema de drenagem:** O sistema de drenagem atual foi cadastrado baseado na determinação da profundidade do conduto e seu diâmetro. A cota foi obtida com base na topografia disponível do local cadastrado em plantas existentes na cidade. Devido à variabilidade de levantamentos existentes na cidade observaram-se incompatibilidades no uso conjunto das informações.

**Justificativa:** O erro existente pode comprometer o dimensionamento das obras e o estudo de alternativas. Na fase de projeto, é essencial que o cadastro esteja adequadamente determinado.

**Objetivo:** Revisar o cadastro de condutos pluviais da cidade

**Metodologia:** O levantamento deve buscar estabelecer a topografia através de um mesmo referencial através do uso de GPS, verificando a cota atual com a cota obtida em campo. A base de análise devem ser os locais identificados com problemas nos estudos de simulação realizados.

### **5.5.2 Estudos complementares**

Durante os estudos foram identificadas necessidades de estudos complementares para aprimoramento do planejamento da drenagem urbana na cidade. Estes estudos buscam criar informações para a melhoria do futuro planejamento e projeto das águas pluviais na cidade.

Os estudos destacados são os seguintes:

- Avaliação econômica dos riscos;
- Revisão dos parâmetros hidrológicos;
- Metodologia para estimativa da qualidade da água pluvial;
- Dispositivos para retenção do material sólido nas detenções;
- Verificação das condições de projeto dos dispositivos de controle da fonte

### **Avaliação econômica dos riscos**

O projeto da drenagem urbana tem sido realizado com base em riscos adotados na literatura, que nem sempre se justificam de acordo

com os elementos locais. O risco de um projeto (tempo de retorno) pode ser escolhido com base em elementos sociais e/ou econômicos. O método econômico tradicional prioriza a relação entre o benefício obtido pela obra (redução dos prejuízos das inundações) e o custo da construção das obras de proteção. Este procedimento nem sempre retrata a verdade local, na medida que em certas áreas o benefício será mínimo quando a população é de baixa renda. Desta forma, existem outros métodos econômicos como a *valoração da propriedade* com base na redução da ocorrência da inundação ou a *vontade de pagar* do proprietário.

**Justificativa** Dificilmente estes métodos são aplicados a cada projeto numa cidade, automaticamente são adotados riscos padrões de planejamento e projeto, já que este estudo requer o levantamento de um conjunto de dados para cada local, representando um custo significativo dentro de um projeto. Torna-se necessário no entanto, verificar se o risco adotado de 10 anos para o controle da macrodrenagem da cidade representa adequadamente os cenários econômicos.

**Objetivo:** O objetivo deste estudo é o de avaliar pelos métodos econômicos disponíveis o risco adotado para projeto na cidade.

**Metodologia:** A metodologia prevista é a seguinte:

- Definição dos procedimentos econômicos a serem adotados e metodologia específica de amostragem;
- Definição de critérios para amostragem das áreas que serão utilizadas no estudo;
- Escolha das áreas em estudo, preferencialmente bacias hidrográficas da cidade;
- Desenvolvimento do estudo econômico para cada área da cidade;
- Análise da variabilidade dos resultados e o impacto do planejamento desenvolvido com base nos resultados obtidos.

### **Revisão dos parâmetros hidrológicos**

O planejamento e o projeto das áreas estudadas foram elaborados com a utilização do modelo SCS (Soil Conservation Service), que possui dois parâmetros básicos relacionados com a separação do escoamento e áreas impermeáveis e com o deslocamento do escoamento na bacia. Es-



tes parâmetros que caracterizam a vazão máxima de um determinado local em função das características físicas do solo, cobertura e áreas impermeáveis.

**Justificativa:** A estimativa destes parâmetros foram realizadas com base em dados existentes e limitados. Com a coleta de dados hidrológicos das bacias previstos no programa de monitoramento e aqueles que estão sendo implementados em programas recentes, será possível verificar a relação entre os parâmetros e as características das bacias, reduzindo as incertezas das estimativas.

**Objetivo:** O objetivo deste estudo é o de atualizar a relação entre os parâmetros do modelo utilizado e os tipos de solo, cobertura, características da drenagem e área impermeável.

**Metodologia:** As etapas da metodologia previstas são:

- Seleção dos eventos das bacias com dados disponíveis na cidade e do programa de monitoramento previsto;
- Determinação para a mesma época das características físicas da bacia;
- Determinação dos parâmetros com base nos dados observados de precipitação e vazão;
- Verificação das relações existentes e sua adaptação, caso seja necessário.

### **Metodologia para estimativa da qualidade da água pluvial**

Não existe nenhuma metodologia de estimativa desenvolvida para a estimativa da qualidade de água pluvial com base em dados da realidade urbana brasileira. As estimativas são realizadas com base em dados de parâmetros de qualidade da água de cidades americanas ou européias com realidade de desenvolvimento diferente dos condicionantes brasileiros.

**Justificativa:** Considerando as limitações destacadas no item anterior, observa-se para se possa obter estimativas consistentes da qualidade da água da drenagem pluvial são necessários métodos que se baseiem em dados da realidade das bacias, dentro dos seus condicionantes urbanos.

**Objetivos:** Desenvolver metodologia para a estimativa da qualidade de água pluvial com base em dados de bacias . Os dados seriam os obtidos dentro do programa de monitoramento destacado no item anterior.

**Metodologia:** A metodologia proposta consiste no seguinte:

- Análise e seleção dos dados de qualidade da água monitorados segundo programa do item anterior e outros obtidos dentro da cidade;
- Avaliação da variabilidade temporal e espacial dos parâmetros de qualidade da água associados as práticas de limpeza urbana, sistema de saneamento e outros fatores que influenciam os parâmetros;
- Definição de modelo e metodologia adequada para a estimativa em diferentes níveis da qualidade da água.

### **Dispositivos de retenção de resíduos sólidos em detenções**

O plano desenvolvido previu o uso de detenções para amortecimento do escoamento em áreas urbanas, visando conter a ampliação das inundações. As detenções serão locais onde poderão ficar retidos os volumes de material sólido das bacias drenadas. No projeto destes dispositivos é necessário definir estratégias de retenção do lixo, sem obstruir o escoamento e produzir inundações na vizinhança.

**Justificativa:** existem várias alternativas para o projeto de detenções, devido as condições de alta produção de material sólido grande parte deverá ser coletada antes de obstruir o escoamento da macrodrenagem. Neste sentido, é importante utilizar as detenções como locais concentrados de retirada do lixo. Para tanto, é necessário projetar dispositivos que trabalhem com o máximo de eficiência neste sentido.

**Objetivos:** Estudar dispositivos de retenção de material sólido associado aos projetos de retenção.

**Metodologia:** Os procedimentos propostos são os seguintes:

- Identificação e análise dos dispositivos existentes para retenção de material sólido;

- Seleção de um grupo de alternativas pré-existentes e propostas para estudo experimental;
- Desenvolver modelo reduzido para ensaiar a eficiência dos dispositivos selecionados.
- Preparar manual de apoio ao projeto com base na avaliação do funcionamento experimental dos dispositivos.

### **Verificação dos dispositivos de controle**

Na literatura existem vários dispositivos de controle. A experiência de funcionamento destes dispositivos foi documentada em vários países. No entanto no Brasil não existe experiência sobre assunto. Estes elementos podem apresentar variações de comportamento de acordo com as características de uso, produção de material sólido, clima, entre outros fatores.

**Justificativa:** na busca de maior eficiência quantitativa e ambiental do funcionamento dos dispositivos de controle da drenagem urbana é necessário que uma amostra dos mesmos sejam avaliados ao longo do tempo, para identificar o seu funcionamento e as correções potenciais de futuros projetos.

**Objetivos:** Avaliar o funcionamento dos dispositivos de controle implantados na cidade com o advento deste Plano.

**Metodologia:** As etapas da metodologia propostas são:

- Cadastrar todos os dispositivos de controle tais como: pavimento permeáveis, detenções e retenções e áreas de infiltração. Para este cadastro devem ser definidas as informações básicas para um banco de dados;
- Por amostragem dos dispositivos existentes e pelo acompanhamento dos profissionais de fiscalização, realizar anualmente uma avaliação da eficiência dos dispositivos. Neste caso, serão definidos os critérios de avaliação e os elementos a serem obtidos dos dispositivos selecionados.
- Com base, em pelo uma amostra representativa e funcionamento de um período de 3 a 5 anos, serão revistas recomenda-

ções preparadas no Manual de Drenagem Urbana com relação a construção dos dispositivos. Estas avaliações devem ser mantidas por um período que o projeto identifique que foram esgotados os aprimoramentos.

### **Programa de manutenção:**

O programa de manutenção é essencial para permitir que as obras previstas tornem-se efetivas ao longo do tempo. Neste sentido, como recomendado no capítulo anterior, a prefeitura deveria criar um grupo gerencial de manutenção das detenções construídas dentro das seguintes visões

- Drenagem urbana;
- Controle dos resíduos sólidos;
- Proteção ambiental;
- Paisagismo e recreação urbana.

A longo tempo serão também construídas detenções privadas, que neste caso serão operadas pelos seus proprietários, mas a experiência dos Estados Unidos e França tem mostrado que com o passar do tempo o empreendedor privado não faz a manutenção e a tendência é que o poder público faça. Nesta situação, o custo é pago pelo empreendedor com o aumento da taxa operacionalizada.

**Justificativa:** A falta de manutenção e retirada de material sólido das detenções pode implicar em: perda da eficiência, propagar doenças e deterioração ambiental.

**Objetivo:** Manter o sistema de drenagem operando de acordo com sua capacidade projetada ao longo do tempo.

### **Metodologia:**

1. Criar um grupo gerencial para manutenção dos sistemas em construção no município;
2. Treinar equipe de manutenção;
3. Estabelecer programa preventivo de apoio relacionado com resíduos sólidos, com apoio comunitário;
4. Programação das ações de limpeza das detenções nos períodos chuvosos;

5. Sistematizar a quantificação do volume gerado e sua relação com programas preventivos.

### **Programa de Educação**

A falta de conhecimento quanto aos impactos da urbanização na drenagem é muito grande, tanto no ambiente técnico como na população em geral. Isto dificulta a tomada de decisão num ambiente como Porto Alegre, onde a população participa diretamente das decisões de investimento da cidade.

**Justificativa:** A viabilização deste Plano depende de aceitação por parte da população e técnicos, independentemente da regulamentação. Portanto, é necessário que todos tenham as informações adequadas para que a gestão seja viável.

#### **Objetivos:**

- Transmitir conceitos sobre o impacto da urbanização na drenagem urbana para população, engenheiros e arquitetos;
- Treinar técnicos da prefeitura e da iniciativa privada no projeto de técnicas de controle da drenagem urbana.

#### **Metodologia:**

1. Campanha de divulgação para a população através da mídia impressa e televisão;
2. Palestras nas entidades de classe – arquitetos, engenheiros, construtores, etc;
3. Palestras nas assembleias do orçamento participativo;
4. Cursos de treinamento de curta duração para projetistas e técnicos da prefeitura sobre drenagem urbana.

### **REFERÊNCIAS**

IPH, 2000. Plano Diretor de Drenagem Urbana de Porto Alegre. Volume III – Bacia do Arroio do Areia. Porto Alegre, RS.

IPH, 2001. Plano Diretor de Drenagem Urbana de Caxias do Sul.

SCS, 1975. *Urban hydrology for Small Watersheds*. Washington. U.S. Dept. Agr. Technical Release n.55.

- TUCCI, C.E.M.; ORDONEZ, J.S.; SIMÕES, M.L.,1981. Modelo Matemático Precipitação-Vazão IPH II Alguns Resultados. *Anais IV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*. ABRH Fortaleza.
- TUCCI, C.E.M.; 1997. Plano Diretor de Drenagem Urbana: Princípios e Concepção. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*. ABRH. Vol. 2, nº 2.
- TUCCI, C.E.M., Zamanillo, E.A, Pasinato, H.D. 1989. *Sistema de Simulação Precipitação-Vazão IPHS 1*. Porto Alegre: UFRGS - Curso de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental.
- TUCCI, C. E. M., 1993. *Hidrologia Ciência e Aplicação*. Porto Alegre: Ed. da Universidade: ARBH: EDUSP, 943p.
- TUCCI, C.E.M. 1998. *Modelos Hidrológicos*. Ed. da Universidade/UFRGS/ABRH. Porto Alegre. 669p.
- TUCCI, C. E. M.; PORTO, R. L. 2001. Storm hydrology and urban drainage. In: Tucci, C. Humid Tropics Urban Drainage, capítulo 4. UNESCO.
- URBONAS, B., STAHRÉ, P., 1993. *Stormwater Best Management Practices and Detention*. Englewood Cliffs, New Jersey, 440p.

