

Gestão de águas pluviais urbanas

SANEAMENTO PARA TODOS

4

Apoio



Secretaria Nacional
de Saneamento Ambiental

Ministério
das Cidades





SANEAMENTO PARA TODOS

Gestão de águas pluviais urbanas

Carlos E. M. Tucci

SANEAMENTO PARA TODOS

Brasília
outubro de 2005

Programa de Modernização do Setor Saneamento
Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental
Ministério das Cidades

Ministro das Cidades: *Marcio Fortes de Almeida*

Secretário Executivo: *Rodrigo José Pereira-Leite Figueiredo*

Secretário Nacional de Saneamento Ambiental (SNSA): *Abelardo de Oliveira Filho*

Diretor de Desenvolvimento e Cooperação Técnica da SNSA: *Marcos Helano Fernandes Montenegro*

Diretor de Água e Esgotos da SNSA: *Márcio Galvão Fonseca*

Diretor de Articulação Institucional da SNSA: *Sérgio Antonio Gonçalves*

Coordenador do Programa de Modernização do Setor Saneamento (PMSS): *Ernani Ciríaco de Miranda*

Programa de Modernização do Setor Saneamento (PMSS)

SCN, Quadra 1, Bloco F, 8º andar, Edifício America Office Tower – CEP 70711-905

Fone: (61) 3327-5006 FAX: (61) 3327-9339

pmss@cidadess.pmss.gov.br

www.cidades.gov.br e www.pmss.gov.br

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

Brasil. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental
Gestão de águas pluviais urbanas / Tucci, Carlos
E.M. – Brasília :Ministério das Cidades, 2006.
194p.(Saneamento para Todos; 4º volume).

1. 1. Saneamento básico. 2. Gestão integrada de
águas pluviais. 3. Capacitação. 4. Brasil. I. Programa
de Modernização do Setor Saneamento. II. Título.
III. Título: Gestão de águas pluviais urbanas. IV. Série.

ISBN 978-85-60133-35-2

Coordenação editorial e projeto gráfico: Rosana Lobo

Diagramação: Informe Comunicação

Fotolitos e impressão: Gráfico

Tiragem: 3.000 exemplares

Foto da folha de rosto: Inundação de maio de 1941 em Porto Alegre

Acervo histórico da Prefeitura Municipal de Porto Alegre

É permitida a reprodução total ou parcial desta publicação, desde que citada a fonte.

APRESENTAÇÃO

A série de publicações ***Saneamento para Todos***, da Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental do Ministério das Cidades (SNSA/MCIDADES), desenvolvida no âmbito do Programa de Modernização do Setor Saneamento (PMSS), propõe disponibilizar aos agentes do setor saneamento brasileiro, estudos e pesquisas relativos a temas institucionais, técnico-operacionais, econômico-financeiros, regulatórios e legais, afetos aos serviços de saneamento no país.

Ao disseminar os resultados de importantes trabalhos desenvolvidos pelo PMSS, espera-se contribuir para a busca da eficiência e da qualidade da prestação dos serviços de saneamento, para o aperfeiçoamento da gestão e conseqüente ampliação da cobertura, com vistas à universalização dos serviços em todo o território brasileiro. Em especial, em consonância com as diretrizes da política de saneamento implementada pela SNSA/MCidades, a ênfase nos planos de saneamento e no planejamento das ações é fundamental para o avanço do setor.

O alcance de bases técnico-institucionais sólidas para todos os serviços de saneamento básico é de inquestionável importância, e aí destaca-se o manejo das águas pluviais urbanas, historicamente relevado nas ações do governo federal. As iniciativas desenvolvidas neste campo têm apontado em direção ao resgate de parte deste *déficit* com o setor, não só estabelecendo componentes de manejo das águas pluviais em seus programas de financiamento, mas sobretudo estimulando o debate e difundindo uma nova concepção de manejo das águas urbanas. Trata-se de um modelo que não mais se limita ao princípio dominante do meio técnico, de drenagem como afastamento e escoamento das águas pluviais, mas que também agrega outras soluções de caráter estrutural e não estrutural.

Além disso, tem-se ampliado as iniciativas de capacitação para gestores públicos nos níveis federal, estaduais e municipais, introduzindo bases conceituais para a formulação de planos diretores municipais e o desenvolvimento de projetos de manejo das águas urbanas. É neste contexto que se insere a presente publicação, número quatro da série *Saneamento para Todos*, denominada *Gestão de Águas Pluviais Urbanas*, elaborada pelo Prof. Dr. Carlos E. M. Tucci, uma das maiores autoridades técnicas do assunto no Brasil.

Cabe destacar, que a série Saneamento para Todos contempla outras três edições já divulgadas, com o seguinte conteúdo:

Publicação 1 - *Projeto de Lei nº 5296/2005 - Diretrizes para os serviços públicos de saneamento básico e Política Nacional de Saneamento Básico (PNS)*;

Publicação 2 - *Reestruturação dos serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário*

no estado do Piauí - o primeiro Consórcio Público de Saneamento, que compreende duas partes: Estudo de cenários para a prestação de serviços de saneamento no Estado do Piauí; e O processo de implantação do Consórcio Regional de Saneamento do Sul do Piauí - CORESA Sul do PI;

Publicação 3 - O Mecanismo de Desenvolvimento Limpo nos empreendimentos de manejo de resíduos sólidos urbanos e o impacto do Projeto de Lei nº 5.296/2005.

Esperamos que, como as anteriores, a presente publicação contribua na mudança de paradigmas que se estende à gestão dos serviços de saneamento no Brasil, permitindo que soluções inovadoras e sustentáveis, baseadas na gestão integrada das águas urbanas, sejam conhecidas e adotadas.

Abelardo de Oliveira Filho
Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental
Ministério das Cidades

O PROGRAMA DE MODERNIZAÇÃO DO SETOR SANEAMENTO

O Programa de Modernização do Setor Saneamento (PMSS) consolidou-se, ao longo de seus treze anos, como um instrumento permanente de apoio à instância executiva da política de saneamento do governo federal, tendo suas ações voltadas à criação das condições propícias a um ambiente de mudanças e de desenvolvimento do setor saneamento no país. Atualmente é um dos principais programas da Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental do Ministério das Cidades.

O Programa tem, no Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), o seu mais reconhecido produto. A credibilidade construída em torno deste instrumento permitiu, ao longo dos seus 10 anos de existência, consolidar séries históricas de diversos dados e informações fornecidas por uma amostra de prestadores de serviços, tanto de água e esgotos como de resíduos sólidos, que progressivamente se amplia em tamanho e representatividade.

Por sua vez, a assistência técnica aos órgãos e entidades do setor saneamento no país constitui-se em pauta fundamental do PMSS, buscando promover reformas institucionais, especialmente nos prestadores de serviços, com vistas a melhorar a qualidade e o nível de eficiência e eficácia de suas ações, condição básica para universalização dos serviços. Neste sentido, são potenciais beneficiários do Programa (i) os estados e municípios, na formulação de políticas públicas e desenvolvimento de planos de saneamento; (ii) as instâncias de regulação e fiscalização, na implementação de atividades regulatórias e de controle social; e (iii) os prestadores públicos de serviços, na sua revitalização e reestruturação.

Além do apoio direto ao prestador de serviços, operando segundo o modelo de gestão vigente, a assistência do PMSS estuda arranjos alternativos de gestão, que permitam o fortalecimento do prestador de serviços atual, funcionando em novas bases, mas que também possibilitem ao governante explorar novos modelos que enfrentem o quadro de dificuldades em que se encontra os serviços de saneamento nos estados e municípios brasileiros.

O Programa alavanca o desenvolvimento institucional do setor mediante ações de capacitação dos agentes que atuam no saneamento. Neste sentido, o PMSS liderou, em parceria com diversos órgãos do Governo federal e a operacionalização da Financiadora de Estudos e Pesquisas – FINEP, o processo de criação e estruturação da Rede Nacional de Capacitação e Extensão Tecnológica em Saneamento Ambiental – ReCESA. Foram constituídos 4 Núcleos Regionais, coordenados por 14 universidades e que agregam cerca de 80 instituições parceiras (entre prestadores de serviços, entidades do setor, sistema S e sistema CEFET). O PMSS exerce o papel de Núcleo Executivo do Comitê Gestor da ReCESA.

O PMSS também fornece o suporte técnico e de logística à SNSA/MCidades na implementação do projeto de Cooperação Internacional Brasil-Itália em Saneamento Ambiental, que conta com a participação de instituições do Governo italiano e da *HYDROAID – Scuola Internazionale dell'Acqua per lo Sviluppo*, além da participação de municípios e universidades brasileiras.

O Programa desempenha ainda um papel de vanguarda em temas emergentes para o setor como atingir as Metas do Milênio e atender aos tratados internacionais. Destacam-se parcerias com o Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água (PNCDA), o Programa de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL), o Projeto Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) aplicado a Resíduos Sólidos e o Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD).

O PMSS se insere efetivamente na agenda político-institucional da SNSA/MCidades, oferecendo suporte técnico na formulação e implementação do marco legal e regulatório para o setor. O programa contribuiu de forma destacada para a discussão e aprovação da Lei 11.107/2005 que regulamenta os Consórcios Públicos e no apoio à construção do projeto de lei que estabelece as diretrizes gerais para os serviços e institui a política nacional de saneamento básico.

O Programa de Modernização do Setor Saneamento conta, ainda, com um projeto editorial, que recentemente ganhou fôlego renovado com o lançamento da série de publicações e da revista periódica, denominadas "Saneamento para Todos", abrangendo edições que fomentam a reflexão político-institucional e o intercâmbio técnico entre os agentes do setor.

Marcos Helano Fernandes Montenegro
Diretor de Desenvolvimento e Cooperação Técnica da SNSA/MCIDADES

Ernani Ciríaco de Miranda
Coordenador da UGP/PMSS

SUMÁRIO

	INTRODUÇÃO	15
I.	ÁGUAS URBANAS	17
I.1	Desenvolvimento urbano	17
I.1.1	Processo de urbanização	17
I.1.2	Impactos na infra-estrutura urbana.....	19
I.2	Sistemas hídricos urbanos.....	21
I.3	Disponibilidade hídrica	22
I.4	Avaliação dos componentes das águas urbanas.....	24
I.4.1	Contaminação dos mananciais	24
I.4.2	Abastecimento de água e saneamento	26
I.4.3	Resíduos sólidos	28
I.4.4	Escoamento pluvial.....	30
I.4.5	Síntese do cenário atual	33
I.5	Doenças de veiculação hídrica	34
I.6	Comparação entre países desenvolvidos e em desenvolvimento.....	36
II.	GESTÃO DAS INUNDAÇÕES RIBEIRINHAS	40
II.1	Características das inundações ribeirinhas.....	40
II.2	Ocupação do espaço urbano e impacto das inundações	41
II.3	Avaliação das enchentes.....	46
II.3.1	Previsão de cheia em tempo atual.....	46
II.3.2	Probabilidade ou risco da inundação	47
II.4	Medidas de controle das inundações ribeirinhas.....	48
II.5	Medidas estruturais.....	50
II.5.1	Medidas extensivas.....	50
II.5.2	Medidas Intensivas	51

II.6	Medidas não-estruturais	57
II.6.1	Sistema de previsão e alerta	58
II.6.2	Zoneamento de áreas inundáveis	59
II.6.3	Construção à prova de enchente	66
II.6.4	Seguro de inundação	66
II.7	Avaliação dos prejuízos das enchentes	67
II.7.1	Curva nível-prejuízo	67
II.7.2	Método da curva de prejuízo histórico	68
II.7.3	Equação do prejuízo agregado.....	68
III.	GESTÃO DAS INUNDAÇÕES NA DRENAGEM URBANA.....	72
III.1	Impacto do desenvolvimento urbano no ciclo hidrológico.....	72
III.2	Impacto ambiental sobre o ecossistema aquático	74
III.3	Gestão na macrodrenagem que gera impactos.....	79
III.3.1	Gestão na drenagem urbana.....	79
III.3.2	Gestão inadequada das áreas ribeirinhas em combinação com a drenagem urbana....	81
III.4	Princípios da gestão sustentável	83
III.5	Tipos de medidas de controle.....	84
III.5.1	Medidas de controle distribuído.....	84
III.5.2	Medidas de controle na microdrenagem e na macrodrenagem.....	95
IV.	GESTÃO INTEGRADA DAS ÁGUAS URBANAS.....	108
IV.1	Fases da gestão.....	109
IV.2	Visão integrada no ambiente urbano.....	110
IV.3	Aspectos Institucionais	114
IV.3.1	Espaço geográfico de gerenciamento	114
IV.3.2	Experiências	115
IV.3.3	Legislações.....	115
IV.3.4	Gestão urbana e da bacia hidrográfica	117
V	PLANO DE ÁGUAS PLUVIAIS	138
V.1	Interfaces entre os planos.....	138
V.1.1	Gestão.....	138
V.1.2	Drenagem urbana e erosão e resíduos sólidos.....	139

V.1.3	Recuperação ambiental	139
V.2	Estrutura	140
V.2.1	Princípios	140
V.2.2	Objetivos do Plano.....	142
V.2.3	Estratégias	142
V.2.4	Cenários	143
V.3	Medidas	144
V.3.1	Medidas não-estruturais.....	144
V.3.2	Medidas estruturais.....	144
V.4	Produtos	155
V.5	Programas	156
V.5.1	Programa de monitoramento	156
V.5.2	Estudos complementares	159
VI	ESTUDOS DE CASO.....	166
VI.1	Inundações ribeirinhas em Estrela (RS).....	166
VI.2	Inundações ribeirinhas e energia em União da Vitória/Porto União	167
VI.2.1	Inundações	167
VI.2.1	Conflito	168
VI.2.2	Medidas de controle	169
VI.3	Gestão das inundações na região metropolitana de Curitiba.....	170
VI.3.1	Alternativas de controle	170
VI.3.2	Concepção das medidas de controle	172
VI.4	Gestão de inundações em Porto Alegre	173
VI.4.1	Descrição	173
VI.4.2	Bacia do Areia	175
VI.4.3	Cenário de drenagem na cidade	177
Anexo A	181
Anexo B	186
Anexo C	190
Anexo D	193

INTRODUÇÃO

Este texto foi preparado como base para um curso de mesmo título voltado para tomadores de decisão, profissionais de diferentes áreas de conhecimento que, de alguma forma, atuam no meio ambiente urbano, como administradores, legisladores, engenheiros, arquitetos, geólogos, biólogos, entre outros.

Os objetivos do curso consistiram em apresentar uma visão integrada da gestão das águas pluviais urbanas, na qual se inserem a drenagem urbana e as inundações ribeirinhas das cidades. Ele não explora 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 diversas 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. Ainda neste capítulo, são destacados os dois tipos principais de inundações – ou seja, os decorrentes da urbanização, da drenagem urbana e de inundações ribeirinhas –, enquanto o segundo capítulo detalha aspectos das inundações ribeirinhas: avaliação, medidas de controle para mitigação dos impactos e gestão dentro das cidades. No terceiro capítulo, é apresentada a gestão da drenagem urbana, como: estratégias de controle, princípios e medidas de controle sustentáveis em diferentes estágios. No quarto capítulo, são apresentados os elementos da gestão das águas pluviais e a sua relação com outros aspectos da infra-estrutura urbana na cidade e com o Plano da Bacia Hidrográfica no qual está inserida. O quinto capítulo, trata dos elementos básicos para o desenvolvimento do Plano de Águas Pluviais, enquanto, no sexto capítulo, discute-se 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 a complexa realidade econômica, social, ambiental e climática, exige soluções inovadoras, que se baseiem 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

I. ÁGUAS URBANAS

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

O desenvolvimento urbano acelerou-se na segunda metade do século vinte, com grande concentração de população em pequenos espaços, impactando os ecossistemas terrestre e aquático e a própria população com inundações, doenças e perda de qualidade de vida. Esse processo ocorre em decorrência da 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 a ocupação do uso do solo; e a seguir, são caracterizados os principais elementos da infra-estrutura das águas urbanas, a saber: abastecimento de água, esgotamento sanitário, resíduos sólidos e águas pluviais e os aspectos de saúde.

I.1 DESENVOLVIMENTO URBANO

I.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. Esse processo é ainda mais significativo na América Latina, onde a população urbana é 77% do total (47,2% no globo). 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 megacidades (acima de 10 milhões de habitantes) formaram-se no final do século vinte, representando 4% da população mundial, das quais pelo menos quatro 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, o que mantém a população estável. A recuperação ou a manutenção da população atualmente ocorre apenas por meio 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 em âmbito mundial, com diferenças entre continentes. Na América Latina, a urbanização tem sido alta, com a transferência da população rural para as cidades. Esse crescimento tende em médio prazo a estabilizar o crescimento demográfico. A previsão é de que em 2010 existirão 60 cidades com população acima de 5 milhões, estando a maioria em países em desenvolvimento. Na tabela 1.1, podem-se observar as cidades mais populosas do mundo e da América Latina.

A taxa de crescimento da população da América Latina e do 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,

TABELA 1.1 MAIORES CIDADES DO MUNDO E DA AMÉRICA LATINA (UN, 2003)

Maiores cidades do mundo	População (milhões)	Maiores cidades da América Latina	População (milhões)
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
Bombaim	16,09	Rio de Janeiro	10,65
Los Angeles	13,21	Lima	7,44
Calcutá	13,06	Bogotá	6,77
Xangai	12,89	Santiago	5,47
Daka	12,52	Belo Horizonte	4,22
Nova Déli	12,44	Porto Alegre	3,76

é apresentada a proporção do crescimento da urbanização observado nos países da América Latina e sua projeção.

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

pelos países da América do Sul e pelo México venham a se reproduzir na América Central, à medida que a tendência de urbanização ocorra. Toda a região tenderá, em 2015, a uma proporção de população urbana total de 80,7%, devida, principalmente, aos países mais populosos, que mantêm taxas maiores de urbanização.

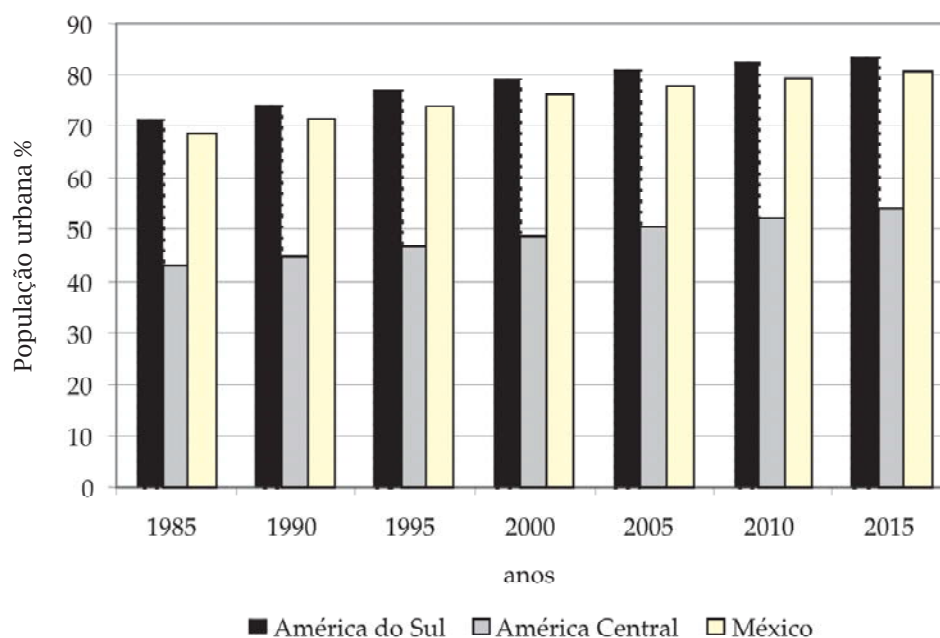


Figura 1.1 Urbanização em países da América Latina

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. Observam-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 pequenas áreas**, com deficiência de sistema de transporte, falta de abastecimento e saneamento, ar e água poluídos, além das freqüentes inundações. Essas condições ambientais inadequadas reduzem as condições de saúde e a qualidade de vida da população, enquanto aumentam os riscos de impactos ambientais, e são as principais limitações ao seu desenvolvimento.

País	População (1.000 habitantes)	População urbana (%)
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

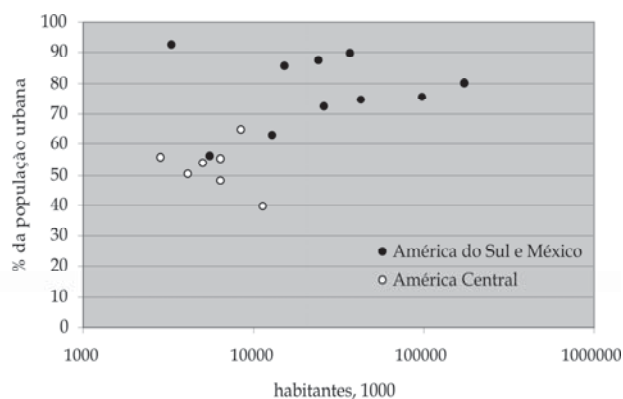


Figura 1.2 Relação entre população e população urbana

TABELA 1.2 POPULAÇÃO E URBANIZAÇÃO NA AMÉRICA LATINA (CEPAL, 2002)

País	População (1.000 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

- Aumento da periferia das cidades de forma descontrolada, em consequência da migração rural em busca de emprego nas cidades. Os airros ocupados por essa população geralmente estão desprovidos dos seguintes serviços: segurança, infra-estrutura tradicional de água, esgoto, drenagem, transporte e coleta de resíduos sólidos, além de serem dominados por grupos de delinqüentes, geralmente ligados ao tráfico de drogas.

• A urbanização é espontânea e o planejamento urbano é realizado para as áreas da cidade ocupadas pela população de renda média e alta. Sem um planejamento do espaço, 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 em virtude de 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.

Nas últimas décadas, os problemas da urbanização vêm ocorrendo por um ou mais fatores, destacando-se entre eles:

- Migrantes de baixa renda e sem capacidade de investimento. Essa população carente tende, então, a invadir áreas públicas ou a comprar áreas precárias para estabelecimento de edificações, sem infra-estrutura da urbanização informal. Formam-se, assim, as chamadas áreas de risco de inundação ou de deslizamento;
- Déficit de emprego, baixa renda e pouco poder aquisitivo de moradia;
- Legislações equivocadas de controle do espaço urbano;
- Incapacidade do município de planejar e antecipar a urbanização e investir no planejamento de espaços seguros e adequados como base do desenvolvimento urbano;
- Crise econômica em geral.

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, praticamente, para atender à cidade formal. Quanto à cidade informal, são analisadas apenas tendências de ocupação. Os principais problemas relacionados com a infra-estrutura de água no ambiente urbano são os seguintes:

- Falta de tratamento de esgoto. A maioria das cidades da região não possui tratamento de esgoto e lança os efluentes na rede de esgotamento pluvial, que escoa pelos rios urbanos;
- Falta de drenagem urbana. Algumas cidades chegaram a desenvolver redes de esgotamento sanitário (muitas vezes sem tratamento), mas não implementaram a rede de drenagem urbana, sofrendo freqüentes inundações com o aumento da impermeabilização;
- Ocupação do leito de inundação ribeirinha, provocando freqüentes inundações;
- Impermeabilização e canalização dos rios urbanos, com aumento da vazão de cheia (até sete vezes) e de sua freqüência; e aumento da carga de resíduos sólidos e da qualidade da água pluvial sobre os rios próximos das áreas urbanas;
- Deterioração da qualidade da água em virtude da falta de tratamento dos efluentes, criando potenciais riscos ao abastecimento da população em vários cenários, entre os quais a ocupação das áreas de contribuição de reservatórios de abastecimento urbano, que, eutrofizados, podem produzir riscos à saúde da população.
- Carência de uma gestão organizacional que integre o solo urbano a sua infra-estrutura.

Com efeito, grande parte dos problemas identificados foi gerada por um ou mais dos fatores destacados a seguir:

(a) Falta de conhecimento: da população e dos profissionais de diferentes áreas que não possuem informações adequadas sobre a fonte dos problemas e suas causas. As decisões resultam em custos altos, de que se aproveitam apenas algumas empresas, para aumentar os seus lucros. Por exemplo, o uso de canalização para drenagem, prática sabidamente generalizada na região, é extremamente onerosa e geralmente tende a aumentar os problemas em vez de solucioná-los. A própria população contribui, inadvertidamente para isso, pois, quando enfrenta algum problema de inundação, solicita à Administração a execução de um canal para o controle da inundação. Com a construção do canal, a inundação é transferida para jusante, afetando outra parte da população. O emprego desse tipo de obra supera em até 10 vezes outras medidas mais racionais e mais sustentáveis;

(b) Concepção inadequada dos profissionais de engenharia sobre planejamento e controle dos sistemas. Uma parcela importante dos engenheiros que atuam no meio urbano está desatualizada quanto à visão ambiental e geralmente busca soluções estruturais, que alteram o ambiente, criando um excesso de áreas impermeáveis e, conseqüentemente, elevação de temperatura, inundações, poluição, entre outros;

c) Visão setorializada do planejamento urbano. O planejamento e o desenvolvimento das áreas urbanas são realizados desprezando os aspectos relacionados com os diferentes componentes da infra-estrutura de água. Uma parte importante dos profissionais que atuam na área possui uma visão setorial limitada.

d) Falta de capacidade gerencial. Os municípios não possuem estrutura para o planejamento e o 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 cloacais;
- controle da drenagem urbana;
- controle das inundações ribeirinhas.

Mananciais das águas urbanas são as fontes de água para abastecimento humano, animal e industrial. Essas fontes podem ser superficiais e subterrâneas. Os mananciais superficiais são os rios próximos às comunidades. A disponibilidade de água nesse sistema varia sazonalmente, ao longo dos anos, e algumas vezes a quantidade de água disponível não é suficiente para atender à demanda, sendo, muitas vezes, necessário construir um reservatório para garantir a disponibilidade hídrica para a comunidade. Os mananciais subterrâneos são os aquíferos que armazenam água no subsolo e permitem o atendimento da demanda por meio do bombeamento dessa 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 portes, 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. Esse sistema implica elevados investimentos, geralmente públicos, para garantir água em quantidade e qualidade adequada.

O saneamento de efluentes de esgoto sanitário é o sistema de coleta dos efluentes (residenciais, comerciais e industriais), ou seja, o

transporte desse volume, seu tratamento numa Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) e o despejo da água tratada de volta ao corpo hídrico.

A drenagem urbana consiste na rede de coleta da água (e de resíduos sólidos), que se origina da precipitação sobre as superfícies urbanas, e no seu tratamento e no retorno aos rios.

O gerenciamento das inundações ribeirinhas trata de 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 isso 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 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 desconstruídas, que aparecem 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 m³/pessoa; atualmente esta reserva reduziu-se para 7,3 mil m³/pessoa, e espera-se que venha a se reduzir para 4,8 mil m³/pessoa nos próximos 25 anos, como

resultado do aumento da população, da industrialização, da agricultura e da 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 às Nações Unidas.

O ciclo hidrológico natural é constituído por diferentes processos físicos, químicos e biológicos. Quando o homem atua sobre esse sistema e concentra-se no espaço, produz grandes alterações, que mudam dramaticamente esse ciclo, trazendo consigo impactos significativos (muitas vezes de forma irreversível) para o próprio homem e a natureza.

TABELA 1.3 PROPORÇÃO DE ACEITÁVEL (IMPROVED¹) ABASTECIMENTO E SANEAMENTO DE ÁREAS URBANAS (WHO E UNICEF JMP, 2002)

Região	Abastecimento de água ²	Saneamento ³
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 o mesmo 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 à população;

³ – “Saneamento” é entendido pelos autores como a disposição do esgoto em redes ou no solo, não envolvendo necessariamente a coleta e o tratamento.

Um dos primeiros impactos é o risco da escassez quantitativa de água. A natureza tem mostrado que a água que escoa nos rios (e depende das chuvas) é aleatória e varia muito entre o período úmido e o de estiagens. A história mostra que o homem sempre 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, po-

luindo os rios e deixando para a natureza a função de recuperar sua qualidade. Os impactos eram menores em virtude do baixo volume de esgoto despejado em comparação com 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, nas 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, as diferentes camadas do subsolo 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). Esse processo necessita de diferentes ações

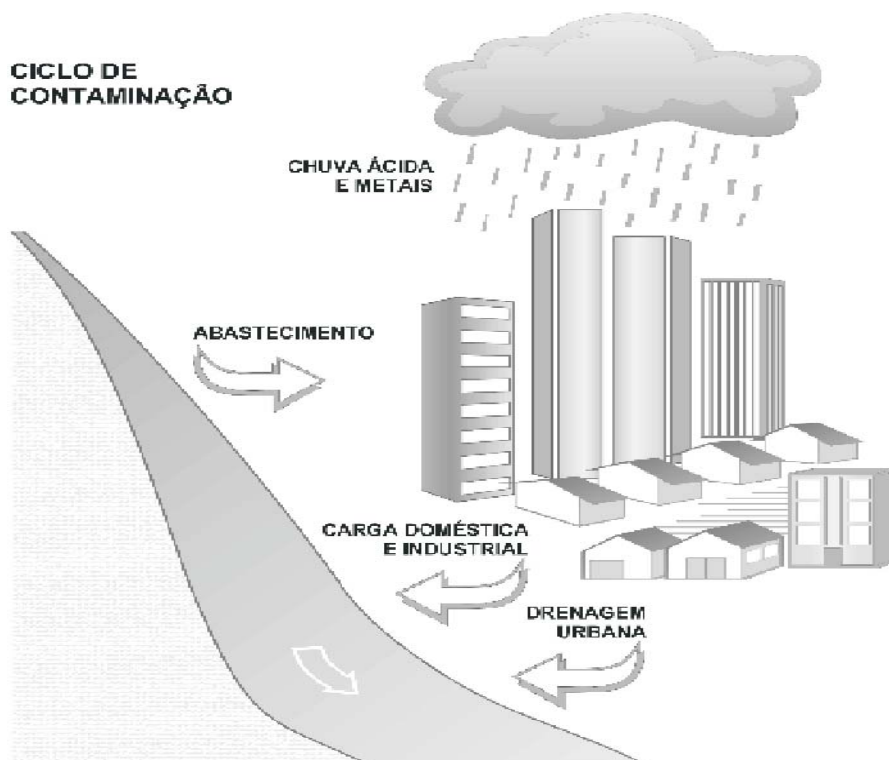


Figura 1.3 Ciclo de contaminação

preventivas de planejamento urbano e ambiental, visando minimizar os impactos e buscar o desenvolvimento sustentável.

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 no início do século vinte e um. Isso se deve a:

- contaminação dos mananciais superficiais e subterrâneos pelos 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 resultantes da 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 deslizamentos após período chuvoso.

A maioria desses problemas é consequência de uma visão distorcida sobre o controle da águas pluviais por parte da comunidade e de profissionais, que ainda priorizam projetos localizados, sem uma visão da bacia, e dos aspectos sociais e institucionais urbanos. Paradoxalmente, são exatamente os países em desenvolvimento e os mais pobres que optam por ações economicamente insustentáveis, como as medidas estruturais, enquanto os países desenvolvidos buscam prevenir os problemas com medidas não-estruturais, que, além de mais econômicas, mantêm um desenvolvimento sustentável. Esse cenário é decorrência de deficiente estrutura institucional dos países em desenvolvimento, que gerenciam de forma inadequada uma complexa área intersetorial da sociedade moderna.

I.4 AVALIAÇÃO DOS COMPONENTES DAS ÁGUAS URBANAS

I.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). Esse processo ocorre em virtude do:

- despejo sem tratamento dos esgotos cloacais nos rios, contaminando os rios que possuem capacidade limitada de diluição. Isso ocorre por conta da falta de investimentos nos sistemas de esgotamento sanitário e de estações de tratamento que, quando existem, apresentam baixa eficiência;
- despejo dos esgotos pluviais, que transportam grande quantidade de poluição orgânica e de metais, que atinge os rios nos períodos chuvosos. Essa é uma das mais importantes fontes de poluições difusa;
- contaminação das águas subterrâneas por despejos industriais e domésticos, através das fossas sépticas, do vazamento dos sistemas de esgoto sanitário e pluvial;
- depósitos de resíduos sólidos urbanos, que contaminam as águas superficiais e as subterrâneas, funcionando como fonte permanente de contaminação;
- ocupação do solo urbano sem controle do seu impacto sobre o sistema hídrico.

Com o tempo, áreas antes bem abastecidas tendem a reduzir a qualidade da sua água ou a exigir maior tratamento químico da água fornecida à população. Portanto, mesmo existindo hoje uma boa cobertura do abastecimento de

água no Brasil, ela pode ficar comprometida se medidas de controle do ciclo de contaminação não forem tomadas.

Muitas cidades utilizam reservatórios urbanos para regularizar a demanda de água de uma comunidade. Como os reservatórios encontram-se próximos das cidades, existe grande pressão de ocupação urbana da bacia hidrográfica a montante do reservatório. Infelizmente, os municípios possuem pouca capacidade de fiscalização, e favorecem, involuntariamente, loteamentos irregulares ou clandestinos nas áreas de mananciais. No Brasil, a legislação de proteção de áreas de manancial foi criada para proteger essas áreas, mas ironicamente incentiva o contrário (ver tabela 1.4).

Em consequência dessa 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, aumenta a produção de algas que consomem os nutrientes. Essas algas produzem toxinas que, absorvidas pelo homem, atuam de forma cumulativa sobre o fígado, induzindo doenças que podem ser fatais, principalmente nos casos que implicam hemodiálise (típico exemplo do caso Caruaru, com vários casos fatais provocados pela diálise). As toxinas também se acumulam no fundo dos lagos, dos quais alguns peixes também se alimentam. O tratamento de água tradicional não remove essas 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;

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. Nessas áreas, é proibido qualquer uso do solo urbano que possa comprometer a qualidade da água de abastecimento.

Entretanto, por conta do crescimento das cidades, essas áreas foram pressionadas à ocupação, tendo por motivação o valor imobiliário da vizinhança e a falta de interesse do proprietário em proteger a área, já que, além de ela ter perdido valor em decorrência da legislação, ainda obrigava o proprietário a pagar impostos sobre ela. Essas áreas foram então invadidas pela população de baixa renda, trazendo, como consequência imediata, o aumento da poluição. Aliás, muitos proprietários incentivaram a invasão com a intenção de vender a propriedade ao poder público.

A principal lição que se pode tirar desse cenário é que, ao se declarar de utilidade pública a bacia hidrográfica do manancial, ela deveria ser adquirida, concomitantemente, pelo poder público, ou se deveria estabelecer um valor econômico para a propriedade por meio da geração de mercado indireto para a área, ou ainda criar benefícios para o proprietário, para compensar a proibição pelo uso delas e incentivá-lo a preservá-la.

- Grande parte das cidades brasileiras utiliza fossas sépticas como destino final do esgoto. Esse sistema tende a contaminar a parte superior do aquífero. Essa contaminação pode comprometer o abastecimento de água urbana quando existe comunicação entre diferentes camadas dos aquíferos, por intermédio de percolação e de perfuração inadequada dos poços artesianos;
- A rede de drenagem pluvial pode contaminar o solo por meio 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.

I.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 atendia a cerca de 80% da população, e apenas 10% dessa população era atendida pelo sistema de saneamento. Mesmo com a cobertura de 80% da população, 1 bilhão de pessoas não tinha acesso à água limpa. Nesse período, 453 milhões de pessoas não tinham acesso ao saneamento (entendido aqui como apenas cole-

ta 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 representam problemas crônicos, como perda de água na distribuição e falta de racionalização de uso da água na área doméstica e na 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 em relação à perda nas cidades da América do Sul, apesar do consumo *per capita* maior. Quanto à falta de água, a tendência é buscar novos mananciais sem que sejam reduzidas as perdas e desenvolvidos métodos de racionalização.

Na tabela 1.6, é descrito um exemplo de racionalização do uso de água em Nova Iorque.

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
Sta. 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

A cidade de Las Vegas criou subsídios para trocar a grama por uma 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 a comprar direitos de uso de agricultores.

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. Esse 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 Iorque, no início dos anos 90, enfrentou uma crise de abastecimento de água, motivo por que necessitou aumentar sua oferta de água. A cidade de mais 90 milhões de galões de água a cada dia (340 milhões de m³), 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 por descarga, tendo sido substituído por um dispositivo de 1,6 galão. Em 1997, quando o programa terminou, 1,33 milhão de dispositivos foi substituído 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, EM PERCENTUAL, AO SANEAMENTO*
(WORLD 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, seja por disposição local

Mesmo nos países onde existe coleta e tratamento de esgoto, pouco se conhece da sua eficiência e do grau de contaminação para jusante. Esse processo pode se agravar com a privatização, caso o 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 em estações de tratamento, mas continua muito pequena a parcela do volume gerado pelas cidades que efetivamente é tratada antes de chegar ao rio. Esses problemas evocam as seguintes questões:

- Quando as redes de esgoto são implementadas ou projetadas, muitas vezes não foi prevista a ligação da saída das habitações ou dos condomínios às redes. Dessa forma, as redes não coletam o esgoto projetado e as estações não recebem o esgoto para o qual têm capacidade. Nesse caso, conclui-se que ou o projeto foi elaborado de forma inadequada ou não foi executado como deveria. Como o esgoto continua

TABELA 1.8 SITUAÇÃO BRASILEIRA, EM PERCENTUAL, 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

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 às 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 pelos serviços de coleta e tratamento, mesmo sem que o tratamento seja realizado, que interesse econômico teriam em completar a cobertura de coleta e do tratamento do esgoto? Outro cenário freqüente é o de aumentar a coleta sem tratamento, agravando o problema, considerando que concentra a poluição nos rios. Da mesma forma, qual o interesse de uma empresa melhorar sua eficiência na redução das perdas, se ela pode transferir os custos para o preço final? Observa-se, ademais, falta de indicadores de eficiência para os serviços;
- Quando for implementado o sistema de cobrança pela poluição, a quem caberá o ônus de pagar as penas previstas para a poluição gerada?

1.4.3 Resíduos sólidos

Os dois tipos principais de resíduos são os sedimentos gerados pela erosão do solo em decorrência do efeito da precipitação e do sistema de escoamento; e os resíduos produzidos pela população. A soma desses dois componentes é chamada de “sólidos totais” ou “resíduos sólidos”.

No desenvolvimento urbano, são observados alguns estágios distintos da produção de material sólido na drenagem urbana (Tdr), que são os seguintes:

(a) **Estágio de pré-desenvolvimento:** a bacia hidrográfica naturalmente produz uma quantidade de sedimentos transportada pelos rios em razão das funções naturais do ciclo hidrológico;

(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. São exemplos dessa situação: solo desprotegido enquanto um loteamento é implementado; ruas sem pavimento; erosão decorrente do aumento da velocidade do escoamento a montante por áreas

urbanizadas; na construção civil, por falta de manejo dos canteiros de obras; e áreas onde ocorre grande movimentação de terra. Todo esse volume é transportado pelo escoamento superficial até os rios. Nessa fase, existe predominância de sedimentos e pequena produção de lixo;

(c) **Estágio intermediário:** quando parte da população está estabelecida, e ainda existe importante movimentação de terra resultante de novas construções. Por conta 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 numa produção residual de sedimentos provocada pelas 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, indústrias e comércio, somado ao total coletado nas ruas e o que provém da drenagem. Assim:

$$TR = Tc + Tl + Tdr \quad (1.1)$$

Onde o TR é o total (em volume ou em peso) produzido pela sociedade e pelo ambiente; Tc é o total coletado; Tl é o 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. Se os sistemas de coleta e limpeza urbana forem ineficientes, o volume de Tdr aumentará, com consequência para a drenagem e o meio ambiente: para a drenagem, por causa da obstrução ao escoamento; e para o ambiente, pela sua degradação. O material sólido urbano não coletado representa subsídio ambiental recebido pela sociedade que polui.

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

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

Limpeza das ruas: Em San José, Califórnia, o lixo que chega à drenagem foi estimado em 1,8 kg/pessoa/ano. Após a limpeza das ruas, resultou em 0,8 kg/pessoa/ano na rede (Larger et al., 1977). Segundo Armitage et al. (1998), cerca de 3,34 m³/ha/ano são retirados das ruas pela limpeza urbana em Springs, África do Sul, dos quais 0,71 m³/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 estimado em alguns países, e reproduzido na tabela 1.9. Os valores variam consideravelmente em função dos outros fatores relacionados com a coleta residencial e a limpeza das ruas, além do tipo de uso das áreas. No Brasil, esses dados ainda são limitados.

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

TABELA 1.9 RESÍDUOS SÓLIDOS NA DRENAGEM
(ADAPTADO DE NEVES, 2005)

Descrição da área	Peso (kg/ha/ano)	Volume (10 ⁻³ m ³ /ha/ano)
Springs (África do Sul): 299 ha, dos quais 85% são comerciais e industriais e 15% são residenciais	67	0,71
Johannesburg (centro da cidade): 8 km ² , áreas com comércio, indústrias e residências	48	0,50
Sidney (Austrália): 322,5 ha, áreas com comércio, indústrias e residências	22	0,23
Auckland (Austrália): Residencial, 5,2 haComercial, 7,2 ha Industrial, 5,3 ha	2,8% 61,7% 26,1% 12,2%	0,029
Cidade do Cabo (área central): 96% de residências, 5% de área industrial e 5% de área residencial	18	0,08

As principais consequências ambientais da produção de sedimentos 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, em razão de sua largura e de sua pequena profundidade, durante as estiagens, tem depositado no canal a produção de sedimentos da bacia e criado vegetação, reduzindo, assim, a capacidade de escoamento durante as enchentes;

- transporte de poluente agregado ao sedimento, que contamina as águas pluviais.

1.4.4 Escoamento pluvial

O escoamento pluvial pode produzir inundações e impactos nas áreas urbanas resultantes de dois processos, que ocorrem isoladamente ou combinados, quais sejam:

Inundações de áreas ribeirinhas: são inundações naturais que ocorrem no leito maior dos rios, derivadas das variabilidades temporal e espacial da precipitação e do escoamento na bacia hidrográfica;

Inundações resultantes da urbanização: são inundações que ocorrem na drenagem urbana por conta do efeito da impermeabilização do solo, da canalização do escoamento ou da obstruções ao escoamento.

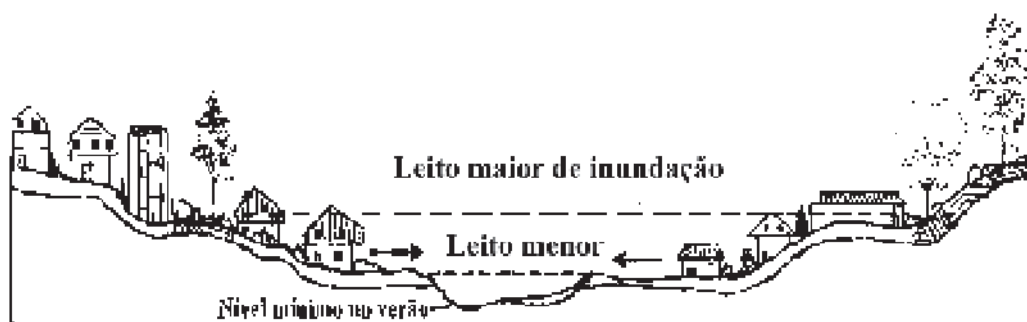


Figura 1.4 Características dos leitos do rio

Inundações de áreas ribeirinhas

Os rios geralmente possuem dois leitos: o leito menor e o maior. No leito menor, onde a água escoar na maioria do tempo, é limitado pelo risco de 1,5 a 2 anos. Tucci e Genz (1994) obtiveram um valor médio de 1,87 ano 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 resultantes da inundação ocorrem quando essa área de risco é ocupada pela população (figura 1.4). Esse tipo de inundação geralmente ocorre em bacias médias e grandes ($> 100 \text{ km}^2$).

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 resultam das seguintes ações:

- no Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano geralmente não existe nenhuma restrição quanto à ocupação das áreas de risco de inundação; a sequência de anos sem enchentes é razão suficiente para que empresários desmembre tais 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 frequência 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 recursos a fundo perdido, e não necessita realizar concorrência pública para gastar. Como a maioria das soluções sustentáveis passa por medidas não-estruturais, que envolvem restrições à população, dificilmente um prefeito optará por essa solução, porque geralmente a população associa uma boa gestão ao número de obras construídas. Ademais, para implementar medidas não-estruturais, o prefeito teria que interferir em interesses de proprietários de áreas de risco, tendo de enfrentar questões complicadas e de baixa receptividade.

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

Inundações decorrentes da urbanização

As enchentes aumentam a sua frequência e magnitude por causa da impermeabilização do solo e da 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, essas inundações são vistas como de âmbito local porque envolvem bacias pequenas (com menos de 100 km^2), e mais frequentemente bacias com mais de 10 km^2 .

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

- aumento das vazões máximas, em até 7 vezes (figura 1.5), e da sua frequência, por conta do aumento da capacidade de escoamento por condutos e canais e pela impermeabilização das superfícies;
- aumento da produção de sedimentos resultante da falta de proteção das superfícies e da produção de resíduos sólidos (lixo);
- deterioração da qualidade da água superficial e subterrânea, em virtude da lavagem das ruas, do transporte de material sólido e das ligações clandestinas de esgoto cloacal e pluvial;
- implantação desorganizada da infraestrutura urbana, tais como: (a) construção de 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 com lixos e sedimentos; (d) projetos e obras de drenagem inadequadas, com diâmetros que diminuem para jusante; (e) drenagem sem esgotamento, entre outros.

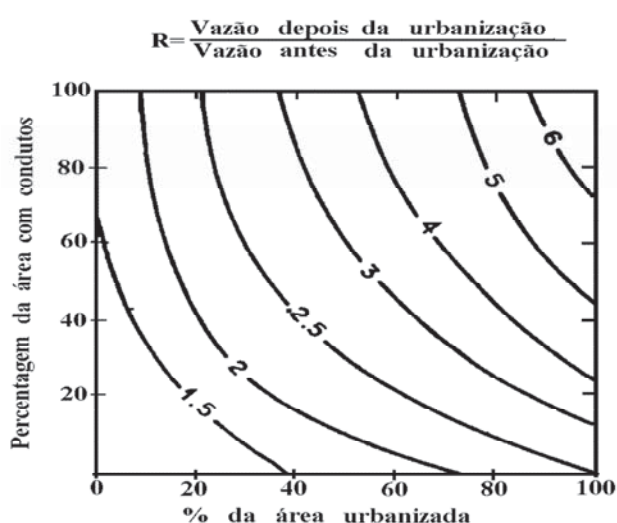


Figura 2.3 Aumento do pico em função da proporção de área impermeável e da canalização do sistema de drenagem (Leopold, 1968)

Qualidade da água pluvial

A quantidade de material suspenso na drenagem pluvial apresenta uma carga muito alta em virtude das 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).

TABELA 1.10 VALORES MÉDIOS DE PARÂMETROS DE QUALIDADE DE ÁGUAS PLUVIAIS (MG/L) EM ALGUMAS CIDADES

Parâmetro	Durham ¹	Cincinnati ²	Tulsa ³	P. Alegre ⁴	APWA ⁵ Mín. Máx.
DBO		19	11,8	31,8	1 700
Sólidos totais	1.440		545	1.523	450 14.600
PH		7,5	7,4	7,2	
Coliformes (NMP/100 ml)	23.000		18.000	1,5x10 ⁷	55 11,2x10 ⁷
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)

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 decorrência do volume do evento, sendo característico de cada área drenada.

Os esgotos podem ser combinados (cloacal e pluvial num mesmo conduto) ou separados (rede pluvial e sanitária separada). A legislação estabelece o sistema separador, mas, na prática, isso não ocorre por causa das ligações clandestinas e da falta de rede sanitária. Devido à falta de capacidade financeira para implantação da rede de cloacal, algumas prefeituras têm permitido o uso da rede pluvial para transporte do esgoto sanitário, o que pode ser uma solução inadequada se esse esgoto não for tratado. Quando o sistema sanitário é implementado, a grande dificuldade envolve a retirada das ligações existentes da rede pluvial, o que, na prática, resulta em dois sistemas misturados com diferentes níveis de carga. O principal problema está relacionado com a gestão das ligações dos usuários à rede. As empresas, ao implementarem a rede devem fazer a ligação dos usuários da mesma forma que, para cada novo usuário, a ligação deve ser obrigatoriamente realizada pela companhia concessionária, para evitar esses problemas.

A tendência, no Brasil e na América do Sul, é de utilizar o sistema separador, que apresenta maior custo quanto à rede de coleta, por utilizar dois sistemas. O sistema unitário, apesar da vantagem de utilizar apenas uma rede, apresenta problemas, como: odor fétido durante as inundações, proliferação de vetores de doenças em climas quentes e, quando ocorre extravasamento, maior potencial de proliferação de doenças. Esse cenário se agrava com o aumento da frequência dos extravasamentos.

Por sua vez, 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 em algumas áreas de Santiago do Chile.

Não existem soluções únicas e milagrosas, mas soluções adequadas e racionais para cada realidade. O ideal é conciliar a coleta e o tratamento do esgotamento sanitário com a retenção e o 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, quais sejam: da limpeza urbana e sua frequência; da intensidade da precipitação e da 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 problema fundamental de recursos hídricos no País é o impacto resultante do desenvolvimento urbano, tanto internamente, nos municípios, como externamente, 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 o problema. A tendência é de que as cidades continuem buscando novos mananciais, sempre mais distantes e com alto custo. A ineficiência pública é observada nos seguintes fatos:

- 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 a cobrança, enquanto a segunda, ao 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 aprovadas 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 transfere as inundações de um local para outro, dentro da cidade, a custos insustentáveis para os municípios.

I.5 Doenças de veiculação hídrica

Existem muitas doenças com 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 resultantes da falta de higie-**

ne (water-washed diseases): dependem da educação da população e da disponibilidade de água segura. Essas doenças estão relacionadas com infecções de ouvido, pele e olhos.

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

Muitas dessas doenças estão relacionadas com a baixa cobertura de água tratada e o saneamento, como a diarreia e a cólera; outras, estão associadas à inundação, como a leptospirose, a malária e a 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 atendimento para a população de menor renda. Na tabela 1.13, são apresentados valores do Brasil.

TABELA 1.11 MORTALIDADE RESULTANTE DE 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, disenteria, 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 mil internações hospitalares em todo o 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 (MOTA E REZENDE, 1999)

Domicílio	Água tratada (%)		Coleta de esgoto (%)		Tratamento de esgoto (%)	
	1981	1989	1981	1989	1981	1989
salário mínimo						
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

TABELA 1.13 NÚMERO DE OCORRÊNCIAS TOTAIS NO BRASIL EM 1996 (MS, 1999)

Tipo	Quantidade
Cólera	1.017
Malária	444.049
Dengue	180.392
Taxa de mortalidade por doenças infecciosas e parasitárias por 100.000 habitantes (1995)	24,81

As doenças transmitidas pelo consumo de água imprópria preocupam, principalmente pelos seguintes motivos:

Cargas domésticas: o excesso de nutrientes tem produzido eutrofização dos lagos, proliferação das algas, que geram toxicidade. Essa toxicidade pode ficar solúvel na água ou depositar-se no fundo dos rios e dos lagos. A ação da toxicidade se reflete no fígado, gerando doenças degenerativas, como câncer e cirrose.

Cargas industriais: os efluentes industriais apresentam os mais diferentes compostos e, com a evolução da indústria, novos componentes são produzidos diariamente. Dificilmente as equipes de fiscalização possuem condições de acompanhar esse processo;

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 características	Quantidade
Diarréia (2004)	2.307.957
Cólera (2004)	21
Dengue (2003 e 2004)	112.928
Óbitos relativos a dengue (2003 e 2004)	3
Leptospirose (2001)	3.281
Malária: casos positivos (2001)	389.737
Esquistossomose: municípios na área endêmica (2002)	964

I.6 COMPARAÇÃO ENTRE PAÍSES DESENVOLVIDOS E EM DESENVOLVIMENTO

A tabela 1.15 compara os cenários de infra-estrutura urbana relacionada com a água em países desenvolvidos com o existente em países em desenvolvimento.

Pode-se observar que, nos países desenvolvidos, grande parte dos problemas foi resolvida quanto ao abastecimento de água, ao tratamento de esgoto e ao controle quantitativo do escoamento na drenagem urbana. Neste último caso, foi priorizado o controle por meio de medidas não-estruturais, que obrigam a população a controlar na fonte os impactos resultantes da urbanização. O principal problema nos países desenvolvidos é o controle da poluição difusa resultante das 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, pela grande cobertura de abastecimento, volta a ser um problema em virtude da elevada

contaminação dos mananciais. Esse 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 maior. 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 a ser contaminada pelo conjunto do esgoto produzido pela cidade, no que chamamos aqui de “ciclo de contaminação urbana” (figura 1.3).

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 m³/s, sendo que mais da metade da água é importada (33 m³/s) de outra bacia, a do Piracicaba (cabeceiras na serra da Cantareira). Isso ocorre pela contaminação de parte dos mananciais existentes na vizinhança da cidade, por falta de tratamento dos esgotos domésticos. Os mananciais, como a Billings e a Guarapiranga, têm sua qualidade comprometida.

TABELA 1.15 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 em virtude da contaminação das fontes; grande quantidade de perdas na rede
Saneamento	Grande cobertura na coleta e no 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 provocados pela qualidade da água que não foram identificados
Inundações Ribeirinhas	Medidas de controle não-estruturais, como seguro e zoneamento de inundação	Grandes prejuízos por falta de política de controle

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 é um procedimento inexistente nesses países. Na América do Sul, assim como em grande parte dos países em desenvolvimento, busca-se o controle dos impactos quantitativos da drenagem pluvial, que ainda não estão controlados. Por exemplo, os sistemas de retenção construídos nas cidades brasileiras possuem como foco apenas o controle do impacto das inundações, sem atentar para o componente de controle da qualidade da água.

Problemas

1. Quais os principais mananciais de águas urbano? Quando são utilizados e em que condições?
2. Quais as principais causas de contaminação dos mananciais?
3. Quais os principais problemas da coleta e do tratamento dos esgotos cloacais?
4. Descreva o ciclo de contaminação.
5. Qual a diferença entre as inundações ribeirinhas e as inundações resultantes da urbanização?
6. Quais são as fontes dos problemas desses tipos de inundação?
7. O que diferenciam as cargas poluentes da drenagem urbana e as do esgoto cloacal?
8. Quais são os tipos de resíduos sólidos urbanos? Quando ocorrem?
9. Por que a vazão aumenta numa bacia urbana com relação às condições rurais?
10. Esse aumento é uniforme ou varia com a magnitude da cheia? Por quê?
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 desse tipo de ação?
16. Considerando que as causas dos impactos resultantes das inundações e da qualidade da água são decorrência da urbanização como é realizada hoje, que estratégias seriam tomadas para evitar isso?
17. A coleta de lixo recolhe cerca de 0,7 kg/dia, considerando que uma parcela desse total não seja coletado e chega na drenagem. Considere uma sub-bacia urbana com 50 km² de área, população densa da ordem de 120 hab./ha. Estime o total anual de lixo que é transportado para a drenagem. Admita que 1%, 5% e 10% do total de lixo coletado cheguem à drenagem. Admita um custo de 5 centavos de dólar o quilo para coletar e dispor esse volume. Calcule o valor, anual, por pessoa. Esse é o subsídio que a população recebe 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 ¼ 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.^a; 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*.
- 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 sustentatibility of urban Sanitation in Developing Countries'. UNDP - World Bank 38p.

II 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 de rios, riachos, galerias pluviais saem do seu leito menor 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.

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 de escoamento. Esse é um processo natural do ciclo hidrológico conforme a variabilidade climática de curto, médio e longo prazos. Ocorrências frequentes mantêm o rio do leito menor, que ele mesmo escavou por conta dessa ocorrência. O rio ocupa o leito maior em chuvas de menor frequência. Esses eventos ocorrem de forma aleatória, a depender dos processos climáticos locais e regionais. Esse tipo de inundação é denominado neste livro de “inundação ribeirinha”.

II.1 CARACTERÍSTICAS DAS INUNDAÇÕES RIBEIRINHAS

As condições meteorológicas e hidrológicas propiciam a ocorrência de inundação. O conhecimento do comportamento meteorológico de longo prazo é muito pequeno devido ao grande número de fatores envolvidos nos fenô-

menos meteorológicos e da 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, a exemplo de tipo de relevo, 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 naturalmente diminui e ocorrem alagamentos no leito maior. A variação de nível durante uma 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 aquelas que apresentam alto de risco de inundação e que estão mais ocupadas pela população. A várzea de inundação de um rio cresce significativamente 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 proteção do solo contra a erosão. A perda dessa cobertura para uso agrícola tem produzido o aumento da frequência de inundações resultantes da falta de interceptação da precipitação e do assoreamento dos rios.

As condições artificiais da bacia são aquelas provocadas pela ação do homem, a

saber: 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, por meio 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 um 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 difere.

II.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, abastecimento de água para seu consumo e mesmo para dispor seus dejetos. As áreas próximas aos rios geralmente são planas, propícias para o assentamento humano, o que motivou a sua ocupação.

O desenvolvimento histórico da utilização de áreas livres explica os condicionamentos urbanos hoje existentes. Por causa da grande dificuldade de meios de transporte no passado, utilizava-se o rio como a via principal. As cidades desenvolveram-se 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

do século 20, as áreas de risco considerável, como as várzeas inundáveis, foram ocupadas, trazendo, como consequência, prejuízos humanos e materiais de grande monta resultantes das inundações subseqüentes.

Os prejuízos ocorrem pela falta de planejamento do espaço e de conhecimento suficiente sobre os riscos apresentados pelas áreas de inundações. A experiência de gestão de inundações já existia no passado. No histórico da tabela 2.1, observa-se que cerca de 3340 anos no passado as pessoas já planejavam a ocupação do espaço de inundação, mas que ainda hoje não é uma prática corrente.

TABELA 2.1 HISTÓRICO DE OCUPAÇÃO DE ÁREAS DE INUNDAÇÃO

A cidade de Amarna, no Egito, que Akenaton (1340 a. C.) escolheu para ser a nova capital, foi planejada considerando as áreas de inundações. Veja o relato: "Correndo de leste para oeste, dois leitos secos de rio, nos quais nada se construiu por medo das enchentes repentinas, dividiam a cidade em três partes: o centro e os bairros residenciais de norte e do sul." Brier (1998).

A história mostra, em diferentes partes do globo, que o homem tem procurado conviver com as inundações, desde as mais frequentes até as mais raras. Uma experiência histórica de grande valia é mostrada pela Igreja Católica, cuja sede sempre esteve construída em um sítio seguro.

A gestão de inundação envolve a minimização dos impactos, mas dificilmente informa como eliminá-los, principalmente por causa das limitações econômicas e do desconhecimento da natureza. Na tabela 2.2, é apresentado o prefácio apresentado por Hoyt e Langbein (1959), que caracteriza as dificuldades que o homem enfrenta para controlar as inundações.

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 nos Estados Unidos, decorrentes de inundações ribeirinhas. Pode-se observar que os valores variam de 0,02 a 0,48 do PIB, com valor médio de 0,081% (cerca de US\$ 8,1 bilhões de dólares).

TABELA 2.2 HISTÓRICO E SUPOSIÇÕES QUE DEMONSTRAM A LIMITAÇÃO DA GESTÃO DAS INUNDAÇÕES (prefácio do livro *Floods*, de Hoyt e Langbein, 1959)

<p>"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 contínua 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, que foram salvos numa arca e finalmente descansaram no Monte Ararat" (passagem da Bíblia sobre o Dilúvio, citada no referido prefácio). Esse texto caracteriza um evento de risco muito baixo de ocorrência.</p>
<p>"Egito XXIII, Dinastia, 747 a.C. Enchentes sucedem secas. O 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 <i>polders</i> 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." Este texto, cujos relatos são detalhados na Bíblia, também enfatiza a incapacidade de prever o clima e seus impactos quando ocorrem.</p>
<p>"Em algum lugar nos Estados Unidos, no futuro (o autor mencionava ano 2000, muito distante na época), a natureza torna 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 ser efetivas por um século, e são efetivas para sua capacidade de projeto, são incapazes de controlar os grandes volumes de água envolvidos.</p>
<p>Esta catástrofe traz uma lição: a proteção contra inundações é relativa e eventualmente a natureza cobra um preço daqueles que ocupam a várzea de inundação.</p>

As inundações ribeirinhas resultam principalmente da ocupação do solo do leito maior. Nos períodos de pequena inundação, existe a tendência de ocupar as áreas de risco e, quan-

do ocorrem as maiores inundações, os prejuízos são significativos. A seguir, são apresentados alguns casos que exemplificam esses impactos:

(a) No Rio Itajaí, em Santa Catarina, no Brasil, vem ocorrendo uma série de níveis máximos de inundações desde 1852. Pelo 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, apagando, na memória da população, aqueles eventos críticos, e levando-a, mais uma vez, a ocupar 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 desse exemplo é que a memória sobre as inundações se dissipa com passar do tempo e a população deixa de considerar o risco, e como não há planejamento que estabeleça o espaço de risco, a ocupação ocorre e os prejuízos se repetem. No entanto, a Cia. Hering, em Blumenau (fundada em 1880, ano da maior inundação), manteve na memória o valor de 17,10 m e desenvolveu suas instalações em cota superior a essa. Sem planejamento, os relatos históricos são as únicas informações disponíveis para orientar as pessoas.

(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 inundação com risco superior a 5 anos. Esse 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).

(c) No Alto Rio Paraguai, existe um dos maiores banhados do mundo, denominado Pantanal. Nessa região, sempre houve uma convivên-

cia pacífica entre o meio ambiente e a população. Na figura 2.4, podem-se observar os níveis máximos de enchentes 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 distin-

tos. Pode-se observar a grande diferença da década de 60 com relação às demais. Naquele período, houve ocupação dos vales de inundação por períodos longos, e não apenas sazonalmente. anual decorrente de inundações nos Estados Unidos, como percentual do PIB (Priscoli , 2001).

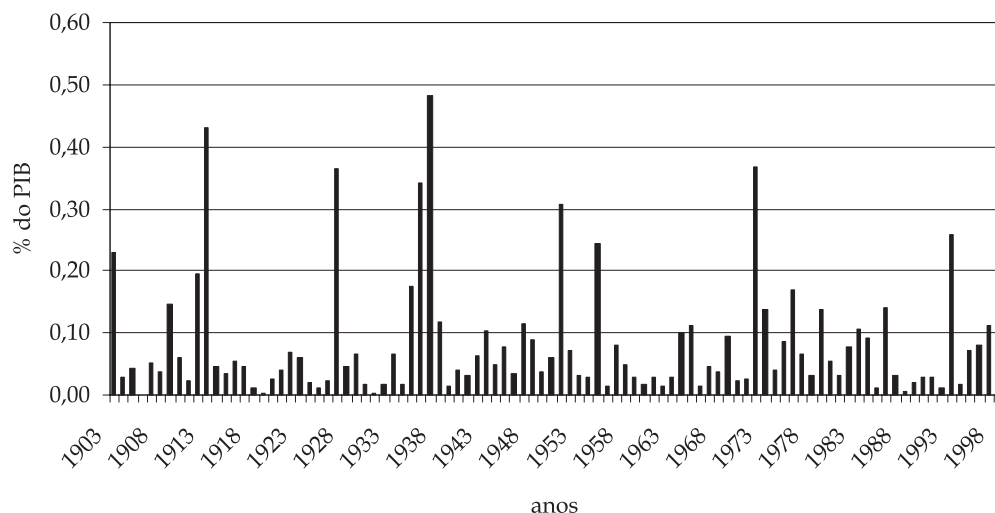


Figura 2.1 Série histórica do prejuízo

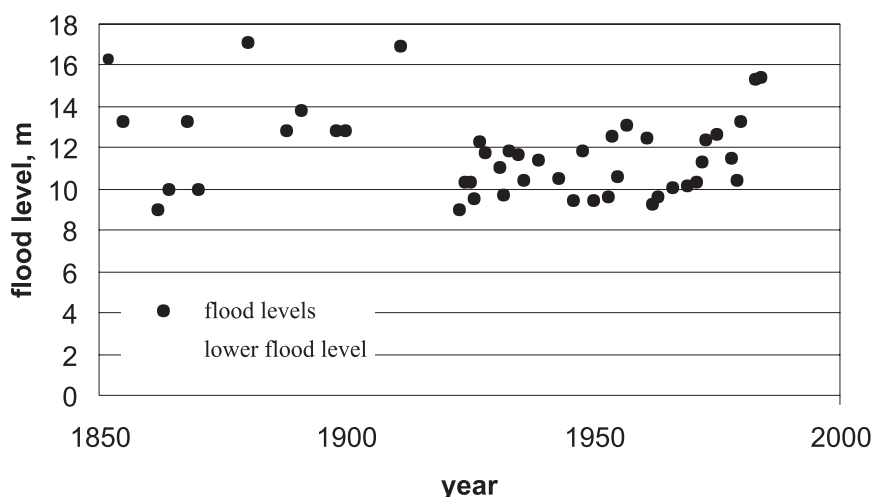


Figura 2.2 Níveis de inundações em Blumenau, Santa Catarina.

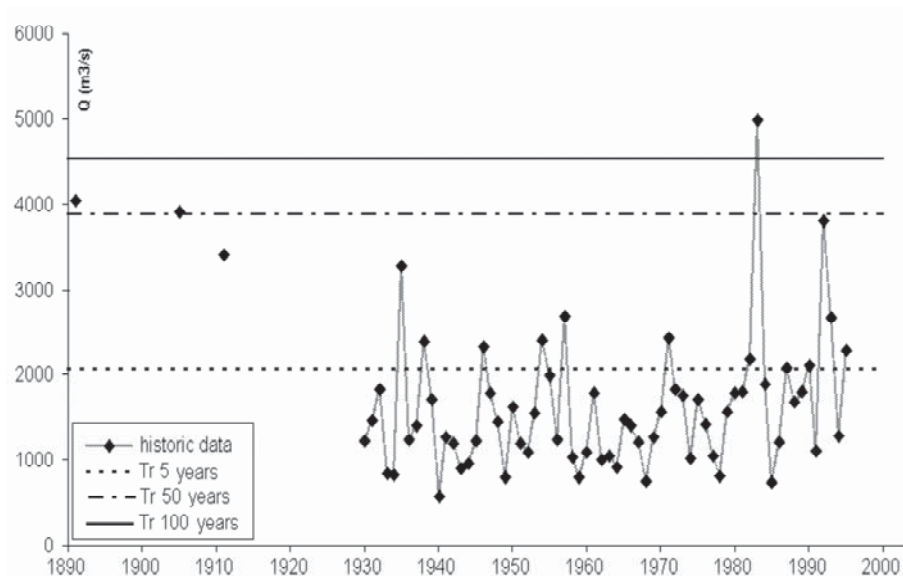


Figura 2.3 Níveis máximos de enchentes no Rio Iguaçu, em União da Vitória, cuja bacia é de cerca de 25.000 km² (Tucci e Villanueva, 1997)

A população foi desalojada nas décadas seguintes em resposta ao aumento da frequência dos níveis de inundação. A perda econômica do valor das propriedades e a falta de sustentação econômica foi a consequência imediata. Essa 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, formou-se um movimento na cidade para a retirada do dique de inundação, considerando que não tinham ocorrido eventos nos últimos 38 anos. Essa percepção errada sobre o 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 se perca no esquecimento após cada enchente, retornando na seguinte. Isso se deve a vários fatores, entre os quais estão os seguintes:

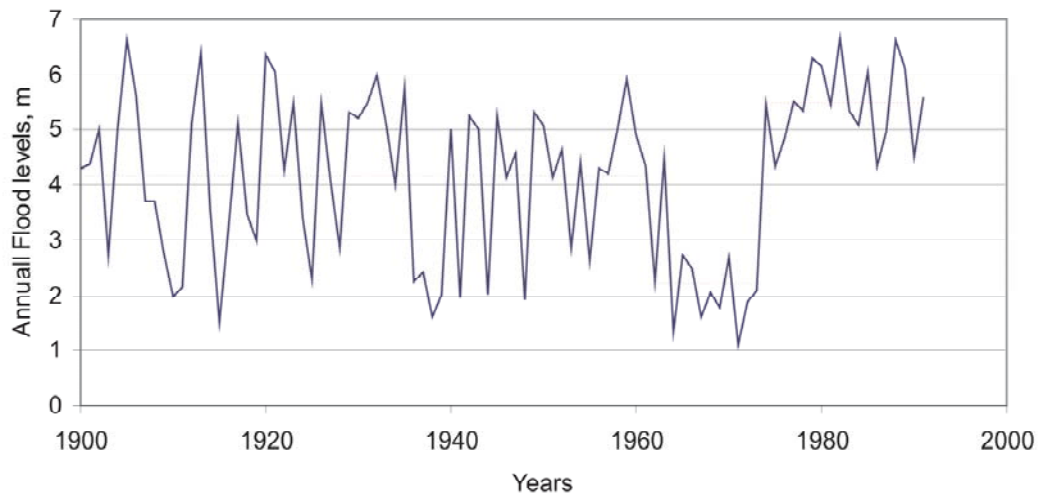


Figura 2.4. Níveis máximos anuais em Ladário, no Rio Paraguai, e a média dos períodos: (a) 1900–1961; (b) 1961–1973; (c) 1973–1991

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 ²)
1900–1959	4,16	35
1960–1972	2,21	15
1973–992	5,49	50

* Valores aproximados obtidos de Hamilton (1995)

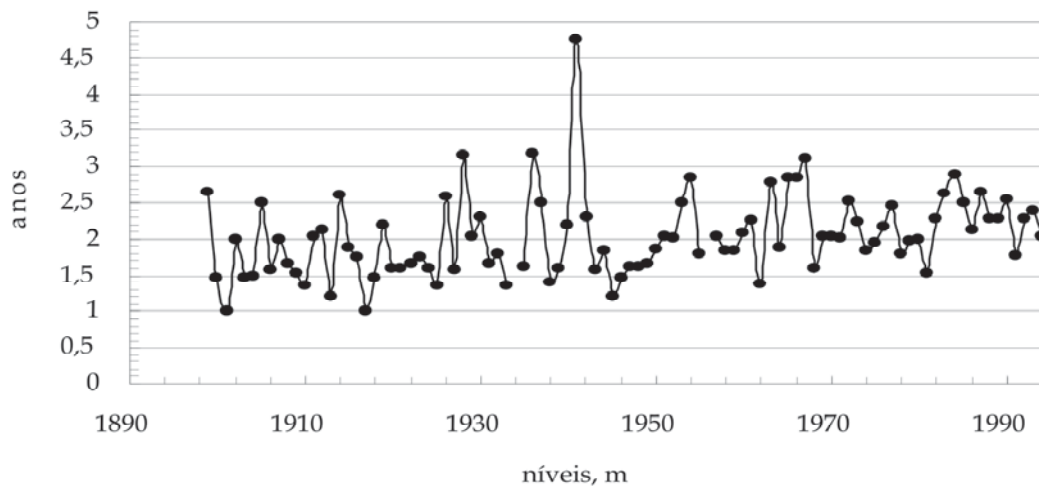


Figura 2.5 Níveis de inundação em Porto Alegre, entre 1899 e 1994

- falta de conhecimento sobre o controle de enchentes por parte dos planejadores urbanos;
- falta de planejamento e gestão de inundações em âmbitos federal e estadual;
- pouca informação técnica sobre o assunto e de formação técnica específica de engenheiros;
- desgaste político para os administradores públicos no controle não-estrutural (zoneamento), já que a população está esperando obras hidráulicas, por falta de um maior entendimento sobre o assunto;
- ausência de interesse, em alguns lugares, de prevenção de inundações, pois, quando ocorrem, os recursos são fornecidos a fundo perdido.

II.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, pois somente podem ser previstas com antecedência de poucos dias ou horas, o que não permite a previsão dos níveis de enchente com razoável antecipação. 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 em curto ou 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 deslocamen-

tos da cheia na bacia. Esse tipo de previsão é utilizado para alertar a população ribeirinha e operadores de obras hidráulicas.

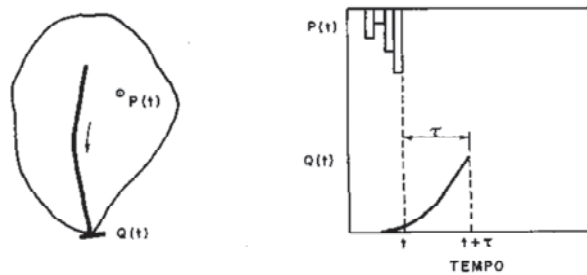
A previsão de cheia em longo prazo atualmente permite apenas estimar ordem de magnitudes das inundações pela tendência sazonal ou pela composição de modelos climáticos e hidrológicos. A predição quantifica as chances de ocorrência da inundação em termos estatísticos, sem precisar quando ocorrerá a cheia. A predição baseia-se na estatística de ocorrência de níveis no passado e permite estabelecer os níveis de enchente para alguns riscos escolhidos. Esse 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.

II.3.1 Previsão de cheia em tempo atual

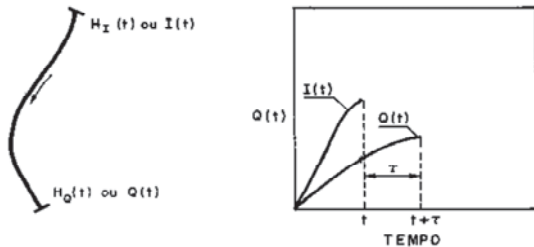
Para efetuar a previsão de cheia em curto prazo, são necessários sistemas de coleta e transmissão de dados e uma metodologia de previsão. Os dados coletados são a precipitação, o nível ou a vazão, durante a ocorrência do evento. A estimativa é realizada recorrendo-se a modelos matemáticos que representam 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 a precipitação; (c) vazão de montante; (d) combinação dos dois últimos. No primeiro caso, é necessário estimar a precipitação que cairá sobre a bacia por meio do uso de equipamento especial, 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 trans-

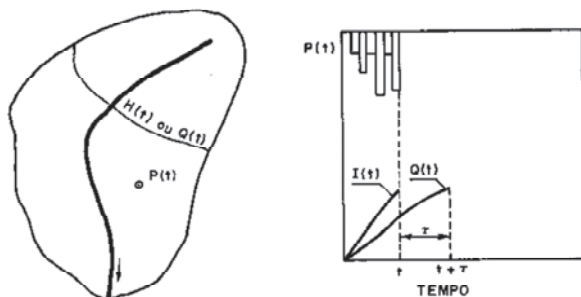
formação de precipitação em vazão. A previsão, quando é conhecida a precipitação na bacia, utiliza uma rede telemétrica de coleta e transmissão de dados (no caso anterior, essa rede não é dispensável) e o referido modelo matemático de transformação de precipitação em vazão. A antecedência de previsão é menor nesse 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 a 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 será utilizada na previsão em tempo atual (figura 2.6c). A apresentação dos modelos de previsão em tempo atual foge ao escopo deste livro, os quais podem ser encontrados na literatura especializada.

II.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 esse evento tem chance de se repetir.

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

Para exemplificar, considere um “dado” de seis faces (números 1 a 6). Numa jogada qualquer, a probabilidade de sair o número 4 é $p = 1/6$ (uma 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 repete-se 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 como poderá 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 essa enchente tem 10% de chance de ocorrer.

As estimativas de inundação de um determinado local podem ser realizadas com base em: (a) série observada de vazões; (b) regionalização de vazões; e (c) precipitação e uso de modelo precipitação – vazão. Essas 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. Isso significa que a média das vazões ou seu desvio-padrão não deveria 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 esses 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 guardará dependência com a do ano seguinte se os valores de cheia máxima forem escolhidas dentro do cha-

mado “ano hidrológico”, que é o período entre o início do mês chuvoso e o 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 a determinação da curva de probabilidade são descritas nos livros de hidrologia (Tucci, 1993).

II.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 por meio de obras na bacia (medidas extensivas) ou no rio (medidas intensivas) para evitar o extravasamento do escoamento para o leito maior, decorrente das enchentes.

As medidas não-estruturais são aquelas em que os prejuízos são reduzidos pela melhor convivência da população com as enchentes, utilizando-se medidas preventivas, como o alerta de inundação, o zoneamento das áreas de risco, o 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 consequências, mesmo as estruturais. Na década de 30, o projeto de controle de cheias e o 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 destruiu os *polders*, causaram

100 mortes e a perda de 30 mil cabeças de gado, além das perdas agrícolas (Hoyt e Langbein, 1955). Esse 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 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 esses danos. Dessa 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 a ocupação das várzeas, o que resultou em aumento dos danos ocasionados pelas enchentes. As perdas médias anuais, resultantes das enchentes, aumentaram e a disponibilidade dos fundos públicos foi insuficiente para atender a essa 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 de 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, pela 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 a redução de prejuízos de inundação, incluindo, mas não limitando, as construções à prova de enchentes, a regulamentação das áreas de inundação; a utilização das áreas de inundação para usos recreacionais, a pesca, a vida animal e outras finalidades públicas. e a relocação com vista na formulação da solução econômico e socialmente, e de meio ambiente mais aceitável para a redução dos danos de enchentes”.

Na figura 2.7, é apresentada a evolução dos benefícios anuais, os benefícios acumulados e os investimentos em gestão de inundação até 1999 (com valores ajustados ao dólar de 1999). Pode-se observar, por essa 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 desse total representa áreas de inundação), existe uma política de implementação de obras estruturais para controle de inundações.

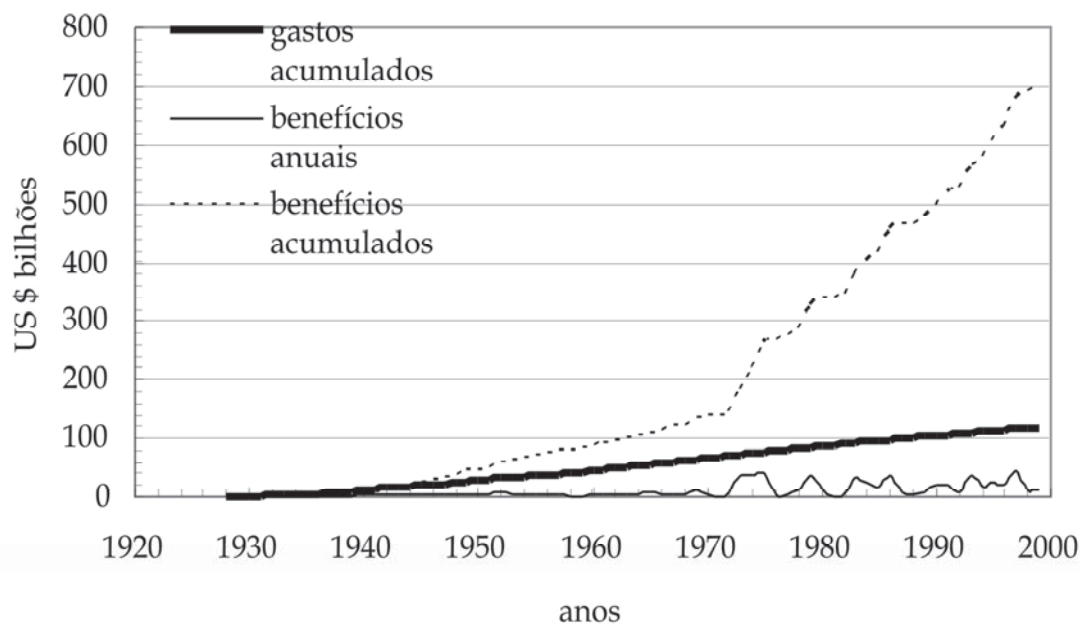


Figura 2.7 Evolução dos benefícios anuais e acumulados e dos gastos na gestão de inundação nos Estados Unidos (Priscoli, 2001).

II.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 bacias de amortecimento; c) facilitam o desvio do escoamento: são obras como canais de desvios. Na tabela 2.5 são resumidas as principais características das medidas estruturais.

II.5.1 Medidas extensivas

As medidas extensivas são:

Cobertura vegetal: a cobertura vegetal tem a capacidade de armazenar parte do volume de água precipitado pela interceptação vegetal, aumentar a evapotranspiração e 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 a redução das estiagens, aumentando a variabilidade das vazões. O aumento da cobertura é uma medida extensiva para a redução das inundações, mas aplicável a pequenas bacias, onde tem mais efeito ($< 10 \text{ km}^2$). O efeito maior desse 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, po-

TABELA 2.5 MEDIDAS ESTRUTURAIS (SIMONS ET AL., 1977)

Medida	Principal vantagem	Principal desvantagem	Aplicação
Medidas extensivas			
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
Medidas intensivas			
Diques e polders	Alto grau de proteção de uma área	Danos significativos caso falhe	Grandes rios e na planície.
Melhoria do canal			
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
Reservatório			
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
Mudança de canal			
Caminho da cheia	Amortecimento de volume	Depende da topografia	Grandes bacias
Desvios	Reduz vazão do canal principal	Idem ao anterior	Bacias médias e grandes

dendo contaminar os rios a jusante e diminuir a sua seção, e alterar 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, por pequenos reservatórios, pela estabilização das margens e por práticas agrícolas corretas. Essa medida contribui para a redução dos impactos das inundações.

II.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, as-

sim, 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 conforme o volume.