## Estudos de Caso

*Os exemplos permitem entender os problemas e as soluções adaptadas a cada realidade..*

**N**este capítulo é apresentada uma amostra de estudos de caso que ilustram os aspectos de inundação e os estudos relacionados com os mesmos. Permitem avaliar a complexidade e as alternativas de solução encontrada dentro destas realidades.

### 6.1 Inundações ribeirinhas em Estrela (RS)

A cidade de Estrela, Rio Grande do Sul, Brasil (~ 28,3 mil habitantes) localiza-se nas margens do rio Taquari, numa bacia da ordem de 25.000 km<sup>2</sup>, com variações de níveis de inundação que chegam em casos extremos até 18 m num único dia. Uma parte da área próxima da cidade e nas margens do rio não é ocupada devido ao referido risco, mas áreas onde o risco tem frequência menor são ocupadas. Em 1979, quando estava em elaboração o Plano Diretor Urbano da cidade foi verificada a necessidade de preparar um zoneamento de áreas de inundações para que fosse incluído no referido Plano. Rezende e Tucci (1979) desenvolveram o estudo técnico considerando a probabilidade de inundação na cidade e propuseram limites para ocupação urbana na cidade. Foram definidas as seguintes áreas: (a) limite da área de regulamentação de inundação 26,00 m; (b) entre 24,00 e 26,00 área que pode ser construída, condicionada a pilotis acima de 26,00 m; (b) área abaixo de 24,00 de reserva permanente (estabelecido em 1981).

Para evitar invasão e recuperação das áreas de inundações já ocupadas a Prefeitura, em 1983, por lei municipal (n.1790) estabeleceu que a área de inundação poderia ser trocada por maior índice urbanístico. O termos da lei municipal é o seguinte (PME, 1983):

“ .....

art 1º Autoriza o Poder Executivo Municipal a facultar a construção de prédios com finalidade comercial, residencial ou mista, acima dos índices urbanísticos permitidos pela Lei do Plano Diretor, desde que:

Parágrafo 1: Seja transferida ao uso público para a área verde ou de uso institucional, uma área de terrenos na mesma zona e com superfície equivalente a 4/10 da área construída excedente à permitida no local.

Parágrafo 2 – Quando for transferida ao uso público a área de terreno situado nas áreas de preservação permanente, ou de preservação paisagísticas, o valor será equivalente ao de área construída excedente a permitida no local e esta área deverá estar na mesma zona, e se não houver, na zona limreira mais próxima do local. “

A regulamentação indica que áreas de inundação fazem parte das áreas preservação permanente, como especificado no Plano Diretor e abaixo de 24,0 m.

Este tipo de política permite manter valor econômico para as áreas de restrição e permitindo uma gestão das áreas de risco. O resultado deste tipo de planejamento mostrou uma redução dos prejuízos de inundações ano longo do tempo. Nos últimos 26 anos ocorreram 7 inundações acima de 24,0 m e 3 acima de 26,0 m.

## **6.2 Inundações ribeirinhas e energia em União da Vitória/Porto União.**

O município de União da Vitória, pólo socioeconômico da região sul do Estado do Paraná, tem 52.000 habitantes e faz divisa com o município de Porto União - SC, com 36.000 habitantes. Suas fronteiras são delimitadas apenas pela malha da Rede Ferroviária Federal, sendo conhecidas como as "Cidades Gêmeas do Vale do Iguaçu".

Nos idos de 1842 (figura 6.1), as expedições exploradoras dos Campos de Guarapuava, a partir dos Campos Gerais, acabaram por descobrir os campos de Palmas. Para encurtar o caminho a Curitiba, foi aberta uma picada, utilizada pelas tropas de gado para chegar ao vau do Iguaçu. Ao longo dela, com o passar do tempo, foram surgindo núcleos populacionais, a exemplo do que ocorria nas margens do rio. Em 1882, com o vapor Cruzeiro, o povoamento teve grande impulso. Em 1909, uma Estrada de Ferro ligou a localidade de Porto União da Vitória com o restante do país, impulsionando seu crescimento, e tornando-o importante entroncamento ferroviário.

Até 1917, a cidade era uma só, mas em consequência da Guerra do Contestado foi desmembrada em duas: Porto União que passou a pertencer ao Estado de Santa Catarina e União da Vitória, que continuou no Estado do Paraná.



No início da década dos '80 foi construída a Usina de Foz do Areia, 100 km a jusante das cidades. Com a construção da barragem foi criado um lago que influencia os níveis do rio por um longo trecho à montante.

### 6.2.1 Inundações

As cidades de União da Vitória e Porto União se desenvolveram nas margens do rio Iguaçu, onde só aconteceram enchentes pequenas ou médias por um período razoavelmente longo (1935 a 1982). Essa baixa frequência, que também ocorreu em bacias vizinhas como a do rio Itajaí-Açu, induziu a população a ocupar a área de risco da planície de inundação.

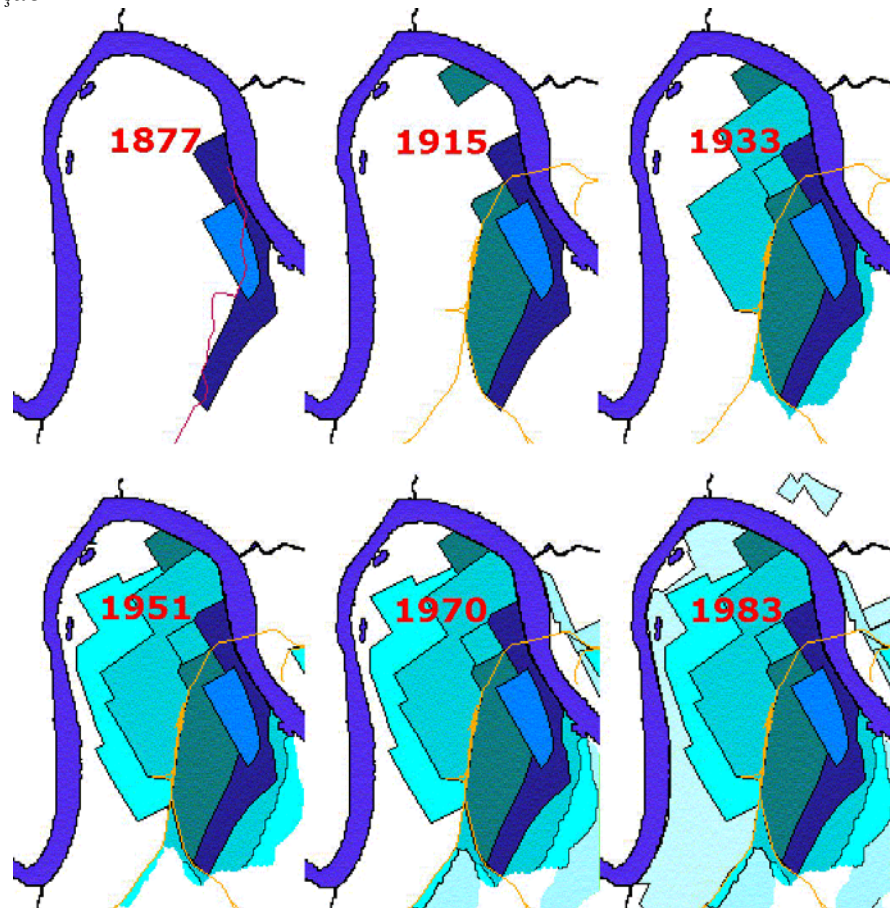


Figura 6.1: Evolução das cidades, e ocupação da planície de inundação.

Em 1983 as cidades sofreram uma enchente de significativo impacto, com prejuízos econômicos (figura 2.3) que redundaram em grandes dificuldades para a população e para as empresas industriais e comerciais locais, algumas das quais nunca se recuperaram, e outras ainda hoje se ressentem daquelas perdas, incapacitadas de realizar investimentos indispensáveis à sua modernização. Essa enchente teve a maior cota de inundação em 107 anos (risco estimado de 170 anos e 62 dias de duração) e o prejuízo estimado em US \$ 78,1 milhões. Na época, apenas com os dados de registros contínuos (1930-1983), foi estimada que a cheia poderia ter um tempo de retorno da ordem de 1000 anos. No entanto, esses resultados não consideraram as marcas históricas, e sobreestimaram o tempo de retorno. Em 1992 ocorreu outra enchente, menor que a de 1983, mas de magnitude e impactos semelhantes (risco estimado de 50 anos, duração de 65 dias e prejuízos de US\$ 54,6 milhões). Cabe destacar que a parte das cidades afetada pelas enchentes é uma região em geral valorizada, próxima do centro e com boa infra-estrutura. Isso é particularmente assim no caso de União da Vitória, que além disso tem dificuldades de expansão, limitada pelo rio e por Porto União.

Nas figuras 6.2 e 6.3 pode se ter uma idéia de até onde chegaram as inundações, as características das áreas alagadas; e portanto da magnitude do impacto que elas tiveram sobre a população e sobre as cidades, quantificado na tabela 6.1.

Tabela 6.1: Perdas estimadas (mil U\$) em União da Vitória e Porto União (JICA, 1995)

	1982	1993	1992	1983
Nível	746,06	746,86	748,51	750,03
perdas diretas	6.910	17.289	36.388	52.081
perdas indiretas (50%)	3.455	8.644	18.194	26.040
<b>PERDAS TOTAIS 1000 U\$S</b>	<b>10.365</b>	<b>25.933</b>	<b>54.582</b>	<b>78.121</b>

### 6.2.1 Conflito

Em 1983 a população fez uma dedução simples: “antes da barragem não tinha enchentes, e depois da barragem nos inundamos, a causa é a barragem”, e passou a considerar a Usina de Foz de Areia e a COPEL os grandes culpados pela enchente. Foi assim gerado um conflito, agravado pela difícil comunicação entre as partes. Com o tempo, esse conflito foi perdendo força, até a enchente de 1992. Como a população tinha entendido que o risco era muito pequeno e novamente, em menos

de 10 anos, tinha ocorrido uma segunda enchente, o conflito retornou com intensidade maior.



Figura 6.2 União da Vitória e Porto União no período normal



Figura 6.3 União da Vitória e Porto União na inundação de 1983

O longo período (1935 a 1982) sem enchentes importantes tinha criado uma falsa segurança entre a população, que foi ocupando as áreas ribeirinhas. Isto também incentivou a não execução de planejamento e prevenção contra inundações. A enchente de 1983 levantou um alerta

sobre o risco, mas este foi desprezado com base em estudos estatísticos aparentemente confiáveis (50 anos de dados), que, no entanto, não levaram em conta informações existentes e valiosas (as marcas históricas de inundação). Quando em 1992 ocorreu uma outra enchente, menor que a de 1983, mas de magnitude e impactos semelhantes, gerou-se entre a população um clima de revolta e desconfiança em relação aos estudos técnicos. Estas condições motivou a criação em 1993 de uma Organização Não Governamental, a SEC-CORPRERI (Sociedade de Estudos Contemporâneos - Comissão Regional Permanente de Prevenção Contra Enchentes do Rio Iguaçu). Essa ONG tem se transformado no principal agente de conscientização e mobilização da sociedade local, assim como em um interlocutor válido frente a todos os organismos (municipais, estaduais e federais) com jurisdição sobre o problema. Entre as ações desenvolvidas pela SEC-CORPRERI estão: (a) Campanhas educativas e palestras; (b) contratação de estudos e assessoria técnica para orientar a cidade; (c) Plano de Ação SEC-CORPRERI: um conjunto de atividades e de propostas com o objetivo específico de minimizar os impactos das enchentes na região; (d) apoiar a Atualização Do Plano Diretor.

Estudos realizados pelo CEHPAR por solicitação da COPEL indicavam que nem a barragem de Foz do Areia nem sua operação durante as enchentes tiveram influência sobre os níveis atingidos em União da Vitória e Porto União. A população, no entanto, não acreditou nos resultados dos estudos. Estudos independentes (Tucci e Villanueva, 1997) contratados pela CORPRERI (ONG local) confirmam que Foz do Areia não produziu influência sobre as enchentes recentes nas cidades.

### **6.2.2 Medidas de Controle**

Jica (1995) analisou a alternativa de construção de dique de proteção contra inundação para as duas cidades e recomendou um estudo de viabilidade. Os estudos independentes (Tucci, 1993) e Tucci e Villanueva (1997) e a discussão com a comunidade eliminou a alternativa estrutural devido ao seguinte: (a) financiamento das obras; (b) alteração da convivência da cidade com o rio, que representa um elemento turístico fundamental. Desta forma as alternativas recomendadas foram as seguintes: (a) zoneamento das áreas de inundação das cidades e implementação no Plano Diretor das mesmas; (b) previsão e alerta de inundações.

A proposta de zoneamento (Tucci e Villanueva, 1997) foi de evitar as construções na cota inferior a 10 anos e disciplinamento da ocupação até a cota da cheia de 1983. Na figura 6.4 são apresentadas as áreas de

risco no qual se baseou o zoneamento das cidades. A cidade de Porto União incluiu as medidas por legislação e União da Vitória ainda existem muitas resistências. O sistema de previsão em tempo real é operado pela COPEL, que transmite para a Defesa Civil da cidade quando níveis de alerta são atingidos.

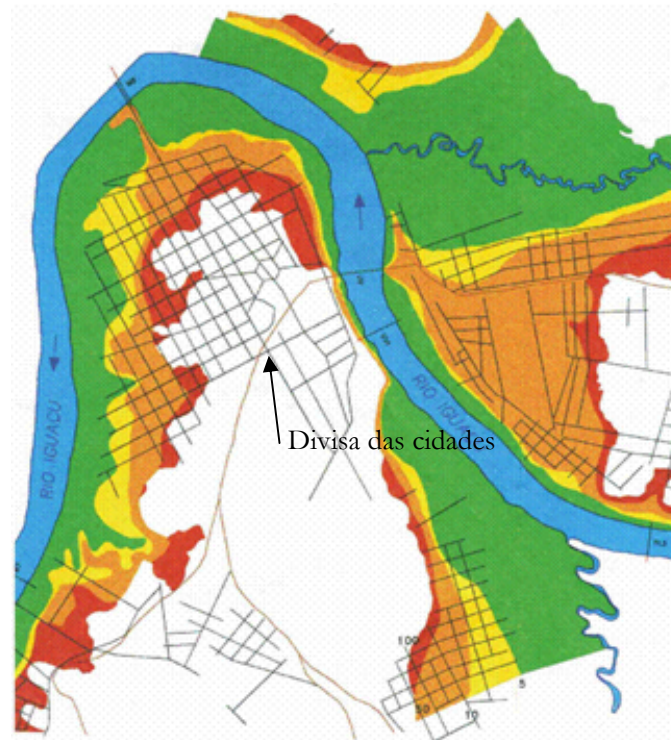


Figura 6.4 Áreas de Risco nas cidades de União da Vitória e Porto União

Algumas das medidas relacionadas: (a) as informações foram de colocar marcas nos postes para identificar as inundações e tornar público os riscos, para evitar especulação imobiliária por falta de informações; (b) Casas sobre palafitas são um dos mecanismos adotados para conviver com as cheias. É freqüente ver casas a 2 ou 3 metros do chão, como na figura 6.5 (geralmente do lado de outras ao nível do chão). No entanto, a simples observação de muitas delas levanta dúvidas sobre a resistência estrutural dos pilares frente ao embate das águas. Outro mecanismo de convivência com as enchentes que vem sendo adotado pelas cidades é a ocupação das áreas de inundação com atividades como áreas de lazer e parques, para impedir a ocupação das áreas de inundação (figura 6.5).



Figura .6.5: Casas com palafitas para conviver com as cheias. Aproveitamento da planície de inundação para parque.

### **6.3 Gestão das Inundações na Região Metropolitana de Curitiba**

A Região Metropolitana de Curitiba tem 2,7 milhões de habitantes sendo cerca de 90% urbana. Constitui-se 15 de municípios numa área de cerca de 3.000 km<sup>2</sup> localizada principalmente na bacia do Alto rio Iguaçu (figura 6.6). Os municípios mais populosos são Curitiba, Pinhais e São José dos Pinhais. Em 1992 iniciou um programa de saneamento ambiental na região financiado pelo Banco Mundial onde existiam componentes de gestão de inundações e de saneamento.

No controle das inundações foram definidas três etapas: (a) medidas emergenciais que atuavam sobre problemas visíveis e de gestão imediata; (b) gestão das inundações na área ribeirinha do rio Iguaçu que vem sofrendo redução pela invasão de áreas de risco; (c) Plano Diretor de Drenagem Urbana da Região Metropolitana.

As inundações junto a cidade de Curitiba e região ocorrem devido a combinação de inundações ribeirinhas e devido a drenagem urbana das bacias urbanizadas, inundando o eixo principal do rio Iguaçu, já bastante ocupado e nos afluentes como Belém, Atuba e Palmital devido principalmente a urbanização de Curitiba e Pinhais.

#### **6.3.1 Alternativas de controle**

Tucci (1996) estudou as alternativas de controle das inundações ribeirinhas no rio Iguaçu : (a) *Sem ação* : Essa é a alternativa em que não seria realizado nada, portanto uma solução descartada, pois os prejuízos

potenciais, atuais e futuros, são significativos para que nenhuma ação seja executada; (b) *Zoneamento das áreas de inundação* : Essa alternativa envolve definir as cotas de risco de inundação para a área envolvida, utilizar esse mapa de enchentes para definir as regras de construção e ocupação para as áreas de alto risco e implementá-las no Plano Diretor e Código de Obras dos Municípios.

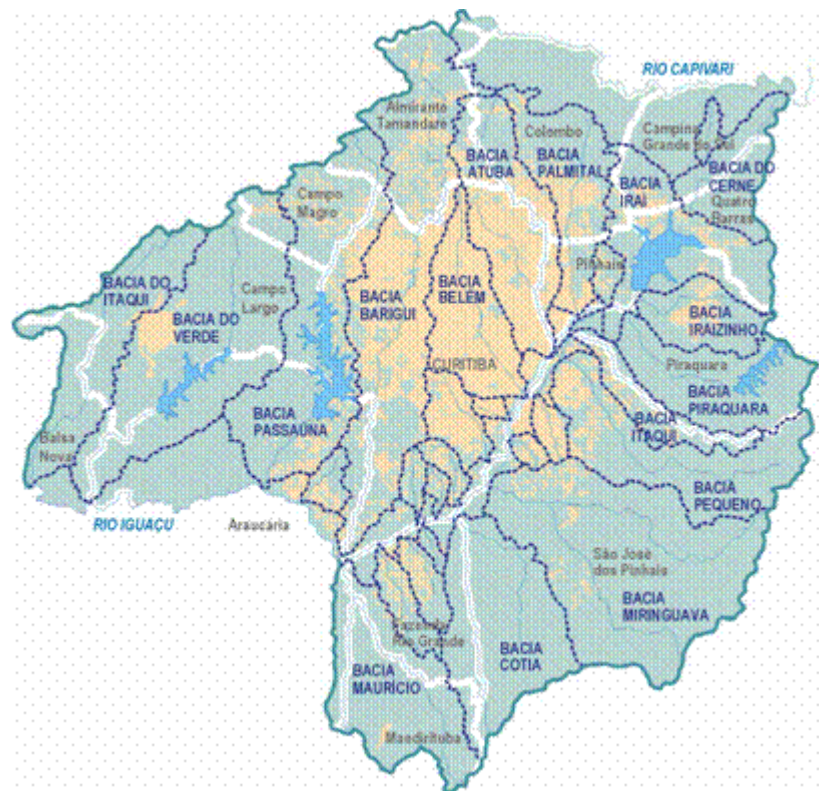


Figura 6.6 Região Metropolitana de Curitiba na bacia do Alto rio Iguaçu (a área marrom representa a mancha urbana).

(c) *Reservatórios*: Os reservatórios previstos para abastecimento de água na cabeceira do rio Iraí e no rio Piraquara deverão amortecer parte das enchentes. Deve-se considerar que as bacias de influência desses reservatórios representam uma parcela pequena da área de drenagem, portanto tem um efeito limitado, principalmente se considerarmos que as vazões máximas são mais influenciadas pelas bacias mais urbanizadas. A construção de reservatórios nos rios Palmital, Belém e Atuba dificilmente po-

deriam amortecer as enchentes da urbanização já existente. Os espaços vazios poderão permitir a criação de parques para o amortecimento distribuído ao longo dessas bacias. O uso de reservatórios em parques e de abastecimento de água poderá minimizar as enchentes nas bacias que ainda estão em estado rural, como no Piraquara, Iraí e Pequeno. Essas ações se inserem dentro dos planos de longo prazo.

*(d) Confinamento do escoamento com diques:* Essa solução envolve a transferência do volume de água do leito maior para o leito menor ou para uma largura definida. Essa alternativa seguramente envolve também a melhoria do escoamento no leito menor e tende a criar remanso para os trechos superiores. Esse tipo de sistema deve contemplar o seguinte: (1) - drenagem do escoamento urbano das bacias de contribuição lateral; (2) - sistema de bombas para a drenagem forçada das áreas laterais. Nesse caso é necessário prever áreas de amortecimento para reduzir a capacidade das bombas; (3) - sistema de manutenção e operação pelos municípios. Esse tipo de sistema tem limitações de segurança para os diques, exigindo também um sistema de alerta de enchentes.

*(e) Ampliação da capacidade de escoamento:* Essa alternativa envolve a modificação do leito natural do rio Iguaçu através de aumento da seção e/ou declividade do leito ou a construção de um canal paralelo que aumente a capacidade de escoamento total do sistema. Esse mesmo sistema pode ainda combinar o aumento da capacidade de escoamento com a construção de diques laterais em alguns trechos.

A solução de apenas confinar o escoamento dentro do leito menor ou mesmo em dois canais deverá fazer com que a população ganhe confiança e ocupe o leito maior de inundação, já que haverá redução da frequência da inundação. Para as cheias de baixa frequência ainda haverá risco de inundação. Com o desenvolvimento urbano haverá ocupação das bacias a montante e a densificação nas áreas já loteadas o que provocará aumento nas vazões de cheia e aumento da frequência das inundações. Quando isso ocorrer, não haverá mais espaço para ampliação das seções.

### **6.3.2 Concepção das medidas de controle**

A solução proposta envolve a ampliação da calha natural do rio Iguaçu ao longo da RMC e no trecho de jusante que represa o escoamen-



to no trecho mais ocupado, a construção de um canal paralelo que se desenvolve pela margem esquerda e inicia a jusante da confluência do Iraí com o Piraquara até a vizinhança da ponte do Contorno Sul. Esse canal deve criar uma área interna de largura que varia entre 300 m e 1 km, onde foi criado um Parque público.

Essa condição aumenta a capacidade do leito menor para conter as enchentes dos afluentes da margem direita e utiliza um canal paralelo aberto para escoar a vazão dos afluentes da margem esquerda e a contribuição de montante do Iraí. Como os afluentes da margem direita são os que contribuem com a vazão máxima maior, o canal atual deve também ser ampliado para suportar essa contribuição. O canal paralelo tem dupla função, aumentar a capacidade de escoamento e confinar a área de preservação criando uma barreira natural.

Essa filosofia deve ser desenvolvida também nos afluentes para que as enchentes não se ampliem para jusante a medida que ocorre a urbanização. As áreas ribeirinhas devem ser áreas preservadas para manter as condições de escoamento natural. Em alguns trechos, poderá ser necessário criar pequenos diques e drenagem lateral devido as características urbanas já existentes que não permitem economicamente a desapropriação e definição hidráulica do perfil de fundo do canal. Na figura 6.7 é apresentada esquematicamente a característica da concepção do sistema.

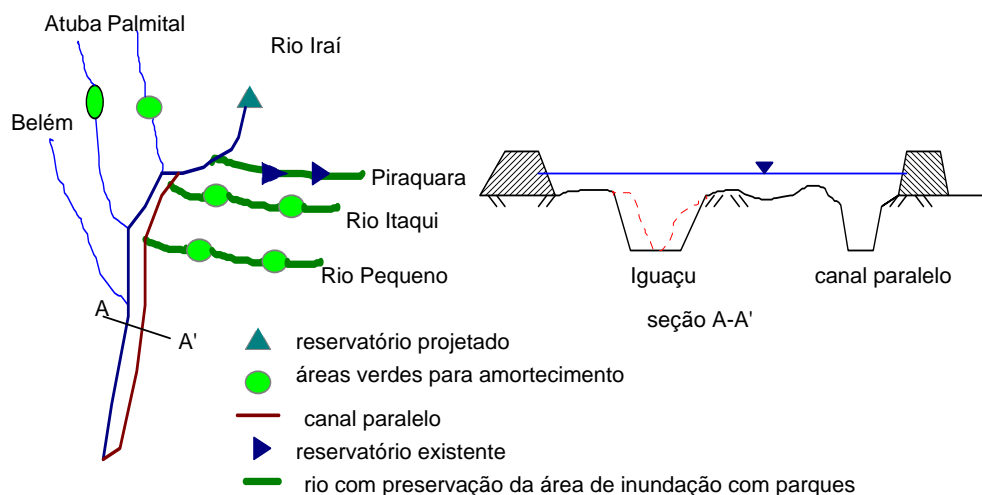


Figura 6.7 Concepção do controle de enchentes

A desapropriação da área interna do parque foi e está sendo realizada simultaneamente a construção do canal paralelo, pois depois de construído o canal, as áreas ficarão valorizadas e poderá tornar inviável a desapropriação, o que acarretará na ocupação interna entre os canais, tornando sem efeito uma de suas principais funções, que é funcionar como uma barreira a ocupação urbana clandestina. Além disso, torna-se imprescindível a implementação do Parque pelo poder público, evitando assim a ocupação clandestina.