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

Um reservatório sem controle de operação é aquele que não dispõe de comportas no vertedor ou na descarga de fundo. A cheia é regulada pelas condições existentes do vertedor livre e pela descarga de fundo (se houver). Quando existem comportas, é possível utilizar com mais eficiência o volume disponível para contro-

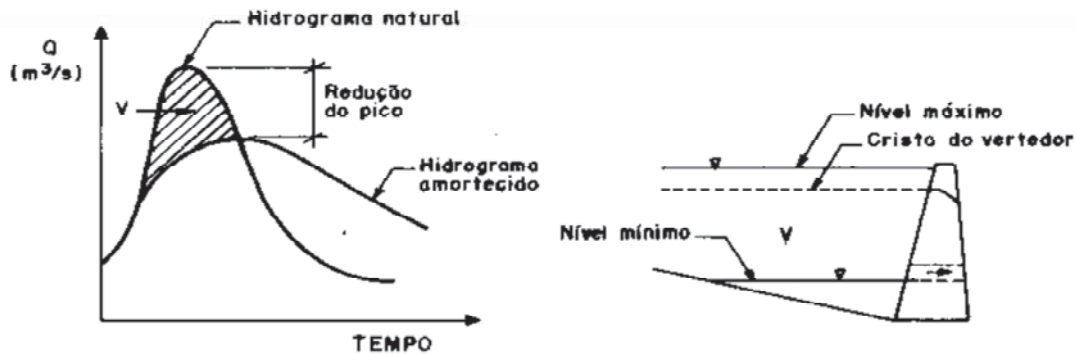


Figura 2.8 Efeito do reservatório

le 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 desses hidrogramas pode ocupar o espaço disponível no reservatório, resultando em pouco espaço para reduzir o pico das cheias maiores subsequentes (figura 2.9a).

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 cotas limites (Q_{crit}); (b) a partir desse momento, utilizar o volume do reservatório para manter ou reduzir a vazão (figura 2.9b). Essas 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 a jusante e a 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 nessas áreas ribeirinhas, se não houver problemas operacionais da barragem. Se a área a jusante não estiver ocupada, acabará sendo habitada pela proximidade do empreendimento e ficará, então, sujeita as enchentes. Se o empreendimento não amortecer as inundações, a tendência é de cobrança de redução dos impactos a jusante por parte da sociedade. Dessa forma, a restrição de jusante passa a ser a vazão

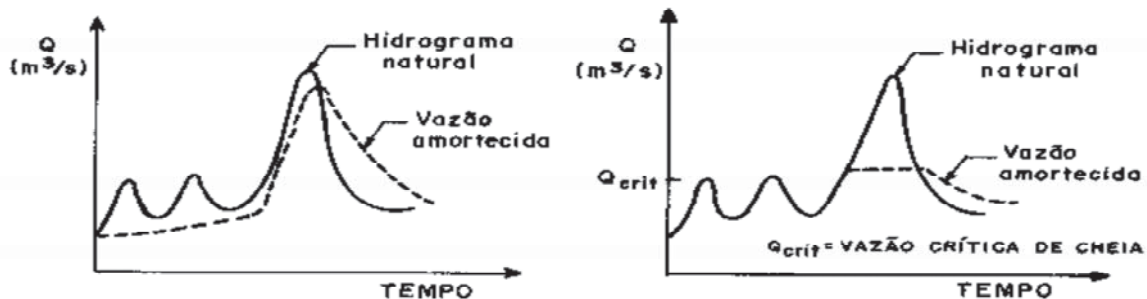


Figura 2.9 Operação do reservatório

máxima Q_{crit} a 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 dessa situação geralmente é de culpar a barragem pelo ocorrido; portanto, é necessário que o empreendimento tenha um eficiente sistema operacional e mantenha uma observação confiável dos dados hidrológicos necessários à demonstração das condições operacionais para a defesa de suas ações.

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

(a) 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 a montante;

(b) as condições do item anterior podem se alterar com o tempo, em razão do assoreamento do reservatório, que ocorre inicialmente no seu trecho mais a montante. Por isso, 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 (figura 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. Já a Barragem Sul, no Itajaí do Sul, foi concluída em 1975, enquanto 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 dessas 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 exatamente por causa do 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 do desvio-padrão das inundações para uma das seções a jusante de uma das barragens. No entanto, o resultado des-

TABELA 2.6 ESTATÍSTICAS DE ANTES E DEPOIS DA CONSTRUÇÃO DA BARRAGEM NO RIO ITAJAÍ

Estatística	Barragem Oeste (m³/s)	Barragem Sul (m³/s)	Precipitação Anual (mm)	Precipitação ¹ (mm)
Média				
Antes da barragem	292,2	488,5	1309	224,1
Depois da barragem	274,5	513,3	1658	291,7
Desvio-padrão				
Antes	73,2	267,1		
Depois	56,2	356,6		
Período				
Antes	1934-1972	1935-1974	1942-1972	1942-1972
Depois	1973-1983	1975-1984	1973-1984	1973-1984

¹ Precipitação do mês no qual ocorre a cheia máxima anual

se aumento foi devido também ao aumento de precipitações na bacia justamente entre os dois períodos. Na tabela 2.6, são apresentadas algumas estatísticas dessa comparação. A barragem Oeste, que não produziu aumento, mostrou-se mais eficiente na contenção das inundações, enquanto a barragem Sul aparentemente não possui volume e projeto adequado para a redução significativa das inundações.

Reservatório de uso múltiplo: Se há 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. Nessas condições, a capacidade de amortecer as inundações é mínima, pois não existe volume para amortecimento, formando um conflito natural entre esses usos.

A metodologia geralmente utilizada para atender aos objetivos conflitantes baseia-se 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). Esse volume é mantido livre para receber e amortecer a inundação e reduzir a vazão a jusante, procurando atender às restrições de montante e jusante. O restante do volume da barragem atende aos outros objetivos citados. No período seco, esse volume de espera é eliminado.

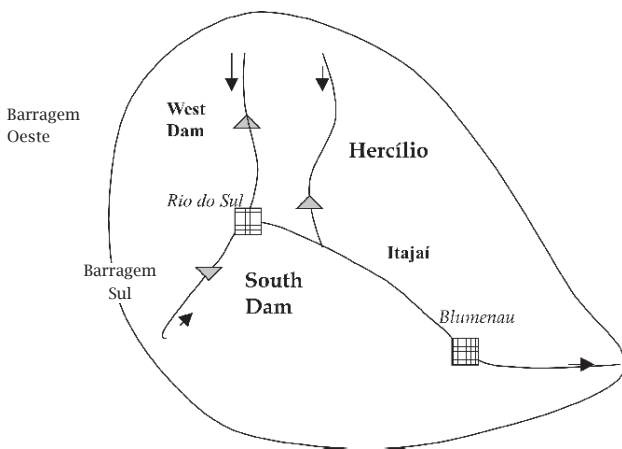


Figura 2.10 Bacia do Rio Itajaí e barragens de controle de cheias

Existem várias metodologias para estimativa desse 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 recorre a 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.

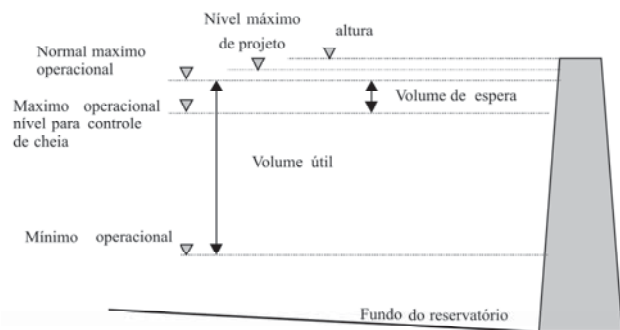


Figura 2.11 Níveis operacionais de uma barragem

Esses 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 decorrentes da inundação, e de outro, da 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, o aumento da velocidade e da erosão das margens e da seção e a 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 do que se o dique 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 no caso de uma enchente maior do que a de projeto. No caso de rompimento, o impacto é maior do que se o dique 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, as condições de fluxo não devem ser alteradas após a construção do dique. Essas condições podem ser simuladas em condição de regime permanente para as vazões de projeto. Tal metodologia não deve ser usada para escoamento sujeito ao efeito de maré, pois resultará numa cota superdimensionada. Para tanto, deve-se utilizar um modelo hidrodinâmico.

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

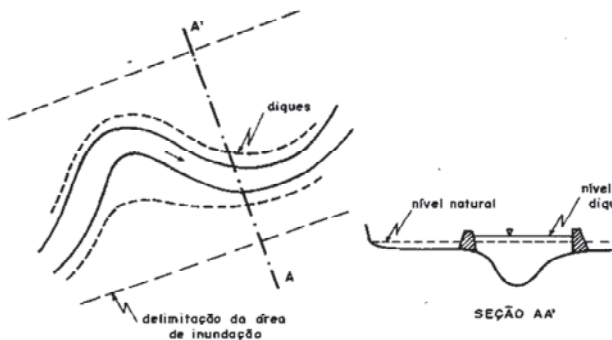
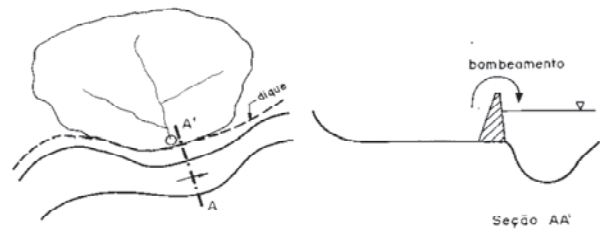


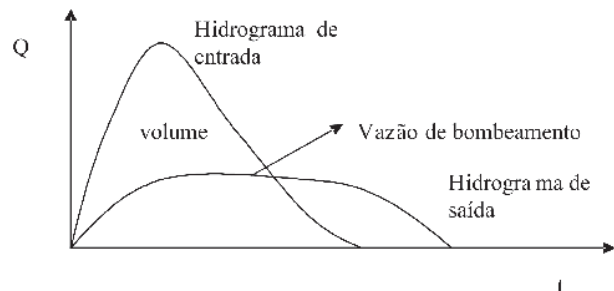
Figura 2.12 Impacto da construção do dique

Na construção de diques para a proteção de áreas agrícolas, o risco de colapso adotado pode ser mais alto que em áreas urbanas, se os

danos potenciais forem somente econômicos. Quando o colapso possa 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 em urbanas, é necessário planejar a drenagem das áreas laterais que contribuem para o rio. Essa 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 dá-se 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 desse 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. À medida que se utilizar maior volume, menor será a vazão e vice-versa.



a- configuração do bombeamento

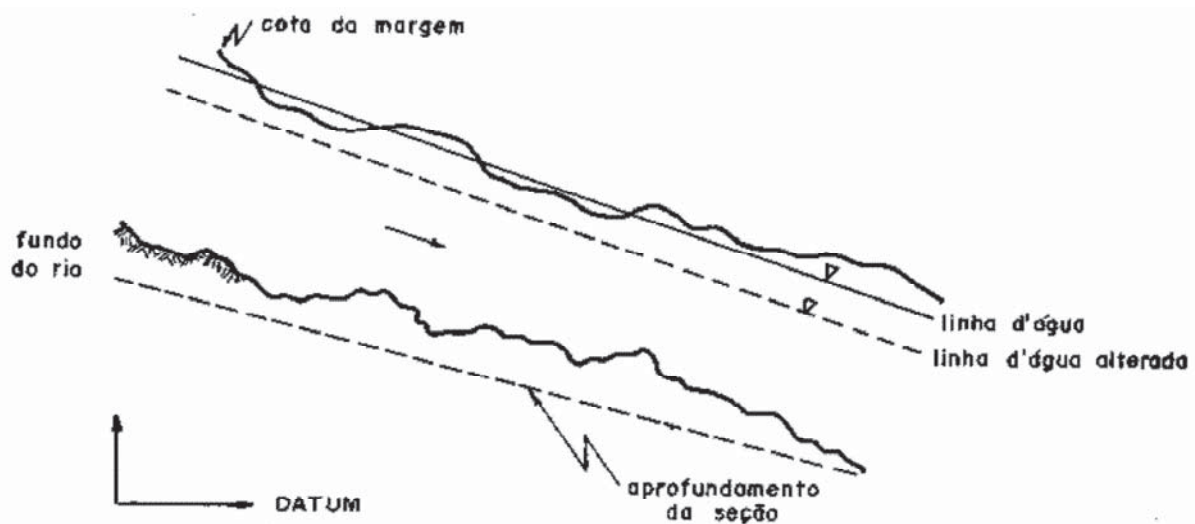


b- hidrograma de entrada e saída ao pequeno lago junto ao bombeamento

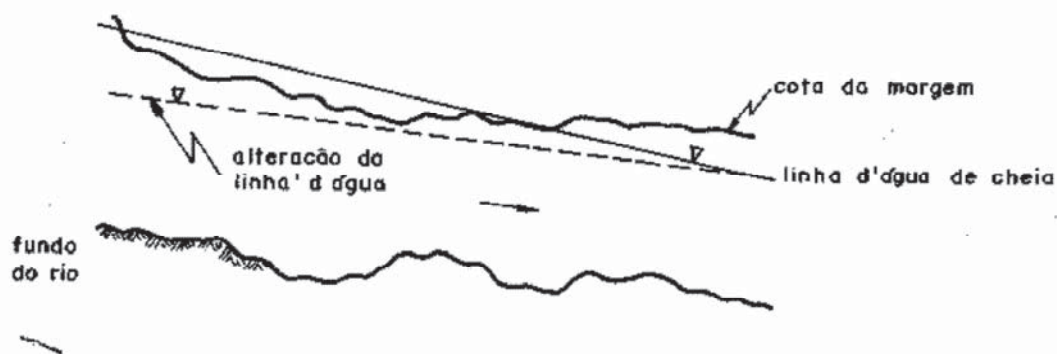
Figura 2.13 Dique – Drenagem da bacia lateral

Modificações do rio: As modificações na morfologia do rio visam aumentar a vazão para um mesmo nível, reduzindo a sua frequência de ocorrência. Isso 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.

Para a seção de um rio que escoar uma vazão Q , a cota resultante depende da área da seção, da rugosidade, do raio hidráulico e da declividade. Para reduzir a cota decorrente de uma vazão, pode-se atuar sobre as variáveis mencionadas. Para que a modificação seja efetiva, é necessário modificar essas 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,



a - Aprofundamento da seção



b - Ampliação lateral da seção ou redução da rugosidade

para serem efetivas, deverão 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 a montante (figura 2.14b). Essas 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 a alteração produzida.

II.6 MEDIDAS NÃO-ESTRUTURAIS

As medidas estruturais não são projetadas para dar uma proteção completa. Isso exigiria a proteção contra a maior enchente possível. Essa proteção é física e economicamente inviável na maioria das situações. A medida estrutu-

ral 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 preventivas, 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.

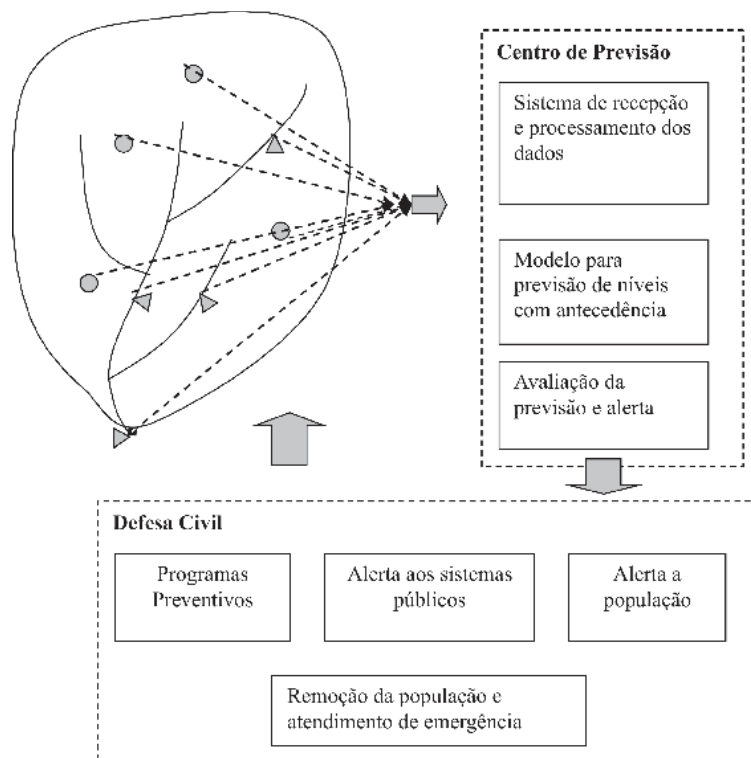


Figura 2.15 Sistema de previsão e alerta

II.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 dessas 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, infra-estrutura; alerta à população de risco, remoção e proteção à população atingida durante a emergência ou nas inundações.

Esse sistema possui três fases distintas, a saber: prevenção, alerta e mitigação. Na prevenção, são desenvolvidas as atividades preventivas para minimizar as inundações quando elas ocorrerem. Isso implica o treinamento da equipe da Defesa Civil, da população, por meio de informações, mapa de alerta que identifique as áreas alagadas durante sua ocorrência, planejamento de áreas para receber a população flagelada, entre outros.

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 sobre a 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 e a Administração municipal 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, 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. Isso significa que, quando um determinado valor de nível de água estiver ocorrendo na régua, a população saberá quanto falta para inundar cada esquina. Isso auxilia a convivência com a inundação durante a sua ocorrência.

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

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 nessa 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:

$$CR = CT \pm D \times Dist$$

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; e positivo se estiver a 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.

II.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; e 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 permitam a definição da linha de água; e) seções batimétricas ao longo do rio no perímetro urbano. Caso a localização da seção de observação encontre-se 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 1.000 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 a 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 essa área, juntamente com a batimetria do rio.

Mapeamento preliminar: Nas cidades de porte superior a 10 mil 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). Esses mapas não possuem a precisão desejada para esse 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 esses mapas referem-se à cota absoluta desejada. Nessa 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. Essa declividade pode ser obtida por meio das marcas de enchentes ou medindo-a durante a estiagem. Este último procedimento pode apresentar erros, já que, se existirem obstruções ao escoamento durante as enchentes, a declividade poderá 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 500 m e 1.000 m ao longo do trecho urbano, anotando a cota da régua para o momento do levantamento. Para acompanhar o trabalho do topógrafo, pode-se utilizar os seguintes recursos: a) confira 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 de o rio ficar muito pouco tempo no pico, a marca deve aparecer para níveis menores.

Os critérios para a determinação da linha de água e dos 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 500 m a 1.000 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: Nesse 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 0,5 m ou 1,0 m, 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 àquele tempo de retorno. Repetindo o procedimento para cada tempo de retorno, obtêm-se as 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 delas, tanto quanto ao uso como quanto aos aspectos construtivos. Para que essa regulamentação seja utilizada, beneficiando as comunidades, 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, por meio de planos diretores urbanos, permitindo às prefeituras a viabilização do controle efetivo.

O Water Resources Council (1971) entende que “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 distinguem 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 a inundação. A divisão da área da comunidade em distritos de terras 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 de acordo 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 à 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, 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.

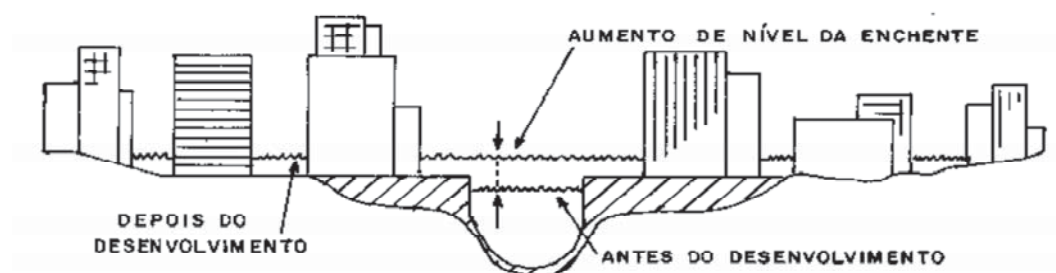


Figura 2.15 Invasões da várzea

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 dessa seção (figuras 2.15 e 2.16). Portanto, em qualquer planejamento urbano, deve-se procurar manter essa zona desobstruída.

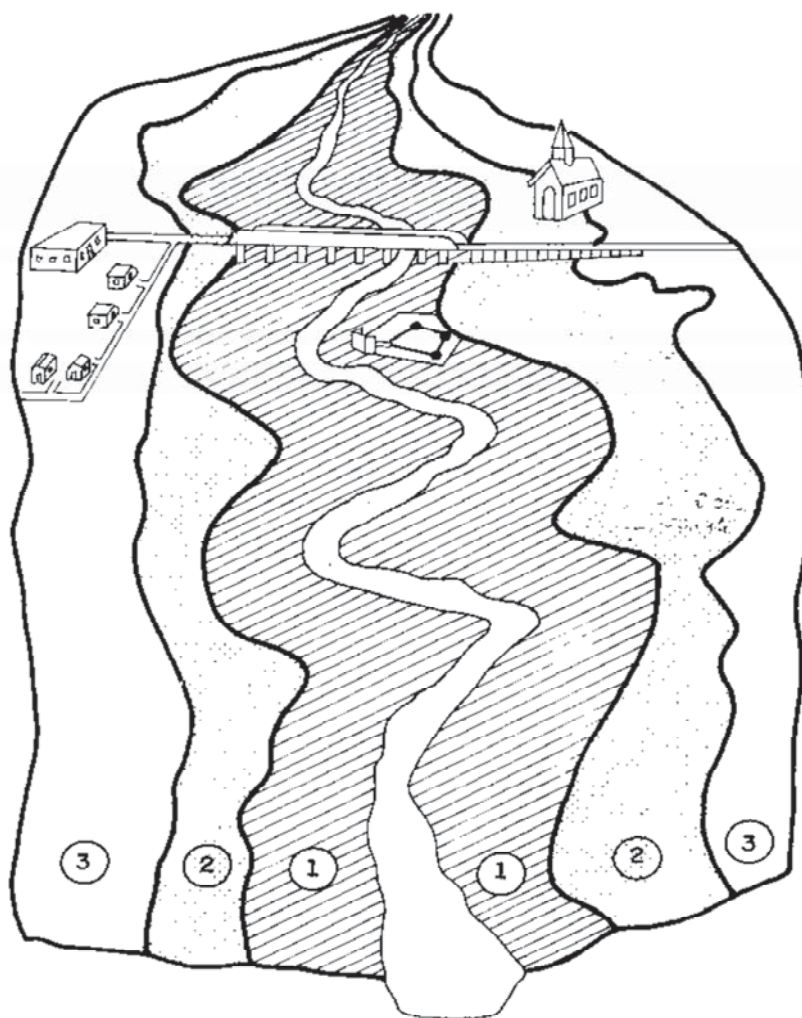


Figura 2.16 Regulamentação da zona inundável
(U.S. WATER RESOURCES COUNCIL, 1971)

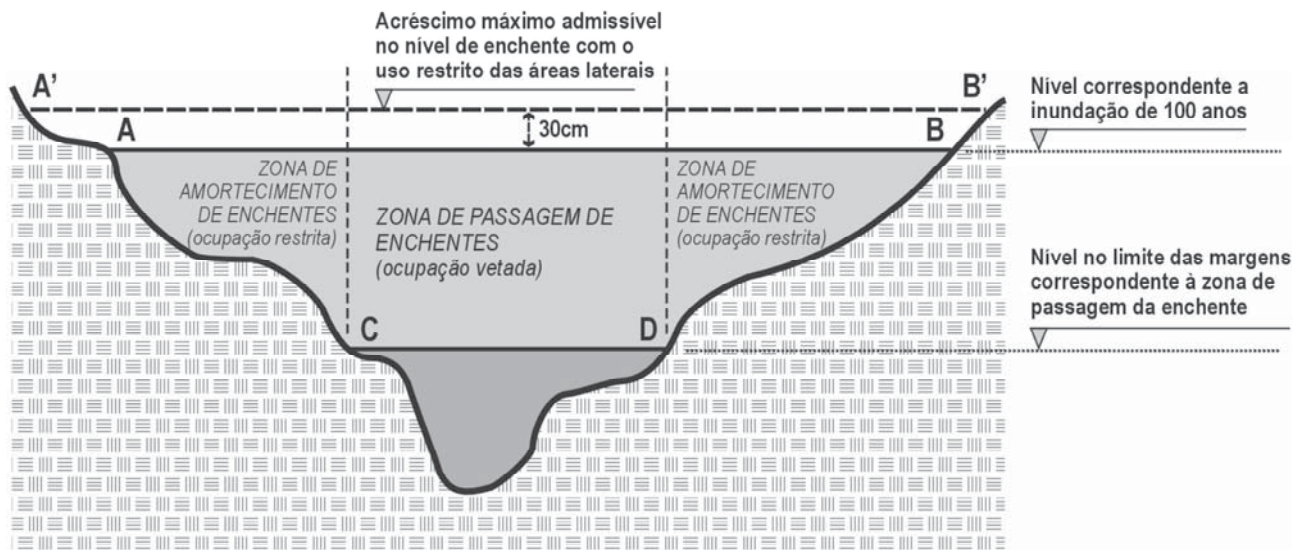


Figura 2.17 Definição da zona de passagem de enchente

Os critérios técnicos geralmente utilizados para determinar essa 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 do leito principal para o vale de inundação. Como esse valor dificilmente é nulo, adota-se um acréscimo mínimo, aceito para o leito principal. Nos Estados Unidos, adotou-se como acréscimo máximo igual a 1 pé ou 30,45 cm. Veja a figura 2.17, para a definição dessa faixa da várzea.

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 elas produzem obstruções ao escoamento. Naquelas já existentes, deve-se calcular o efeito da obstrução e verifi-

car 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 à agricultura ou a outro uso similar às condições da natureza. Ademais, seria permitida a instalação de linhas de transmissão e condutos hidráulicos ou qualquer tipo de obra que não produza obstrução ao escoamento, como estacionamentos, 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. Essa zona fica inundada, mas, em virtude das pequenas profundidades e das baixas velocidades, não contribuem muito para a drenagem da enchente. Essa zona, que pode ser subdividida em subáreas, tem essencialmente os seguintes usos:

(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. Nesse caso, não deve ser permitido o 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. Essa área não necessita regulamentação, quanto a cheias.

Nessa área, delimitada por cheia de baixa frequência, pode-se dispensar medidas individuais de proteção para as habitações, mas deve-se orientar a população sobre uma eventual possibilidade de enchente e instruí-la sobre os 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 ri-

beirinhas 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 cada 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, em que 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 construções nessas áreas, desde que atendam às seguintes condições (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 ao 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, por meio 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 possam exigir ancoragem, bem como a erosões que possam 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) estabelecimento de 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, costuma haver desvalorização imobiliária das áreas de risco. Com o passar do tempo, essas áreas adquirirão gradualmente valor imobiliário, decorrente do natural espaçamento do 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, e com mais danos. Essas condições são mais graves na zona de passagem da cheia, na qual a municipalidade necessita gra-

dualmente 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. Isso 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 delas e estabelecido um plano para reduzir as perdas no local, bem como daquelas provocadas pelo remanso, resultante da obstrução do escoamento. Várias são as condições existentes que deverão ser analisadas caso a caso. Algumas situações merecem atenção por bastante oportunas: (a) para 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, a expensas dos beneficiados.

O poder público deve estar sempre preparado para a eventualidade de remoções ou transferências, cogitados em planos urbanos que destinem essas áreas para outros usos ou finalidades de lazer, evitando que venham a ser ocupadas novamente por subabitações.

Algumas ações públicas são essenciais nesse processo, tais como :

a) Evitar construção de qualquer obra pública nas áreas de risco, como escolas, hospitais e prédios em geral. As existentes devem contar com um plano de remoção para futuro próximo;

b) Planejar a cidade para gradualmente deslocar seu eixo principal para os locais de baixo risco;

c) Evitar financiar obras em áreas de risco;

d) Utilizar mecanismos econômicos para o processo de incentivo e controle das áreas de risco, a saber: (a) retirar o imposto predial aos proprietários que mantiverem sem construção as áreas de risco e as utilizarem, por exemplo, para agricultura, lazer, etc.; (b) procurar criar um mercado para as áreas de risco de tal forma que elas 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 do município ou do Estado.

II.6.3 Construção à prova de enchente

Construção à prova de enchente consiste no conjunto de medidas projetadas para reduzir as perdas de prédios localizados nas várzeas de inundação durante a ocorrência das cheias. Algumas dessas medidas podem ser lembradas:

- 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, a relocação ou a proteção de artigos que possam ser danificados dentro da estrutura existente,
- relocação de estruturas para fora da área de inundação,
- uso de material resistente a água ou novas estruturas,
- regulamentação da ocupação da área de inundação por cercamento.

II.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.

Pelo altamente conhecido sistema de seguros americanos, a cidade entra no programa de seguros federais e a população pode fazer o seguro, cujo custo de 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 possuam esse tipo de seguro. Portanto, esse seguro cobra mais dos que ocupam áreas de maior risco e menos dos que ocupam áreas de menor risco. Isso é possível num país onde é possível distribuir riscos 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, esse tipo de solução torna-se inviável pela incapacidade de a população pagar o prêmio e próprio baixo valor da sua propriedade.

II.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 representam 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 referem-se à evacuação, à reocupação, à habitação provisória (como em acampamentos), sistema de 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 são os 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.

II.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 essa 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. Essa estimativa pode ser realizada para construções-padrão, como residências, ocupação industrial e comercial, quando for o caso, além de uso agropastoril. Nos Estados Unidos, 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 área da cidade, por meio de amostragem, permite uma avaliação global dos danos envolvidos. Individualmente, uma indústria ou um estabelecimento comercial pode levantar 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. Ademais, ela informa os riscos econômicos envolvidos na instalação em área sujeita a inundação. O custo médio de inundação é obtido pela integração da curva prejuízo-probabilidade.

II.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 observados no evento, obtém-se a curva desejada. As limitações a esse procedimento são a admissão de que: a) nos últimos anos, o crescimento da região tenha sido praticamente nulo na área de inundação e que não tenha havido relocação; b) os prejuízos provocados pelas cheias tenham sido repostos; c) os valores dos prejuízos estejam uniformizados, ou seja, considerem a inflação dos períodos; d) o procedimento de avaliação dos prejuízos seja o mesmo nas diferentes enchentes, para que não haja tendenciosidade de avaliação.

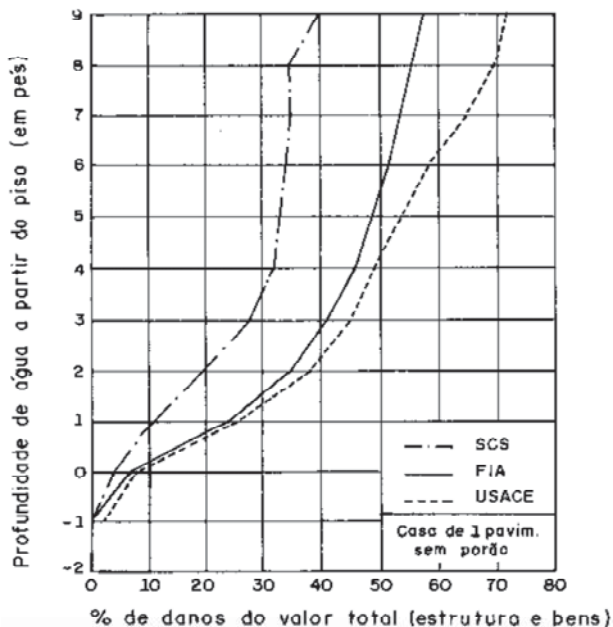


Figura 2.18 Curvas de profundidade-dano para uma casa de um pavimento, sem porão (Simons et al., 1977)

II.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:

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

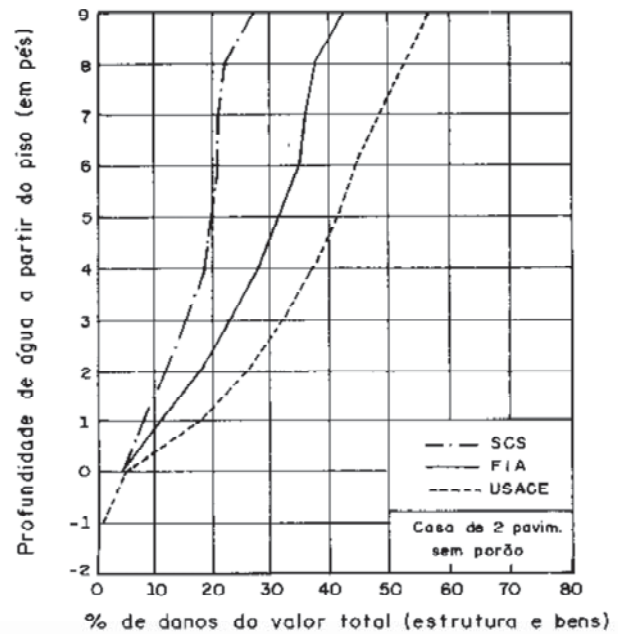


Figura 2.19 Curva de profundidade-dano para uma casa de dois Pavimentos, sem porão (Simons et al., 1977)

onde, C_D = dano total, em virtude de 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:

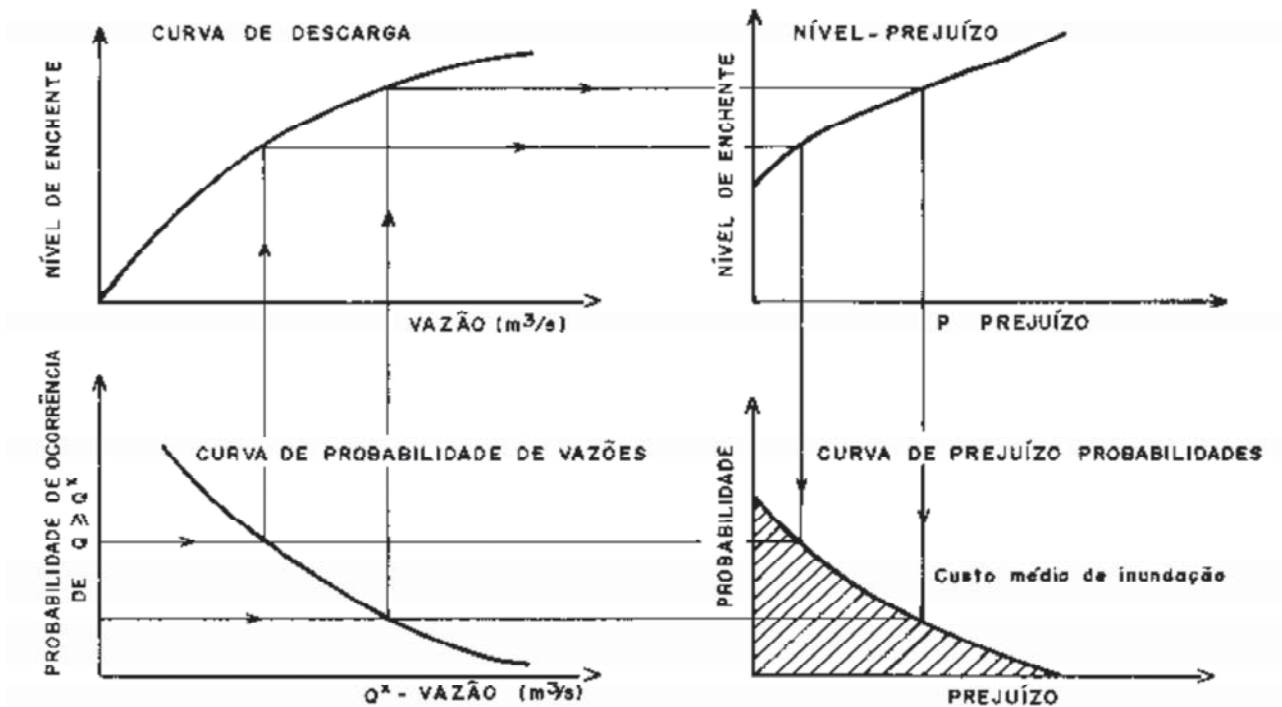


Figura 2.20 Método Nível-Prejuízo

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

Onde D = dano; y = a profundidade. Essa derivada é obtida com base na relação entre dano e profundidade. Homan e Waybur (1960) determinaram esse valor para cheias de cerca de 5 pés de profundidade (1,5 m) 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.

Kates (1965) apresentou uma sequência

de procedimentos para a avaliação dos prejuízos de áreas de inundação com crescimento, ou modificações de danos potenciais, com o tempo. A sequência é a seguinte: a) utilize um modelo regional de economia para projetar o crescimento urbano regional conforme o período de análise; b) defina os limites das áreas de inundação com base em análise hidrológica e aloque o crescimento urbano nessa 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 medidas estruturais e não-estruturais? Quando se deve utilizar cada tipo de medida?
4. Quais são as medidas estruturais? Quais as limitações extensivas a elas?
5. Quando se utilizam as medidas intensivas?
6. Quais são as medidas não-estruturais? Há dificuldades em implementá-las?
7. Como determinar o mapeamento de inundação numa cidade?
8. Sem dados históricos, é possível mapear?
9. Como o mapa preparado pode ser utilizado para o planejamento de ocupação da cidade? Que recomendações fazer a um prefeito? Convidado para fazer um estudo de alternativa de uma indústria que se encontra na área de inundação, que alternativas de

avaliação econômica apresentaria?

9. Numa bacia de 100.000 km², quais são as alternativas de controle de inundação? Analise as alternativas.
10. Quais os critérios para definir a área que deve ficar desobstruída no zoneamento de área de inundação?
11. Quais os critérios de zoneamento das áreas de inundação para a determinação de um Plano Diretor urbano?
12. Por que as medidas estruturais são mais caras que as não-estruturais?
13. Quais os principais impactos que envolvem o corte de meandros para controle de inundação de um trecho de rio?
14. Quando é viável a canalização de um rio para controle de enchente? Quais são os benefícios da canalização?
15. Como definiria um plano de determinação dos níveis de inundação para um local sem dados?
16. 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.

III 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

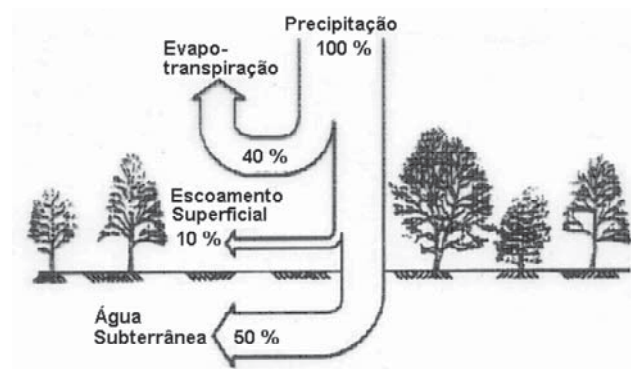
O desenvolvimento urbano altera a cobertura vegetal, provocando vários efeitos, que alteram os componentes do ciclo hidrológico natural. Este capítulo trata do impacto da urbanização nas águas pluviais.

III.1 Impacto do desenvolvimento urbano no ciclo hidrológico

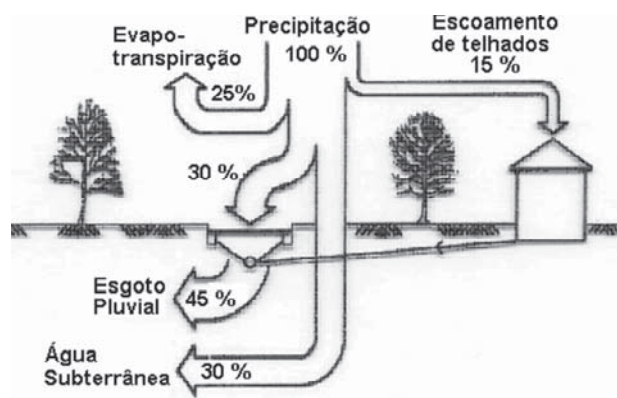
Com a impermeabilização do solo por meio de telhados, ruas, calçadas e pátios, a água que antes infiltrava, passa a escoar pelos condutos, aumentando o escoamento superficial. O volume que escoava lentamente pela superfície do solo e ficava retido pelas plantas, pelos efeitos da urbanização, passa a 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 o 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;
- 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 km² 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 conforme a 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).



a- cenário sem urbanização



b – cenário urbanizado

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

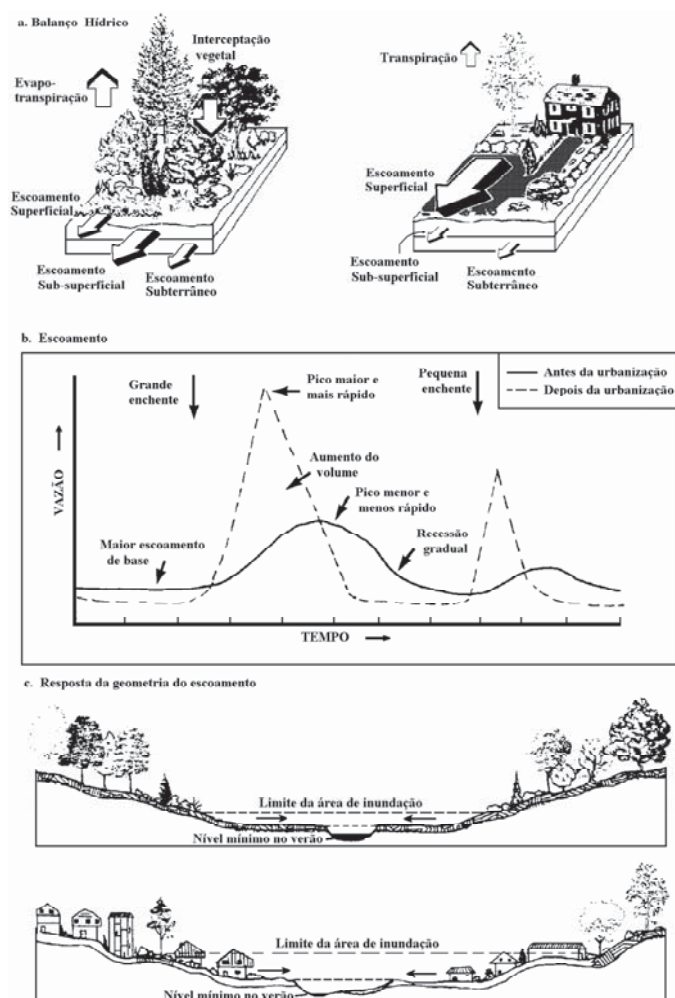


Figura 3.2 Impacto devido a urbanização (Schueler, 1987)

- 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;
- Por conta da 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.

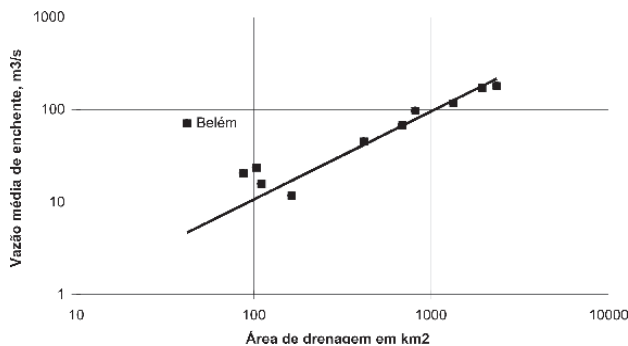


Figura 3.3 Vazão média de cheia em função da área de drenagem na Região Metropolitana de Curitiba

III.2 Impacto ambiental sobre o ecossistema aquático

Com o desenvolvimento urbano, vários elementos antrópicos são introduzidos na bacia hidrográfica e passam a atuar 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, por causa da sua cor, absorve mais energia do que as superfícies naturais e o concreto. À medida que a sua superfície envelhece e es-

curece, aumenta 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 aumentar a precipitação. Silveira (1997) mostra que a parte central de Porto Alegre apresenta maior índice pluviométrico que a sua periferia, atribuindo essa tendência à urbanização.

Aumento de sedimentos e de material sólido: Durante o desenvolvimento urbano, o aumento dos sedimentos produzidos pela bacia hidrográfica é significativo, em decorrência de 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.

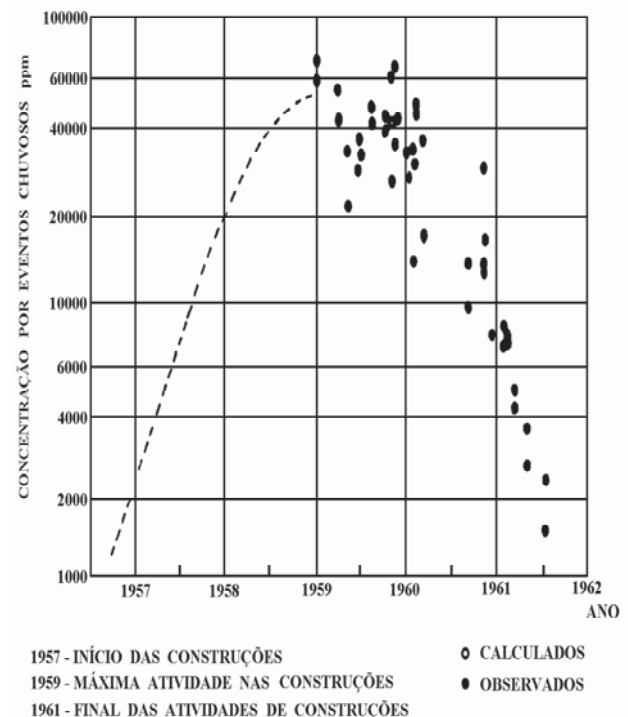


Figura 3.4 Variação da produção de sedimentos em decorrência do desenvolvimento urbano (Dawdy, 1967)

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

- Erosão das superfícies, gerando fortes áreas degradadas. Nas figuras 3.5 e 3.6, pode ser observado o efeito da erosão sobre as superfícies urbanas desprotegidas. Na foto da direita, observa-se a erosão gerada pelo aumento de escoamento de drenagem a montante. O aumento da energia e da velocidade do escoamento pode produzir verdadeiros *canyons*, que chegam a 30 m de profundidade e a 50 m de largura em solos frágeis;

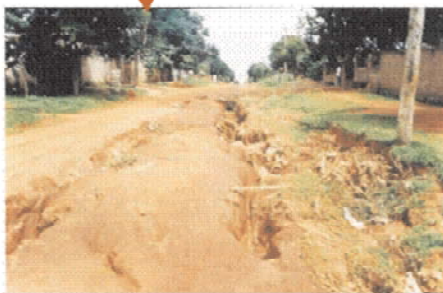


Figura 3.5 Erosão urbana (Campana, 2004).

- 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, por causa de sua largura e pequena profun-

didade, 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 3.6 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 os sistemas obstruídos por material sólido e por canalização atravessando a drenagem;

(b) *Resíduo sólido no sistema de retenção.* À 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 am-

bientais ainda piores. Esse problema somente é minimizado com adequada frequência da coleta e educação da população com multas pesadas. Na figura 3.8, pode-se observar a quantidade de

lixo urbano no sistema de drenagem. Como se observa, grande parte desse lixo é de plástico, com grande concentração de garrafas do tipo pet e sacos de supermercados;



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



Figura 3.8 Lixo retido na drenagem (São Paulo)

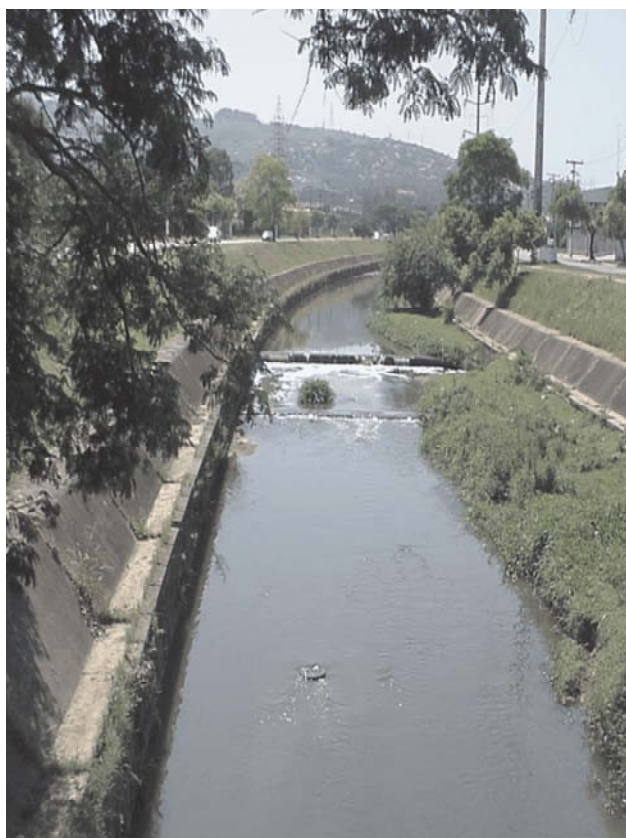


Figura 3.9 Obstruções ao escoamento em canais (Porto Alegre)



Figura 3.10 Construções na drenagem (Caxias do Sul)

(c) *Problemas de manutenção.* Podem ocorrer vários problemas de escoamento resultantes da falta de limpeza do sistema de drenagem e de projetos inadequados que não consideram o assoreamento em seções muito largas (figura 3.9).

(d) *Obstrução do escoamento por construções e aumento do risco:* O desenvolvimento urbano tende a ocupar a drenagem deixando pouco espaço para a drenagem, trazendo risco para a própria habitação e para montante (figura 3.10).

Áreas de risco de encostas: A ocupação das áreas de relevo nas cidades é uma das principais causas de morte durante o período chuvoso em virtude do escorregamento de terra das encostas, em consequência da infiltração de água no solo e da 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, e passados alguns intervalos de tempo é reduzida 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.

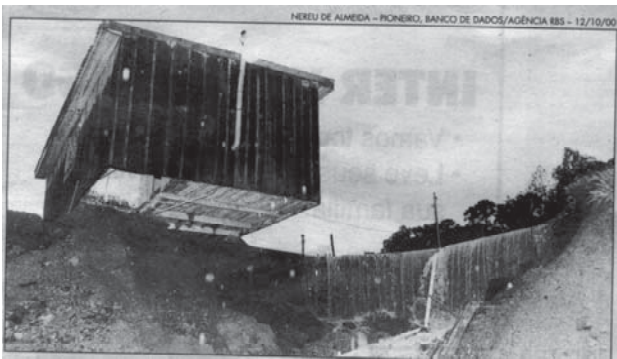


Figura 3.11 Ocupação em áreas de risco

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, em decorrência da falta de capacidade financeira para ampliação da rede de cloacal, algumas prefeituras têm permitido o uso da rede pluvial para o transporte do cloacal, o que pode ser uma solução inadequada já 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 atuam de formas distintas no ambiente urbano, como inseticidas, fertilizantes, chumbo proveniente das emissões de automóveis e óleos de vazamento ou de caminhões, ônibus e automóveis. A fuligem resultante das emissões de gases no ambiente urbano dos veículos e das indústrias, e a queima de resíduos se depositam na superfície e são lavados pela chuva. A água resultante dessa 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 de 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 devidas aos seguintes eventos:

- Aterros sanitários contaminam as águas subterrâneas pelo processo natural de precipitação e infiltração. Deve-se, pois, evitar que sejam 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 (ver tabela);

TABELA 3.1 CONCENTRAÇÃO PARA ESCOAMENTO MÉDIO PARA ALGUNS USOS DA TERRA URBANA, COM BASE NO PROGRAMA NACIONAL DE ESCOAMENTO URBANO (AMERICANO) (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. A contaminação pode comprometer o abastecimento de água urbana quando existe comunicação entre diferentes camadas dos aquíferos, por meio de percolação e de perfuração inadequada dos poços artesianos;
- A rede de condutos de pluviais pode contaminar o solo pela infiltração no seu transporte e até por entupimento de trechos da rede que pressionam a água contaminada para fora do sistema de condutos.

III.3 GESTÃO NA MACRODRENAGEM QUE GERA IMPACTOS

III.3.1 Gestão na drenagem urbana

O controle atual do escoamento na drenagem urbana tem 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 falso princípio de que “a melhor drenagem 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 transferem todo o seu volume para jusante. Na macrodrenagem, são construídos canais para evitar a inundação em cada trecho crítico. Esse tipo de solução é apropriado a um trecho da bacia, sem previsão das consequências para o restante dela, e sem considerar diferentes horizontes de ocupação urbana. A canalização dos pontos críticos acaba apenas transferindo a inundação de um lugar para outro da bacia.

A combinação dos dois tipos de gestão tem os seguintes impactos na macrodrenagem das cidades, que podem ocorrer na seguinte sequência:

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 inunda-

ções (figura 3.13a). Nesse 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, aumenta o hidrograma a jusante do trecho canalizado (figura 3.13b)

Estágio 3: Com a expansão da urbanização para montante, juntamente com a canalização, o aumento das vazões máximas e dos

volumes se torna significativo, retornando as inundações nos trechos anteriormente canalizados, e 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.).

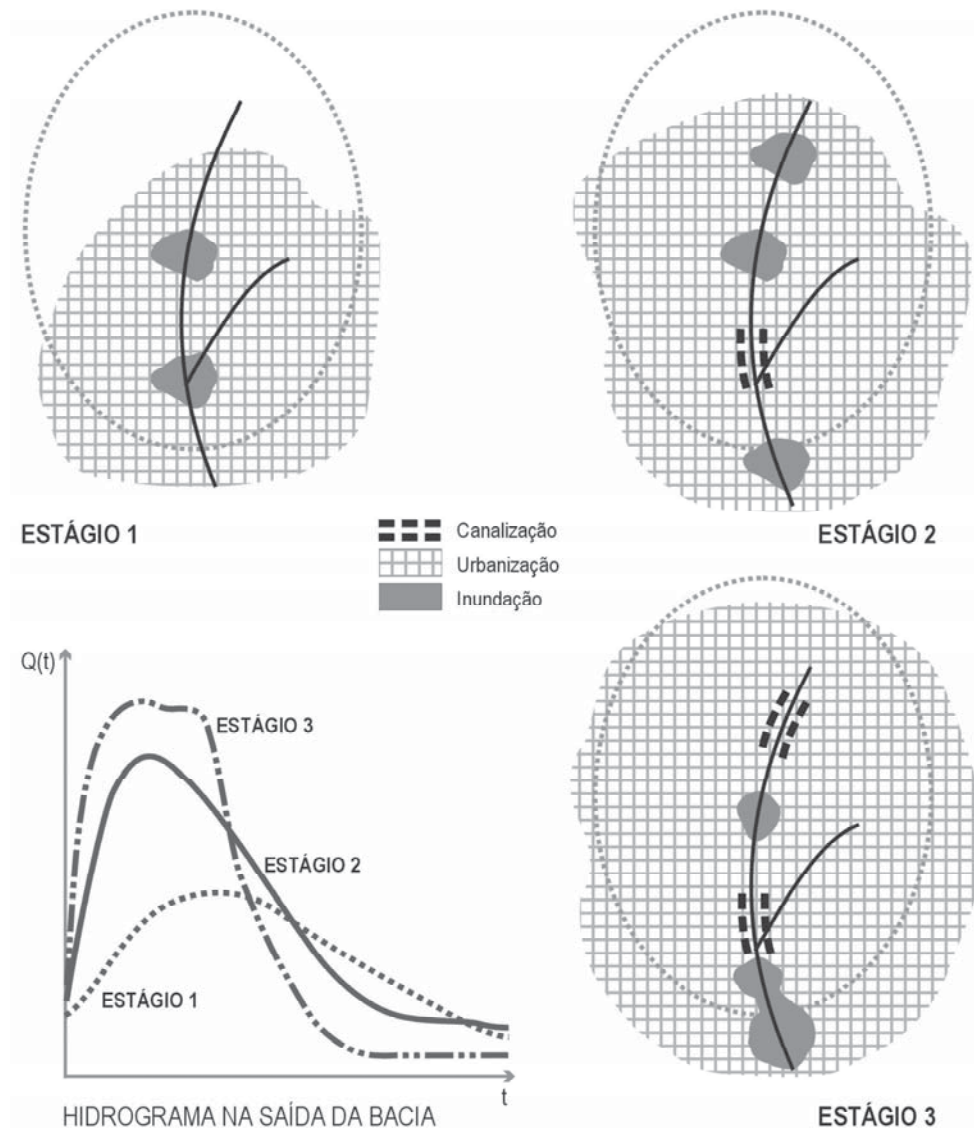


Figura 3.13 Estágio do desenvolvimento da drenagem

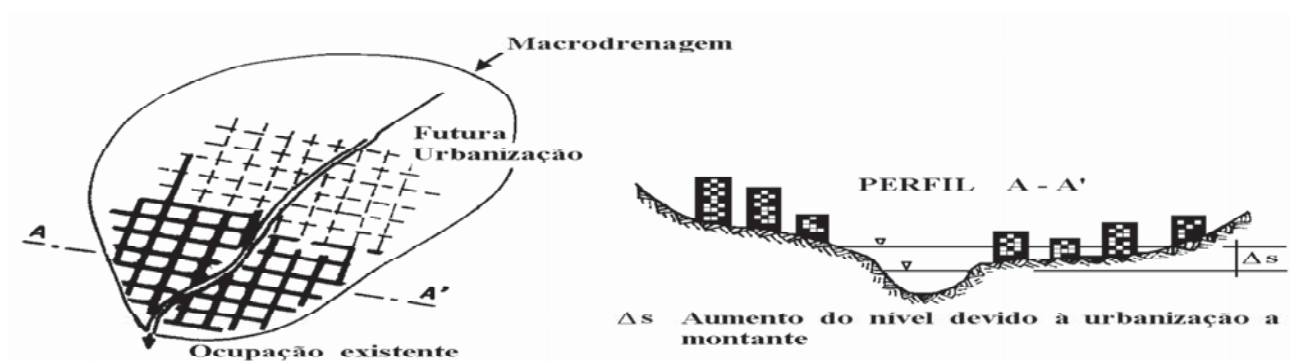
Esse processo é prejudicial aos interesses públicos e representa um prejuízo extremamente alto para toda a sociedade ao longo do tempo. A sociedade perde duas vezes: paga cerca de 1.000% a mais pela canalização contra uma solução de amortecimento, e ainda aumenta dramaticamente as inundações para a população de jusante. Infelizmente, essa visão – defasada de conhecimento técnico ou acobertando interesses particulares no alto custo das obras – ainda é acolhida por alguns engenheiros, que usam, como pretexto para adotá-la, o argumento de que “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, mas nem sempre são facilmente identificadas. Mas é possível identificar combinações de transferência de escoamento e amortecimento sem transferir impactos para jusante, bastando persistência e vontade por parte dos técnicos.

O principal conceito é que não partir de uma solução pré-concebida, mas buscar soluções combinadas, com a meta fundamental de que nenhum novo projeto venha a transferir impacto para a bacia.

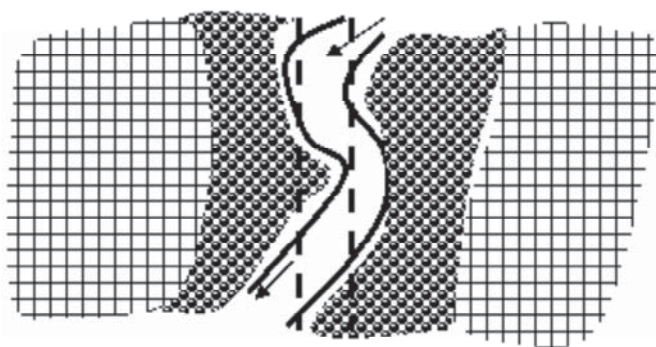
III.3.2 Gestão inadequada das áreas ribeirinhas em combinação com a drenagem urbana

A tendência do desenvolvimento urbano é 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 até a sua margem (primeiro estágio da gestão inadequada, caracterizado na figura 3.14).

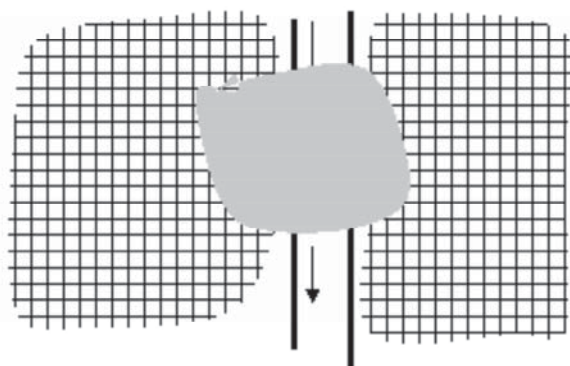
Com o passar dos anos, a bacia hidrográfica desenvolve-se para montante, ampliando o pico de cheia e aumentando a frequência decorrente da impermeabilização, canalizando os condutos. Como o projeto de aumentar a capacidade de escoamento do trecho de jusante restringiu-se ao cenário urbano da sua época, 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, pelo seu aprofundamento, e aumento de rugosidade, túneis de desvios, entre outros. Essas obras são economicamente inviáveis, reduzindo o valor das propriedades e aumentan-



(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

do os prejuízos. Tal foi o cenário observado no Rio Tietê, em São Paulo (figura 3.15).

Na figura 3.16, pode-se observar o conjunto dos processos, que se originam no uso do

solo (ocupação da área de inundação ribeirinha e impermeabilização e canalização do escoamento), resultando na aceleração do escoamento da drenagem e nos conseqüentes impactos.



Figura 3.15 Inundação do Rio Tietê na Ponte das Bandeiras, decorrente da urbanização da cidade de São Paulo

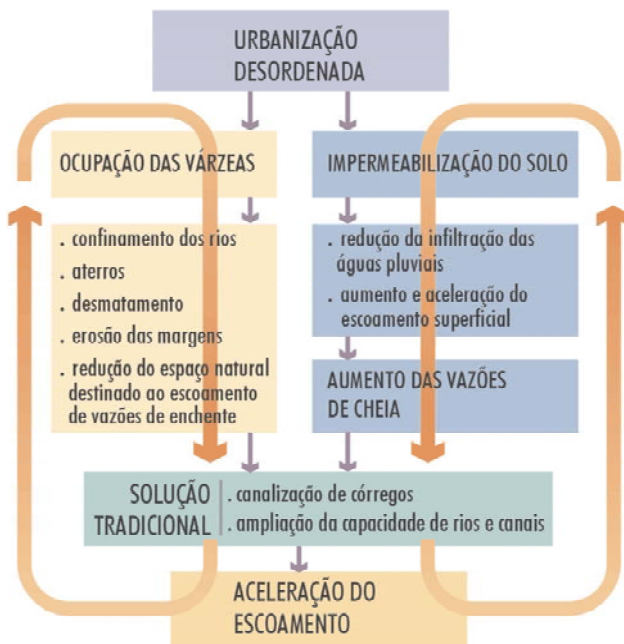


Figura 3.16 Processo de impacto da drenagem urbana (Sudersha, 2002)

3.4 PRINCÍPIOS DA GESTÃO SUSTENTÁVEL

Os princípios básicos do controle do escoamento pluvial, tanto os provenientes das enchentes naturais da várzea quanto os da 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 implicam custos inexequíveis para a maioria das cidades, sem recursos para orçá-los. A política de controle de enchentes certamente poderá

chegar a soluções estruturais para alguns locais, mas sempre conforme a visão de conjunto de toda a bacia, ou seja, em que ela esteja racionalmente integrada a outras medidas preventivas (não-estruturais) e compatibilizadas com o desenvolvimento urbano.

Os meios: Os meios de implantação do controle de enchentes são o Plano Diretor Urbano, a Legislação Municipal/Estadual e o 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 dela estiver ocupada, dificilmente o poder público conseguirá responsabilizar alguém pela ampliação das cheias. Portanto, se a ação pública não for realizada preventivamente, por meio de 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: Dois critérios devem ser abalizados.

(a) cheia natural não deve ser ampliada pelos que ocupam a bacia, seja motivada por um simples loteamento, seja por obras no ambiente urbano. Isso se aplica a um simples aterro urbano, à construção de pontes e rodovias, e fundamentalmente à impermeabilização dos loteamentos. O princípio é de que nenhum usuário urbano pode 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, pois, estabelecer regulamentos e construir obras de proteção. É necessário estar atento a

potenciais violações da legislação e à expansão da ocupação do solo das áreas de risco. Portanto, recomenda-se que: (a) nenhum espaço de risco seja desapropriado se não houver uma imediata ocupação pública que evite sua invasão; (b) a comunidade deve ter uma participação ativa e contínua nos anseios, nos planos, na sua execução e na obediência às medidas de controle de enchentes.

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

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

III.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. Esse 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: por meio 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: por meio 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 possuam espaço para amortecimento da inundação.

III.5.1 Medidas de controle distribuído

As principais medidas de controle localizadas no lote, no estacionamento, nos parques e em 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 consistem em (Urbanas 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;
- riscos de elevados custos de operação e manutenção.

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 Suet-sugi (1990) para a Bacia do Rio Tsurumi, onde foram construídos cerca de 500 reservatórios de retenção de 1,3 m³.

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 e das instalações comerciais e industriais do sistema. Esse limite corresponde geralmente à vazão natural do lote para um tempo de retorno (geralmente, 10 anos de tempo de retorno e 1 hora de duração). Essa vazão é restritiva e obriga o empreendedor a utilizar os dispositivos citados dentro da área de desenvolvimento para manter essa 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. Es-

ses 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 condições as mais próximas possíveis das naturais.

As vantagens e as desvantagens dos dispositivos que permitem maior infiltração e percolação resumem-se em (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;
- Possibilidade de os solos de algumas áreas ficarem impermeáveis; 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 mais 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.

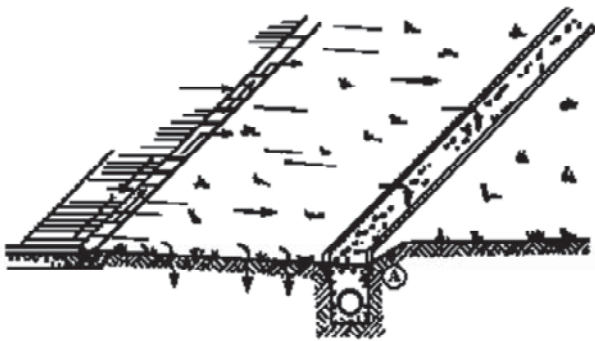


Figura 3.17 Plano de infiltração com valo

Valos de infiltração: esses são dispositivos de drenagem lateral, muitas vezes utilizados paralelos a 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, já 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.

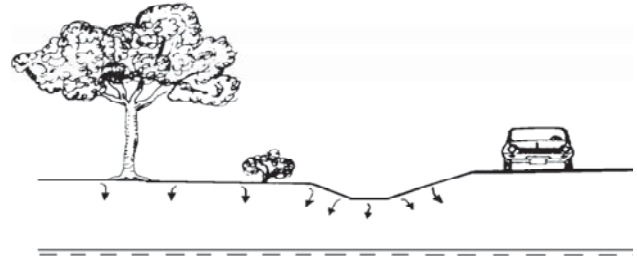


Figura 3.18 Valos de infiltração (Urbonas e Stahre, 1993)

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 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).

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

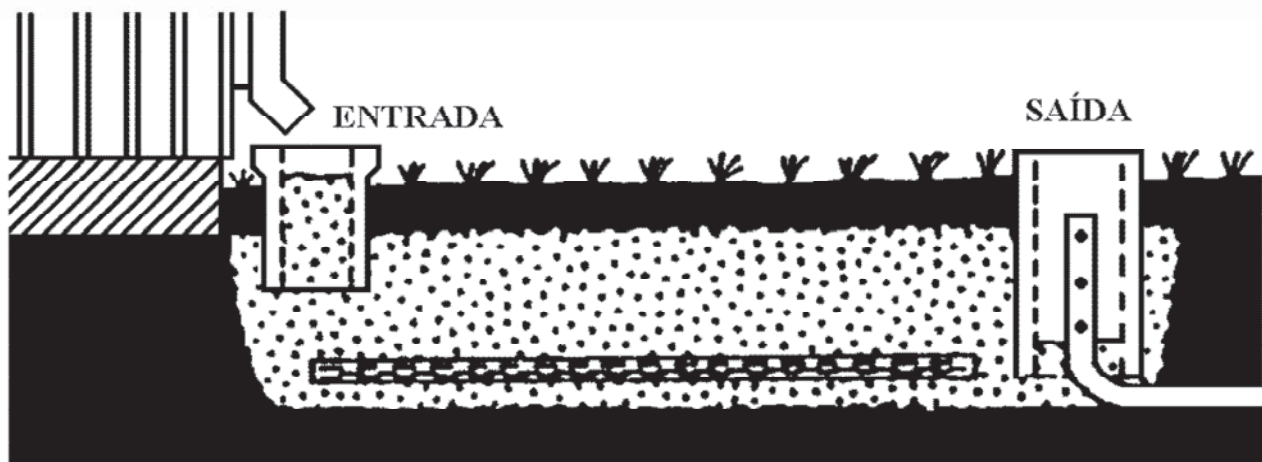


Figura 3.19 Exemplo de bacia de percolação (Holmstrand, 1984)

filtro, na parte superior da caixa, para evitar entupimento;

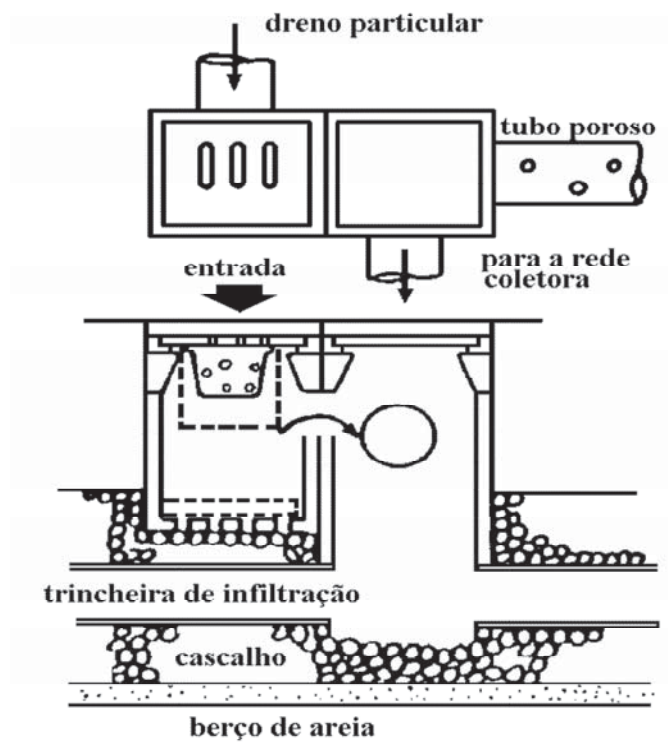
- *Trincheira ou vala permeável.* É um caso especial de bacia de percolação e consiste de uma caixa com cascalho e filtro por onde passa um conduto poroso ou perfurado (figura 3.20b);
- *Meio fio permeável.* Esse dispositivo é utilizado fora do lote ou dentro de condomínios, indústrias ou áreas comerciais (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.

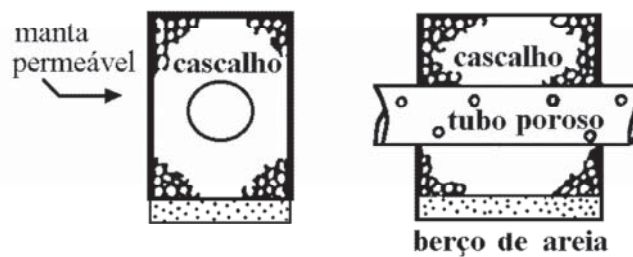
Esse tipo de pavimento pode ser de bloco vazado, concreto ou de asfalto (figura 3.21). Nos caso dos dois últimos, é construído da mesma forma que os pavimentos tradicionais, com a diferença que o material fino é retirado da mistura. Quando esses pavimentos

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 (Urbanas e Stahre, 1993). Esse 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 desse tipo de dispositivo.

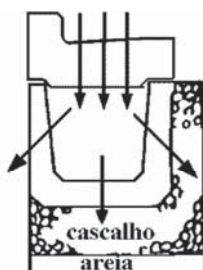
Esse tipo de controle apresenta as seguintes vantagens: redução do escoamento superficial previsto com relação à superfície impermeável; redução dos condutos da drenagem pluvial; e redução de custos do sistema de drenagem pluvial e da lâmina de água de estacionamentos e pas seios. As desvantagens são: 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.



a - entradas permeáveis da drenagem



b - trincheiras ou valas permeáveis



c - meio fio permeável

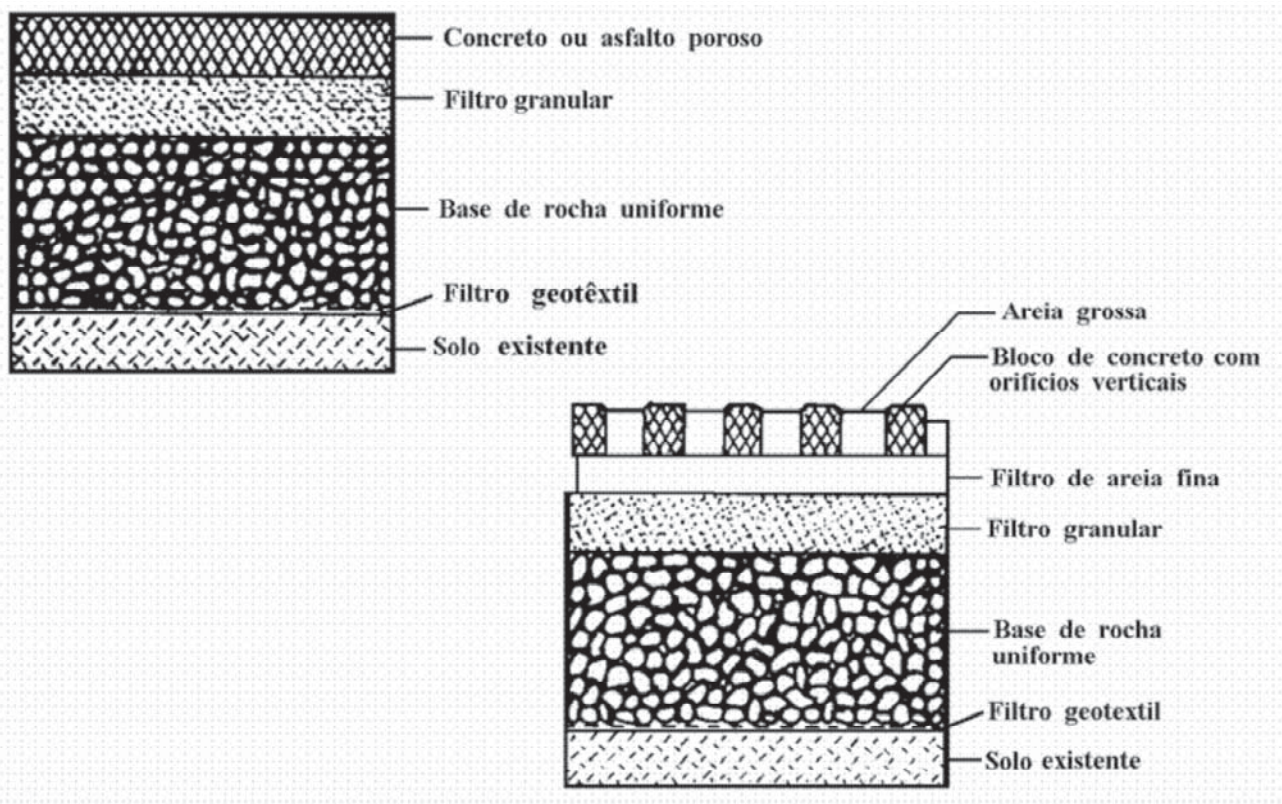


Figura 3.21 Pavimentos permeáveis

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 semipermeáveis: 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, na qual 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 m², no qual 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 por conta da 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 esse 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 a 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 exercerem sua função urbanística no contexto dos empreendimentos. A viabilidade 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. Em ra-



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 gramas laterais para aumentar a infiltração.

zão das características de clima brasileiro e do tipo de material geralmente utilizado nas coberturas, esse tipo de controle dificilmente seria aplicável a 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 3.23 Foto da esquerda mostra exemplo de valo de infiltração, enquanto a foto à direita apresenta pavimento permeável com blocos vazados em estacionamento.

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 m², com uma precipitação anual de 1.500

mm, é possível obterem-se 360 m³ por ano, que, distribuídos, representam cerca de 15 m³ 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 para ser viável.



Figura 3.24 Foto da esquerda mostra uma rua sem meio-fio (NRDC, 2004), que permite a infiltração de parte do escoamento nas laterais gramadas. Na foto da direita (Weinstein, N. 2003), é apresentada uma área de infiltração num canteiro.

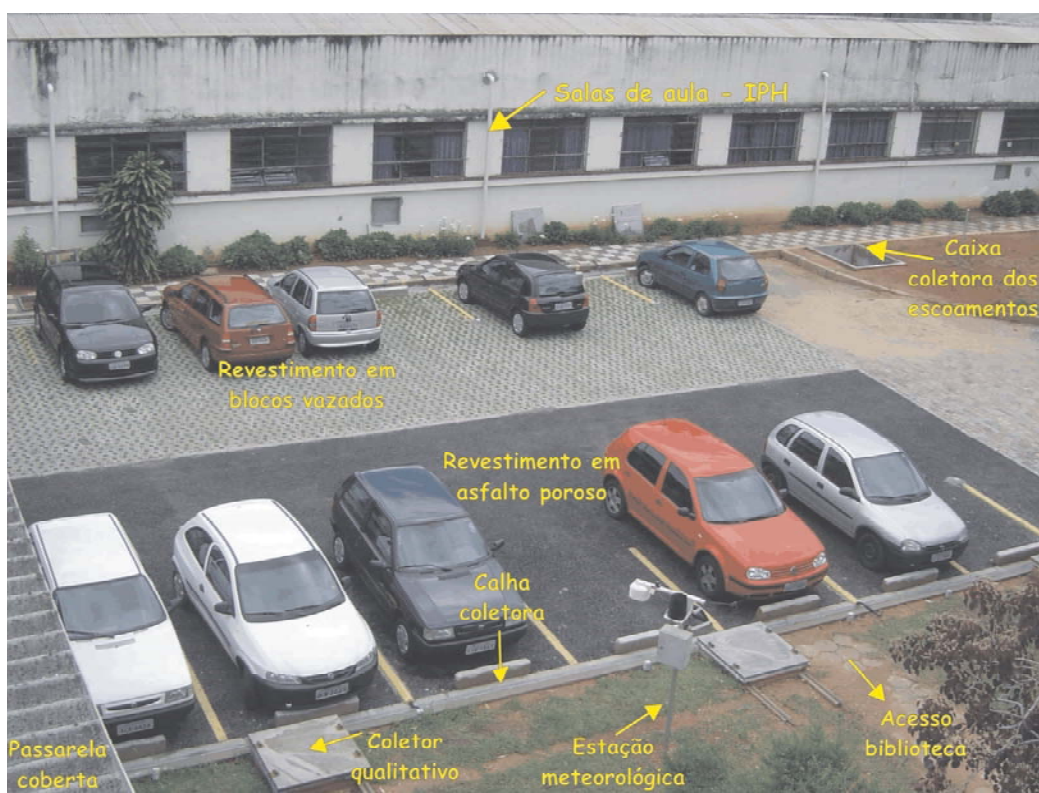


Figura 3.25 Duas áreas experimentais no estacionamento do Instituto de Pesquisas Hidráulicas com bloco vazado e asfalto poroso

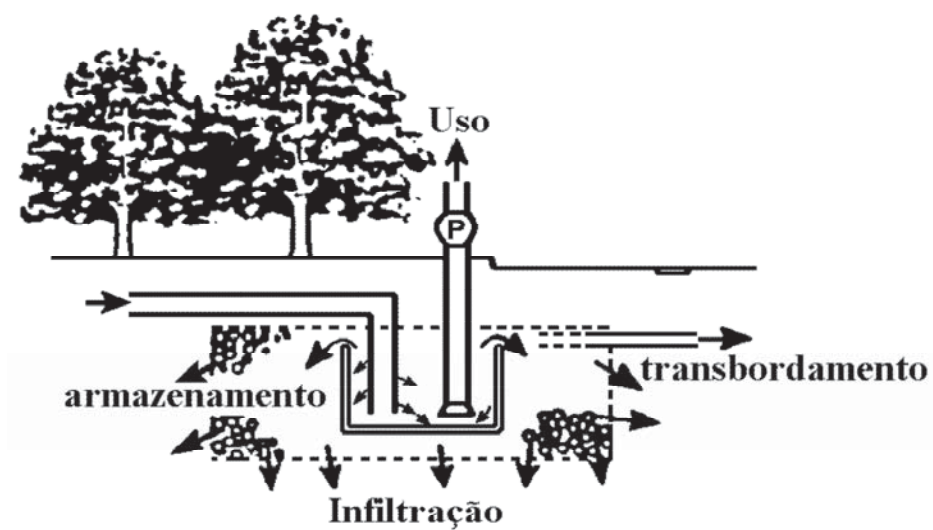


Figura 3.26 Reservatório com usos variados (Fujita, 1993)

TABELA 3.3 DISPOSITIVOS DE INFILTRAÇÃO¹

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 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 subsolo	O acúmulo de água no plano durante o período chuvoso não permite trânsito sobre a área. Planos com declividade que permita escoamento.
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 ser > 1,20 m de profundidade. A taxa de infiltração de solo saturado > 7,60 mm/h. Bacias de percolação: a condutividade hidráulica saturada > 2.10-5 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 m³. Para um edifício que urbaniza um lote de 1.000 m² e possui área impermeável de 80%, o volume necessário para manter a vazão específica citada acima será de 33 m³. Considerando uma profundidade de 1,5 m, seria necessária uma área de 22 m². A legislação prevê

que, se a água das superfícies permeáveis forem drenadas para superfícies que infiltram, e elas não tenham drenagem, a área impermeável no cálculo pode ser diminuída em 80%, resultando em AI = 16% e V = 6,8 m³ e 4,5 m². Esse tipo de gestão induz cada empreendedor a desenvolver as medidas distribuídas de infiltração.