Portanto a concepção de controle de enchentes da RMC envolve as seguintes ações:

- Controle de cheias no rio Iguaçu/Iraí através de um canal paralelo e obras complementares de escoamento;
- Desenvolvimento do Parque do Iguaçu ao longo de todo o trecho do canal paralelo;
- Definição de implementação de áreas de amortecimento em parques lineares e urbanos ao longo dos afluentes para evitar a ampliação das enchentes com a urbanização;
- Plano Diretor de Drenagem Urbana para RMC, que contemple a legislação sobre a construção sobre novos loteamentos, buscando evitar a ocupação de áreas inadequadas e a ampliação das cheias naturais.

Na figura 6.7 é apresentada a área de inundação, pressão urbana e os dois leitos dos rios. Na figura 6.8 são apresentadas fotos com a área de inundação do parque que foi implementado e uma área implementada.

## **6.4 Gestão de Inundações em Porto Alegre**

### **6.4.1 Descrição**

A Região Metropolitana de Porto Alegre (~ 3 milhões de habitantes) encontra-se no Delta do rio Jacuí e Lago Guaíba, que tem uma bacia hidrográfica da ordem de 80 mil km<sup>2</sup> e quatro rios convergindo para o Delta e depois para o Lago. A cidade de Porto Alegre nas margens deste sistema tem sua área central junto ao Porto dentro do Delta e no Lago. Existem registros dos níveis máximos de inundação em Porto Alegre (figura 2.5) desde 1899, mostrando que ocorreram grandes inundações ribeirinhas como a de 1941

(figura 6.9). Em 1970 foi construído um dique para proteger a cidade contra inundações. Este sistema de diques possui várias sub-bacias que drenam para estações de bombas. Quando o rio está com cota acima da cota das ruas o escoamento drenado é bombeado para o rio. Este sistema é gerenciado pelo Departamento de Esgotos Pluviais da Prefeitura Municipal de Porto Alegre.



Figura 6.7 Características das áreas de inundação.



Figura 6.8 Área de Inundação e o canal paralelo e parque (foto da direita).

IPH (2001) apresentou a primeira fase do Plano Diretor de Drenagem Urbana da cidade de Porto Alegre, voltado principalmente para o controle das inundações na drenagem urbana. Foram desenvolvidos os seguintes produtos: (a) Medidas não-estruturais: aspectos legais e de gestão; (b) Plano Diretor de 3 bacias (recentemente foram desenvolvidas mais 3 bacias); (c) Revisão do Sistema de Diques com a avaliação das bacias que drenam para os diques; (d) Manual de Drenagem Urbana para a cidade.



Figura 6.9 Inundação de 1941 em Porto Alegre.

As medidas não-estruturais estabeleceram a vazão máxima de saída de cada empreendimento e a estimativa dos volumes para lotes e loteamento. Foi também proposto um decreto para controle dos lotes. Estes elementos estão nos anexos B e D. Também foi analisada a recuperação de custos para drenagem urbana, introduzindo a formulação para sua cobrança.(anexo C).

O Plano de cada bacia seguiu a metodologia descrita no capítulo 5, ou seja: (a) avaliação da capacidade de escoamento da rede de drenagem; (b) identificação dos locais de inundação ; (c) combinação de retenção e aumento de capacidade de escoamento, procurando manter a vazão de saída igual a capacidade existente para o cenário futuro; (d) verificação dos cenários superiores ao de projeto. A cidade dispunha de cadastro detalhado de drenagem: cota, diâmetro e comprimento de cada conduto em planta 1:2000, juntamen-

te com a topografia da cidade. Desta forma, foi possível detalhar todo o sistema nas sub-bacias.



Figura 6.10 Cidade de Porto Alegre junto ao delta do Jacuí e Lago Guaíba. O escoamento das áreas verdes é bombeado para o Guaíba quando o dique protege contra inundações. As áreas marrons escoam por gravidade e escoamento sob-pressão.

Na figura 6.10 são apresentadas as bacias (em verde) que têm seu escoamento bombeado para os rios da vizinhança e as bacias que escoam por gravidade (marrom).

As bacias em marrom escuro foram às primeiras estudadas, além de todas em verde. As bacias que convergem para as estações de bombas foram simuladas e verificada a capacidade das bombas para escoar todo o volume durante as inundações. A seguir são apresentados os resultados bacia do Areia que foi estudada no Plano (IPH, 2001) e recentemente atualizado por Cruz (2004).

#### **6.4.2 Bacia do Areia**

A bacia tem duas partes, a superior que drena por conduto sob-pressão acima da cota 9 m direto para o rio Gravataí (12 km<sup>2</sup>) e uma segunda parte que é drenada por bombeamento com área semelhante a anterior (onde fica o aeroporto). Na figura 6.11 é apresentada uma imagem das duas partes da bacia e na mesma figura são apresentados a divisão da bacia (11 sub-bacias) e o sistema de drenagem representado. A simulação dos cenários de Projeto indicou os locais de alagamento para diferentes riscos. O estudo de alternativa foi inicialmente realizado por tentativa e erro com base nos locais disponíveis e na ampliação da capacidade de drenagem. Recentemente Cruz (2004) revisou o estudo e obteve novo dimensionamento com base em modelo de otimização.

Na figura 6.12 se podem observar as detenções escolhidas e na figura 6.13 os hidrogramas, comparando as seguintes soluções: (a) canalização do sistema sem considerar o custo de ampliação do conduto que passa pelo aeroporto); (b) combinação de detenções e ampliação, mantendo a vazão de jusante. Neste caso foram utilizadas duas alternativas: otimizando toda a bacia e otimizando por sub-bacias. Pode-se observar que os resultados que o melhor resultado foi obtido simulando toda a bacia.

Na tabela 6.1 é apresentada a comparação entre as duas principais alternativas, mostrando que a alternativa com detenção custa menos e não amplia a vazão para jusante. Observou-se que nesta bacia utilizaram-se 77 m<sup>3</sup>/há e cerca de 74% da área da bacia com amortecimento. Junto com a detenção utilizou-se ampliação de condutos para transportar o escoamento até as detenções. A distribuição de custo foi de 79 % para aumento dos condutos, 17,7% para as detenções e 3,3 para desapropriação.

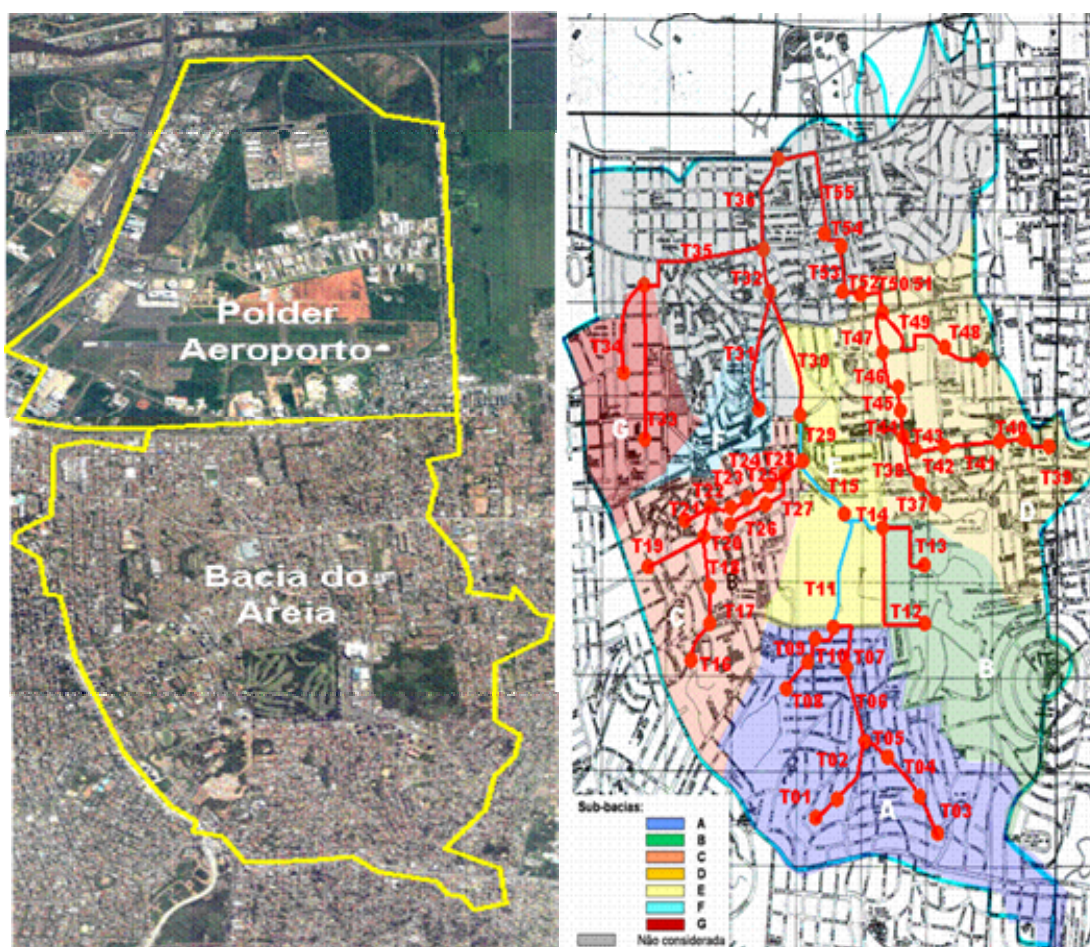


Figura 6.11 Imagem da esquerda do conjunto da bacia do Areia e Polder do Aeroporto e figura da direita as sub-bacias com o sistema de drenagem simulado (Cruz, 2004).

### 6.4.3 Cenário de drenagem na cidade

Cruz (2004) analisou os cenários de desenvolvimento da drenagem urbano considerando o seguinte: (a) pré-controle : para um cenário de planejamento integrado, ou seja implementação de uma superfície urbanizada concomitantemente ao sistema de drenagem controlado; (b) pós – controle: para um cenário de urbanização consolidada.

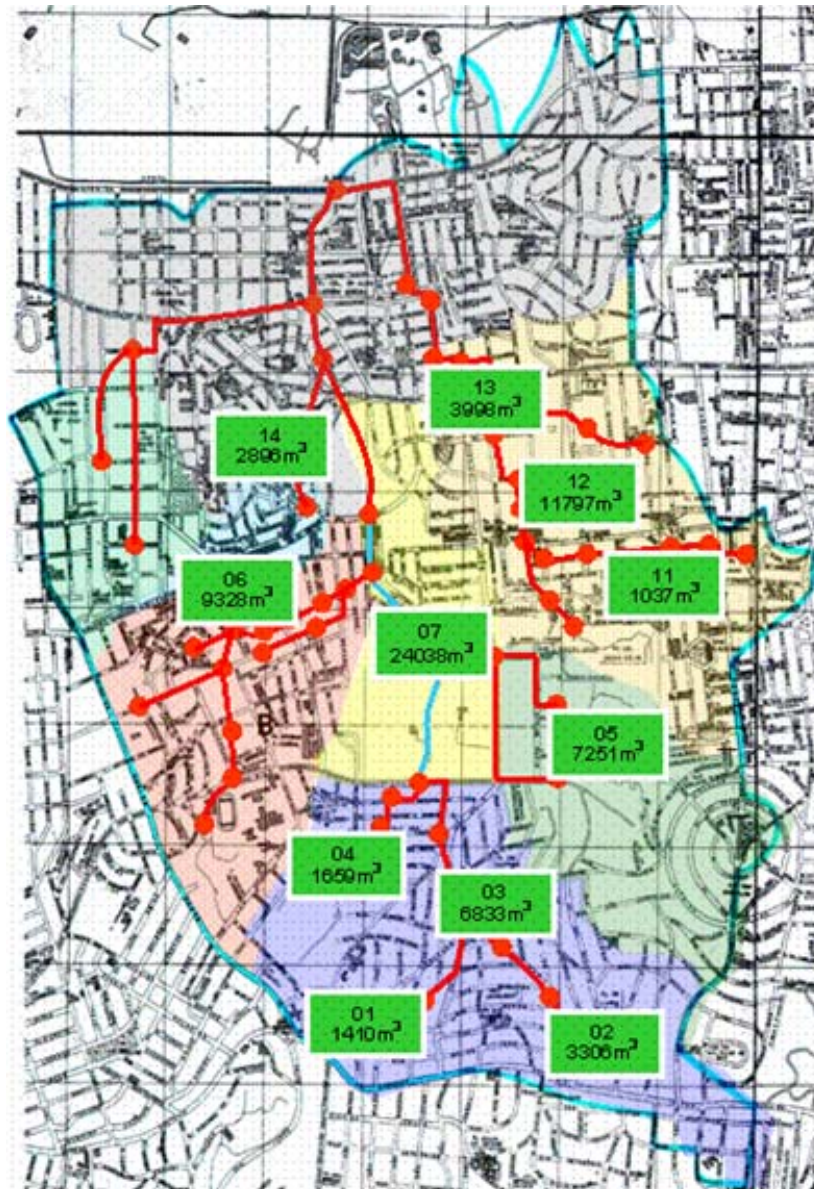


Figura 6.12 Detenções planejadas para a bacia do Areia (Cruz,2004).



Tabela 6.1 Análise comparativa entre as alternativas

Variável	Canalização	Detenção e ampliação
Vazão máxima (m <sup>3</sup> /s)	99	48
Volume de armazenamento (m <sup>3</sup> )	0	73.552
Custo de implementação (R\$ milhões)	60,3	39,6
Custo por habitante (R\$)	364,8	239,8

Partindo dos valores médios obtidos para os cenários de pré e pós controles foi realizada uma aplicação ao município de Porto Alegre como forma de análise do planejamento executado e futuro em um horizonte de 20 anos, através da comparação dos custos envolvidos. A cidade possui 27 sub-bacias e 430,27 km<sup>2</sup> e uma população prevista para o município de 1,8 milhões em 2025. Analisando o desenvolvimento ocorrido obteve-se que o cenário de pós-controle é 6,4 vezes superior ao de pré-controle. Considerando também o futuro desenvolvimento urbano da cidade estimou-se que utilizando canalização os custos seiram de R\$ 790 milhões enquanto que se o controle for realizado com amortecimento o custo ficará em R\$ 303 milhões para o valor presente de um projeto de 20 anos.

## Referências

- CRUZ, M., 2004. Otimização do controle da drenagem urbana. Tese de Doutorado. Instituto de Pesquisas Hidráulicas. UFRGS.
- IPH, 2001. Plano Diretor de Drenagem Urbana de Porto Alegre. Instituto de Pesquisas Hidráulicas DEP Departamento de Esgotos Pluviais Prefeitura Municipal de Porto Alegre. 5 volumes.
- JICA, 1995. *The master study on utilisation of water resources in Parana State in the Federative Republic of Brazil*. Sectoral Report vol H- Flood Control.
- PDDURM, 2002. *Plano Diretor de Drenagem urbana da Região Metropolitana de Curitiba. Volume: medidas não-estruturais*. SUDHERSA e CH2MHILL do Brasil Serviços de Engenharia Ltda.
- PME, 1983. Lei n. 1790. Prefeitura Municipal de Estrela. 3p.
- PME, 1981. Lei n. 1707. Prefeitura Municipal de Estrela. 10 p.

- REZENDE, B. e TUCCI, C.E. M., 1979. *Análise hidráulica e hidrológica dos problemas de inundação urbana na cidade de Estrela, RS*. Relatório Técnico, p.29.
- SUDERSHA, 2002. Medidas não-estruturais. Plano Diretor de Drenagem Urbana da Região Metropolitana de Curitiba. CH2MHILL Engenharia do Brasil Lt.da
- TUCCI, C. E. M., 1996. Estudos Hidrológicos e Hidrodinâmicos no rio Iguaçu na RMC, COMEC/PROSAM, 2 vols
- TUCCI, C.E.M; VILLANUEVA, A , 1997. Controle de enchentes das cidades de união da Vitória e Porto União. CORPRERI, 117 p.
- TUCCI, 2005. Proposta do Plano Nacional de Águas Pluviais. Ministério das Cidades. Brasília 120p.

## Anexo A

# Conceitos e glossário

A.1 Sistema de Drenagem: Os sistemas de drenagem são definidos *na fonte, microdrenagem e macrodrenagem*. A drenagem *na fonte* é definida pelo escoamento que ocorre no lote, condomínio ou empreendimento individualizado, estacionamentos, parques e passeios.

A *microdrenagem* é definida pelo sistema de condutos pluviais ou canais a nível de loteamento ou de rede primária urbana. Este tipo de sistema de drenagem é projetado para atender à drenagem de precipitações com risco moderado.

A *macrodrenagem* envolve os sistemas coletores de diferentes sistemas de microdrenagem. A macrodrenagem envolve áreas de pelo menos 2 km<sup>2</sup> ou 200 ha. Estes valores não devem ser tomados como absolutos porque a malha urbana pode possuir as mais diferentes configurações. Este tipo de sistema deve ser projetado para acomodar precipitações superiores as da microdrenagem com riscos de acordo com os prejuízos humanos e materiais potenciais.

Um dos pontos que têm caracterizado este tipo de definição tem sido a metodologia de estimativa, já que o Método Racional é utilizado para estimativa de vazões na microdrenagem e os modelos hidrológicos que determinam o hidrograma do escoamento são utilizados na macrodrenagem. As simplificações aceitas para o dimensionamento no método Racional podem ser utilizadas para bacias da ordem de 2km<sup>2</sup>, que representa a restrição definida acima.

A.2 Escoamento e condições de projeto: O escoamento num rio depende de vários fatores que podem ser agregados em dois conjuntos:

***Controles de jusante:*** Os controle de jusante são condicionantes na rede de drenagem que modificam o escoamento a montante. Os controles de jusante podem ser estrangulamentos do rio devido a pontes, aterros, mudança de seção, reservatórios, oceano. Esses controles reduzem a vazão de um rio independentemente da capacidade local de escoamento;

**Controles locais:** definem a capacidade de cada seção do rio de transportar uma quantidade de água. A capacidade local de escoamento depende da área da seção, da largura, do perímetro e da rugosidade das paredes. Quanto maior a capacidade de escoamento, menor o nível de água.

Para exemplificar este processo, pode-se usar uma analogia com o tráfego de uma avenida. A capacidade de tráfego de automóveis de uma avenida, numa determinada velocidade, depende da sua largura e número de faixas. Quando o número de automóveis é superior a sua capacidade o tráfego torna-se lento e ocorre congestionamento. Num rio, à medida que chega um volume de água superior a sua vazão normal, o nível sobe e inunda as áreas ribeirinhas. Portanto, o sistema está limitado nesse caso à capacidade local de transporte de água (ou de automóveis).

Considere, por exemplo o caso de uma avenida que tem uma largura com duas faixas num sentido, mas existe um trecho que as duas faixas se transformam em apenas uma. Existe um trecho de transição, antes de chegar na mudança de faixa que reduz a velocidade de todos os carros, criando um congestionamento, não pela capacidade da avenida naquele ponto, mas pelo que ocorre no trecho posterior. Neste caso, a capacidade está limitada pela transição de faixas (que ocorre a jusante) e não pela capacidade local da avenida. Da mesma forma, num rio, se existe uma ponte, aterro ou outra obstrução, a vazão de montante é reduzida pelo represamento de jusante e não pela sua capacidade local. Com a redução da vazão, ocorre aumento dos níveis. Esse efeito é muitas vezes denominado de **remanso**.

O trecho de transição, que sofre efeito de jusante depende de fatores que variam com o nível, declividade do escoamento e capacidade do escoamento ao longo de todo o trecho.

O escoamento pode ser considerado em regime permanente ou não-permanente. O escoamento permanente é utilizado para projeto, geralmente com as vazões máximas previstas para um determinado sistema hidráulico. O regime *não-permanente*, permite conhecer os níveis e vazões ao longo do rio e no tempo, representando a situação real. Geralmente uma obra hidráulica que depende apenas da vazão máxima é dimensionada para condições de regime permanente e verificada em regime não-permanente.

A.3 Risco e incerteza: O risco de uma vazão ou precipitação é entendido neste texto como a probabilidade ( $p$ ) de ocorrência de um valor igual ou superior num ano qualquer. O tempo de retorno ( $T$ ) é o inverso da

probabilidade  $p$  e representa o tempo, *em média*, que este evento tem chance de se repetir

$$T = \frac{1}{p} \quad (\text{a.1})$$

Para exemplificar, considere um *dado*, que tem seis faces (números 1 a 6). Numa jogada qualquer a probabilidade de sair o número 4 é  $p=1/6$  (1 chance em seis possibilidades). O tempo de retorno é, *em média*, o número de jogadas que o número desejado se repete. Nesse caso, usando a equação 3.1 acima fica  $T = 1/(1/6)=6$ . Portanto, **em média**, o número 4 se repete a cada seis jogadas. Sabe-se que esse número não ocorre exatamente a cada seis jogadas, mas se jogarmos milhares de vezes e tirarmos a média, certamente isso ocorrerá. Sendo assim, o número 4 pode ocorrer duas vezes seguidas e passar muitas sem ocorrer, mas na média se repetirá em seis jogadas. Fazendo uma analogia, cada jogada do *dado* é um ano para as enchentes. O tempo de retorno de 10 anos significa que, **em média**, a cheia pode se repetir a cada 10 anos ou em cada ano esta enchente tem 10% de chance de ocorrer.

O risco ou a probabilidade de ocorrência de uma precipitação ou vazão igual ou superior num determinado período de  $n$  anos é

$$P_n = 1 - (1 - p)^n \quad (\text{a.2})$$

Por exemplo, qual a chance da cheia de 10 anos ocorrer nos próximos 5 anos? ou seja deseja-se conhecer qual a probabilidade de ocorrência para um período e não apenas para um ano qualquer. Neste caso,

$$P_n = 1 - (1 - 1/10)^5 = 0,41 \text{ ou } 41\%$$

A probabilidade ou o tempo de retorno é calculado com base na série histórica observada no local. Para o cálculo da probabilidade, as séries devem ser representativas e homogêneas no tempo. Quando a série é **representativa**, os dados existentes permitem calcular corretamente a probabilidade. Por exemplo, o período de cheia entre 1970 e 1998 no Guaíba em Porto Alegre não é muito representativo, porque ocorreram apenas enchentes pequenas e fora desse período, ocorreram algumas maiores.

A série é **homogênea**, quando as alterações na bacia hidrográfica não produzem mudanças significativas no comportamento da mesma e, em conseqüência, nas estatísticas das vazões do rio.

Em projeto de áreas urbanas, como ocorre alterações na *bacia*, o *risco utilizado se refere a ocorrência de um determinada precipitação, que admite-se não ser influenciada pela urbanização*. A combinação da ocorrência na precipitação, sua distribuição temporal, condições antecedentes, etc fazem com que o risco da precipitação não seja o mesmo do risco da vazão resultante.

O risco adotado para um projeto define a relação entre os investimentos envolvidos para reduzir a frequência das inundações e os prejuízos aceitos. Ao se adotar um risco de 10% anualmente, ou tempo de retorno de 10 anos. Aceita-se que em média poderão ocorrer eventos uma vez a cada 10 anos que produzirão prejuízos. A análise adequada envolve um estudo de avaliação econômica e social dos impactos das enchentes para a definição dos riscos. No entanto, esta prática é inviável devido o custo do próprio estudo para pequenas áreas. Desta forma, os riscos usualmente adotados são apresentados na tabela a.1.

O projetista deve procurar analisar adicionalmente o seguinte:

- Escolher o limite superior do intervalo da tabela quando envolverem grandes riscos de interrupção de tráfego, prejuízos materiais, potencial interferência em obras de infra-estrutura como subestações elétricas, abastecimento de água, armazenamento de produtos danosos quando misturado com água e hospitais;
- Quando existir risco de vida humana deve-se buscar definir um programa de defesa civil e alerta e utilizar o limite de 100 anos para o projeto;
- Avaliar qual será o impacto para eventos superiores ao de projeto e, planejar um sistema de alerta e minimização de prejuízos.

A *incerteza* é a diferença entre as estatísticas da amostra e da população de um conjunto de dados. As incertezas estão presentes nos erros de coleta de dados, na definição de parâmetros, na caracterização de um sistema, nas simplificações dos modelos e no processamento destas informações para definição do projeto de drenagem.

A.4 Glossário: *Sistema natural*: O sistema natural é formado pelo conjunto de elementos físicos, químicos e biológicos que caracterizam o sistema natural da bacia hidrográfica e os recursos hídricos formado pelos rios, lagos e oceanos.

*Ecosistemas* podem ser vistos como fatores de produção dinâmicos para ao desenvolvimento social e econômico (Folke, 1997). Ecosistemas produzem

os recursos renováveis e os seus mecanismos no qual a sociedade humana se baseia. A nível global o ecossistema é energizado pela radiação solar e sustentado pelo ciclo hidrológico e a nível local pela biota que suporta a vida e o ambiente integrado (Falkenmarker, 2003).