Tanto a vazão de restrição como a equação do volume, citadas 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. O controle se dá somente sobre a quantidade de água e não sobre os outros fatores que são a qualidade da água e resíduos sólidos.



Figura 3.27 Reservatório em edifício (Canpana, 2004)

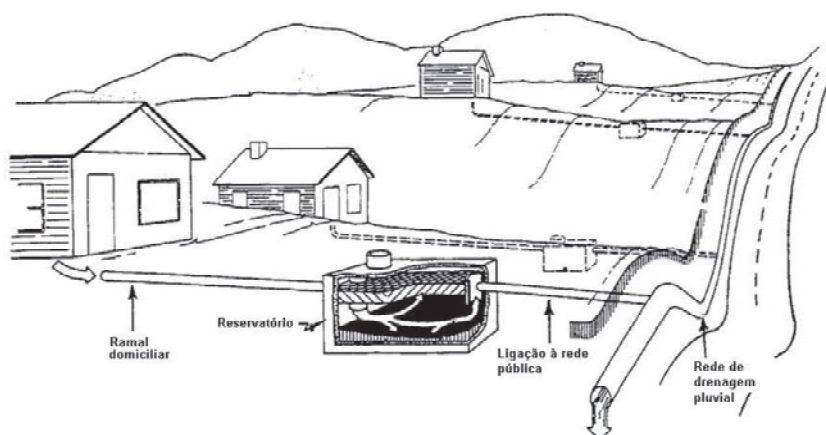


Figura 3.28 Reservatório em área residencial (Campana, 2004)



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

III.5.2 Medidas de controle na microdrenagem e na 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.

Aumentando a impermeabilização e a canalização, aumenta, concomitantemente, a vazão máxima e o escoamento superficial. Para que esse acréscimo de vazão máxima não seja transferido para jusante, utiliza-se o amortecimento do volume gerado, por meio 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; oposição, por parte da população, a reservatórios maiores.

Esse controle tem sido utilizado quando existem restrições por parte da administração municipal ao aumento da vazão máxima decorrentes do 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 retenção 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 preexistente 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 a depuração da qualidade da água, mantendo seu volume por mais tempo dentro do reservatório. O “tempo de retenção”, 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

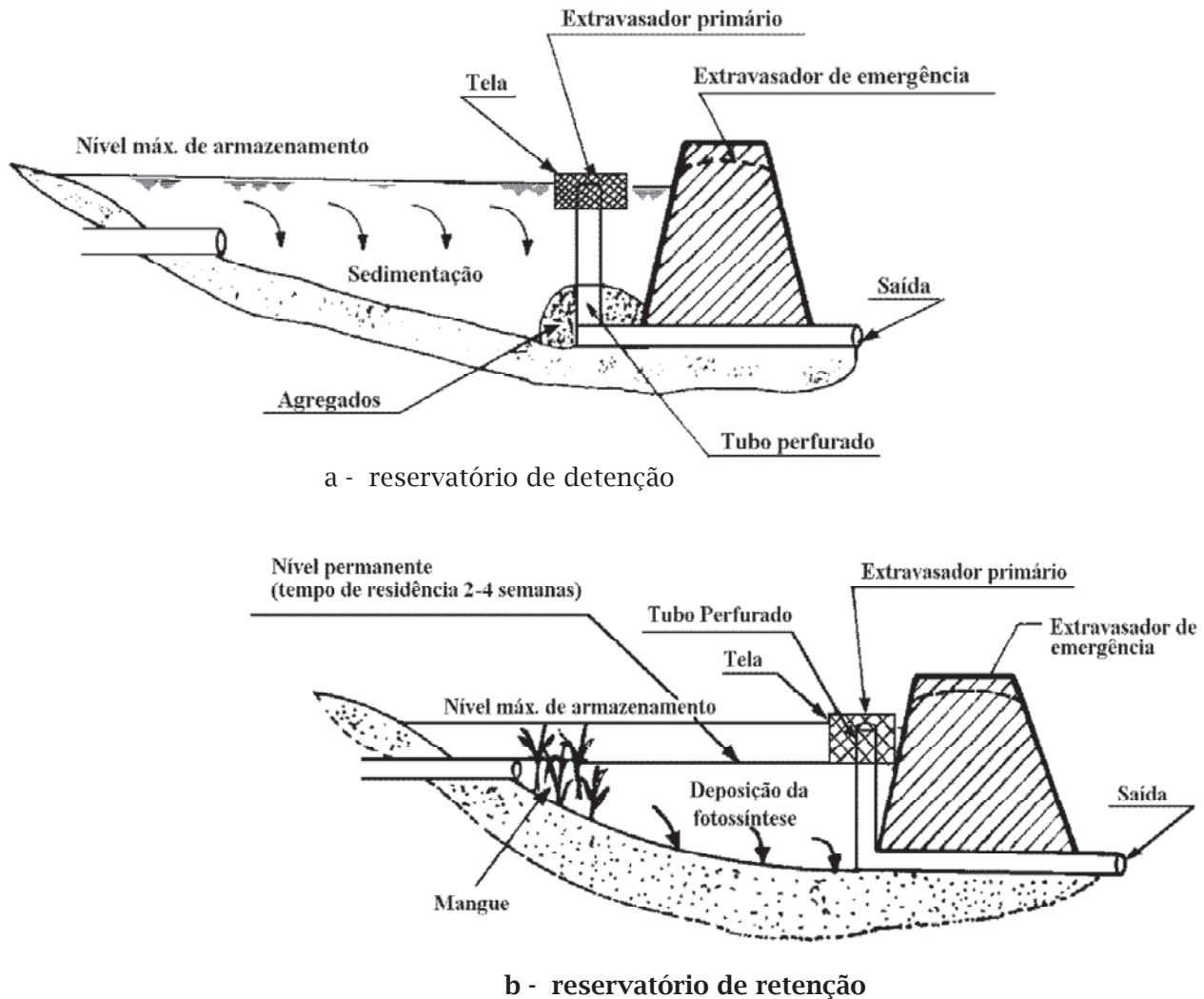


Figura 3.30 Reservatórios para controle de material sólido (Maidment, 1993)

secarem após o seu uso, durante uma chuva intensa, e depois utilizada para outras finalidades. Esse tipo de reservatório é chamado “detenção” (figura 3.30a).

A retenção que mantém a 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 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 2 anos, e planejar a área de extravasamento com paisagismo e campos de esporte para as cheias acima da cota referente ao risco mencionado. Quando ela 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, no Canadá e na Austrália. Quando projetados para controle de vazão, seu esvaziamento é rápido de até 6 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 (Urbanas e Roesner, 1994). Esse tipo de dispositivo retém uma parte importante do material sólido.

Quando a drenagem atravessa o reservatório ele é chamado de *in-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).

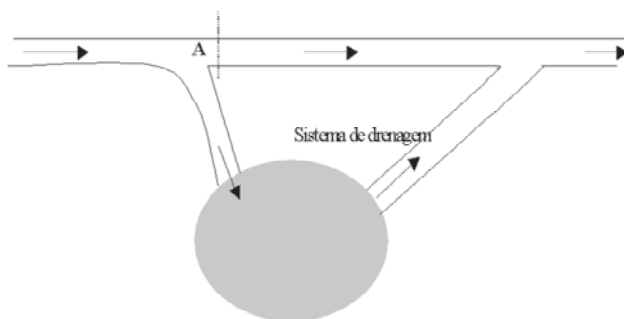


Figura 3.31 Detenção *off-line* (esquerda) conectado por condutos

Nas detenções *in-lin*”, existem problemas de drenagem com esgoto misto ou grande ligação clandestina na rede de drenagem, decorrentes da 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 facilidade de 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, por conta da topografia ou da pressão da população vizinha, com receio do lixo e da qualidade do sistema.

Os reservatórios *off-line* podem funcionar automaticamente, por gravidade, como mostra a figura 3.32, ou por 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. Já no segundo caso, por conta da necessidade de aumentar o volume, é necessário escavar abaixo da cota do sistema de drenagem e, para esgotar o volume, é necessário o bombeamento.

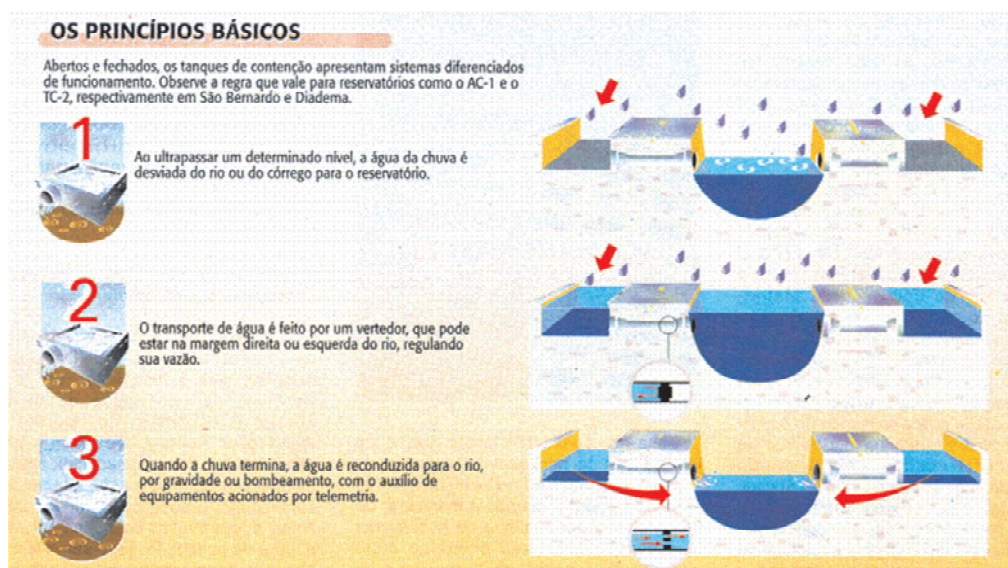


Figura 3.32 Detenção off-line com volume lateral

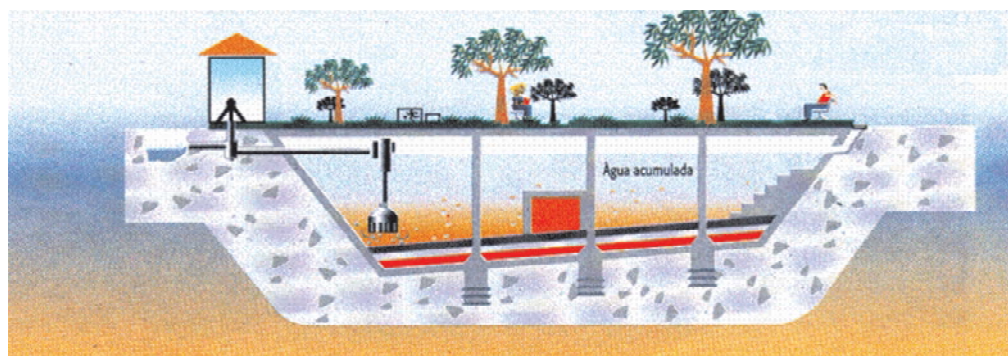


Figura 3.33 Detenção fechada

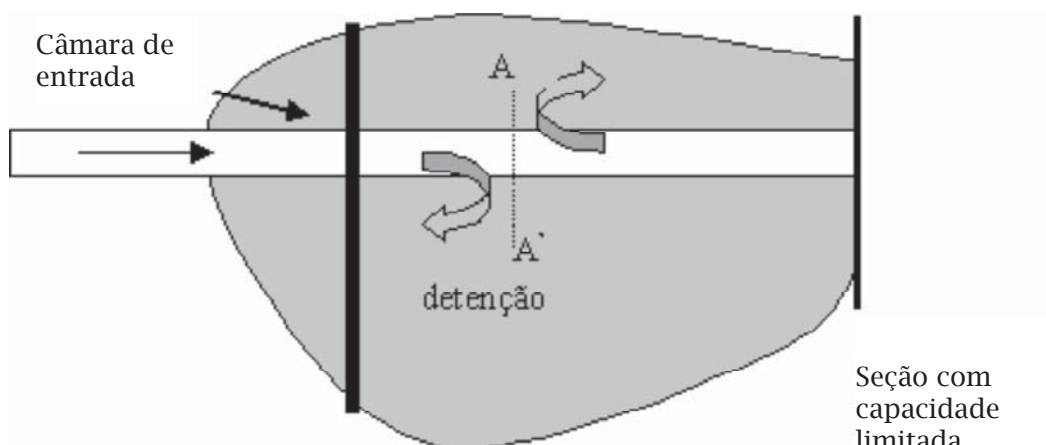


Figura 3.34 Detenção in-line

ASCE (1985) menciona que as instalações de retenção 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 escolhidos quando a topografia não favorece ou a superfície é utilizada para outros usos. No primeiro caso, é usado quando a drenagem está numa cota muito inferior em relação à área disponível para amortecimento. O segundo caso é usado quando o espaço é muito reduzido, sendo necessário manter uma superfície superior integrada à urbanização. Esses reservatórios abertos ou fechados podem ainda ter bombeamento (figura 3.33) ou não. Com bombeamento, o custo de implantação e de operação aumenta. O reservatório com bombeamento é construí-

do quando é necessário um maior volume para uma mesma área disponível, mas a topografia não permite o escoamento por gravidade. A única forma de obter maior volume é aumentar a profundidade do reservatório; parte desse volume fica numa cota inferior à da drenagem do rio, externa à retenção, exigindo o seu bombeamento para esvaziar e manter o volume vazio para a próxima cheia.

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 os parques existentes. Um bom indicador de localização são as áreas naturais, que formam pequenos lagos antes do seu desenvolvimento.

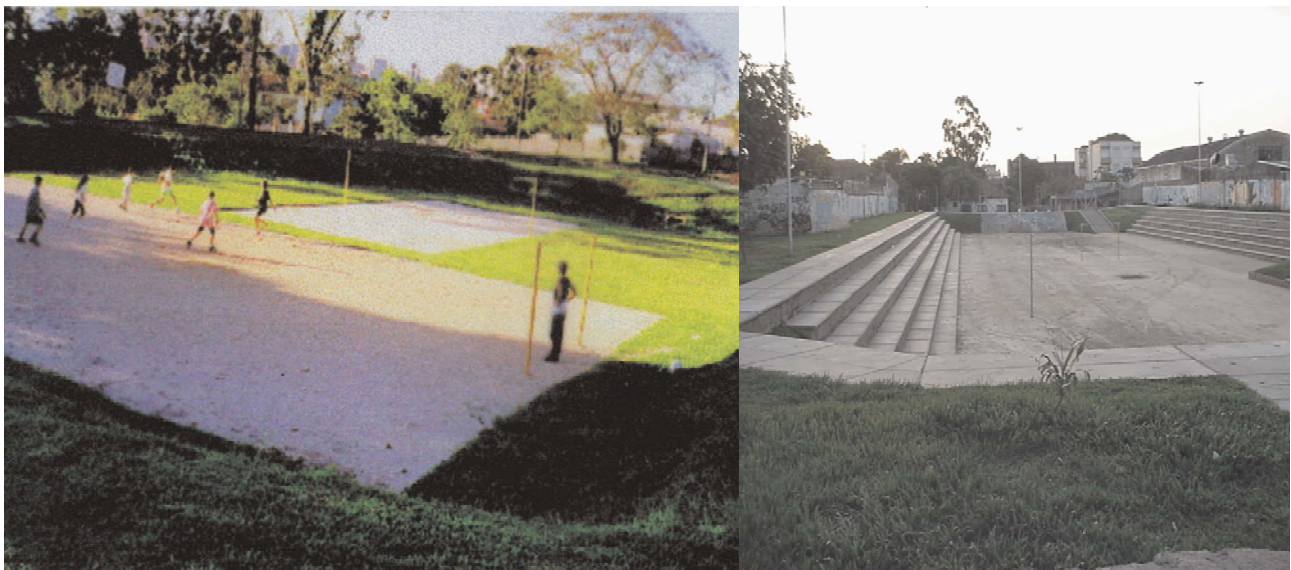


Figura 3.35 Detenções com uso esportivo em Curitiba (esquerda) e Porto Alegre (direita)

Compatibilização com os sistemas de esgotamento sanitário

Existem os seguintes cenários, que combinam o sistema de esgotamento sanitário com o pluvial:

Sistema misto: Neste caso, existe apenas uma rede de coleta que recebe esgoto sanitário e pluvial. Esse 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 (= $Q_p.C$, em que Q_p vazão pluvial e C a sua concentração) ocorra nos primeiros 10 a 20 mm de precipitação efetiva.

Junto à estação de tratamento, é conveniente a existência de um reservatório para regularizar o volume de tratamento, de forma 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 retenção do tipo *off-line* (figura 3.31), pois 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 desse 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 desse 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 desses 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 de retenções *in-line* com controle do resíduo sólido e manejo da carga poluente pluvial.

As vantagens são as seguintes: o manejo adequado das retenções e das retenções urbanas com maior tempo de residência permitem o controle da qualidade da água; e evita-se os problemas citados para o esgoto misto. As desvantagens são as seguintes: maior custo à medida que forem 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 desses problemas ocorre pelas seguintes razões:

- a ligação das residências, dos edifícios e de outros é realizada pelo usuário, e não pela empresa concessionária dos serviços. Isso leva à falta de padrões e a 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 a contaminação do aquífero.

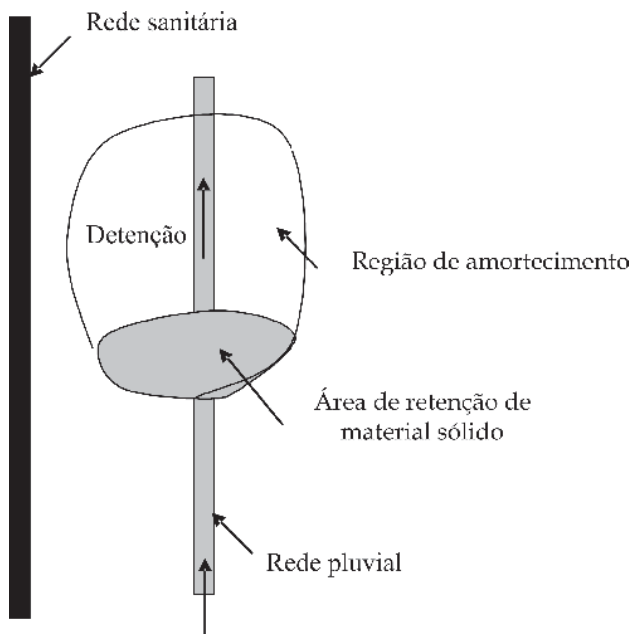


Figura 3.36 Características do sistema separador

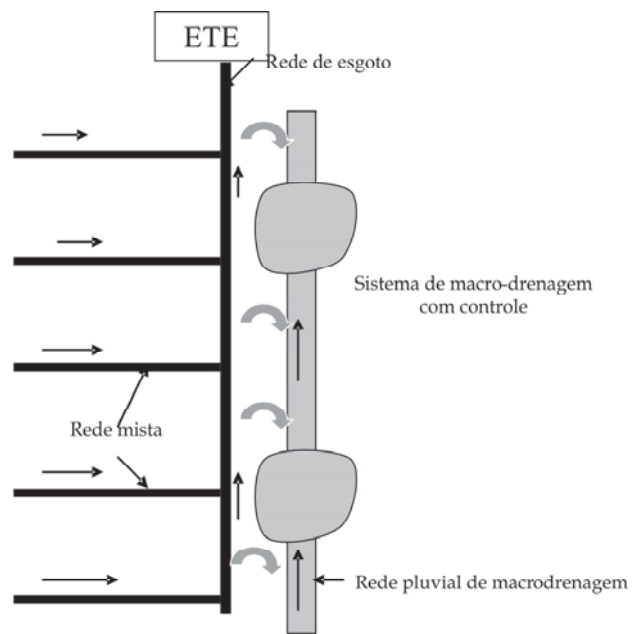


Figura 3.37 Sistema de transição

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 podem ser altos. 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 por meio da rede secundária, cobrindo a cidade com o tempo. À medida que a rede avança, são modificadas as ligações às redes.

cia, o que seria insustentável economicamente. A solução de controle numa bacia urbana conjuga 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, tendendo à 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

Planejamento no controle da macrodrenagem

O controle do impacto do aumento do escoamento decorrente da urbanização, na macrodrenagem, tem sido realizado, na realidade brasileira, por meio 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 ba-

variam entre R\$ 0,5 e 8 milhões/km². 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 a retenção à 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 o uso do espaço. Geralmente, para frequências inferiores a 2 anos de recorrência, o espaço deve ser reservado a uso recreacional, enquanto, para espaços supe-

riores a esse, 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-se também estabelecer a frequência como deve ser utilizado.

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 (por conta de 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.

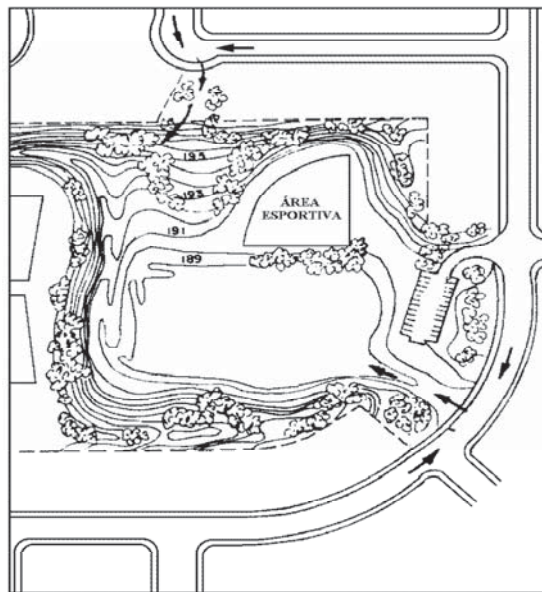
TABELA 3.4 COMPARAÇÃO ENTRE ALTERNATIVAS NUM PARQUE (WISNER E CHEUNG, 1982)

Tipo	Armazenamento de vale	Detenção com água	Detenção seca	Armazenamento em parque
Armazenamento	Contínuo	Contínuo	Frequente	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

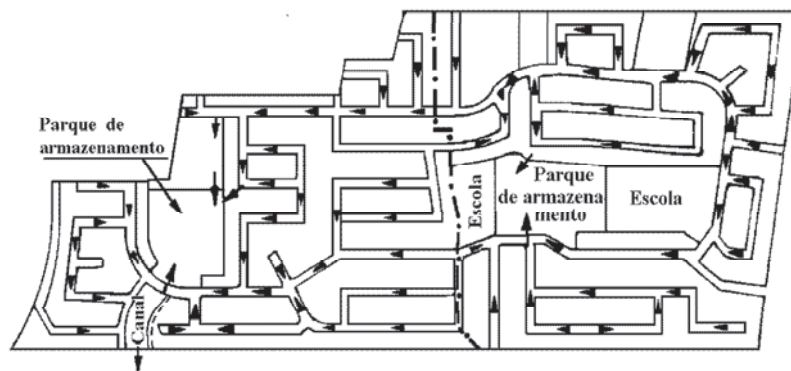
No planejamento da bacia, podem ser adotadas medidas não-estruturais para controlar o aumento da vazão máxima para jusante; no entanto, é possível que a sua eficiência não seja completa pelos seguintes motivos:

- loteamentos já existentes que são densificados;
- ocupação ilegal e loteamentos irregulares que não obedecem à regulação da cidade;
- aprovação indevida de loteamentos.

Para evitar que esses 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 é necessária da ordem de 1% da área da bacia, esse espaço pode ser reservado juntamente com as futuras áreas públicas de parques em locais apropriados quanto à drenagem. Isso permitirá aumentar a capacidade de amortecimento da bacia.



a - parque



b - o parque e a rede de drenagem

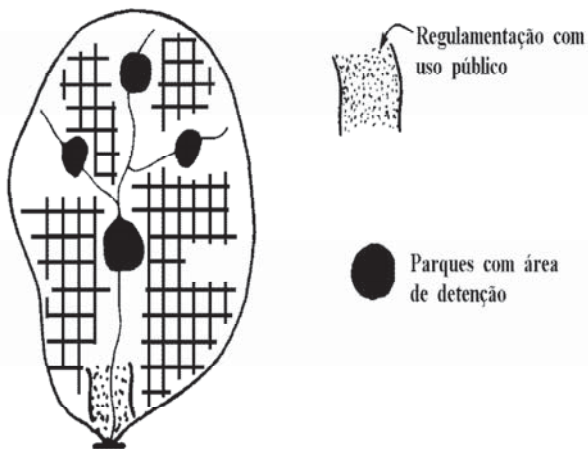


Figura 3.39 Planejamento de controle de bacia no primeiro estágio de urbanização

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 m³ para amortecimento por meio de ação municipal, além de outras medidas de retardo. Essas ações reduziram os prejuízos para enchentes recentes.

Problemas

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

2. Qual a utilização de pavimento permeáveis num projeto de drenagem? Identificar suas vantagens e desvantagens.

3. Qual a diferença entre retenção e retenção no controle das inundações decorrentes do processo de urbanização? Quais os impactos que esses dispositivos promovem com relação às inundações?

4. Quais os tipos de inundações e quais os impactos relacionados?

5. Identificar 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 as desvantagens dos controles na fonte? Quais são mais sustentáveis?

8. Quais as relações que devem existir entre um Plano Diretor Urbano e um Plano de Drenagem, e deste com o do esgotamento sanitário e de resíduo sólido?

9. Muitas cidades utilizam o controle sobre áreas impermeáveis, sem evitar o impacto sobre a drenagem? Qual é o problema e como resolver utilizando medidas não-estruturais?

10. Quais as vantagens e as desvantagens das medidas de controle na micro e macrodrenagem?

11. Descrever as etapas de um Plano Diretor de Drenagem Urbana. Quais as principais medidas não-estruturais?

12. Identificar 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. Identificar 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 as desvantagens dos controles na fonte? Quais são mais sustentáveis?

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 ¼ 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, Mujnicípiuo de Guarulhos.
- HOGLAND, W.; NIEMCZYNOWICZ, J., 1986. The unit Superstructure - A New Construction to prevent groundwater depletion. In: BUDAPEST SYMPOSIUM, 1986. *Conjuntive Water Use: Proceeedings*. 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.^a; 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.
- 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.
- NRDC,2004. Mimicking nature to solve a water-pollution problem. New York. 2004. NATURAL RESOURCES DEFENSE COUNCIL. Disponível em <<http://www.nrdc.org>>. Acesso em 30 jun. 2004.
- 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.; STAHRE, P., 1993. *Stormwater Best Management Practices and Detetion*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey. 450p.
- U. S. Army. Corps of Enginners. 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.
- WEINSTEIN, N. 2003. LID, A new approach to Stormwater Management. In: South Carolina Department of Health and Environmental Control. 2003. Disponível em <www.lowimpactdevelopment.org>. Acesso em 28 jun. 2004.
- WILKEN, P., 1978 *Engenharia de drenagem superficial*. São paulo: CETESB
- WRI, 1992. *World Resources 1992-1993*. New York: Oxford University Press. 385p.

IV GESTÃO INTEGRADA DAS ÁGUAS URBANAS

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

O desenvolvimento urbano nas últimas décadas modificou a maioria dos conceitos utilizados na engenharia para a infra-estrutura de água nas cidades. A visão do desenvolvimento desses tópicos pelo ângulo 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. Nesse 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. Esse conjunto de soluções locais pode ser justificado em 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 desses projetos para a sociedade? Infelizmente, tem sido um estrondoso desastre. Fazendo uma analogia com a medici-

na, seria como se vários especialistas receitassem remédios para diferentes sintomas a uma 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 frequentes e na perda de meio ambiente rico e diversificado em muitas regiões. Com a transformação de um ambiente rural para urbano, o problema agravava-se e quanto mais tempo isso 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 de esgoto em pequenas áreas. O conflito transmite-se para as águas urbanas com a canalização do escoamento pluvial e inundações, sistemas de esgoto inadequados, com baixo nível de tratamento, resultando em risco para o abastecimento de água. Esse conjunto de problemas deve-se principalmente à gestão fracionada dessas 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 isso, devem ser definidas regras de uso e ocupação que preservem condicionantes da natureza e o sistema possa receber o transporte, o abastecimento de água, o esgotamento sanitário, o tratamento, a drenagem urbana e a coleta, o processamento e a reciclagem dos resíduos.

O abastecimento de água deve ser realizado de fontes confiáveis que não são contaminadas a 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 transfe-

rência 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 dessa riqueza, e a disposição do restante deve ser minimizada.

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

IV.1 FASES DA GESTÃO

No final do século 19 e em parte do século 20, a água urbana resumia-se no abastecimento, ou seja, entregar água à população e retirar o esgoto para longe e dispor da natureza sem tratamento. Essa é fase que pode ser chamada “higienista”, por causa da preocupação dos sanitaristas em evitar a proliferação de doenças e reduzir as de veiculação hídrica, afastando as pessoas. Nesse período, a solução sempre foi coletar a água a montante e dispor o esgoto a jusante. As águas pluviais eram planejadas para escoar pelas ruas até os rios. Esse cenário foi aceitável enquanto as cidades tinham população de até 20 mil habitantes e encontravam-se distantes umas das outras, garantindo que o esgoto de uma cidade não contaminasse a outra.

As cidades cresceram, ficaram mais próximas umas das outras, mas a estratégia de desenvolvimento se manteve na fase higienista, gerando o que é chamado do “ciclo de contaminação” (veja capítulo 1, Tucci, 2003), segundo o qual a cidade de montante polui a de jusante e esta, por sua vez, deverá poluir a seguinte. Muitas cidades, por decisão de suas autoridades, consideravam

que o investimento em tratamento de esgoto era muito alto e optaram por investimentos em setores considerados mais importantes, sem entender que estavam deixando de combater o mal na sua origem. Hoje o mal toma 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. Dessa forma, o ambiente urbano tornou-se menos poluído, mas não recuperou sua condição natural. Observou-se que, além do esgoto sanitário, existia a carga do esgoto pluvial e a carência de uma adequada distribuição dos resíduos sólidos, processos totalmente inter-relacionados no cotidiano, pois o resíduo que não é coletado acaba dentro do sistema de drenagem.

Os países desenvolvidos estão atuando para resolver esse tipo de problema, além da carga das áreas rurais denominadas de “poluição ou carga difusa”. Esse impacto necessita de maiores investimentos para seu controle porque é distribuído e difuso na cidade. Verificou-se, então, que não bastava atuar sobre o problema no *end of pipe*, isto é, depois que ocorreu e está nos condutos, mas que era necessário atuar preventivamente na origem do desenvolvimento urbano e na gestão dos efluentes. Da mesma forma como a medicina moderna vem preferindo atuar em ações preventivas em vez das curativas.

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. Esse tipo de desenvolvimento tem recebido a denominação de LID (Low Impact development) nos Estados Unidos (U.S. Department of Housing

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 <u>canalização</u>
1970– 1990	Corretivo	Tratamento de esgoto, <u>amortecimento</u> 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 e da poluição difusa, e o desenvolvimento sustentável do escoamento pluvial por meio da recuperação da <u>infiltração</u>

* Período no qual esse tipo de visão iniciou-se.

and Urban Development, 2003; NAHB Research Center, 2004; U.S. Environmental Protection Agency, 2000) ou Water Sensitive Urban Design (WSUD) na Austrália.

Apesar de representar a forma moderna e ambiental de ocupação nos países desenvolvidos, no Brasil essa visão de ocupação do espaço não é nova, pois Saturnino de Brito, no início do século 20, já havia planejado algumas cidades segundo essa concepção e estava adiante do seu tempo. Infelizmente, nem todas as cidades adotaram essa visão.

Os princípios dos desenvolvimentos sustentáveis nas águas pluviais abrangem várias iniciativas: recuperação ou manutenção das funções naturais do escoamento pluvial como a infiltração, 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, existindo 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 infraestrutura de água em um 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 ao das medidas anteriores. A canalização tende a representar custos de 6 a 10 vezes maiores que o amortecimento do escoamento quanto às 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.

IV.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 por clima, solo, ar, água, biota, entre outros. Para atingir esse objetivo, é necessário compreender primeiro os impactos que produzem cada uma das intervenções e buscar soluções em que tal impacto se restrinja a um universo mínimo local, por meio da formulação 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, aqui só é examinado o ambiente relacionado com as águas pluviais, que tem sido a base da nova concepção de intervenção para a ocupação do espaço.

Nesse cenário, a ocupação tradicional não procura compreender como solo, água e plantas estão integradas à natureza para buscar mitigar 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 a intensidade e a frequência da precipitação, da cobertura e da resistência do solo. Assim, a água que infiltra escoar pelo subsolo e pelo aquífero até chegar aos rios. Com a destruição da drenagem natural, o novo sistema passa a ser formado por ruas, bueiros, condutos e canais que aceleram o escoamento e aumentam 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 seria então a receita para a formulação de um novo sistema? No início, procurou-se recuperar a capacidade de amortecimento por meio de detenções. Ainda assim, o volume superficial e os sólidos foi aumentando por conta das áreas impermeáveis e erosão e aumento da poluição pluvial. Portanto, buscou-se retornar a infiltração por meio de ações locais em residências, edifícios, pelo uso de plano e 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. Na figura 4.1, são caracterizadas as principais relações entre os sistemas de infraestrutura e o ambiente urbano relacionado com a água.

O desenvolvimento urbano representado pela ocupação do uso do solo é, como se sabe, a fonte dos problemas. A seguir, são feitas algumas conjecturas sobre as interações geradas entre os sistemas hídricos nas áreas urbanas em razão de uma gestão deficiente e desintegrada.

Abastecimento urbano: As principais interfaces com os outros sistemas são: (a) os esgotos sanitário e pluvial, que contaminam os mananciais superficiais e subterrâneos; (b) os depósitos de resíduos sólidos, como aterros, que podem contaminar as áreas de mananciais; (c) as inundações, que podem desestruturar 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, apresentando comportamentos diversos nos períodos sem e com chuva, e a gestão deve ser integrada; (b) quando os sistemas são separados, existem interferências de gestão e construtivas, decorrentes da ligação de esgoto sanitário à rede de drenagem, e a de águas pluviais ao sistema de esgoto, produzindo funcionamento ineficiente;

Drenagem urbana, resíduos sólidos e ao esgotamento sanitário: Se o sistema de coleta e limpeza dos resíduos for ineficiente, ocorrerá um grande prejuízo para o sistema de escoamento pluvial, por conta da obstrução dos condutos, dos canais e dos riachos urbano. Quanto à erosão urbana, ela pode modificar o sistema de drenagem e destruir o sistema de esgotamento sanitário.

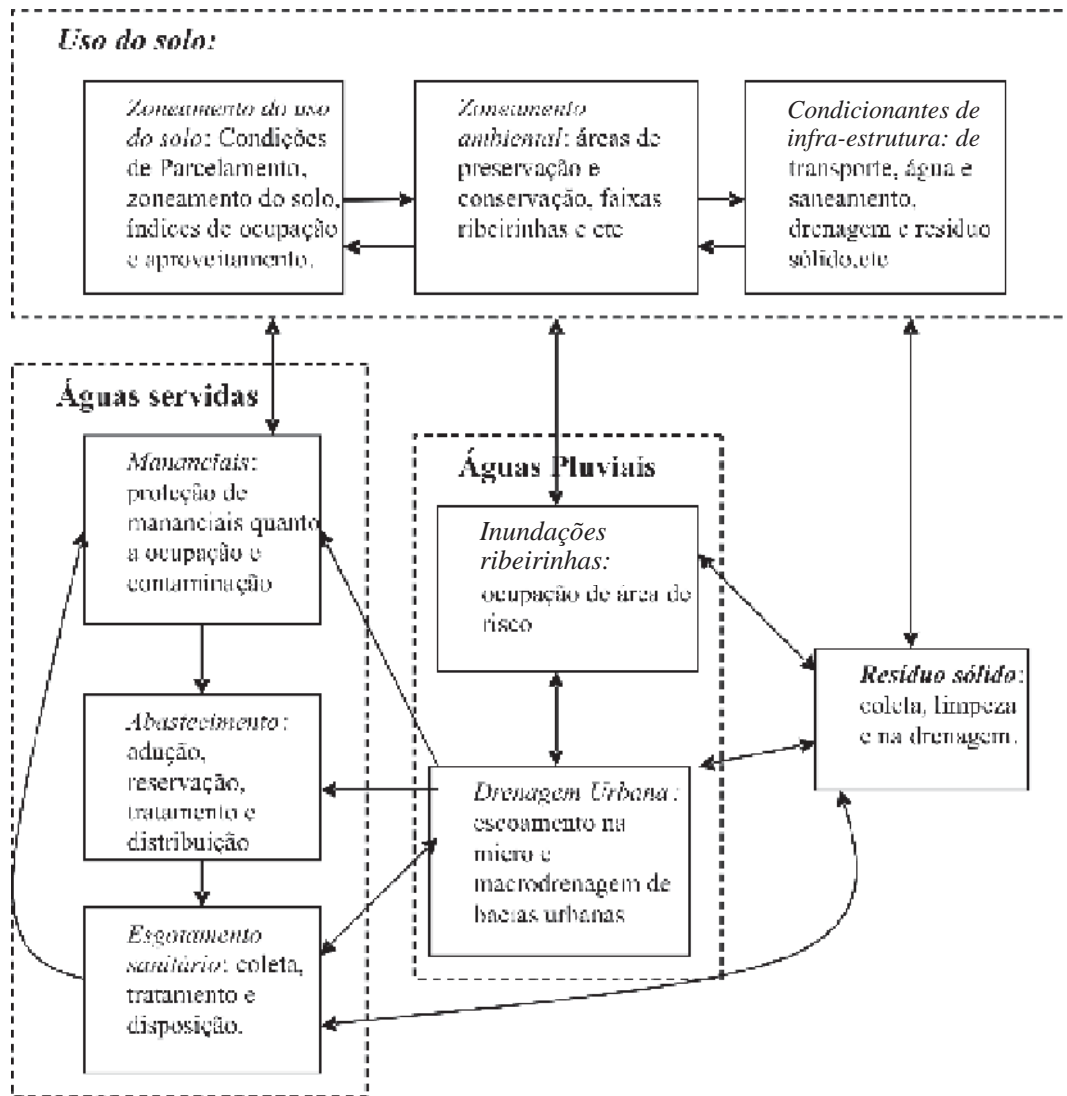


Figura 4.1 Relações entre os sistemas das águas urbanas

A visão integrada inicia no planejamento do desmembramento e da 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, mantém uma maior área verde comum, retira o meio-fio das ruas de menor movimento, integrando o asfalto a gramados ou a outros sis-

temas naturais vegetais, para que toda a água se infiltre. Um projeto dessa natureza retira a divisa das propriedades (como nas propriedades rurais, no projeto de pequenas bacias e na conservação do solo). Dessa forma, é reduzido o escoamento às condições preexistentes para as chuvas frequentes, e a água se infiltra, não transferindo quantidade e qualidade para jusante. Essa é a característica de um projeto residencial, enquanto áreas industriais e comerciais exigem projetos específicos de controle, mas ainda conformes a uma integração conceitual dos projetistas.

No âmbito do esgotamento sanitário, deve-se desenvolver a ligação de redes de esgoto com padrão adequado, tarefa a ser executada por empresa de serviços de água e saneamento. Dessa forma, evitam-se ligações inadequadas, mantém-se o tratamento de esgoto segundo os padrões indicados e procede-se, regularmente, à avaliação desse tratamento e dos sistemas hídricos que recebem efluentes. Quanto aos resíduos sólidos, devem-se buscar aprimorar a coleta domiciliar e a limpeza das ruas, a disposição automática de retenção de lixo e a educação da população com sistemas de reciclagem economicamente eficientes.

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

O leitor pode imaginar que isso é uma utopia se ambientado na nossa realidade. No entanto, o empreendedor é sensível ao custo e a população é sensível e favorável a um ambiente adequado, em busca de uma melhor qualidade de vida. Esses são dois fatores importantes na tomada de decisão. Dificilmente os países em desenvolvimento poderão pular etapas, em virtude do grande passivo existente nas cidades quanto ao escoamento pluvial (sem falar nos demais). Portanto, é necessário desenvolver estratégias em duas plataformas principais:

- controlar os impactos existentes por meio do cenário de ações corretivas estruturais, que tratam da gestão por sub-bacias urbanas;
- fomentar medidas não-estruturais que levem os tomadores de decisão a utilizar um desenvolvimento com menor impacto e sustentável.

Essas duas medidas podem ser implementadas por meio do Plano Diretor de Águas Pluviais (ou, como alguns denominam, o de Drenagem Urbana), ou por um Plano Diretor Urbano, que inclua tais elementos ao esgotamento sanitário, aos resíduos sólidos, ao transporte e ao uso do solo. Na figura 4.2, observa-se como os sistemas de águas urbanas integram-se e buscam identificar os componentes de integração em busca de soluções.



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 durante as crises, com 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. Há uma forte inter-relação entre os aspectos relacionados à água, cumprindo citar:

- 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 de 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, nos sistemas de esgoto, entre outros;

- a limpeza das ruas e a coleta e a disposição de resíduos sólidos interferem na quantidade e na qualidade das águas 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.

IV.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, de sua inter-relação tanto legal como de gestão quanto à água, ao uso do solo e ao meio ambiente. Para estabelecer o mecanismo de gerenciamento desses elementos, é necessário definir os espaços geográficos relacionados com o problema.

IV.3.1 Espaço geográfico de gerenciamento

O impacto dos efluentes de esgotamento sanitário e da drenagem urbana pode ser analisado em 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. Essa contaminação é denominada “poluição pontual e difusa urbana”. Esse tipo de impacto é 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: esses impactos são disseminados dentro da cidade, e atingem a própria população. A gestão desse controle é estabelecida por medidas desenvolvidas pelo município, em legislação municipal e em ações estruturais específicas. Dessa forma, cabe ao município a gestão dentro desse espaço.

IV.3.2 Experiências

A experiência americana no processo tem sido aplicada em um programa nacional desenvolvido pela EPA (Environmental Protection Agency), que obriga 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 da quantidade de água por parte do município, por meio de medidas estruturais e não-estruturais. O município deve demonstrar que está avançando e buscar atingir tais objetivos, por meio de um Plano. Esse 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 consiste no gerenciamento dos impactos e no controle dele, por intermédio de um comitê de bacia, que é o fórum básico para a tomada de decisão. As metas com as quais os municípios e outros atores devem ser comprometidos são decididas pelo comitê.

IV.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, em três âmbitos: federal, estadual e municipal (figura 4.3).

Recursos Hídricos: A Constituição Federal define o domínio dos rios e a legislação de recursos hídricos em âmbito federal e estabelece os princípios básicos da gestão das 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 por meio de classes, mas não define restrições quanto aos efluentes urbanos lançados nos rios. A ação dos órgãos estaduais de controle ambiental é limitada pela falta de capacidade de os municípios investirem nesse controle. Portanto, não existe exigência e não existe pressão para investimentos no setor.

Nesse 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 esses procedimentos ainda não estão sendo cobrados pelos Estados, não existe, no momento, uma pressão direta para a redução dos impactos resultantes da urbanização.

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 à proteção ambiental, ao controle da poluição, à saúde pública e à segurança. Des-

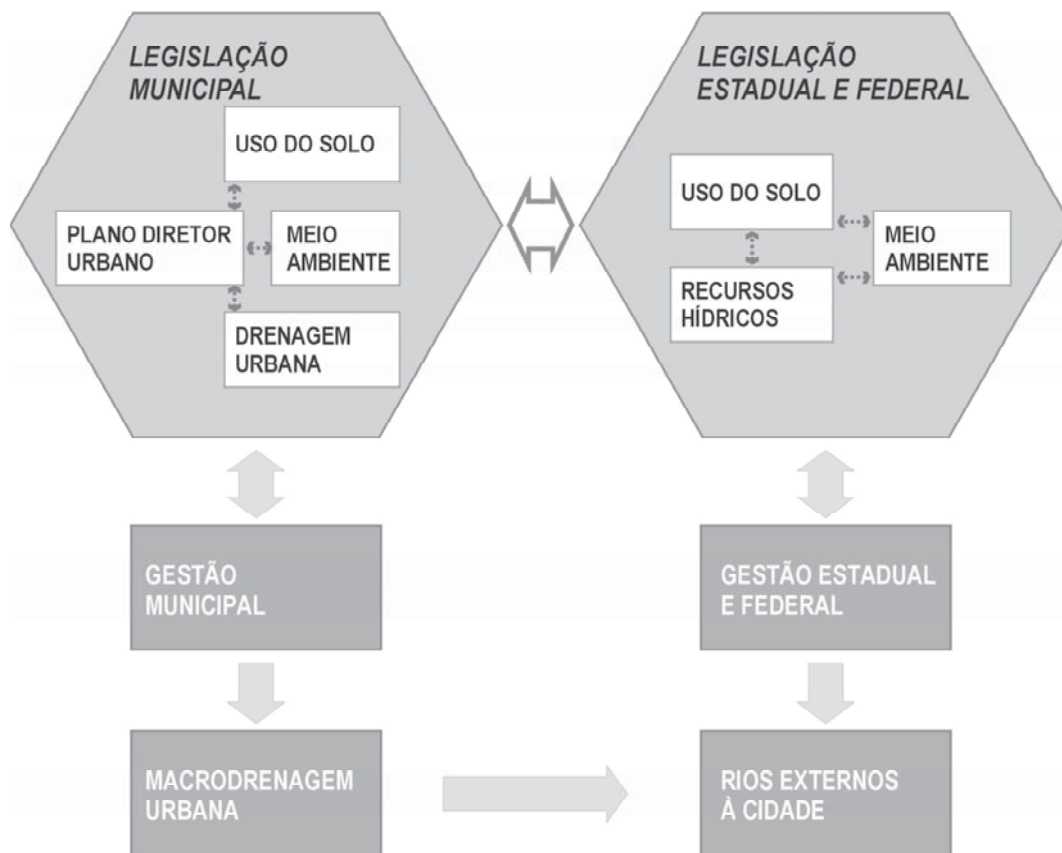


Figura 4.3 Espaços do gerenciamento (Tucci, 2003)

sa forma, observa-se que, no caso da drenagem urbana, que envolve o meio ambiente e o controle da poluição, a matéria é de competência concorrente entre Município, Estado e Federação. A tendência é de os 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 analisados pelos municípios certos aspectos de águas urbanas, como esgotamento sanitário, resíduo sólido, drenagem e inundações. O que tem sido observado são legislações restritivas à proteção de mananciais e à ocupação de áreas ambientais. A legislação muito restritiva, contrariamente à sua intenção, só produz reações negativas e desobe-

diência civil, sob a forma de invasão de 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 (proibidas para uso) por solo criado, ou índice de aproveitamento urbano acima do previsto pelo Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano nas áreas mais valorizadas da cidade.

Ao introduzir restrições ao uso do solo, é necessário que a legislação dê alternativa econômica ao proprietário da terra, ou que o município compre a propriedade. Numa sociedade democrática, o impedimento do uso do espaço privado para o bem público deve ser compensado pelo público beneficiado; caso contrário, configura-se em confisco. Atualmente, as legislações do uso do solo apropriam-se 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.

Licenciamento ambiental: Esse licenciamento estabelece os limites para a construção e a operação de canais de drenagem e regulado pela Lei nº 6.938/81 e pela Resolução Conama nº 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.

IV.3.4 Gestão urbana e da bacia hidrográfica

A gestão das ações no ambiente urbano pode ser definida de acordo com a relação de dependência da água, por meio da bacia hidrográfica ou da jurisdição administrativa do município, do estado ou da nação. A tendência da gestão dos recursos hídricos tem sido realizada pela bacia hidrográfica; no entanto, a gestão do uso do solo é realizada pelo município ou por

grupo de municípios numa região metropolitana. A gestão pode ser realizada de acordo com a definição dos espaços geográficos externo e interno da cidade.

Os Planos das Bacias Hidrográfica têm sido desenvolvidos para bacias grandes (>3.000 km²). Nesse 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 deve estabelecer os condicionantes externos às cidades, como a qualidade de seus efluentes, as alterações de sua quantidade, que visem a transferência de impactos.

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

Esses dois espaços principais definem os gestores, os instrumentos e as metas de gestão desses instrumentos como descrito na tabela 4.2. A construção global dessa estrutura de gestão esbarra em algumas dificuldades:

TABELA 4.2 ESPAÇO DE GESTÃO DAS ÁGUAS URBANAS

Espaço	Domínio	Gestores	Instrumento	Característica
Bacia Hidrográfica ¹	Estado ou Governo Federal	Comitês e Agências	Plano de Bacia	Gestão da quantidade e da qualidade da água no sistema de rios que formam a bacia hidrográfica, evitando a transferência de impactos
Município ²	Município ou Região Metropolitana	Município	Plano Diretor Urbano e Plano Integrado de Esgotamento, Drenagem Urbana e Resíduo Sólido	Minimização dos impactos de quantidade e qualidade dentro da cidade, nas pequenas bacias urbanas, sem transferir impactos para o sistema de rios

¹ Bacias de grande porte (> 1000 km²); ² área de abrangência do município e suas pequenas sub-bacias de macrodrenagem (< 50 km²)

Os valores de áreas são indicativos e podem ser alterados para cidades de grande porte

- a limitada capacidade dos municípios para desenvolverem a gestão, considerando a maioria destes;
- o sistema de gestão das bacias ainda não é uma realidade consolidada na maioria dos países da América do Sul;
- a 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, por intermédio de escritórios técnicos que apoiem as cidades de menor porte no desenvolvimento de suas ações de planejamento e implementação. O segundo dependerá da transição e da evolução do desenvolvimento da gestão no País. O terceiro dependerá fundamentalmente do desenvolvimento de um programa 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 assim realizado:

- por meio de legislação municipal adequada a cada município;
- por legislação estadual que estabeleça os padrões a serem mantidos nos municípios, de tal forma a não serem transferidos os impactos;
- pelo estabelecimento de distritos de drenagem, onde cada distrito englobe um ou mais municípios e, no seu âmbito de

ação, estabelecem-se normas de comuns quanto à gestão territorial relacionada com os elementos das águas urbanas.

Esses entendimentos podem ser realizados dentro do comitê da bacia, enquanto 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 esses municípios para se obter o planejamento de toda a bacia.

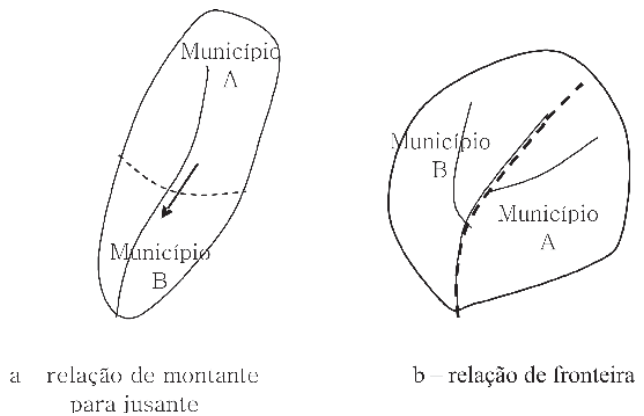


Figura 4.4 Relações básicas entre municípios

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 vai aumentar as inundações na cidade de jusante, da mesma forma que a poluição ou o esgoto não-tratado. Para isso, não existem mecanismos legais impeditivos, embora qualquer projeto deva ser aprovado ambientalmente, e esses são impactos que deveriam fazer parte do licenciamento

ambiental. Isso, porém, geralmente não ocorre, e as cidades ficam 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 a gestão de sua parte da bacia, a outra margem continuará impactando a jusante, o que inviabiliza uma solução sustentável. Nesse caso, também somente é possível o desenvolvimento de medidas sustentáveis de longo prazo por meio de estabelecimentos de mecanismos legais a serem exigidos dos projetos quando da sua aprovação em ambas as cidades.

Potenciais medidas de controle externo às áreas urbanas

O mecanismo previsto nas legislações de recursos hídricos – ou gerenciamento externo das cidades – é o Plano de Recursos Hídricos da Bacia. No entanto, no referido Plano dificilmente será possível elaborar 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

Em cidades onde existam jurisdições distintas, pode ser implementado um programa, que considere os seguintes aspectos: (a) institucional; (b) econômico-financeiro; (c) tecnológico;

(d) de participação pública; (e) em ciência e tecnologia; (f) de capacitação; e (g) um plano de ação. O institucional trata da legislação e da gestão. Define os elementos legais de responsabilidades entre os agentes públicos, provada a 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 aos problemas e às necessidades do programa. A capacitação trata da formação de pessoal em todos os níveis, visando ao sucesso do programa. O plano de ação estabelece o escalonamento no tempo das atividades do programa. Esse tipo de programa pode ser implementado em âmbito 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, conforme suas características.

Objetivo: Reduzir a vulnerabilidade da população às inundações ribeirinhas e as que ocorrem na drenagem urbana e a minimização dos impactos ambientais, por meio 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 bacias e a drenagem urbana que tem um contexto delimitado pelo município.

Princípios:

- os novos empreendimentos que alterem o uso do solo urbano não podem alterar a vazão natural preexistente definida pelo poder público;
- as medidas de gestão e controle das inundações urbanas devem considerar a bacia em geral, e não em trechos isolados. Esse controle deve evitar aumentar a vazão para jusante.
- os mecanismos naturais de escoamento na bacia hidrográfica devem ser valorizados, preservando, quando possível, as áreas impermeáveis e os canais naturais.
- o impacto da qualidade da água e dos resíduos sólidos no escoamento pluvial resultante da urbanização devem ser minimizados;
- o custo da implantação das medidas estruturais e da operação e da 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 devem fazer parte integrada do Plano Diretor Urbano;
- a gestão do espaço de risco, a impermeabilização e a drenagem urbana devem ser realizadas em âmbito municipal;

- a participação pública deve ser uma parte essencial do Programa de Águas Pluviais.

Componentes do Programa de Águas Pluviais (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 da 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 induzir uma maior participação pública no desenvolvimento do Programa;
- **Plano de ações:** utilizando a base proposta pelos 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.

Para as bacias hidrográficas federais, são estabelecidos os controles externos para a cidade, por meio de legislação, que incentivará as entidades estaduais a regulamentar, da mesma

forma, as bacias estaduais. A gestão abranger os seguintes itens: (a) fiscalização da outorga; (b) desenvolvimento de programa de apoio para áreas ribeirinhas por meio de prevenção e alerta; (c) financiamento; (d) apoio técnico; (e) capacitação; e (e) ciência e tecnologia.

A legislação levará induzirá os municípios a desenvolver um Plano de Saneamento Ambiental, que incluirá as Águas Pluviais, associado aos Planos Diretores das cidades, e sua implementação ao longo do tempo. Para o município, o Plano deverá incorporar os ele-

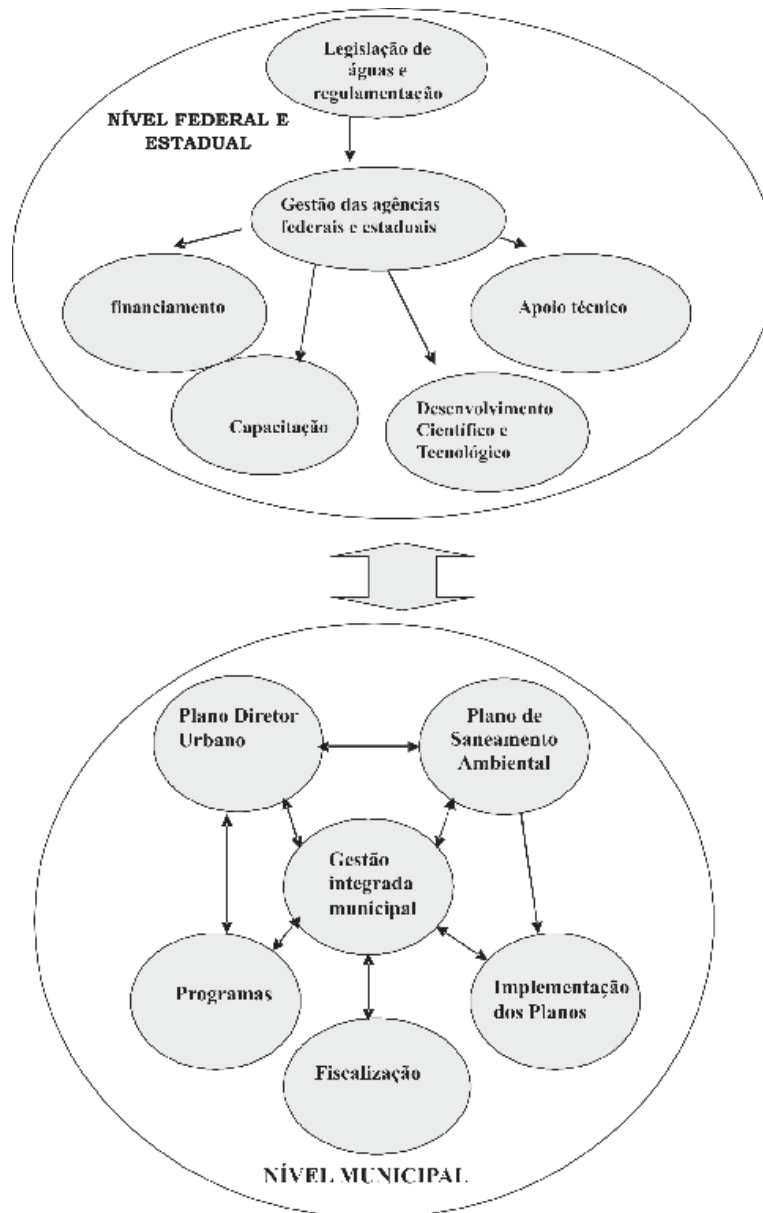


Figura 4.5 Elementos do programa de águas pluviais

mentos de uso do solo e drenagem urbana na legislação, a preparação dos Planos de Ação por bacia urbana para a solução dos problemas atuais e os programas de curto, médio e longo prazos. A gestão importará na fiscalização e na implementação do plano, financiado pelo Programa Nacional.

Institucional. Os elementos institucionais – legislação e gestão – são a base para o desenvolvimento da estrutura do programa.

Aspectos legais

Os elementos legais consistem numa proposta de encaminhamento de uma legislação que oriente o programa, a gestão e a atuação das entidades envolvidas na implementação do programa, por meio da capacitação dos recursos humanos, com suporte na ciência e na tecnologia.

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

Existe uma grande inter-relação entre os elementos de uso do solo, o controle ambiental e os recursos hídricos, tanto no campo urbano 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 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 de seu desenvolvimento.

Externos à cidade

A Lei de Recursos Hídricos n. 9.433, 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 a qualidade da água em corpos de água.”

A regulamentação da lei de outorga compete ao Conselho Nacional de Recursos Hídricos, conferida pelo artigo 13º, Lei n° 9.433, de 8 de janeiro de 1997, e pelo artigo 1º, do Decreto n° 2.612, 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 12, estabelece que a outorga deve observar os Planos de Recursos Hídricos. No artigo 15, 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 12, V, da Lei n° 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.”

Dessa forma, observa-se que a legislação de recursos hídricos permite a introdução da regulação do controle dos efluentes de áreas urbana por meio da outorga, considerando que o escoamento dessas áreas comprovadamente altera a quantidade e a qualidade (ver capítulos

anteriores). Essa regulação pode, assim, ser realizada por resolução do Conselho Nacional de Recursos Hídricos.

O objetivo do controle externo à cidade consiste em:

- manter a qualidade da água dos rios a jusante dentro da classe do rio;
- evitar impactos decorrentes da 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. O mecanismo de outorga também seria justificado, 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° 9.984, 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 ser devidas a alterações no leito maior, em virtude de construções ao longo da cidade.

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

Alguns dos elementos fundamentais para a definição dessa regulamentação são:

- A proposta de “resolução” deve conter os parâmetros básicos necessários à outorga dos efluentes urbanos, em geral, e não somente da drenagem urbana, já que os impactos devidos ao esgotamento sanitário, à drenagem urbana e a resíduos sólidos não são separáveis;
- Não é possível exigir a outorga de todas as cidades do País a curto prazo, pois inviabilizaria todas as ações efetivas e não existiriam recursos para financiar o desenvolvimento do planejamento e o controle simultaneamente;
- 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, a resolução deve solicitar um Plano de Saneamento Ambiental Municipal (abrangendo abastecimento de água, esgotamento sanitário, drenagem urbana e resíduos sólidos, de acordo com o projeto de lei em elaboração) e definir as normas que os municípios devem cumprir para a obtenção de outorga. Essas normas devem ser implementadas como base para o desenvolvimento dos Planos de Saneamento Ambiental. Para resolver o segundo item, é proposto a determinação de prazos de acordo com o porte das cidades. São dadas outorgas provisórias e renováveis de acordo conforme os prazos estipulados. O terceiro item é resolvido estabelecendo-se metas associadas à outorga dos efluentes, de acordo com as metas do Programa.

A proposta foi preparada considerando a distribuição de cidades no país e a carga associada à população. Não foi avaliada a capacidade de o governo financiar o programa, que é uma decisão particularmente política. Portanto, essa proposta deve ser utilizada para discussão. O importante de um programa dessa natureza é desenvolver metas que permitam visualizar soluções para a contaminação das cidades.

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

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

regulamentos de controle dos impactos dos novos desenvolvimentos quanto aos diferentes elementos relacionados com o Saneamento Ambiental. A fase de conclusão do Plano abrange a finalização e a 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 de tratamento e controle dos impactos. Essa fase posterior corresponde à fiscalização do cumprimento da operação e da manutenção dos sistemas ao longo do tempo.

Para desenvolvimento do Programa, as outorgas seriam dadas de acordo com as metas acima e a sua renovação ficaria condicionada ao atendimento dessas metas. O Programa deveria introduzir bônus fiscal para os municípios que atenderem às metas antes do prazo e punição, quanto ao repasse de recursos federais, para os municípios que não conseguissem as outorgas.

A normatização abrange 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 à resolução. Deverá ser desenvolvido um manual a ser obedecido na elaboração

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)	Percentual 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	1.224	22,23	48,155	28,99
D	P < 20 mil	3.061	73,74	33,363	20,08
Total		5.507	100	166,112	100

TABELA 4.4 FASES E CRITÉRIOS PARA A OUTORGA DOS EFLUENTES

Fase	Categoria de município	Período da outorga(*) (anos)	Período acumulado a 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 à capacidade de financiamento do governo federal

dos Planos, resultado da implementação da obras e dos 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 por intermédio de lei ou decreto específico ou a aprovação do Plano de Saneamento Ambiental Municipal, por legislação e pelo 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 im-

pactos externos e internos à cidade, no qual o município deve estabelecer suas diretrizes e seu desenvolvimento.

Os condicionantes mínimos relacionados com o escoamento pluvial 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;
- plano de controle dos impactos exis-

tentes 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 à saída para a verificação das ações na cidade.

Gestão

A gestão envolve o seguinte: (a) gestão do programa; (b) gestão das entidades outorgantes; e (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, em âmbito estadual e federal, quanto à outorga e ao 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 estaduais e federal; (b) bancos de fomentos; e (c) empresas que atuarão no setor privado para prestação dos serviços;
- desenvolvimento de propostas de revisão do programa, como atualização da resolução em face dos recursos e conhecimento dos problemas nacionais e regionais.

Essa 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 tenha estrutura própria. Estima-se que a equipe

necessária para gerenciar o programa seja composta no mínimo por um gerente e quatro técnicos. Essa equipe não desenvolverá as atividades técnicas para gerenciar todos os procedimentos, tercerizando, quando necessário, as atividades.

A gestão externa à cidade se dará por intermédio de entidade federal ou estadual, com atribuições para outorga dos recursos hídricos, em conjunto com o Ministério das Cidades, que fornecerá as normas para a avaliação do atendimento das condições de outorga. Para isso, 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 segundo a elaboração do Plano, sua aprovação pela 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 Departamento Municipal de Águas e Esgotos (DMAE) para abastecimento de água e saneamento, o Departamento de Esgotos Pluviais para águas pluviais (DEP) e Departamento Municipal de Limpeza Urbana (DMLU) para resíduo sólido. Esse 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 a fiscalização da regulamentação interna à cidade, a operação e a manutenção dos sistemas que compõem a estrutura do saneamento ambiental da cidade. O dimensionamento da equipe federal deve se

basear na quantidade de cidades de atribuição de outorga federal e estadual. Nessa fase de preparação do programa, não será dimensionado o número de pessoas necessárias.

Capacitação: O programa de capacitação tem diversos objetivos. Podemos listar os seguintes:

- formar profissionais para a fiscalização dos Planos e a sua execução;
- capacitar profissionais para atuar 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 federais, estaduais e municipais.

Na tabela 4.6 abaixo, são apresentados, de forma resumida, os diferentes níveis de treinamento a ser planejado dentro do programa. Para esse processo, o Ministério, por intermédio do seu núcleo técnico identificado no item anterior, deverá planejar e desenvolver o programa de capacitação em associação com profissionais ou por meio 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 essa tarefa ao longo do tempo, pois necessitam estar próximos dos interessados nos municípios, e os cursos adaptados à realidade de cada região do País. Numa fase inicial, o Programa deverá promover cursos e material de treinamento.

Ciência e Tecnologia: O desenvolvimento de conhecimento em C & T para o programa

deverá ser feito em conjunto com as entidades de fomento. Poderá compreender:

- **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, da qualidade da água e dos resíduos sólidos das bacias brasileiras sujeitos a diferentes realidades de ocupação do espaço. Esse tipo de monitoramento fornecerá dados para os projetos de controle dos impactos;
- **Desenvolvimento de métodos de projetos:** desenvolvimento de sistemas de controle do escoamento urbano, que considere os condicionamentos de ampliação da vazão, da qualidade da água, de resíduos sólidos e de 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.

Tecnologia: 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 a elaboração dos Planos de Saneamento Ambiental municipal, que orientem as cidades para a contração, a especificação dos termos de referências e os condicionantes mínimos para outorga;

2. Medidas não-estruturais: Os planos geralmente são desenvolvidos com base em me-

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 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, impactos ambientais sobre rios e aquíferos, legislação e administração	Gestores de água em âmbito federal, estadual e municipal, que têm as funções de fiscalização, avaliação e solicitação da outorga em âmbito 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. Esse tipo de curso visa ao 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

didadas não-estruturais e medidas estruturais. As primeiras são de âmbito legal, de gestão e capacitação entre outras. Essas medidas geralmente não envolvem um custo maior e podem ser implementadas no Legislativo e no Executivo municipal. O programa deve desenvolver um manual de apoio às cidades para a implementação das medidas não-estruturais;

3. Medidas estruturais: essas 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 a elaboração do Plano de Controle de uma bacia urbana. O programa deve desenvolver um manual de apoio à

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 em âmbito nacional, pode ser adaptado a 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 à gestão das inundações ribeirinhas, o programa nacional deve planejar medidas não-estruturais de caráter nacional, que apoiem os municípios na redução dos prejuízos. Nesse 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 à realidade brasileira. Esse 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 à Secretaria da Defesa Civil para alerta e redução dos impactos resultantes de inundações.

Um programa dessa natureza deverá envolver mais de uma entidade federal em conjunto com outras estaduais. 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 Agência Nacional de Água (ANA), 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. Esse 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 é a seguintes: (a) operacionais em âmbito federal do próprio programa; (b) procedimentos de outorga; (c) relacionados com os Planos de Recursos Hídricos; (d) implementação das obras e medidas; (e) operação e manutenção dos sistemas de drenagem.

O custo anual da gestão do programa, considerando o pessoal necessário, o 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 milhão por ano. Estimando o custo dos manuais que devem ser desenvolvidos nos dois primeiros anos em R\$ 1,5 milhão 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, estimou-se um total de 1,75 milhão

por ano (500 mil para capacitação e 1,25 milhão para funcionamento do escritório do programa) ou 8,75 milhões.

O custo para os procedimentos de outorga não foi possível estimar nessa fase da preparação do programa em face da necessidade de estabelecimento da administração desse processo nos órgãos de governo, que receberão 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 de acordo com a 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, eles serão agregados em fase posterior, de acordo com a tomada de decisão do Ministério das Cidades com relação a tal programa.

As estimativas de custo baseiam-se na população e na área das bacias urbanas. Nessa etapa, não dispomos das áreas das bacias urbanas de todas as cidades para tal análise e a estimativa foi realizada com base num valor unitário baseado na população. Esse 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/hab., enquanto, em bacias com densidade média e com mais espaço, os custos são da ordem de R\$ 125/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%, res-

pectivamente. 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 em 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 das medidas não-estruturais. O custo total do Plano foi estimado em 5% das obras. Dessa 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 representam grande parte dos impactos atuais na realidade brasileira, o custo total é de cerca de 13,5 bilhões.

Necessidade de financiamento

Considerando os investimentos necessários para o desenvolvimento e a 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 referem-se 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 bilhão por ano. Os maiores investimentos concentram-se num período de 10 anos.

Esses investimentos somente podem ser realizados com instituição de mecanismo federal de financiamento em face das condições econômicas dos estados e dos 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 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 em âmbito municipal são de dois tipos: (a) investimentos em obras de controle; (b) operação e manutenção dos serviços de drenagem.

Os primeiros referem-se aos investimentos das obras de controle e ao Plano de Águas Pluviais. Dificilmente esses 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. Portan-

to, 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 re-

ais anuais. Enquanto os custos das obras serão cobrados por 10 anos, os valores de operação e manutenção representam serviços permanentes. Esses 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 favoreça 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 da manutenção dos serviços. Dificilmente um programa dessa natureza evoluirá entre mandatos políticos se não houver um processo de participação pública.

São propostas as seguintes formas de participação pública: (a) por meio de pesquisas de opinião; (b) pelo acompanhamento do processo por comitê representativo; (c) por audiências ou eventos públicos. O primeiro envolve: (a) a identificação das necessidades; (b) a importância dos investimentos e dos Planos para a população; (c) a pesquisa de opinião sobre os condicionantes principais propostos pelo Plano; (d) resultados obtidos com os investimentos e seu impacto sobre o cidadão. No Planejamento, essas 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. Cumpre lembrar que somente a discussão poderá ser insuficiente, pois a estrutura da maioria dos aspectos do Plano já terá sido decidida e a inserção da comunidade se dará mais pela escolha e menos pela definição de linhas de ação.

Portanto, a orientação dos Planos deve incorporar um comitê de acompanhamento, composto de representantes da sociedade. Esse 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 a apresentação e a discussão de propostas e metas de resultados, tendo como condicionante um mecanismo de aprovação intermediário dos resultados durante o plano e as obras, inclusive com fiscalização econômico-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 por meio da participação pública é uma tendência importante e necessária para que a população compreenda os impactos e as soluções aos quais está sujeita.

Esses aspectos devem fazer parte da orientação dos Planos a serem elaborados e dos condicionantes mínimos que farão parte da outorga dos municípios.

Plano de ações: O plano de ação foi proposto seguindo uma visão de longo e curto prazos.

Plano de longo prazo

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

Fase I – medidas não-estruturais em âmbito 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 à equipe de análise e concessão; 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 iniciarem o Plano. Tal fase envolverá um grande processo de esclarecimento à população e aos decisores municipais, ocasião em que a ação do Ministério das Cidades e das entidades outorgantes envolverá eventos regionais por todo o País, esclarecendo as bases do programa e suas regras (período em função dos prazos das cidades. No total terá 6 anos).

Fase III – Desenvolvimento dos planos: Acompanhamento e orientação dos PSAM pelas cidades e sua avaliação para a renovação da outorga pós-plano. Essa fase deverá ter um efeito de demonstração fundamental no propósito de criar um movimento proativo dos municípios (período de 8 anos).

Fase IV – Desenvolvimento das obras: Após os planos, terá lugar o desenvolvimento das obras e a implementação e a fiscalização das medidas não-estruturais. Deverá ser desenvolvida uma metodologia de acompanhamento e orientação aos municípios para esse processo (duração de 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 às cidades e o cumprimento das medidas estruturais internas, como condicionantes à renovação das outorgas.

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

Plano de curto prazo:

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

Foram previstas as seguintes atividades principais:

Desenvolvimento institucional: As atividades dentro deste componente são as que se seguem: (a) regulamentação da legislação de água; (b) mecanismos de indução nos financiamentos interinstitucionais;

Capacitação: As atividades de capacitação devem envolver vários atores: (a) técnicos que atuam ou venham a atuar no setor nos ministérios e das agências; (b) gestão de águas pluviais por 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 consiste nas atividades que devem orientar os mecanismos que levam à implementação das medidas sustentáveis. Essas 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 interministerial das entidades: Ministério das Cidades, Secretaria de Recursos Hídricos, Agência Nacional das Águas, Ministério das Saúde (Funasa) e Ministério da Integração.

O grupo deve discutir e preparar uma minuta de regulamentação da Lei das Águas

de acordo com o proposto por este Programa. Essa proposta deve estar em consonância com o Plano Nacional de Recursos Hídricos em elaboração pelo governo, por sua Secretaria de Recursos Hídricos.

Recomendam-se as seguintes atividades: (1) Com base nos elementos do programa, preparação de uma primeira minuta para discussão por parte do grupo interministerial; (2) Discussão pelo grupo interministerial até chegar a formulação de uma proposta acordada entre as entidades; (3) Apresentação da proposta à câmara técnica do CNRH para discussão, avaliação, alterações e aprovação; (4) Encaminhamento da proposta ao CNRH para avaliação, mudanças e aprovação.

Mecanismo de indução nos ministérios:

Atualmente, existem várioprogramas e projetos dentro dos Ministérios de Meio Ambiente, Cidades, Saúde, entre outros relacionados com a sustentabilidade das cidades. Para que os financiamentos tenham real efetividade coerentes com os princípios do desenvolvimento sustentável das águas pluviais, como expresso no programa, é necessário que esses conceitos sejam internalizados na indução de seleção e análise dos projetos, por meio de financiamento.

Nesse 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 essa indução; (2) Preparação, para cada um desses projetos, de uma orientação, com o apoio e a discussão com os gerentes desses projetos).

O programa de capacitação é essencial para o desenvolvimento do programa. Existem dois programas de capacitação, a saber:

- treinamento de técnicos do governo federal e estadual para avaliação e tomada de decisão em programas de governo sobre águas pluviais.

- treinamento sobre gestão de águas pluviais para decisores e profissionais que planejam e constroem cidades.

Treinamento no governo - Existem três módulos de treinamento para a 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. Esse curso tem como meta mudar a forma como as águas pluviais impactam as cidades em decorrência da ocupação inadequada do solo urbano, recorrendo a 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 técnicas e modelos utilizados nos projetos de obras de drenagem de águas pluviais e como algumas medidas alternativas podem ser projetadas para atender à 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 quantitativos e qualitativos 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, enquanto os dois primeiros devem ser repetidos para as outras entidades de governo, ampliando a participação dos Estados.

Nesse sentido, é proposto: (1) Estabelecer um calendário de cursos a serem ministrados ao longo de 2005 e 2006. Para tal, é necessário mobilizar os setores de governo para sua partici-

pação; (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 da sociedade sobre o assunto tem dois componentes principais:

1. Curso de acordo com o módulo 1 do item anterior. Este curso deveria ser realizado com a seguinte estratégia: (a) depois de preparado e consolidado o material do módulo 1, ele seria ministrado regionalmente (regiões do país), preparando futuros professores ou multiplicadores em cada Estado, com o compromisso de disseminar o conhecimento. Os cursos no futuro deveriam ser ministrados dentro do raio de ação de um grupo de municípios, sob a orientação de universidades regionais ou instituições de treinamento.

2. Palestras. Um grupo de decisores poderia atuar desses cursos, na forma de palestrantes.. Portanto, junto com os três primeiros módulos, sugerimos a consolidação do conteúdo de palestra a ser apresentada em diferentes eventos pelo Ministério das Cidades, acompanhando-se de uma publicação resumida sobre o assunto.

O apoio técnico configura a preparação de documentos de suporte à 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 das retenções construídas no Brasil;
4. Orientação para a implementação de medidas não-estruturais nas cidades.

Manual para preparação de plano diretor de águas pluviais – Uma das importantes metas do Programa é a de induzir as cidades a preparar um Plano Diretor de Águas Pluviais associado ao Plano Diretor Urbano e o de Saneamento Ambiental.

Para que esses planos possam ser induzidos e desenvolvidos em bases sustentáveis, é necessário o desenvolvimento de manuais que orientam os Estados e os municípios para a sua preparação. Com esse propósito, sugerimos as seguintes etapas: (1) preparar um termo de referência dos principais itens a serem definidos no Manual; (2) Desenvolvimento do Manual; (3) Discussão pelas 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 nesses manuais. Portanto, por questão de economia de escala, é razoável desenvolver um documento nacional, que sirva de apoio à produção de 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, principalmente em São Paulo, foram construídas várias detenções que estão em funcionamento. Como a tendência dos Planos será a de aumentar o número de detenções e de retenções, é necessário conhecer quais os principais problemas e vantagens desses dispositivos, seus custos de instalação e sua operação.

Recomenda-se, para tal, o seguinte: (1) Elaboração de um termo de referência; (2) Levantamento das detenções existentes nas principais cidades brasileiras, a saber: São Paulo, Rio de Janeiro, Belo Horizonte, Porto Alegre, e algumas cidades do Nordeste: Maceió, Tere-

sina, Natal. Esse levantamento deve ser precedido por um questionário a ser preparado das informações desejadas; (3) Avaliar o funcionamento dos reservatórios ao longo do tempo e os 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, necessitam uma maior discussão pela comunidade. Nesse 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 às entidades de governo na indução; (c) Educar a população sobre a necessidade de consciência do controle público das ações.

Sugerimos, para tal, as seguintes atividades: a) Preparação de um termo de referência; b) Desenvolvimento do texto; c) Avaliação pelas entidades de governo e pelos técnicos.

A principal medida não-estrutural é o seguro de inundações, que é um dos principais elementos potenciais para a medida não-estrutural. Neste sentido, é necessário avaliar a viabilidade de implementação do seguro conforme a realidade brasileira. Para isso, sugerimos as seguintes atividades: (1) Elaboração de um termo de referência para o estudo de viabilidade; (2) Discussão do termo de referência por parte 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 princípio, várias entidades, como o Ministério de Infra-estrutura e o Sistema de Defesa Civil e a ANA, que têm atribuições para atuar na minimização das inundações. Propomos as seguintes atividades: (1) Criar um grupo interministerial, composto por ANA e Ministério de Integração; (2) Preparar um termo de referência para o programa; (3) Discutir e aprovar em grupo; (4) Desenvolver suas etapas.

Considerando o grupo interministerial, sugerimos que a ANA assuma o papel de desenvolvimento e coordenação das atividades e que sejam discutidos o desenvolvimento e o 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>>

V 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. Esse plano deve estar integrado aos diferentes planos de infra-estrutura da cidade, principalmente aos 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.

V.1 INTERFACES ENTRE OS PLANOS

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

V.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 da 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 os outros serviços ficaram sob a respon-

sabilidade municipal. Nos municípios onde isso ocorre, dificilmente essa configuração poderá mudar em curto prazo, apesar de ser de atribuição do município a concessão dos serviços de água e saneamento. Nesse 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 desses 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 desse tipo de planejamento por conta 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 a erosão do solo (por exemplo, algumas cidades do Paraguai e bairros de cidades pobres no Brasil e de outros países da região). Quando o solo é pouco permeável, esse cenário é semelhante ao do século 19, período em que 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 à rua sob risco de morte. No entanto, a cidade tem cobertura completa de água e saneamento.

c) Sem esgotamento sanitário e com drenagem – Este é caso freqüente no Brasil, onde a drenagem tem maior capacidade maior

de transporte, escoamento e drenagem. Esse 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; enquanto, no período seco, exala mal cheiro pelas cidades. Nesse 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 desenvolverá o sistema separador para toda a cidade no seu primeiro planejamento. Deverá ocorrer um período de transição entre o sistema misto e o separador.

Exemplo disso 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 chegava pelas drenagens secundária e primária, juntamente com o escoamento de estiagem. Esse volume é transportado para a Estação de Tratamento. O excedente escoamento para a macrodrenagem e é amortecido e escoado pelos controles da drenagem urbana. Dessa forma, são dadas soluções para a qualidade e a 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, pelos sistemas secundário e primário (veja capítulo 4).

V.1.2 Drenagem urbana e erosão e resíduos sólidos

Esta interface tem os seguintes componentes:

a) Erosão - O desenvolvimento urbano acelera o escoamento, gerando erosão em solos frágeis, com significativos no ambiente urbano. A gestão desse 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 à drenagem produzem impactos ambientais a jusante e reduzem a capacidade de escoamento, aumentando a frequência das inundações. Quanto mais ineficiente for o sistema de coleta de resíduos de uma cidade, maior será o ônus para o sistema de drenagem. Portanto, é necessário desenvolver um sistema de eficiência que integre a drenagem à 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.