Tabela A.1 Tempo de retorno para sistemas urbanos

Sistema	Característica	Intervalo	Valor freqüente
Microdrenagem	Residencial	2 – 5	2
	Comercial	2 – 5	5
	Áreas de prédios públicos	2 – 5	5
	Aeroporto	5 – 10	5
	Áreas comerciais e Avenidas	5 – 10	10
Macro-drenagem		10 - 25	10
Zoneamento de áreas ribeirinhas		5 - 100	100*

\* limite da área de regulamentação

*Conservação:* é entendido como a ação que minimiza a ação antrópica sobre o ecossistema;

*Preservação:* é entendida como a ação que evita qualquer ação antrópica sobre o ecossistema;

*Desenvolvimento sustentável:* é o desenvolvimento econômico e social que conserve e preserve os ecossistemas ao longo do tempo.

*Gerenciamento Integrado dos Recursos Hídricos:* é o processo que promove o desenvolvimento coordenado e o gerenciamento da água, terra e recursos relacionados para maximizar o resultado econômico e social de forma equitativa sem comprometer a sustentabilidade vital do ecossistema (GWP, 2000).

*Carga:* é o produto da concentração de um parâmetro de qualidade da água pela Vazão é mais representativo do que a concentração de um parâmetro de qualidade da água. Uma concentração pode ser alta com pequena vazão e muito baixa com alta vazão.

*Disponibilidade hídrica:* é a disponibilidade de água num determinado local ao longo do tempo. A disponibilidade pode ser de água superficial ou subterrânea.

*Regularização de vazão* A disponibilidade hídrica pode ser natural, sem efeito de regularização e com regularização à partir de um reservatório. A regularização pode ser medida com base numa parcela da vazão média, na medida que a maior vazão que pode ser regularizada é a vazão média, representando a máxima vazão disponível. Dependendo do clima e das condições topográficas a vazão regularizada pode variar de 0,25 a 0,8 da vazão média. Para climas úmidos no Brasil tem sido utilizado valor de 0,6 – 0,7 da vazão média e para clima semi-áridos de 0,20 – 0,40 (Silva e Tucci, 2002);

*Doenças veiculadas pela água:* Existem muitas doenças com veiculação hídrica. No Brasil 65% das internações hospitalares são provenientes de doenças de veiculação hídrica. As doenças quanto a água podem ser classificadas baseados no conceito de White et al (1972) e apresentado por Prost (1993): *Doenças com fonte na água (water borne diseases):* dependem da água para sua transmissão como cólera, salmonela, leptospirose, diarreia, leptospirose (desenvolvida durante as inundações pela mistura da urina do rato), etc. A água age como veículo passivo para o agente de infecção; *Doenças devido a falta de higiene (water-washed diseases):* dependem da educação da população e da disponibilidade de água segura. Estas doenças estão relacionadas com a infecção do ouvido, pele e os olhos; *Relacionado com a água (water-related) :* no qual o agente utiliza a água como malária, esquistossomose (o agente utiliza a água para se desenvolver), febre hemorrágica.

*Fontes poluidoras:* fontes difusas e pontuais. As fontes difusas geralmente são de origem urbana (escoamento pluvial), agrícola (escoamento pluvial que transporta matéria orgânica, sedimentos, pesticidas, entre outros), produção agropecuária difusa (granjas com aves e suínos), mineração dispersa (uso de mercúrio, mineração de carvão que deixa a água ácida, etc); efluentes de esgoto em fossas; As fontes pontuais tradicionais são os efluentes domésticos urbanos e rurais e efluentes industriais.

*Indicadores de qualidade da água:* os indicadores podem ser índices que combinam concentração de determinados constituintes da água. Os índices procuram refletir as condições da água para diferentes usos em função do enquadramento do rio (definições quanto ao uso). Os indicadores também podem ser a concentração de alguns parâmetros de qualidade da água que refletem as condições em função das fontes poluidoras. Por exemplo, a concentração de coliformes (em partes por milhão) geralmente é utilizada para caracterizar a água quanto a contaminação para abaste-



cimento de água quando a fonte é orgânica humana. O OD e DBO Oxigênio Dissolvido e o DBO Demanda Bioquímica de Oxigênio são parâmetros de qualidade que permitem uma visão das condições do rio para contaminação orgânica em geral e a vida aquática. A concentração de Nitrogênio e o Fósforo são utilizadas para caracterizar se um sistema hídrico pode eutrofizar. A DQO é Demanda Química de Oxigênio utilizada como indicador de poluição de algumas indústrias.

*Medidas de controle inundações: estruturais:* quando o homem altera o sistema natural para controle de inundação como por exemplo, dique, barragem, reflorestamento, etc.; *não-estruturais:* quando o homem convive com a inundação através de : seguro contra inundação, previsão e alerta da inundação, zoneamento das áreas de inundação, proteção local e medidas legais associadas.

*Metas do Millenium:* As Nações Unidas estabeleceu como meta para o ano de 2015 a redução em 50% a pobreza no mundo. No contexto de Água e Saneamento estas metas estabelecem a redução também em 50% das pessoas que não possuem acesso a água tratada e na mesma proporção para saneamento de efluentes domésticos.

*Modificação climática:* são as alterações da variabilidade climática devido as atividades humanas.

*Usos consuntivos da água:* são usos que reduzem a volume entre a retirada do sistema hídrico e seu retorno. Geralmente são considerados como usos consuntivos: abastecimento humano, animal e industrial e irrigação.

*Variabilidade climática:* são as variações de clima em função dos condicionantes naturais do globo terrestre e suas interações. *Modificação Climática* são as alterações do clima em função das ações antrópicas. De outro lado IPCC (2001) define *Modificação Climática (Climate Change)* como as mudanças de clima no tempo devido a variabilidade natural e/ou resultado das atividades humanas (ações antrópicas).

*Vulnerabilidade a eventos extremos:* é a incapacidade da população de retornar as condições prévias de ocorrência do evento em termos de habitação e condições sócio-econômicas.

## **Anexo B**

### **Regulamentação de Porto Alegre**

A seguir são destacados os principais elementos da legislação municipal, Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano e Ambiental (PDDUA), lei nº 434 de 1999, relacionados com a drenagem urbana.

Valorização ambiental, princípios e estratégias: O PDDUA da cidade de Porto Alegre destaca nos seus princípios básicos artigo 1º § II *a promoção da qualidade de vida e do ambiente, reduzindo as desigualdades e a exclusão social*. O próprio Plano incorpora no título, nos princípios e diretrizes a visão da sustentabilidade ambiental (art. 2º).

O artigo 13º define os objetivos ambientais de valorização ambiental do Plano, enquanto que o artigo 15 define os elementos naturais do ambiente e o artigo 16 caracteriza o curso de água pela massa líquida que cobre uma superfície, seguindo um curso ou formando um banhado, cuja corrente pode ser perene, intermitente ou periódica.

A implementação da estratégia ambiental (artigo 17º) será desenvolvida, entre outros, através *da promoção de ações de saneamento, monitoramento da poluição e de otimização do consumo energético*. A drenagem urbana insere-se no contexto do saneamento ambiental. Ainda dentro da estratégia de qualificação ambiental, alguns dos programas previstos no art 18º que de alguma forma se interrelacionam com este plano são o Programa de implantação e manutenção de Áreas Verdes Urbanas (III), Programa de Gestão Ambiental (V), Programa de prevenção e controle da poluição (VI).

No art 25º são definidas as estratégias de planejamento da cidade onde se destacam no item III o Programa de Sistemas de Informações e no IV o Programa de Comunicação e educação ambiental no qual, programas semelhantes previstos neste plano também se inserem.

Formulação de política, planos e programas : No art. 39 são definidas as atribuições do Conselho Municipal de Desenvolvimento Ambiental que visa formular as políticas, planos, programas e projetos de desenvolvimento urbano, no qual o Plano Diretor de Drenagem Urbana (PDDrU) é um dos planos. Este conselho tem representação municipal, estadual e

federal, de entidades governamentais, de entidades não-governamentais e das regiões de planejamento da cidade.

O art. 42 define que o planejamento será elaborado através do PDDUA Plano de Desenvolvimento Urbano e Ambiental e no art. 43 prevê a existência de Planos Setoriais ou Intersetoriais.

*Instrumentos de regulação:* Nos instrumentos de regulação são definidos os tipos de projetos, os estudos necessários de acordo com as características dos projetos, dando ênfase à adequação ambiental e controle da poluição, do qual a drenagem é um componente importante.

Dentro deste contexto, o Estudo de Viabilidade Urbanística é solicitado para empreendimentos urbanos, buscando analisar o impacto sobre a infra-estrutura urbana onde se inclui a drenagem (art. 63 parágrafo 1).

O PDDUA prevê, na legislação, alguns instrumentos importantes para a drenagem urbana de acordo com o enquadramento das áreas:

- Área de ocupação rarefeita (art. 65) onde estão previstas medidas que controlem a contaminação das águas, não alterem a absorção do solo e não tenham risco de inundação.
- Áreas de contenção de crescimento urbano (art. 80) são áreas que podem ser definidas em função da densificação atual e seu futuro agravamento de restrições pelo aumento das inundações ou dos condicionantes de drenagem. A cidade de Porto Alegre possui uma extensa área ribeirinha onde os custos de drenagem são muitos altos. Com a impermeabilização excessiva destas áreas pode resultar em problemas significativos na drenagem, com freqüentes alagamentos. O plano de cada bacia pode permitir identificar estas áreas;
- Áreas de Revitalização (art. 81): representam áreas de patrimônio ambiental ou relevantes para a cidade que necessitam tratamento especial. O art. 83 define as áreas: Centro Histórico, Ilhas de Delta do Jacuí, Orla do Guaíba, Praia de Belas. Apenas o Centro Histórico não está dentro da área de risco de inundação ribeirinhas pela proteção dada pelo Muro da Mauá.
- Áreas Especiais de interesse Ambiental: são áreas singulares que necessitam de tratamento especial (art. 85 Parágrafo I).
- Áreas de proteção ambiental (art. 87) podem ser de preservação permanente e conservação; possuem características próprias e necessitam de zoneamento específico.

*Plano Regulador*: O art. 97 estabelece uma das principais bases para a regulamentação da drenagem urbana, onde estabelece que nas zonas identificadas como problemáticas deverão ser construídos reservatórios de retenção pluvial. No seu parágrafo único define que será de atribuição do executivo a definição dos critérios através de decreto.

O artigo 134 restringe o parcelamento do solo em terrenos alagadiços e sujeitos a inundação, antes de tomadas as providências para assegurar o escoamento das águas e proteção contra as cheias e inundações e em terrenos onde as condições geológicas e hidrológicas não aconselham edificações( Anexo 8.1). No 3º parágrafo, estabelece os condicionantes do espaço para a drenagem urbana como faixa “não-edificável”, e, no parágrafo 6º, define que os novos empreendimentos devem manter as condições hidrológicas originais da bacia, através de amortecimento da vazão pluvial.

O art. 137 reserva área para os equipamentos urbanos, entre os quais a drenagem urbana.

O artigo 160 das disposições transitórias destaca a necessidade de decreto do legislativo para a definição e dimensionamento dos reservatórios de águas pluviais.

Um dos aspectos relacionados com a proteção ambiental e a drenagem urbana se refere a faixa marginal dos arroios urbanos. O Código Florestal prevê a distância de trinta metros da margem dos arroios, definida pela seção de leito menor. No desenvolvimento da cidade não se observa que este limite tem sido atendido, o que dificulta o controle da infraestrutura da drenagem urbana. Neste sentido, observa-se a necessidade de medidas para atuar sobre a cidade já desenvolvida em com parcelamento aprovado e a cobrança sobre os futuros parcelamentos da cidade.

## **Regulamentação proposta**

Os princípios da regulamentação proposta baseiam-se no controle na fonte do escoamento pluvial através do uso de dispositivos que amortecem o escoamento das áreas impermeabilizadas e/ou recuperem a capacidade de infiltração através de dispositivos permeáveis ou pela drenagem em áreas de infiltração.

Considerando a legislação municipal que institui o PDDUA, analisada no item anterior, a proposta de decreto aqui apresentada regulamenta o artigo 97º como previsto no parágrafo único e artigo 160 das disposições transitórias. Além disso, deve-se destacar que no art. 134 parágrafo 6 do parcelamento do solo, a lei também prevê estas mesmas condições para novos empreendimentos.

A seguir é apresentada a proposta de decreto municipal para ser avaliada pelo executivo como sugestão para regulamentar os artigos 97 e 134 do Plano de Desenvolvimento Urbano e Ambiental. Esta proposta baseia-se na padronização de elementos básicos para a regulamentação que são:

- Vazão máxima de saída a ser mantida em todos os desenvolvimentos urbanos como novas edificações ou parcelamentos;
- Volume de retenção necessário a manutenção da vazão máxima citada no item anterior;
- Deixar espaço para uso de pavimentos permeáveis e outras medidas de controle na fonte da drenagem urbana pelos empreendedores;
- Faixa de domínio e condicionantes para novos parcelamentos.