V.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 os resíduos urbanos contaminam a água e o solo, além de gerar degradação distribuída na cidade. O Plano Ambiental da cidade está ligado ao Plano de Saneamento Ambiental, principalmente quanto 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.

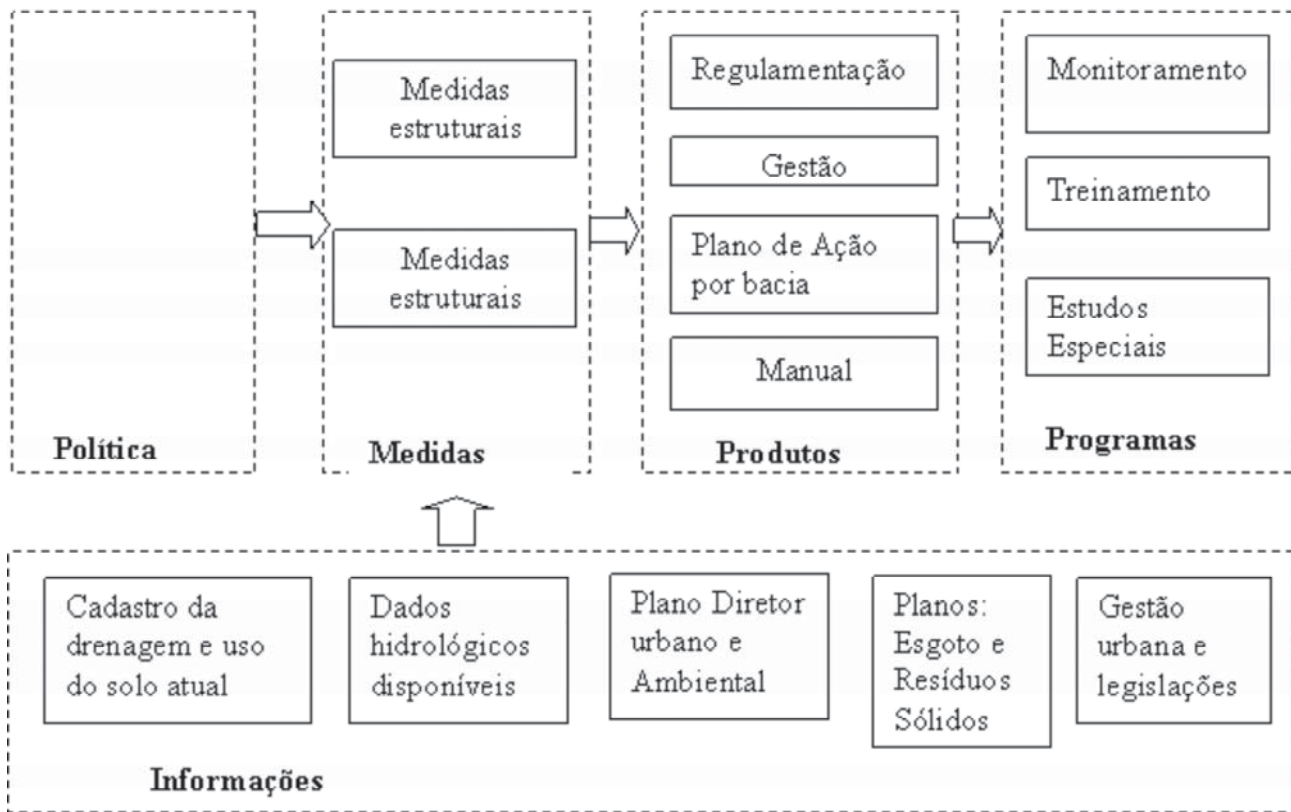


Figura 5.1 Estrutura do Plano de Águas Pluviais (adaptado de Tucci, 2001)

V.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.

Nessa estrutura, pode-se observar que existe um grupo de entradas ao Plano, que são as informações básicas para o seu desenvolvimento, quais sejam: 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 baseia-se em:

- 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.

V.2.1 Princípios

Os princípios a seguir caracterizados visam evitar os problemas descritos no capítulo

anterior. Tais princípios são essenciais para o bom desenvolvimento de um programa águas pluviais sustentáveis:

1. O 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 com os outros sistemas, principalmente o plano de controle ambiental, o esgotamento sanitário, a 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. Isso se aplica a um simples aterro urbano, como à 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. O Plano de controle da drenagem urbana deve favorecer 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 decorrente do escoamento pluvial, por meio da compatibilização com o planejamento do saneamento ambiental, com o controle do material sólido e com 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 os responsáveis pelas cheias.

Portanto, se a ação pública não for realizada preventivamente, por meio de gerenciamento, as consequências econômicas e sociais futuras serão muito maiores para todo o município;

6. Nas áreas ribeirinhas, o controle de enchentes é realizado por medidas estruturais e não-estruturais, que dificilmente estarão 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 no campo de visão do 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 conjunto e não trechos isolados;

8. Os meios de implantação do controle de enchentes são o PDDUA, as legislações municipais /estaduais e o Manual de Drenagem. O primeiro estabelece as linhas principais, enquanto as legislações controlam, e o Manual orienta;

9. O controle tem de ser permanente. Não basta que se estabeleçam regulamentos e que se construam obras de proteção; é necessário estar vigilante quanto a 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 assuma uma participação cívica nos anseios, nos planos, na sua execução e na contínua obediência às medidas de controle de enchentes.

10. A educação de engenheiros, arquitetos, agrônomos e geólogos, entre outros profis-

sionais, 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 da 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 às condições naturais;

12. O conjunto desses 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.

V.2.2 Objetivos do Plano

O Plano Diretor de Drenagem Urbana tem o objetivo de criar os mecanismos de gestão da infra-estrutura urbana, relacionados com o escoamento das águas pluviais e dos rios na área urbana. Esse planejamento visa evitar perdas econômicas, melhorar as condições de saúde da população e preservar o meio ambiente da cidade, coerente com os 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 por meio de regulamentação;

- preparar para a 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.

V.2.3 Estratégias

As estratégias podem ser estabelecidas considerando o desenvolvimento do Plano e o controle ambiental:

Quanto ao desenvolvimento do Plano

O Plano Diretor de Drenagem Urbana pode ser desenvolvido segundo duas estratégias básicas:

Para as áreas não-ocupadas: desenvolvimento de medidas não-estruturais relacionadas com a regulamentação da drenagem urbana e a ocupação dos espaços de riscos, visando conter os impactos de futuros desenvolvimentos. Essas medidas buscam transferir o ônus do controle das alterações hidrológicas decorrentes da 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 dessas bacias, sem que elas transfiram para jusante os impactos já existentes. Nesse planejamento, são priorizados os usos de armazenamento temporário por meio de detenções.

Quanto ao controle ambiental

Com relação ao controles ambientais, caracterizados pela qualidade da água do escoamento pluvial, pelo material sólido transportado e a pela 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. Esse tipo de medida utiliza a retenção apenas para o volume excedente da capacidade de drenagem atual, evitando que o escoamento em estiagem e o volume da primeira parte do hidrograma contaminem as retenções. Essas 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, por causa da baixa capacidade da rede existente;

2. Quando a rede cloacal estiver implementada, o Plano, no seu segundo estágio, pode ser executado, modificando-se o sistema de escoamento junto as retenções para que elas possam também contribuir para o controle da qualidade da água pluvial; Para o controle da contaminação dos aquíferos e o controle de material sólido, deverão ser criados programas de médio prazo visando à redução dessa contaminação, por meio de medidas distribuídas pela cidade.

V.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 considera 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 é considerado o previsto no Plano Diretor Urbano

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 nesse estágio. O 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 às 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 elas passem 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 desses 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 que poderão demorar a ser adotadas; quando a regulamentação proposta for aprovada, as dimensões das alternativas serão revistas em nível de projeto.

Geralmente a segunda alternativa é escolhida. O risco de 10 anos de tempo de retorno

pode ser escolhido para o dimensionamento da macrodrenagem, pois geralmente, a partir desse risco, não são economicamente viáveis as medidas de controle estrutural. Os maiores custos dos prejuízos das inundações encontram-se nas inundações com alto risco (baixo tempo de retorno), por conta da sua grande frequência. Dessa forma, o benefício de uso de medidas de controle para riscos baixos (alto tempo de retorno) pode representar grandes custos e não apresentar um benefício médio alto. O risco deve ser avaliado conforme o risco de vida e os prejuízos econômicos. O uso do risco de 10 anos é frequente, mas deve ser avaliado em cada caso.

V.3 MEDIDAS

V.3.1 Medidas não-estruturais

As principais medidas não-estruturais são as seguintes:

- Legislação e regulamentação sobre o aumento da vazão resultante da urbanização e da 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 decreto apresentado no Anexo A é um exemplo de regulamentação que pode ser utilizado no Plano Diretor urbano.

Regulamentação das áreas ribeirinhas:

esse 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. Essa implementação envolve: desenvolvimento do Plano de Ações, fiscalização dos serviços, avaliação e fiscalização da implementação de loteamentos e obras relacionadas com a legislação e a regulamentação, além da implementação dos programas previstos.

O cenário ideal é de que a gestão de águas pluviais, esgoto cloacal e resíduos sólidos esteja concentrada na mesma entidade, pois existe economia de escala e hierarquia definida nos serviços de interface entre esses 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. Isso tende a gerar conflitos na cidade, na ausência de uma coordenação técnica e política eficaz.

V.3.2 Medidas estruturais

Como descrito na estratégia, as medidas estruturais envolvem o Plano de cada sub-bacia urbana destacada da sua geografia de fluxo, além de medidas estruturais de proteção contra inundações ribeirinhas. 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 às medidas estruturais. Essa

definição baseia-se numa subdivisão de rios que escoam para um grande sistema (lago, rio, reservatório ou estuário), ou escoam para fora dos limites da cidade. Considerando que, para cada sub-bacia, será elaborado um Plano, admite-se que não de-

verão exportar impactos, mas representam características de interferências decorrentes do escoamento. Uma mesma macrobacia urbana pode ser subdividida quando isso for necessário de acordo com o seu desenvolvimento e o seu tamanho.

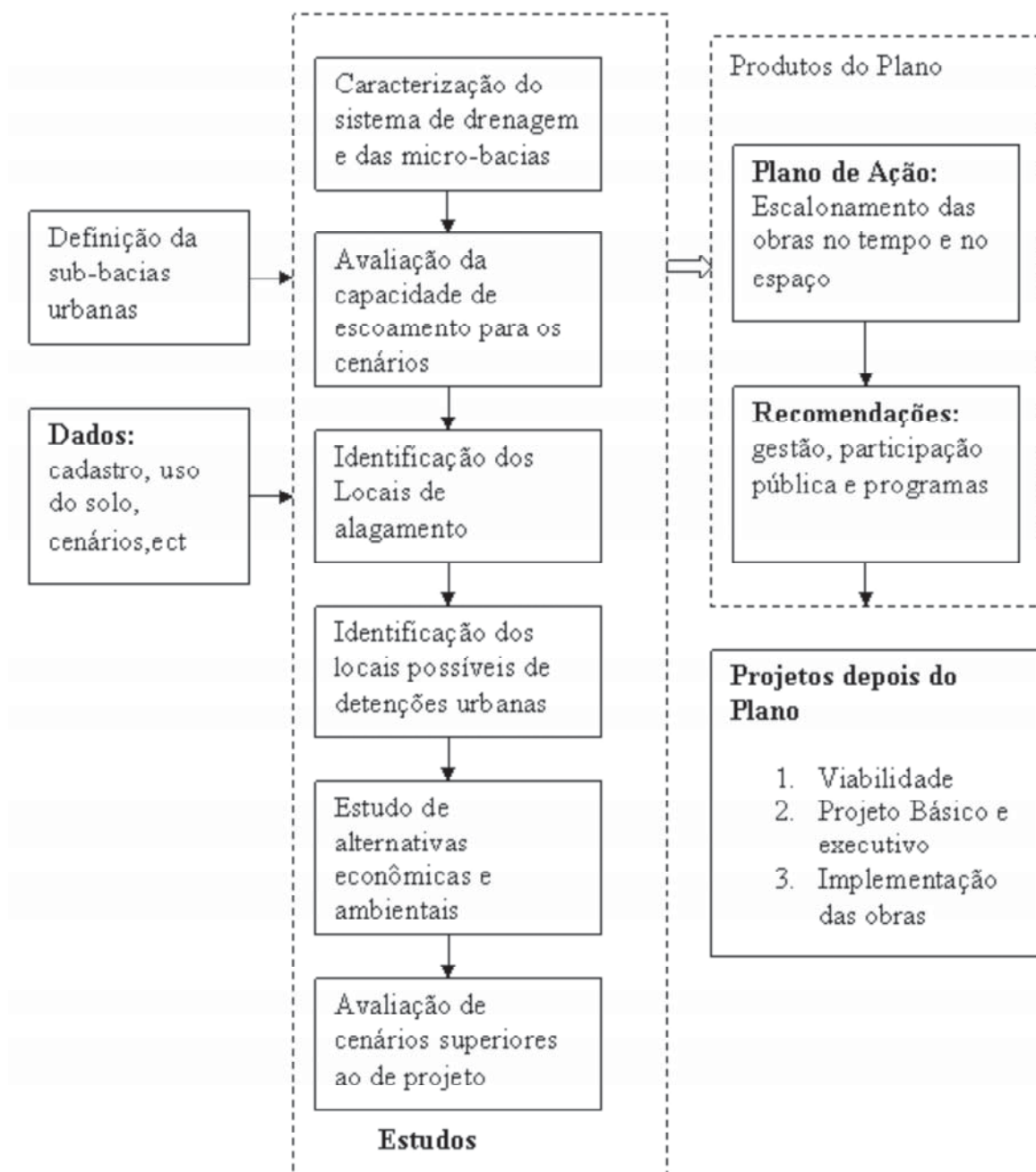


Figura 5.2 Medidas estruturais

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 Entrada, Planos das Bacias e Elaboração dos Produtos. Após o Plano, são desenvolvimentos até a implementação das obras.

Dados de entrada: O conjunto dos dados de entrada, necessário ao estudo de alternativas estruturais do Plano são: (a) Características urbanas atuais, como características físicas; (b) 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, e informações sobre o sistema de coleta de lixo e limpeza urbana.

Caracterização dos sistemas e definições:

Este módulo corresponde às 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) subdivisão das bacias-cidades onde serão realizados os Planos e a subdivisão interna delas 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 são:

- *Cenário atual* (capacidade do sistema existente): este é o cenário em que o sistema existente é analisado para en-

chentes 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:

São diversas as etapas. Elas 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 a 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 os trechos críticos onde a capacidade existente não permite escoar a vazão simulada. Geralmente, essa simulação é realizada com um modelo a superfície livre, desprezando-se os processos que ocorrem sobpressão.
- *Definição das alternativas de controle:* formulação das possíveis medidas de controle através do seguinte: (a) identificação em campo dos possíveis locais

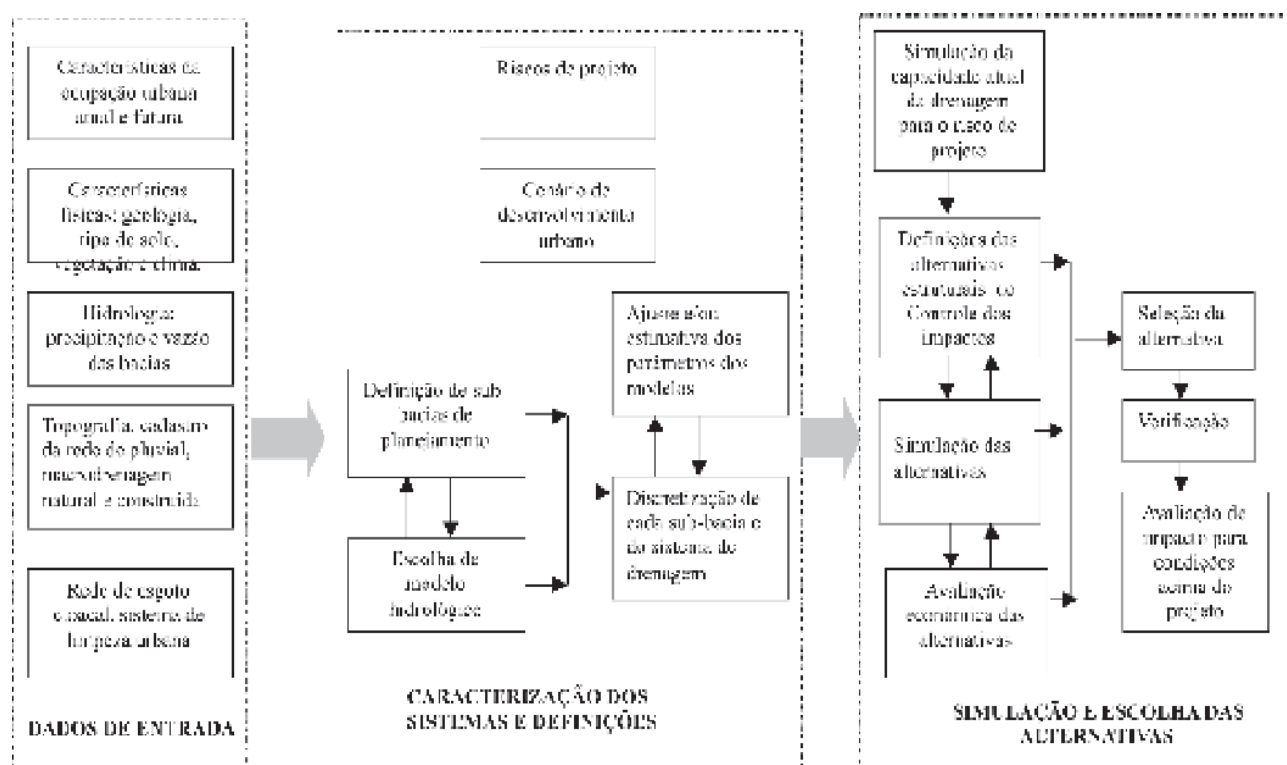


Figura 5.3 Etapas do Plano por Bacia

para reservatórios de retenção; (b) avaliação dos volumes disponíveis em função das cotas; (c) definição dos trechos que podem ser ampliados e seus condicionantes.

Para determinar a combinação ótima, o planejador poderá verificar as alternativas disponíveis, a saber: (a) redução do escoamento superficial por meio de medidas na fonte (geralmente para futuros cenários); (b) retenções 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-outs*, com as modificações físicas que controlem as

inundações existentes. A melhor solução econômica é a que produz o menor custo de implantação. Isso pode ser realizado 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 do plano de ação para implementação das medidas

- *Verificação do projeto:* deve ser feita com modelo hidrodinâmico que considere o escoamento sob pressão. Verificação, para as condições de risco maior do 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: Os modelos utilizados em bacias urbanas geralmente possuem dois módulos: (a) módulo bacia: que calcula, a partir da precipitação, a vazão resultante que entra nas galerias e nos canais; (b) módulo de rios, canais, galerias e reservatórios: que transporta o escoamento pelos canais, galerias e detenções.

Geralmente os algoritmos utilizados variam conforme 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 modelo 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, por algoritmos como: perdas iniciais, infiltração e a propagação do escoamento superficial. Um exemplo de modelo que trata somente deste módulo é o 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 à capacidade de escoamento, ou pelas cotas, com o auxílio de curvas-chave das seções.

b) *modelo hidrológico-hidráulico*: Geral-

mente, este tipo de modelo é utilizado somente quando 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. Nesse 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. Esse modelo também é utilizado na verificação do projeto e para avaliar o impacto para riscos superiores aos do 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, como: livre, sob pressão, subcrítico, supercrítico; assim como combinações e transições entre eles;
- simulação de estruturas especiais, como reservatórios de retenção ou casas de bombas;
- diferentes cenários de ocupação da bacia, referidos à urbanização presente e à futura; ou diferentes padrões de ocupação da bacia.

A essa variedade de condições somam-se 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 carac-

terísticas físicas da bacia ou da rede de drenagem, seja por ausência de dados para ajuste, seja para simular situações futuras;

- como os PDDRUs geralmente só analisam a macrodrenagem, os projetos de detalhe e de microdrenagem são desenvolvidos em separado. Há, portanto, necessidade de que os parâmetros e os critérios adotados nesses projetos sejam coerentes com os utilizados no plano. Isso implica 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 aplicação (os métodos não deveriam ser *software-dependentes*); o volume de simulações a ser realizado 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 km². 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 delas, tanto em termos gerais, como nas condições específicas de utilização. A maioria das técnicas comuns de simulação chuvavazão, e de parâmetros dessa transformação, tem sido desenvolvida para áreas rurais. O uso dessas técnicas deve ser evitado, ou elas devem ser utilizadas quando possam ser introduzidas

correções para levar em conta condições de bacias urbanas. Por exemplo, à formula de Kirpich, para tempo de concentração, deve ser aplicada com as correções resultantes da 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 costumeira ausência de outros dados, deve-se usar a calibração qualitativa (Cunge, 1980). Essa técnica consiste em comparar os resultados das simulações com a localização e a 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, por 1 ou 2 anos, já que essas são lembradas com mais facilidade pela população. Outra alternativa é o uso das cheias históricas de grande impacto, que são mais bem 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. Geralmente, os profissionais da área de drenagem pluvial são capazes de fazer um mapeamento pelo menos razoável dos locais e da 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 normalmente 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-se, 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 comum por falta de dados de vazão), o risco da vazão obtida não é necessariamente o mesmo do da precipitação. Portanto, o risco relacionado é o da precipitação e não o 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 construídas 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 km², 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 a uma área impermeável de uma bacia com base em dados de Curitiba, São Paulo e Porto Alegre. Essa 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 o 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 desses 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) regionalizaram os parâmetros do modelo 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 nela estacionados, assim como sacolas de lixo e outros objetos semelhantes, que fazem o escoamento parecer mais uma cascata de reservatórios do 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, enquanto o segundo para a verificação da alternativa escolhida e para cenários superiores aos 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 dre-

nagem, os modelos de rede geralmente limitam a 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, normalmente no ponto em que este chega à rede, para eventualmente liberá-lo depois, à medida que as condições nos condutos permitam o escoamento. A água que escoar para fora da rede por excesso de pressão é tratada de maneira semelhante, geralmente sendo acumulada no ponto de saída.

Na realidade, essa é só uma das possibilidades, pois 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. Esse tipo de consideração pode 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, a análise do comportamento da água na superfície da bacia, até ela chegar à macrodrenagem, e o que a água faria se não conseguisse 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 um dos princípios fundamentais de um PDDU. No entanto, como no Brasil e na maioria de América Latina esses planos são desenvolvidos a posteriori da ocupação urbana, a ampliação já ocorreu em grande parte da rede, e somente em novos empreendimentos imobiliários seria possível estabelecer o controle por meio de legislação municipal. Dessa forma, na análise de alternativa, o controle passa a ser de não transferir para jusante os condicionantes já existentes, utilizando-se a capacidade instalada de drenagem, que, de alguma forma, é superior à capacidade da bacia natural. Portanto, no estudo de alternativa, o mais importante é avaliar o conjunto de uma bacia onde as soluções internas evitam as inundações internas e mantêm a vazão de projeto menor ou igual às condições existentes no 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 à escala de lote, como micro-reservatórios de detenção ou superfícies de infil-

tração. As questões que devem dificultar essa avaliação são: (a) incerteza quanto às suas implantação, 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 do 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 a 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, que são mais claramente individualizadas, e a responsabilidade pela sua operação e pela sua manutenção é bem definida.

À incerteza sobre a implementação e o 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 que avalie esse 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 conseguirá 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 troca, dois enfoques: (a) não depender exclusivamente dessas medidas para gerenciamento da drenagem urbana; e (b) iniciar programas de monitoramento de médio e longo prazos, 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, seja suficiente, exceto quando as informações não permitam outra coisa, ou o estudo seja 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 ocorrer de um reservatório ter um volume adequado, mas não dispor de 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. Por conta 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, contrariando 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

pela 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 dos 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 de acordo com o tamanho e o tipo de conduto.

Na situação em que não é possível (ou justificado) definir o traçado e as 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, a saber:

$$CT = 0,536 \text{ POP} - 5,233 \text{ A} \quad (5.1)$$

onde, C_t é o custo em milhões de reais; A é a área da bacia em km^2 ; e Pop é a população em milhares de habitantes. Essa equação não deve ser utilizada para bacias com baixa densidade

de ocupação ($< 20 \text{ hab/ha}$). A equação foi obtida com $R^2 = 0,98$, mas com apenas oito bacias.

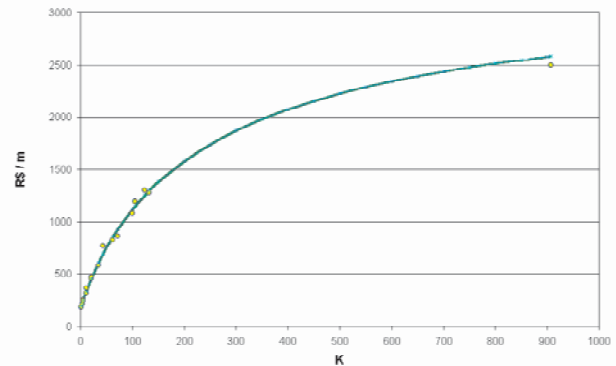


Figura 5.4 Curva custo médio de construção em função da condutância hidráulica (Villanueva e Tucci, 2003)

Estima-se a um intervalo de 1 a 4 milhões de $\text{R\$/km}^2$, entre áreas pouco densas no intervalo inferior e mais densas no intervalo superior.

Viabilidade econômica

A avaliação econômica possui dois componentes neste plano: (a) avaliação econômica das alternativas, como citado, em que o avaliado é 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 dependem da capacidade econômica de implementação das medidas

Os custos relacionados com a drenagem urbana e o 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. Esses custos estão distribuídos pelas bacias hidrográficas através do

Plano de cada bacia. Além disso, tal custo ocorre quando da sua implementação;

- Custos de operação do sistema de drenagem existente da rede pluvial, que envolve a limpeza, a manutenção dos condutos e a solução de problemas localizados. Esse custo deve ser distribuído entre os 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 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 sua implantação ou por meio de financiamento. Dessa forma, a população das bacias onde a impermeabilização é maior e, portanto, com condições mais críticas de drenagem, deverá pagar quantias maiores.

Operação e manutenção: O custo referente à operação e à manutenção da rede de drenagem urbana pode ser cobrado: (a) como parte do orçamento geral do município, sem uma cobrança específica dos usuários; (b) utilizando 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 do processo de cobrança está na estimativa real da área impermeável de cada propriedade. Nesse sentido, pode ser utilizado o seguinte procedimento:

1. Utilizar a área construída de cada propriedade projetada para o plano da área do terreno como sendo a área impermeável. Esse valor não é o real, pois o espaço impermeabilizado tende a ser maior por causa dos pavimentos;

2. Estabelecer um programa de avaliação da área impermeável com base em imagem de satélite e verificação por amostragem em visita ao local.

Rateio dos custos

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 deve ser 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, com base no volume de escoamento gerado em cada superfície.

V.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 hi-

drográficas 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 os seguintes fatores: a implementação do Plano, a fiscalização das obras, a aprovação de projetos segundo a nova regulamentação, a operação e a manutenção da rede de drenagem e áreas de risco e a 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:** mecanismo de financiamento proposto para as ações do plano e recuperação de custos;
- **desenvolvimento:** seqüenciamento 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 às inundações ribeirinhas. Deve ser um documento de apoio.

V.5 PROGRAMAS

Programas são os estudos complementares de médio e longo prazos 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, no qual são abordados os seguintes temas:

- programa de monitoramento;
- estudos complementares necessários ao aprimoramento do Plano;
- manutenção;
- fiscalização;
- educação.

Os programas do PDDrU foram previstos como atividades de médio e longo prazos, necessárias para a melhoria do planejamento da drenagem urbana de cada cidade.

Nesse contexto, podem ser previstos programas relacionados com o monitoramento de dados necessários ao planejamento, e estudos complementares, manutenção e educação. A fiscalização deve ser incorporada à gestão. A seguir são apresentados exemplos de programas.

V.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 é realizado com base em informações secundárias, o que tende a apresentar mais incertezas quanto à 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 aos interesses do planejamento da drenagem urbana na cidade.

Justificativa: Para determinação das vazões nas bacias urbanas, são utilizados modelos hidrológico, que possuem parâmetros, que são estimados com base em dados observados de precipitação e vazão, ou estimados com o auxílio de informações da literatura. Os estudos realizados utilizaram algumas das informações pre-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. Essas informações são importantes para conhecer o nível de poluição resultante desse escoamento, as cargas dos diferentes componentes, para poder estabelecer medidas de controle adequadas.

Objetivos: Os objetivos do programa são aumentar a informação de precipitação, vazão, parâmetros de qualidade da água de algumas bacias representativas do desenvolvimento urbano da cidade, e acompanhar qualquer alteração do seu comportamento em relação ao planejamento previsto.

Metodologia: O desenvolvimento desse programa envolve algumas etapas. Recomendamos o seguinte:

1. proceder ao levantamento e revisar as informações existentes sobre variáveis hidrológicas e de parâmetros de qualidade da água;
2. identificar, para os mesmos locais, os principais indicadores de ocupação urbana para os mesmos períodos dos dados coletados;
3. preparar um plano de complementação da rede existente;
4. criar um banco de dados para receber as informações existentes e coletadas;
5. 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 à avaliação desse processo sobre o impacto na infra-estrutura da cidade. Em estudos hidrológicos desenvolvidos nos últimos anos, com dados de cidades brasileiras, Campana e Tucci (1994) apresentaram uma relação bem definida entre a densificação urbana e as áreas impermeáveis. 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, para o cenário de futuro desenvolvimento, foi utilizada a previsão de densificação prevista no Plano Diretor Urbano, e, da relação citada anteriormente, foram obtidas as áreas impermeáveis previstas para esses cenários. Considerando que tais 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 da cidade, verificando alterações das condições de planejamento.

Metodologia: Esse programa pode ser estabelecido com algumas bases:

1. obter anualmente imagem de satélite da cidade;
2. proceder, para cada uma das bacias da cidade, a determinação sistemática das áreas impermeáveis;
3. verificar se estão conformes aos cenários previstos no PDDUA;
4. sempre que houver novos levantamentos populacionais, atualizar a relação densidade x área impermeável. Ajustar essa 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 dessas informações é muito limitada no Brasil. Geralmente, é conhecida 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 de que um conduto tem capacidade de transportar a vazão que

chega no seu trecho de montante, mas não é possível estimar quanto deste conduto será entupido pela produção de material sólido. Dessa forma, muitos alagamentos que ocorrem são devidos, não à falta de capacidade projetada do conduto hidráulico, mas às obstruções provocadas pelo material sólido. Para que seja possível atuar sobre esse problema, é necessário conhecer melhor como os componentes de produção e de transporte desse material ocorrem em bacias urbanas.

Objetivos: Quantificar o material sólido que chega à drenagem pluvial, como base para a implantação de medidas mitigadoras.

Metodologia: Para quantificar os componentes que envolvem a produção e o transporte do material sólido, é necessário definir uma ou mais áreas de amostra. A metodologia prevista é a seguinte:

1. definir as metas de um programa de estimativa dos componentes do processo de geração e transporte de material sólido para a drenagem;
2. escolher uma ou mais áreas representativas para amostragem;
3. definir os componentes;
4. quantificar os componentes para as áreas amostradas por um período suficientemente representativo;
5. 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 em seu diâmetro. A cota foi obtida com base na topografia disponível do local cadastrado em plantas existentes na cida-

de. Por conta da variabilidade de levantamentos existentes na cidade, observou-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 estabelecer a topografia por meio de um mesmo referencial, fazendo uso de GPS, comparando a cota atual com a cota obtida em campo. A base de análise deve 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 o aprimoramento do planejamento da drenagem urbana na cidade. Esses estudos buscam criar informações para a melhoria do futuro planejamento e do projeto das águas pluviais na cidade.

Os estudos sugeridos 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 correspondem aos 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. Esse procedimento nem sempre retrata a verdade local, considerando que, em certas áreas, o benefício será mínimo quando a população for de baixa renda. Dessa forma, existem outros métodos econômicos, como a “valoração da propriedade” com base na redução da ocorrência da inundação e “a vontade de pagar” do proprietário.

Justificativa: Dificilmente esses métodos são aplicados a cada projeto numa cidade. Automaticamente são adotados riscos-padrões de planejamento e projeto, já que o estudo requer o levantamento de um conjunto de dados para cada local, representando um custo significativo para 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 o projeto na cidade.

Metodologia prevista:

1. definição dos procedimentos econômicos a serem adotados e metodologia específica de amostragem;

2. definição de critérios para amostragem das áreas que serão utilizadas no estudo;
3. escolha das áreas em estudo, preferencialmente as bacias hidrográficas da cidade;
4. desenvolvimento do estudo econômico para cada área da cidade;
5. análise da variabilidade dos resultados e do 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. Esses parâmetros caracterizam a vazão máxima de um determinado local de acordo com as características físicas do solo, sua cobertura e as áreas impermeáveis.

Justificativa: A estimativa desses parâmetros foi realizada com base em dados existentes e limitados. Com a coleta de dados hidrológicos das bacias, prevista no programa de monitoramento, e daqueles que estão sendo implementados em programas recentes, será possível verificar a relação entre os parâmetros e as características das bacias, reduzindo-se 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 prevista:

1. seleção dos eventos das bacias, com dados disponíveis na cidade e do programa de monitoramento previsto;
2. determinação, para a mesma época, das características físicas da bacia;
3. determinação dos parâmetros com base nos dados observados de precipitação e vazão;
4. 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 a partir de dados de parâmetros de qualidade da água de cidades americanas ou européias, mas com realidade de desenvolvimento diferente dos condicionantes brasileiros.

Justificativa: Considerando as limitações destacadas no item anterior, observa-se que, para obter estimativas consistentes da qualidade da água da drenagem pluvial, são necessários métodos que se baseiem em dados da realidade das bacias, conforme seus condicionantes urbanos.

Objetivos: Desenvolver metodologia para a estimativa da qualidade de água pluvial com base em dados de bacias. Os dados seriam obtidos pelo programa de monitoramento destacado no item anterior.

Metodologia prevista:

1. análise e seleção dos dados de qualidade da água monitorados segundo programa do item anterior, e outros obtidos dentro da cidade;
2. avaliação das variabilidades temporal e espacial dos parâmetros de qualidade da água em associação com as práticas de limpeza urbana, os sistema de saneamento e outros fatores que influenciam os parâmetros;
3. definição do modelo e da metodologia adequada para a estimativa em diferentes níveis de qualidade de 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 desses 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. Por conta da alta produção de material sólido, grande parte deverá ser coletada antes de obstruir o escoamento da macrodrenagem. É importante, pois, utilizar as detenções como locais concentrados de retirada do lixo. Para tanto, é necessário projetar dispositivos que trabalhem com o máximo de eficiência.

Objetivos: Estudar dispositivos de retenção de material sólido associado aos projetos de retenção.

Metodologia prevista:

1. identificação e análise dos dispositivos existentes para a retenção de material sólido;
2. seleção de um grupo de alternativas preexistentes e propostas para estudo experimental;
3. desenvolvimento de modelo reduzido para ensaiar a eficiência dos dispositivos selecionados.
4. preparação de 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 desses dispositivos foi documentada em vários países, mas não no Brasil, onde nunca foi feita experiência desse teor. Esses 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 seja avaliada ao longo do tempo, para identificar o seu funcionamento e as correções de futuros projetos.

Objetivos: Avaliar o funcionamento dos dispositivos de controle implantados na cidade, com o advento deste Plano.

Metodologia prevista:

1. Cadastrar todos os dispositivos de controle, tais como: pavimentos perme-

áveis, detenções e retenções e áreas de infiltração. Para esse cadastro, devem ser definidas as informações básicas para um banco de dados;

2. Realizar anualmente uma avaliação da eficiência dos dispositivos, usando amostragens dos dispositivos existentes e com o acompanhamento dos profissionais de fiscalização. Nesse caso, serão definidos os critérios de avaliação e os elementos a serem obtidos dos dispositivos selecionados.

3. Com base em pelo uma amostra representativa, por um período de 3 a 5 anos, serão revistas recomendações sugeridas pelo Manual de Drenagem Urbana com relação à construção dos dispositivos. Essas avaliações devem ser mantidas por um período considerado ideal para o seu aprimoramento, segundo o projeto.

Programa de manutenção

O programa de manutenção é essencial para permitir que as obras previstas tornem-se efetivas ao longo do tempo. Conforme já recomendado no capítulo anterior, a Prefeitura deverá criar um grupo gerencial de manutenção das detenções construídas, orientado para:

- drenagem urbana;
- controle dos resíduos sólidos;
- proteção ambiental;
- paisagismo e recreação urbana.

A longo tempo, serão também construídas detenções privadas, que serão operadas pelos proprietários, mas a experiência dos Estados Unidos e da França tem mostrado, infelizmente, que o empreendedor privado acaba, com o pas-

sar do tempo, a não fazer a manutenção, obrigando o poder público a assumir essa responsabilidade. Nessa situação, o custo é pago pelo empreendedor, com o aumento da taxa operacional citada.

Justificativa: A falta de manutenção e a retirada de material sólido das detenções pode implicar a perda da eficiência, a propagação de doenças e a deterioração ambiental.

Objetivo: Manter o sistema de drenagem operando de acordo com sua capacidade projetada ao longo do tempo. __

Metodologia prevista:

1. criar um grupo gerencial para a 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. programar 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 conhecimentos quanto aos impactos da urbanização na drenagem é muito grande, tanto no ambiente técnico como entre a própria população. Isso dificulta sobremaneira a tomada de decisão num ambiente onde a população participa diretamente das decisões de investimento da cidade.

Justificativa: A viabilização desse Plano depende de aceitação por parte da população e dos técnicos, independentemente da regulamentação. Portanto, é necessário que todos tenham acesso às informações adequadas para que a gestão seja viável.

Objetivos:

- transmitir, para a população em geral, engenheiros e arquitetos, conceitos sobre o impacto da urbanização na drenagem urbana;
- treinar técnicos da Prefeitura e da ini-

ciativa privada sobre as técnicas de controle da drenagem urbana.

Metodologia prevista:

1. campanha de divulgação entre a população, por meio da mídia impressa e da 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., STAHR, P., 1993. *Stormwater Best Management Practices and Detention*. Englewood Cliffs, New Jersey, 440p.

VI ESTUDOS DE CASO

Os exemplos permitem entender os problemas e as soluções adaptadas a cada realidade.

Neste capítulo, é apresentada uma amostra de estudos de caso que ilustram os aspectos de inundação e os estudos a eles relacionados, permitindo avaliar a complexidade e as soluções encontradas para essas realidades.

VI.1 INUNDAÇÕES RIBEIRINHAS EM ESTRELA (RS)

A cidade de Estrela, Rio Grande do Sul, Brasil (~ 28,3 mil habitantes), localiza-se às margens do Rio Taquari, numa bacia da ordem de 25.000 km², 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 por causa do 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 a ocupação urbana da 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 (estabelecida em 1981).

Para evitar a invasão e a recuperação das áreas de inundações já ocupadas, a Prefeitura, em 1983, por lei municipal (nº 1.790) estabeleceu que a área de inundação poderia ser trocada por maior índice urbanístico. Os termos da lei municipal reportam 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 lindeira 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.

Esse tipo de política permite manter valor econômico para as áreas de restrição, permitindo uma gestão das áreas de risco. O resultado desse tipo de planejamento mostrou uma redução dos prejuízos de inundações por ano, longo do tempo. Nos últimos 26 anos, ocorreram sete inundações acima de 24,0 m e três acima de 26,0 m.

VI.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 mil habitantes e faz divisa com o município de Porto União (SC), com 36 mil 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 de '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 a montante.

VI.2.1 Inundações

As cidades de União da Vitória e Porto União se desenvolveram às margens do Rio Iguaçu, onde só aconteceram enchentes peque-

nas 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.