## **Decreto proposto**

### **DECRETO N º**

Regulamenta o controle da drenagem

urbana

O Prefeito Municipal de Porto Alegre, usando de suas atribuições legais e tendo em vista os Art. 97 e Art. 135 § 6º da Lei Complementar 434/99 e considerando que:

- compete ao poder público prevenir o aumento das inundações devido à impermeabilização do solo e canalização dos arroios naturais;
- o impacto resultante da impermeabilização produz aumento de frequência de inundações, piora da qualidade da água e aumento do transporte de material sólido, degradando o ambiente urbano;
- deve ser responsabilidade de cada empreendedor a manutenção das condições prévias de inundação nos arroios da cidade.

de, evitando-se a transferência para o restante da população do ônus da compatibilização da drenagem urbana;

- a preservação da capacidade de infiltração das bacias urbanas é prioridade para a conservação ambiental dos arroios e rios que compõem a macrodrenagem e dos rios receptores do escoamento da cidade de Porto Alegre.

Declara que:

Art. 1º Toda ocupação que resulte em superfície impermeável, deverá possuir uma vazão máxima específica de saída para a rede pública de pluviais menor ou igual a 20,8 l/(s.ha).

§ 1º A vazão máxima de saída é calculada multiplicando-se a vazão específica pela área total do terreno.

§ 2º Serão consideradas áreas impermeáveis todas as superfícies que não permitam a infiltração da água para o subsolo.

§ 3º A água precipitada sobre o terreno não pode ser drenada diretamente para ruas, sarjetas e/ou redes de drenagem excetuando-se o previsto no § 4º deste artigo.

§ 4º As áreas de recuo mantidas como áreas verdes poderão ser drenadas diretamente para o sistema de drenagem.

§ 5º Para terrenos com área inferior a 600 m<sup>2</sup> e para habitações unifamiliares, a limitação de vazão referida no caput deste artigo poderá ser desconsiderada, a critério do Departamento de Esgoto Pluviais.

Art. 2º Todo parcelamento do solo deverá prever na sua implantação o limite de vazão máxima específica disposto no Art. 1º.

Art. 3º A comprovação da manutenção das condições de pré-ocupação no lote ou no parcelamento do solo deve ser apresentada ao DEP (Departamento de Esgoto Pluviais).

§ 1º Para terrenos com área inferior a 100 (cem) hectares quando o controle adotado pelo empreendedor for o reservatório, o volume necessário do reservatório deve ser determinado através da equação:

$$v = 4,25 AI$$

onde  $v$  é o volume por unidade de área de terreno em  $m^3$ /hectare e  $AI$  é a área impermeável do terreno em %.

§ 2º O volume de reservação necessário para áreas superiores a 100 (cem) hectares deve ser determinado através de estudo hidrológico específico, com precipitação de projeto com probabilidade de ocorrência de 10% em qualquer ano (Tempo de retorno = 10(dez) anos).

§ 3º Poderá ser reduzida a quantidade de área a ser computada no cálculo referido no §1º se for (em) aplicada(s) a(s) seguinte(s) ação (ões):

- Aplicação de pavimentos permeáveis (blocos vazados com preenchimento de areia ou grama, asfalto poroso, concreto poroso) – reduzir em 50% a área que utiliza estes pavimentos;
- Desconexão das calhas de telhado para superfícies permeáveis com drenagem – reduzir em 40% a área de telhado drenada;
- Desconexão das calhas de telhado para superfícies permeáveis sem drenagem – reduzir em 80% a área de telhado drenada;
- Aplicação de trincheiras de infiltração – reduzir em 80% as áreas drenadas para as trincheiras.

§ 4º A aplicação das estruturas listadas no § 3º estará sujeita a autorização do DEP, após a devida avaliação das condições mínimas de infiltração do solo no local de implantação do empreendimento, a serem declaradas e comprovadas pelo interessado.

§ 5º As regras de dimensionamento e construção para as estruturas listadas no § 3º bem como para os reservatórios deverão ser obtidas no Manual de Drenagem Urbana do Plano Diretor de Drenagem Urbana de Porto Alegre.

Art. 4º Após a aprovação do projeto de drenagem pluvial da edificação ou do parcelamento por parte do DEP, é vedada qualquer impermeabilização adicional de superfície.

Parágrafo Único: A impermeabilização poderá ser realizada se houver retenção do volume adicional gerado de acordo com a equação do Art. 3º §1º.

Art. 5º Os casos omissos no presente decreto deverão ser objeto de análise técnica do Departamento de Esgotos Pluviais.

Art.6º Este decreto entrará em vigor na data de sua publicação, revogadas as disposições em contrário.

PREFEITURA MUNICIPAL DE PORTO ALEGRE



## Anexo C

### Rateio de custo da drenagem urbana para áreas não-controladas

#### Custo de Manutenção

O custo unitário uniforme seria

$$C_u = \frac{C_t}{A_b} \text{ (R\$/m}^2\text{)} \quad (1)$$

onde  $A_b$  é a área da bacia em  $\text{km}^2$  e  $C_t$ , custo total em R\$ milhões

A área da bacia pode ser sub-dividida em

$$100 = A_p + A_i \quad (2)$$

para  $A_p$ , parcela de áreas permeáveis (%);  $A_i$ , parcela de áreas impermeáveis (%).

Numa área urbana as áreas impermeáveis podem ser desdobradas na expressão

$$A_i = \alpha i_m + \beta i_1 \quad (3)$$

onde  $\alpha$  é a parcela da área com arruamentos e logradouros públicos, como parques e praças;  $i_m$  é a parcela impermeável desta área (%);  $\beta$  é a parcela da área ocupada pelos lotes urbanos;  $i_1$  é a parcela de impermeabilização do lote. Neste caso,  $\beta = 1 - \alpha$ . A equação acima fica

$$A_i = \alpha i_m + (1 - \alpha) i_1 \quad (4)$$

O valor de  $\alpha$  usualmente varia de 0,25 a 0,35 da área loteada. Considerando  $\alpha = 0,25$ , distribuindo 15% para ruas e 10% para praças, sendo que como as ruas possuem 100% de áreas impermeáveis e as praças próximas de zero, resulta para

$$i_m = (0,15 \times 100 + 0 \times 0,10) / 0,25 = 60\%$$

A equação 4 fica

$$A_i = 15 + 0,75 \cdot i_1 \quad (5)$$

O princípio da taxa de cobrança da operação e manutenção da drenagem urbana é o da proporcionalidade com relação ao volume de escoamento superficial gerado. Considerando que as áreas impermeáveis possuem coeficiente de escoamento 0,95 e as áreas permeáveis 0,15 ( $C_p=0,15$  e  $C_i = 0,95$ ), o volume gerado pelas áreas impermeáveis é 6,33 superior ao das áreas permeáveis. Desta forma o custo unitário de uma área permeável é

$$C_{u_p} = \frac{0,95}{0,15} C_{u_i} = 6,33 C_{u_i} \quad (6)$$

onde o  $C_{u_i}$  é o custo unitário das áreas impermeáveis  
O custo total da operação e manutenção é igual

$$C_t = \frac{A_b}{100} [C_{u_p} \cdot A_p + C_{u_i} \cdot A_i] \quad (7)$$

Utilizando as equações 2 e 6 na equação 7, resulta

$$C_t = \frac{A_b \cdot C_{u_i}}{100} (15,8 + 0,842 \cdot A_i) \quad (8)$$

O custo unitário das áreas impermeáveis fica

$$C_{u_i} = \frac{100 \cdot C_t}{A_b \cdot (15,8 + 0,842 \cdot A_i)} \quad (9)$$

onde,  $C_{u_i}$  em R\$/m<sup>2</sup>, para  $C_t$  em milhões;  $A_b$  em km<sup>2</sup>. Conhecidos os valores de  $C_t$ ,  $A_b$  e  $A_i$  da bacia total. O valor de  $C_{u_i}$  é fixado para a bacia ou para área total em questão.

O cálculo do custo a ser pago por propriedade fica

$$T_x = \frac{A}{100} \cdot (C_{u_i} \cdot A_i + C_{u_p} \cdot A_p) \quad (10)$$

e

$$T_x = \frac{A}{100} [C_{u_i} A_i + 0,158 C_{u_i} \cdot (100 - A_i)]$$

$$T_x = \frac{A \cdot C_{u_i}}{100} (15,8 + 0,842 \cdot A_i) \quad (11)$$

onde A é a área da propriedade em m<sup>2</sup> e A<sub>i</sub> é a área impermeável da área A em %. A expressão de A<sub>i</sub> pode ser obtida da equação 5, substituindo na equação 11 fica

$$T_x = \frac{A \cdot C_{u_i}}{100} (28,43 + 0,632 i_1) \quad (12)$$

Para verificar a coerência desta equação, considere uma bacia onde a área impermeável total é de 40%. Para que a área total da bacia tenha 40% de áreas impermeáveis, a área impermeável dos lotes terá  $i_1 = 33,33\%$  e considerando  $A = A_b$ , utilizando as equações 11 e 12, deve-se obter  $T_x = C_t$ .

Para exemplificar, considere o custo de R\$ 1.400,00/ha, numa bacia de 40% de área impermeável, o custo de manutenção de um lote de 300 m<sup>2</sup> é obtido utilizando inicialmente a equação 8,

$$C_{u_i} = \frac{100 \times 0,14}{1 \times (15,8 + 0,842 \times 40)} = \text{R\$ } 0,283/\text{m}^2$$

$$C_{u_p} = 0,283/6,33 = \text{R\$ } 0,045/\text{m}^2$$

Na equação 11, resulta

$$T_x = \frac{300 \times 0,283}{100} (28,43 + 0,642 i_1) = 24,137 + 0,545 \cdot i_1$$

### **Rateio dos custos para implementação das obras do Plano de Drenagem**

Neste caso, o rateio de custos é distribuído apenas para as áreas impermeabilizadas, que aumentaram a vazão acima das condições naturais. Neste caso, a equação 1 fica

$$Cup_i = \frac{Ctp \cdot 100}{A_b \cdot A_i} \quad (13)$$

onde Ctp é o custo total de implementação do Plano.

Tabela 1 exemplo do rateio de custo baseado na área impermeável do lote

Área impermeável %	Taxa anual para um terreno de 300 m <sup>2</sup> R\$
5	26,86
10	29,59
20	35,04
30	40,49
40	45,94
50	51,39
60	56,84
70	62,29
80	67,74

A taxa a ser cobrada para cada área de lote urbanizado de  $i_1$  % é obtida pela expressão

$$T_{xp} = \frac{A_i \cdot Cup_i \cdot A}{100} \quad (14)$$

onde  $A_i$  é a distribuição das áreas impermeáveis em cada área, dada pela equação 5, o que resulta

$$T_{xp} = (15 + 0,75i_1) Cup_i \frac{A}{100} \quad (15)$$

Substituindo a equação 13 resulta

$$T_{xp} = \frac{A \cdot Ctp \cdot (15 + 0,75i_1)}{A_b \cdot A_i} \quad (16)$$

onde, como anteriormente,  $A_i$  é a área impermeável de toda a bacia em %;  $A$  é a área do terreno em m<sup>2</sup>;  $A_b$  é a área da bacia em km<sup>2</sup>; Ctp é o custo total em R\$ milhões;  $i_1$  é a área impermeável do lote em %.

Para um lote sem área impermeável, a contribuição tarifária do proprietário se refere a parcela comum das ruas e fica

$$T_{xp} = \frac{15.A.Ctp}{Ab.Ai} \quad (16)$$

Considere uma bacia que necessita R\$ 3 milhões de investimentos para o Plano Diretor. A área impermeável é de 40% e a área da bacia de 5 km<sup>2</sup>. A taxa a ser paga para um terreno de 300 m<sup>2</sup> para implantação das medidas na bacia é obtida por

$$T_{xp} = \frac{300 \times 3}{5 \times 40} (15 + 0,75i_1) = 67,5 + 3,375 \cdot i_1 \quad (17)$$

Na tabela abaixo são apresentados os valores de acordo com a área impermeável do lote

Tabela 2 Taxa para implementação do Plano Diretor da bacia para um lote de 300 m<sup>2</sup>

Área impermeável %	T <sub>x</sub> R\$
0	67,50
10	101,25
20	135,00
30	168,75
40	202,50
50	236,25
60	270,00
70	303,75
80	337,50

## Anexo D

### Elementos para regulamentação de Porto Alegre

Na regulamentação para desenvolvimento urbano é necessário estabelecer critérios básicos de cálculo visando tornar mais simples o estabelecimento de medidas legais e o dimensionamento do controle devido a impermeabilização. Alguns dos elementos básicos de regulamentação são:

- Vazão específica de pré-desenvolvimento;
- Volume específico necessário para o controle de uma determinada área.

#### Vazão de pré-desenvolvimento

A vazão de pré-desenvolvimento corresponde as condições mais próximas da situação natural. Em princípio, esta vazão deve ser mantida após o desenvolvimento. Para a regulamentação desta vazão é necessário estabelecer critérios simples que sejam aplicáveis de forma geral na cidade, sem prejuízo do seu controle.

A vazão pode ser obtida pelo Método Racional pela expressão

$$Q = 0,278 C I A \quad (1)$$

onde  $Q$  = vazão máxima em  $m^3/s$ ,  $I$  = intensidade da precipitação em  $mm$  e  $A$  = área da bacia em  $km^2$ . Esta equação pode ser expressa na forma de vazão específica natural em

$$q_n = \frac{Q}{A} = 2,78.C.I \quad (2)$$

onde  $q_n$  é obtido em  $l/(s.ha)$ .

Esta equação depende de  $C$ , coeficiente de escoamento e  $I$ , intensidade da precipitação em  $mm/h$ .

**Coeficiente de escoamento:** O coeficiente de escoamento de uma bacia de superfícies variáveis pode ser estimado pela ponderação do coeficiente de diferentes superfícies. Considerando uma bacia urbana onde

podem existir dois tipos de superfícies: permeável e impermeável é possível estabelecer que:

$$C = \frac{C_p A_p + C_i A_i}{A_t} \quad (3)$$

onde  $C_p$  é o coeficiente de escoamento de área permeável da bacia;  $A_p$  é a área da bacia com superfície permeável;  $C_i$  é o coeficiente de escoamento de uma área impermeável;  $A_i$  é a parcela da bacia com área impermeável.

Esta equação pode ser transformada de acordo com o seguinte

$$\begin{aligned} C &= C_p \frac{A_p}{A_t} + C_i \frac{A_i}{A_t} = \\ &= C_p + (C_i - C_p) \cdot AI \end{aligned} \quad (4)$$

onde  $AI = A_i/A_p$ , representando a parcela de áreas impermeáveis.

**Coefficiente médio :** O coeficiente de escoamento pode ser expresso por uma relação linear com a taxa de áreas impermeáveis, onde os coeficientes representam os valores das áreas permeável e impermeável. A influência de AI depende da diferença entre os coeficientes, como se observa no segundo termo da equação.

Com base em 44 pequenas bacias urbanas americanas (Schueler, 1987) foi obtida a relação

$$C = 0,05 + 0,9 I \quad (5)$$

Esta equação foi obtida com  $R^2 = 0,71$ . Urbonas et al (1990) utilizaram dados de 60 bacias urbanas dos Estados Unidos e obtiveram

$$C = 0,858 \cdot AI^3 - 0,78 \cdot AI^2 + 0,774 AI + 0,04 \quad (6)$$

para  $R^2=0,72$

Como os dados utilizados se refere a 2 anos de dados para as duas equações anteriores, provavelmente o coeficiente se refere a uma precipitação com risco de mesma ordem (Urbonas e Roesner, 1992).

Neste caso, para a equação 5,  $C_i - C_p = 0,9$ ,  $C_p = 0,05$ ,  $C_i = 0,95$ . O resultado do ajuste mostra que o coeficiente de áreas impermeáveis é de 0,95, devido a uma perda de 5%, que pode ser devido a: imprecisão da estimativa das áreas impermeáveis; infiltração das juntas das superfícies e mesmo evaporação de superfícies quentes. Na equação 6  $C_p=0,04$ .

No Brasil não existe uma amostra deste tamanho de bacias urbanas, mas com a amostra disponível, Tucci (2000) apresentou a seguinte equação

$$C = 0,047 + 0,9.AI \quad (7)$$

Os dados utilizados foram de 11 bacias selecionadas ( $R^2 = 0,92$ ) segundo os seguinte critérios:

bacias com pelo menos cinco eventos;  
valores consistentes de áreas impermeáveis;  
valores consistentes quanto aos eventos hidrológicos.

Considerando que  $C_i$  representa o coeficiente de escoamento de uma parcela urbanizada, o valor de 0,95 obtido retrata principalmente superfícies de asfalto e concreto onde o valor é próximo do limite superior.

Adicionalmente deve-se considerar que o próprio coeficiente de escoamento não é um valor fixo, mas varia com a magnitude das enchentes (Urbonas e Roesner, 1992), condições iniciais, características da distribuição da precipitação, tipo de solo, entre outros. Numa bacia rural o valor do coeficiente de escoamento não é sempre o correspondente a  $C_p=0,047$ , mas varia de acordo com condicionantes físicos. Estas equações permitem uma estimativa média deste valor.

**Coefficiente baseado no SCS:** O valor de  $C_p$  na equação 3 representa o coeficiente de escoamento de uma superfície permeável pode ser estimada com base na equação do SCS (SCS, 1975)

$$C_p = \left[ \frac{(P - 0,2S)^2}{P + 0,8S} \right] \cdot \frac{1}{P} \quad (8)$$

onde P é a precipitação total do evento em mm; S é o armazenamento, que está relacionado com o parâmetro que caracteriza a superfície (CN) por

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (9)$$

O valor de CN depende do tipo de solo e características da superfície.



A precipitação total do evento para o método racional é

$$P = I \cdot t_c \quad (10)$$

onde I é a intensidade em mm/h e  $t_c$  o tempo de concentração em horas.

Na tabela 1 são apresentados alguns valores de S para algumas superfícies, obtidos com base em CN das tabelas de SCS (1975). Nesta mesma tabela são apresentados valores de  $C_p$  para precipitação de 1h e 2 anos de tempo de retorno de Porto Alegre (risco aproximado dos valores médios obtidos dos eventos da tabela 1). Estes valores estão na vizinhança do valor ajustado de  $C_p$ . A bacia do Dilúvio, na qual grande parte das bacias analisadas tem predominância dos solos A, B e C, sendo que os postos com características rurais estão em solos do tipo A e B, com predominância para solo tipo A.

Devido a grande variabilidade deste coeficiente e a necessidade de definir um valor padrão único, utilizou-se o coeficiente de escoamento  $C = 0,10$ , que representa um valor intermediário entre os solos A e B, que predominam em grande parte da cidade.

Tabela 1 Valores de S e  $C_p$

Tipo de solo	Campo	Ruas de terra	Área agrícola
A			
S (mm)	19,8	52,9 -79,5	31,1 - 19,8
$C_p$	0,032	0	0 - 0,03
B			
S (mm)	11,2	22,8 -32,5	11,91 - 20,7
$C_p$	0,158	0 - 0,015	0,025 - 0,14
C			
S (mm)	7,6	13,5-17,8	6,9 - 14,3
$C_p$	0,277	0,049-0,108	0,094 - 0,31
D			
S (mm)	6,3	9,7 - 12,7	5,0 - 11,9
$C_p$	0,34	0,12 - 0,20	0,14 - 0,42

**Intensidade da precipitação:** A intensidade da precipitação é estimada de acordo com duração ou o tempo de concentração da bacia e do tempo de retorno. Quanto menor o tempo de concentração, maior a intensidade e maior será a vazão específica média a ser adotada. Da mesma forma, quanto maior o tempo de retorno, maior será a vazão específica

natural. Valores altos de vazão específica natural implicam em menor volume de controle para cada local.

Utilizando a curva de intensidade x duração e frequência da Redenção, que apesar de ter sido extinta possui uma série mais extensa e representa uma área mais central da cidade. Com base nesta equação foi estimada intensidade para 1 hora, para diferentes riscos. A equação do escoamento em função do tempo de retorno para duração adotada de 1h fica

$$q = 8,35.T^{0,217} \quad (11)$$

Tabela 2 Valores de  $C_p$

Fonte	$C_p$
Gramma (solo arenoso) ASCE, 1969	0,05 a 0,20
Gramma (solo pesado) ASCE, 1969	0,13 a 0,35
Matas, parques e campos de esporte, Wilken, 1978	0,05 – 0,20
Equação Schueller (USA, 44 bacias)	0,05
Equação Urbonas et al (1990)(USA, 60 bacias)	0,04
Equação Tucci (Brasil, 11 bacias)	0,047
Usando Soil Conservation Service	0,025 a 0,31

com  $R^2=0,999$ .

Neste caso, utilizando o tempo de retorno de 10 anos, o valor recomendado é de 13,9 l/(s.ha). Para exemplificar, o valor médio utilizado na cidade de Seattle (USA) é de 14 l/(s.ha). O valor específico para 10 anos em Denver USA é  $q_{10}=16,7$  l/s.ha.

Tabela 3 Valores de vazão específica de pré-desenvolvimento

Tempo de retorno Anos	Vazão l/s.ha
2	9,62
5	11,9
10	13,9
25	16,9
50	19,5
100	22,5

## Volume de controle

O volume de controle para pequenas áreas urbanas ( $< 2 \text{ km}^2$ ) pode ser estimada com base na seguinte equação

$$V = (Q_u - Q_n)t.k \quad (12)$$

onde  $V$  é o volume em  $\text{m}^3$ ;  $Q_n$  é a vazão de pré-desenvolvimento em  $\text{m}^3/\text{s}$ ;  $Q_u$  é a vazão resultado do desenvolvimento urbano;  $t$  é duração em minutos e  $k = 60$  para conversão de unidades.

A vazão devido ao desenvolvimento urbano é estimada pela equação 1. A vazão de pré-desenvolvimento foi estimada no item anterior através da sua vazão específica. No entanto, transformando a equação 10 em volume específico, ou seja volume por unidade de área, resulta

$$\frac{V}{A} = [0,278.C.I - q_n].60.t \quad (13)$$

O coeficiente de escoamento pode ser estimado de acordo com as áreas impermeáveis com  $C_p=0,10$  e  $C_i=0,95$ . O que resulta

$$C = 0,10+0,85.AI \quad (14)$$

A intensidade da precipitação pode ser representada pela equação

$$I = \frac{a}{(t + b)^d} \quad (15)$$

Substituindo na equação do volume específico resulta

$$v = \left( \frac{0,278.C.a}{(t + b)^d} - q_n \right).60.t \quad (16)$$

O volume máximo é obtido para duração obtida através da equação

$$t = \left[ \frac{q_n.(t + 0,278.C.a)}{0,278.C.a.(1 - d)} \right]^{1/(d+1)} - b \quad (17)$$

Utilizando os dados de precipitação de Porto Alegre (Posto Recuperação) obteve-se os volumes para tempos de retorno variando de 2 a 100 anos e área impermeável variando de 5 a 100%. Na tabela 4 são apresentados os resultados.

Estes valores foram ajustados a uma equação com a seguinte expressão

$$v = 2,624.T^{0,269}.AI \quad (17)$$

onde T é fornecido em anos; AI área impermeável em % e v é obtido em m<sup>3</sup>/ha. O coeficiente de determinação do ajuste foi de R<sup>2</sup> = 0,99.

Para cada tempo de retorno foram também ajustadas equações específicas, que representam melhor os resultados. Na tabela 5 são apresentados os coeficientes da reta e o R<sup>2</sup> de ajuste. Neste caso, a reta resultante para o tempo de retorno de 10 anos é

$$v = 4,864. AI \quad (18)$$

Tabela 4 Volume específico em m<sup>3</sup>/ha

Área impermeável %	Tempo de retorno					
	2	5	10	25	50	100
5	21,82	25,83	29,25	34,45	38,89	31,52
10	33,52	40,25	46,11	55,13	62,97	43,67
20	59,66	72,95	84,77	103,32	119,82	69,47
30	88,35	109,35	128,29	158,42	185,64	97,46
40	118,91	148,51	175,51	218,93	258,63	127,6
50	150,94	189,91	225,77	283,98	337,72	159,75
60	184,18	233,18	278,62	352,96	422,17	193,86
70	218,45	278,09	333,76	425,45	511,46	229,84
80	253,63	324,44	390,94	501,12	605,16	267,55
90	289,62	372,10	449,97	579,72	702,96	306,95
100	326,34	420,95	510,71	661,04	804,58	347,96

Neste caso, o volume necessário para recuperar a vazão pré-existente para uma área de 1000 m<sup>2</sup> com 50% de área impermeável é

$$V = (1.000/10.000). 4,864 \times 50 = 24,32 \text{ m}^3$$

Para uma profundidade de 2m, corresponde a 12,32 m<sup>2</sup>, 1,23% da área total.

Tabela 5. Coeficiente da reta de ajuste do volume específico para cada tempo de retorno

Tempo de retorno anos	a	R <sup>2</sup>
2	3,1648	0,9966
5	4,0416	0,9945
10	4,8640	0,9922
25	6,2252	0,9884
50	7,5090	0,985
100	9,0490	0,981

$v = a \cdot AI$ ; onde  $v$  é o volume específico em m<sup>3</sup> e  $AI$  em %