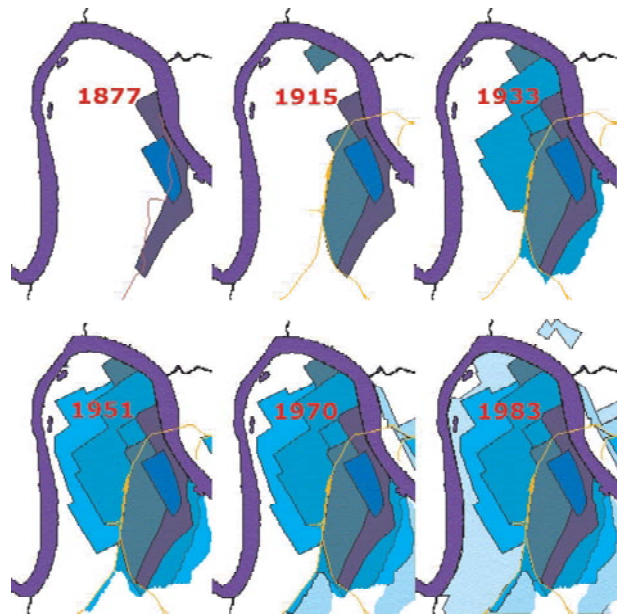


Figura 6.1 Evolução das cidades e ocupação da planície de inundação

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 das perdas, incapacitadas que estão 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 1.000 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 U\$S 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 característico de União da Vitória, que, além disso, tem dificuldades de expansão, limitada que está pela presença do 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 sobre a população e sobre as cidades, perdas que estão quantificadas na tabela 6.1.

TABELA 6.1 PERDAS ESTIMADAS (1 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
Perdas totais (1.000 U\$S)	10.365	25.933	54.582	78.121

VI.2.1 Conflito

Em 1983, a população fez uma dedução simples: “antes da barragem não tinha enchentes; mas depois da barragem nos inundamos; logo a causa é a barragem”, e passou a considerar a Usina de Foz de Areia e a de 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 que sobreviesse a enchente de 1992. O conflito retornou com intensidade maior, porque a população, que tinha entendido que o risco era muito pequeno, sentiu-se ludibriada com o advento dessa segunda enchente antes menos de se completarem 10 anos.



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. Isso também incentivou a não-execução de planejamento e de prevenção contra inundações. A enchente de 1983 levantou um alerta sobre o risco, mas esse 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 mag-

nitude e impactos semelhantes, gerou-se entre a população um clima de revolta e desconfiança em relação aos estudos técnicos. Essas condições motivaram 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 diante de 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 de 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) confirmaram que Foz do Areia não produziu influência sobre as enchentes recentes nas cidades.

VI.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 eliminaram a alternativa estrutural, em razão do seguinte: (a) financia-

mento das obras; (b) alteração da convivência da cidade com o rio, que representa um elemento turístico fundamental. Dessa forma, as alternativas recomendadas foram as seguintes: (a) zoneamento das áreas de inundação das cidades e implementação de um Plano Diretor para elas; (b) previsão e alerta de inundações.

A proposta de zoneamento (Tucci e Villanueva, 1997) intenciosava evitar 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, enquanto União da Vitória ainda opõe muita resistência. O sistema de previsão em tempo real é operado pela Copel, que transmite informações para a Defesa Civil da cidade quando os níveis de alerta são atingidos.

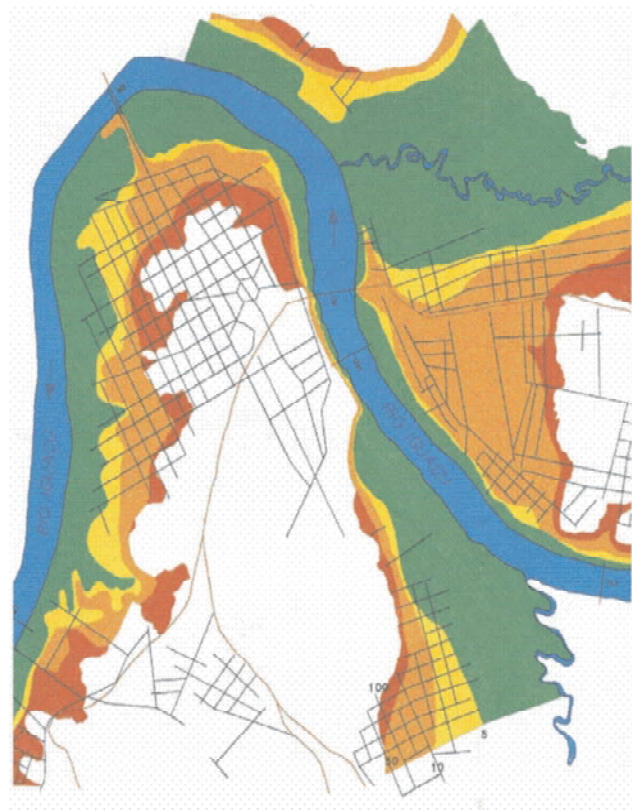


Figura 6.4 Áreas de risco nas cidades de União da Vitória e Porto União

Algumas das medidas relacionadas: (a) sugeriu-se colocar marcas nos postes, para identificar as inundações e tornar público os riscos, evitando, assim, a especulação imobiliária por falta de informações; (b) casas sobre palafitas apresentaram-se como um dos mecanismos adotados para conviver com as cheias. Com efeito, é freqüente ver casas a 2 ou 3 metros do chão, como na figura 6.5 (geralmente do lado de outras construídas no nível do chão). No entanto, a simples observação de muitas delas levanta dúvidas sobre a resistência estrutural dos pilares para fazer frente ao embate com as águas. Outro mecanismo de convivência com as enchentes que vem sendo adotado pelas cidades é a ocupação das áreas de inundação com atividades diversas, 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 na função de um parque

VI.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 de 15 municípios, numa área de cerca de 3.000 km², 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, do qual faziam parte 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 na cidade de Curitiba e região ocorrem em virtude da combinação de inundações ribeirinhas com a drenagem urbana das bacias urbanizadas, inundando o eixo principal do Rio Iguaçu, já bastante ocupado, e dos afluentes, como Belém, Atuba e Palmital, em razão, principalmente, da urbanização de Curitiba e Pinhais.

VI.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 consiste em 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 no Código de Obras dos Municípios.

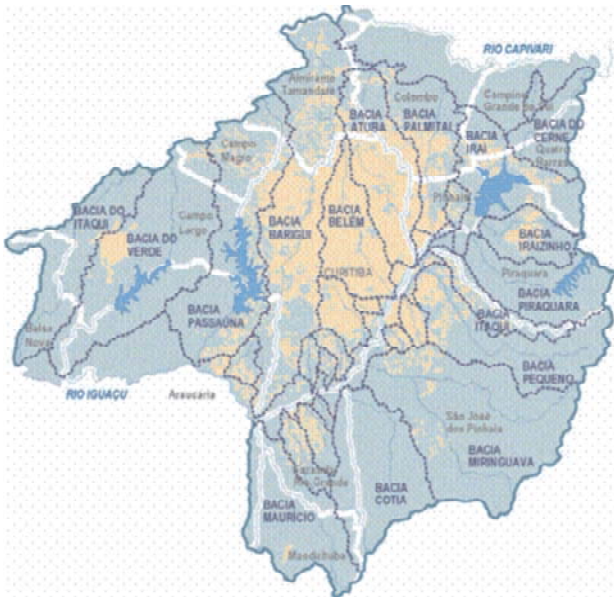


Figura 6.6 Região Metropolitana de Curitiba, na Bacia do Alto Rio Iguaçu (a área marrom representa a mancha urbana)

(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, têm 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 poderiam amortecer as enchentes da urbanização já existente. Os espaços vazios poderão permitir a criação de parques para o amortecimento, distribuídos 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 inserem-se dentro dos planos dlongo 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 implica 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 representa a modificação do leito natural do Rio Iguaçu por meio do aumento da seção e/ou da 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 a população ganhar confiança e ocupar 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 a ampliação das seções.

VI.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 escoamento 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, à medida que ocorrer 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, conforme as características urbanas já existentes, que não permitem economicamente a desapropriação e a definição hidráulica do perfil de fundo do canal. Na figura 6.7, é apresentada esquematicamente a característica da concepção do sistema.

A desapropriação da área interna do parque foi e está sendo realizada simultaneamente à construção do canal paralelo, pois, depois de construído o canal, as áreas ficarão valorizadas e poderá tornar inviável a desapropriação, o que acarretará a ocupação interna entre os canais, tornando sem efeito uma de suas principais funções, que é funcionar como uma barreira à ocupação urbana clandestina. Além disso, torna-se imprescindível a implementação do parque pelo poder público, evitando assim a ocupação clandestina.

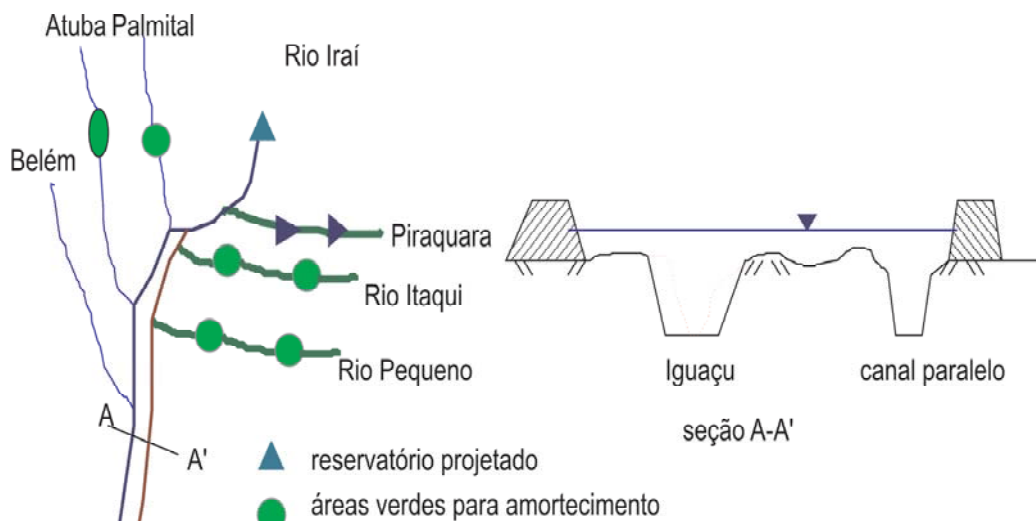


Figura 6.7 Concepção do controle de enchentes

Portanto, a concepção de controle de enchentes da RMC engloba as seguintes ações:

- controle de cheias no Rio Iguaçu/Iraí por meio de um canal paralelo e de 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 incorpore uma legislação sobre a construção em 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, a pressão urbana e os dois leitos dos rios. Na figura 6.8, são apresentadas fotos com a área de inundação do parque e uma área implementada.

VI.4 GESTÃO DE INUNDAÇÕES EM PORTO ALEGRE

VI.4.1 Descrição

A Região Metropolitana de Porto Alegre (~ 3 milhões de habitantes) encontra-se no delta do Rio Jacuí e do Lago Guaíba, que tem uma bacia hidrográfica da ordem de 80 mil km² e quatro rios convergindo para o delta e depois para o lago. A cidade de Porto Alegre, nas margens desse 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. Esse sistema de diques possui várias sub-bacias que drenam para estações de bombas. Quando a cota do rio é superior à cota das ruas, o escoamento drenado é bombeado para o rio. Esse sistema é gerenciado pelo Departamento de Esgotos Pluviais da Prefeitura Municipal de Porto Alegre.

O 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: seus aspectos legais e de gestão; (b) Plano Diretor de três bacias (recentemente foram desenvolvidas mais três 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.

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. Esses 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 à capacidade existente para o cenário futuro; (d) verificação dos cenários superiores aos do projeto. A cidade dispunha de cadastro detalhado de drenagem: cota, diâme-

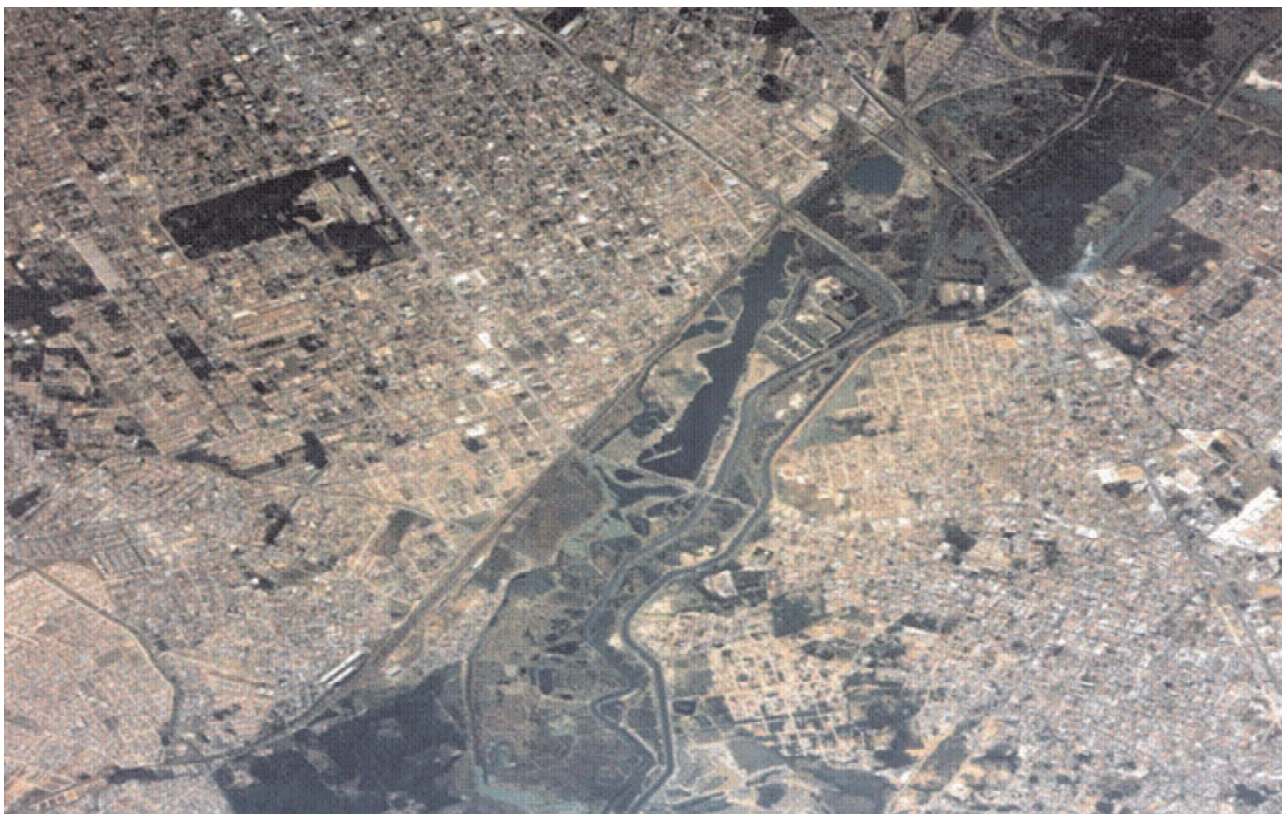


Figura 6.7 Características das áreas de inundação

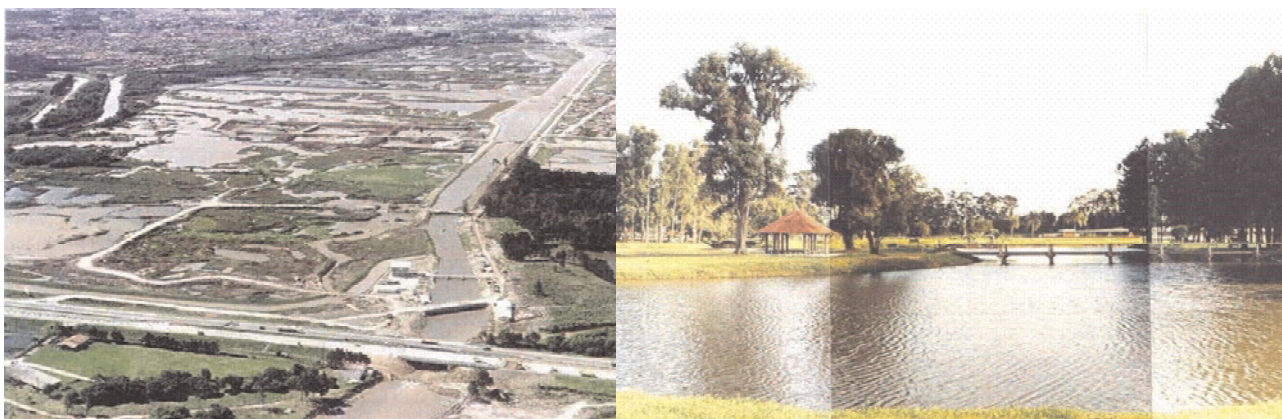


Figura 6.8 Área de inundação e canal paralelo e parque (foto da direita)

tro e comprimento de cada conduto em planta 1:2000, juntamente com a topografia da cidade. Dessa forma, foi possível detalhar todo o sistema nas sub-bacias.

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 as primeiras estudadas, além de todas as em verde. As bacias que convergem para as estações de bombas foram simuladas e foi verificada a capacidade das bombas para escoar todo o volume durante as inundações. A seguir, são apresentados os resultados da Bacia do Areia, que foi estudada no Plano (IPH, 2001) e recentemente atualizado por Cruz (2004).

VI.4.2 Bacia do Areia

A bacia tem duas partes: a superior, que drena por conduto sobressão acima da cota 9 m direto para o rio Gravataí (12 km²); e uma segunda parte que é drenada por bombeamento com área semelhante à 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) revi-



Figura 6.9 Inundação de 1941, em Porto Alegre

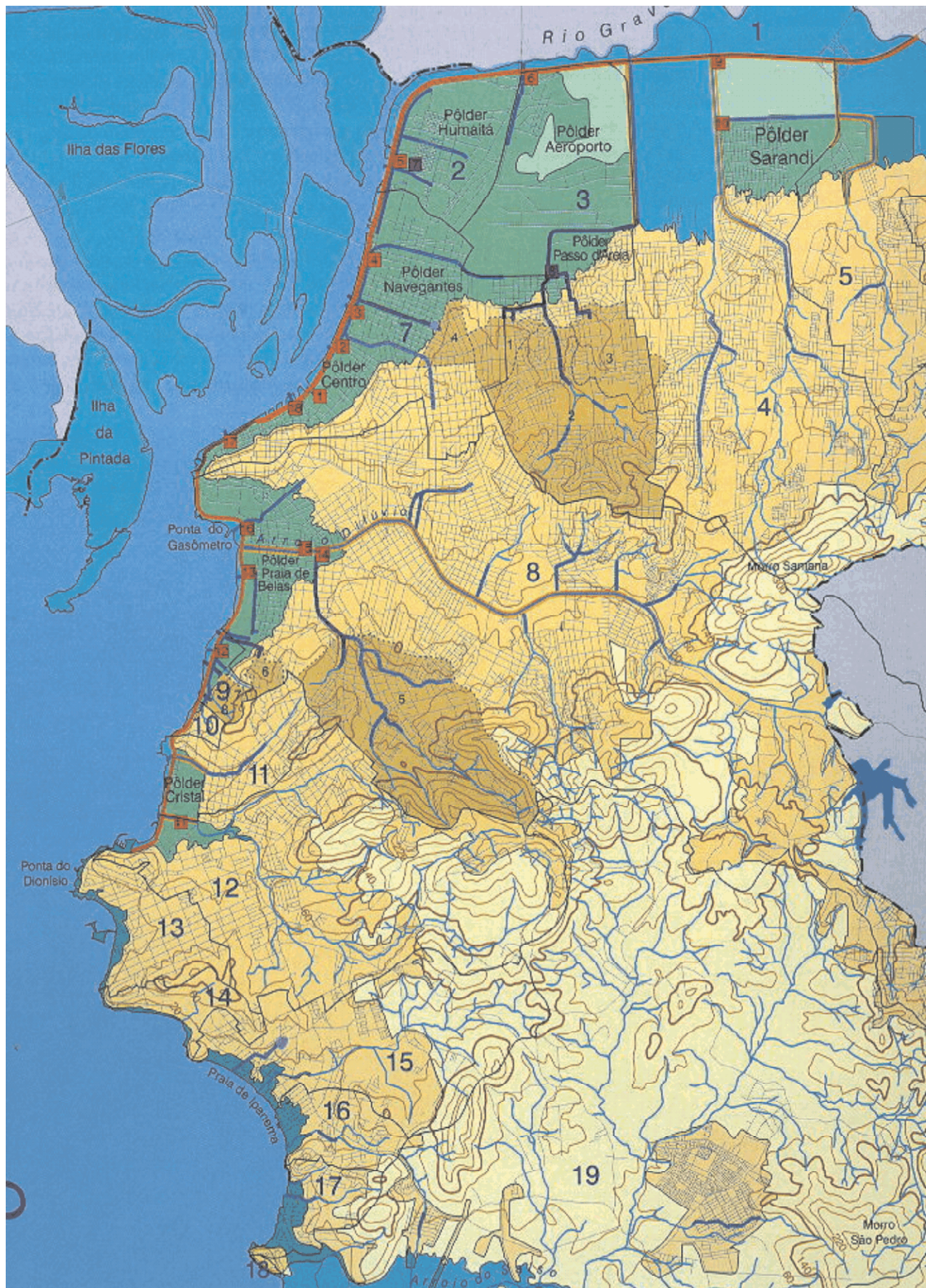


Figura 6.10 Cidade de Porto Alegre junto ao delta do Rio Jacuí e do lago Guaíba. O escoamento das áreas verdes é bombeado para o Rio Guaíba quando o dique protege contra inundações. As áreas marrons escoam por gravidade e escoamento sob pressão

sou o estudo e obteve novo dimensionamento com base em modelo de otimização.

Na figura 6.12, podem-se observar as detenções escolhidas, enquanto 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. Nesse caso, foram utilizadas duas alternativas: otimizando toda a bacia e otimizando por sub-bacias. Pode-se observar 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, nessa bacia, utilizaram-se 77 m³/ha 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 o aumento dos condutos, 17,7% para as detenções e 3,3 para a desapropriação.

VI.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, para a implementação de uma superfície urbanizada concomitantemente ao sistema de drenagem controlado; (b) pós-controle: para um cenário de urbanização consolidada.

TABELA 6.1 ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE AS ALTERNATIVAS

Variável	Canalização	Detenção e ampliação
Vazão máxima (m ³ /s)	99	48
Volume de armazenamento (m ³)	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, por meio da comparação dos custos envolvidos. A cidade possui 27 sub-bacias e 430,27 km² e uma população prevista para o município de 1,8 milhão 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 seriam de R\$ 790 milhões, enquanto, se o controle for realizado com amortecimento, o custo ficará em R\$ 303 milhões para o valor presente de um projeto de 20 anos.

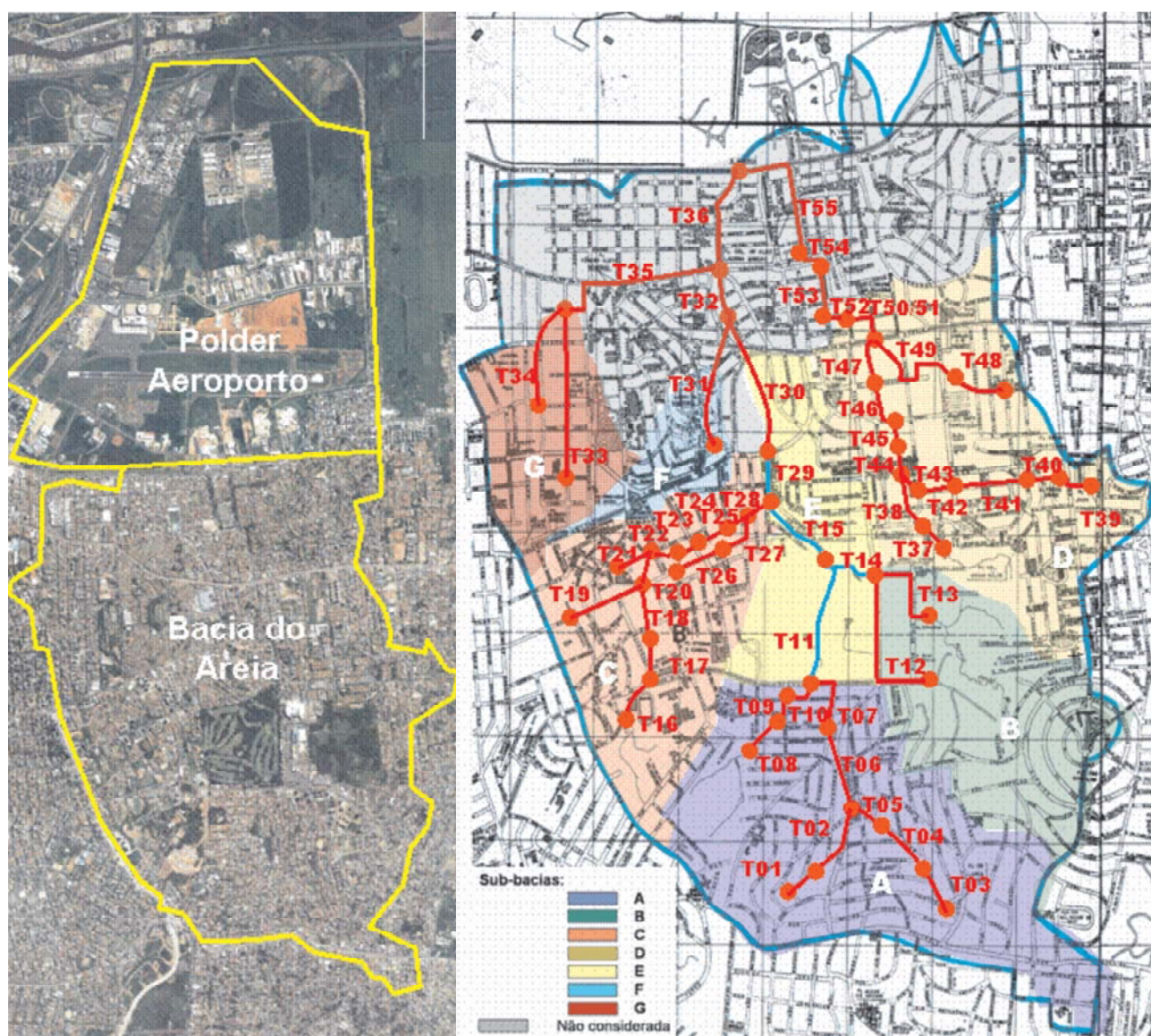


Figura 6.11 À esquerda, imagem do conjunto da Baía do Areia e do *polder* do aeroporto. À direita, as sub-bacias com o sistema de drenagem simulado (Cruz, 2004)

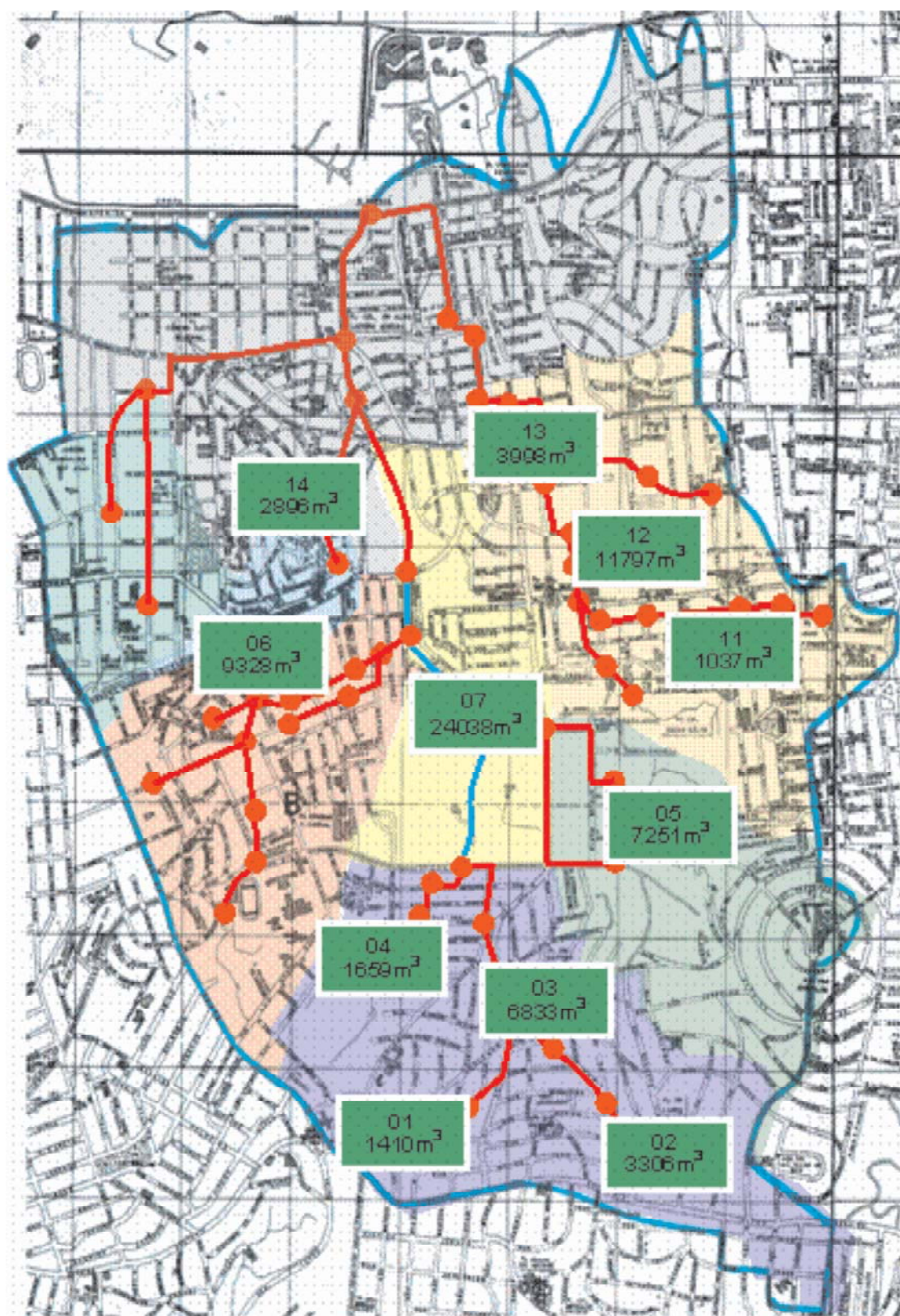


Figura 6.12 Detenções planejadas para a Bacia do Areia (Cruz,2004)

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/PRO-SAM, 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*, na *microdrenagem* e na *macrodrenagem*. A drenagem na fonte é definida pelo escoamento que ocorre no lote, no condomínio ou no empreendimento individualizado, nos estacionamentos, nos parques e nos passeios.

A *microdrenagem* é definida pelo sistema de condutos pluviais ou canais em nível de loteamento ou de rede primária urbana. Esse 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, com áreas de pelo menos 2 km² ou 200 ha. Esses valores não devem ser tomados como absolutos porque a malha urbana pode possuir as mais distintas configurações. Esse tipo de sistema deve ser projetado para acomodar precipitações superiores às da microdrenagem com riscos, de acordo com prejuízos humanos e materiais potenciais.

Um dos pontos que têm caracterizado esse tipo de definição é a Metodologia de Estimativa, já que o Método Racional é utilizado para estimativa de vazões na microdrenagem, enquanto 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 2 km², que representa a restrição definida acima.

A.2 Escoamento e condições de projeto

O escoamento num rio depende de vários fatores, 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 decorrentes de 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 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 esse processo, pode-se fazer 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 do número de faixas. Quando o número de automóveis é superior à sua capacidade, o tráfego torna-se lento e ocorre congestionamento. Num rio, à medida que chega um volume de água superior à 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, em um determinado trecho, as duas faixas se transformam em uma. Existe um trecho de transição, antes de chegar à 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. Nesse 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, um aterro ou qualquer 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 conforme o nível, a 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 as vazões ao longo do rio e do 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 esse evento tem chance de se repetir:

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

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 repete-se 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 seja, em cada ano essa 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

$$P_n = 1 - (1 - p)^n \quad (a.2)$$

Por exemplo, qual a chance de a 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. Nesse 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 seu comportamento, e, em consequência, nas estatísticas das vazões do rio.

Em projeto de áreas urbanas, como ocorre alterações na bacia, o risco utilizado refere-se à ocorrência de uma determinada precipitação, que se admite não ser influenciada pela urbanização. A combinação da ocorrência na precipitação, sua distribuição temporal, as condições antecedentes, etc., fazem 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 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, essa prática é inviável por conta do custo do próprio estudo para pequenas áreas. Dessa forma, os riscos geralmente adotados são apresentados na tabela a.1.

O projetista deve se orientar também pelos seguintes implicadores:

- Escolher o limite superior do intervalo da tabela quando envolver 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 dessas informações para a definição do projeto de drenagem.

A.4 Glossário

Sistema natural: sistema natural é aquele formado pelo conjunto de elementos físicos, químicos e biológicos que caracterizam o sistema natural da bacia hidrográfica e os recursos hídricos formados pelos rios, lagos e oceanos.

Ecossistemas: fatores de produção dinâmicos para o desenvolvimento social e econômico (Folke, 1997). Produzem os recursos renováveis e seus mecanismos, no qual a sociedade humana se baseia. Em âmbito global, o ecossistema é energizado pela radiação solar e sustentado pelo ciclo hidrológico; em âmbito local, pela biota, que mantém a vida e o ambiente integrados (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: ação que minimiza a ação antrópica sobre o ecossistema.

Preservação: ação que evita qualquer ação antrópica sobre o ecossistema.

Desenvolvimento sustentável: desenvolvimento econômico e social que conserva e preserva os ecossistemas ao longo do tempo.

Gerenciamento Integrado dos Recursos Hídricos: processo que promove o desenvolvimento coordenado e o gerenciamento da água, da terra e dos recursos relacionados, para maximizar os resultados econômicos e sociais de forma eqüitativa, sem comprometer a sustentabilidade vital do ecossistema (GWP, 2000).

Carga: produto da concentração de um parâmetro de qualidade da água pela sua 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: disponibilidade de água num determinado local ao longo do tempo. Pode ser de água superficial ou subterrânea.

Regularização de vazão: a disponibilidade hídrica pode ser natural, sem efeito de

regularização e com regularização a partir de um reservatório. A regularização pode ser medida com base numa parcela da vazão média, na medida em 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 o 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: são de origem variada. No Brasil, 65% das internações hospitalares são provenientes de doenças de veiculação hídrica. As doenças provocadas por água imprópria ao consumo podem ser classificadas com base no conceito de White et al. (1972) e apresentado por Prost (1993), a saber:

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

b) Doenças resultantes da falta de higiene (*water-washed diseases*): dependem da educação

da população e da disponibilidade de água segura. Essas doenças estão relacionadas com a infecção do ouvido, da pele e dos olhos;

c) Doenças relacionadas com a água (*water-related*): no qual o agente utiliza a água: 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 de criação de 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 os efluentes industriais.

Indicadores de qualidade da água: índices que combinam concentração de determinados constituintes da água. Os índices procuram refletir as condições da água para diferentes usos, conforme o 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 de acordo com as fontes poluidoras. Por exemplo, a concentração de coliformes (em partes por milhão) geralmente é utilizada para caracterizar a água quanto à contaminação para abastecimento 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 fósforo são utilizadas para caracterizar se um sistema hídrico pode eutrofizar. A DQO (Demanda Química de Oxigênio) é utilizada como indicador de poluição de algumas indústrias.

Medidas de controle inundações:

a) **estruturais:** quando o homem altera

o sistema natural para controle de inundação, utilizando diques, barragens, reflorestamentos, etc..;

b) **não-estruturais:** quando o homem convive com a inundação recorrendo a: 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 estabeleceram como meta para o ano de 2015 a redução em 50% da pobreza no mundo. No contexto de Água e Saneamento, essas metas estabelecem a redução também em 50% das pessoas que não possuem acesso a água tratada e, na mesma proporção, acesso a saneamento de efluentes domésticos.

Modificação climática: alterações da variabilidade climática decorrentes das atividades humanas.

Usos consuntivos da água: aqueles que reduzem o 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: variações de clima resultantes dos condicionantes naturais do globo terrestre e suas interações. Modificação Climática são as alterações do clima em virtude das ações antrópicas. O IPCC (2001) define Modificação Climática (*Climate Change*) como as mudanças de clima no tempo, em decorrência da variabilidade natural e/ou do resultado das atividades humanas (ações antrópicas).

Vulnerabilidade a eventos extremos: incapacidade de a população retornar às condições prévias de ocorrência do evento em termos de habitação e condições socioeconômicas.

ANEXO B

REGULAMENTAÇÃO DE PORTO ALEGRE

A seguir, são destacados os principais elementos da legislação municipal, o 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 nas diretrizes a visão da sustentabilidade ambiental (art. 2º).

O artigo 13 define os objetivos ambientais de valorização ambiental do Plano, enquanto 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 17) será desenvolvida, entre outros, pela promoção de ações de saneamento, pelo monitoramento da poluição e pela otimização do consumo energético. A drenagem urbana insere-se no contexto do saneamento ambiental. Ainda inseridos na estratégia de qualificação ambiental, alguns dos programas previstos no art 18 que, de alguma forma, se inter-relacionam com esse plano, são o Programa de Implantação e Manutenção de Áreas Verdes Urbanas (III), o Programa de Gestão Ambiental (V) e o Programa de prevenção e controle da poluição (VI).

No art. 25, são definidas as estratégias de planejamento da cidade, destacando, no item III, o Programa de Sistemas de Informações, e no IV, o Programa de Comunicação e Educação

Ambiental, no qual há programas semelhantes aos previstos neste plano.

Formulação de política, planos e programas: No art. 39, são definidas as atribuições do Conselho Municipal de Desenvolvimento Ambiental, que visa formular as políticas, os planos, os programas e os projetos de desenvolvimento urbano, no qual o Plano Diretor de Drenagem Urbana (PDDrU) é um deles. Esse 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 por meio do Plano de Desenvolvimento Urbano e Ambiental (PPDUA) 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 ofereçam risco de inundação;
- **Áreas de contenção de crescimento urbano** (art. 80): são áreas que podem ser definidas conforme a densificação atual e seu futuro agravamento de restrições pelo aumento das inundações ou dos condicio-

nantes de drenagem. A cidade de Porto Alegre possui uma extensa área ribeirinha onde os custos de drenagem são muitos altos. A impermeabilização excessiva dessas áreas pode resultar em problemas significativos de drenagem, com freqüentes alagamentos. O plano de cada bacia pode identificar essas áreas;

- **Áreas de revitalização** (art. 81): representam áreas de patrimônio ambiental ou relevantes para a cidade, que necessitam tratamento especial. O art. 83 define como tal as seguintes áreas: Centro Histórico, Ilhas de Delta do Jacuí, Orla do Guaíba e 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, § 1).

- **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, ao estabelecer 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, por meio de decreto.

O art. 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 a proteção contra as cheias e as inundações, e em terrenos onde as condições geológicas e hidrológicas não

aconselhem 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, por meio de amortecimento da vazão pluvial.

O art. 137 reserva área para os equipamentos urbanos, entre os quais a drenagem urbana.

O art. 160, das Disposições Transitórias, destaca a necessidade de decreto do legislativo para a definição e o dimensionamento dos reservatórios de águas pluviais.

Um dos aspectos relacionados com a proteção ambiental e a drenagem urbana diz respeito à faixa marginal dos arroios urbanos. O Código Florestal prevê a distância de 30 metros da margem dos arroios, definida pela seção de leito menor. No desenvolvimento da cidade, não se observa que esse limite venha sendo atendido, o que dificulta o controle da infra-estrutura da drenagem urbana. Por isso, são necessárias medidas para atuar sobre a cidade já desenvolvida, com parcelamentos aprovados, e a cobrança sobre os futuros parcelamentos.

Regulamentação proposta

Os princípios da regulamentação proposta baseiam-se no controle da fonte do escoamento pluvial, por meio do uso de dispositivos que amortecem o escoamento das áreas impermeabilizadas e/ou recuperem a capacidade de infiltração por meio 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 97, como previsto no parágrafo único, e o artigo 160 das Disposições Transitórias. Além disso, deve-se destacar que,

no art. 134, § 6, do parcelamento do solo, a lei também prevê as mesmas condições para novos empreendimentos.

A seguir, é apresentada a proposta de decreto municipal a ser avaliada pelo Executivo como sugestão para regulamentar os artigos 97 e 134 do Plano de Desenvolvimento Urbano e Ambiental. Essa 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 à manutenção da vazão máxima citada no item anterior;
- Espaço disponível 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 °

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 n° 434/99, e considerando que:

- compete ao poder público prevenir o aumento das inundações devido à impermeabilização do solo e à 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, 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 m² 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 deverá ser determinado pela equação:

$$v = 4,25 \text{ AI}$$

Em que:

v é o volume por unidade de área de terreno em m³/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:

$$C_u = \frac{C_t}{A_b} (\text{R\$}/\text{m}^2) \quad (1)$$

Em que:

A_b é a área da bacia em km^2 e C_t , custo total em milhões de reais.

A área da bacia pode ser subdividida 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:

$$A_i = \alpha i_m + \beta i_l \quad (3)$$

Em que:

α é a parcela da área com arruamentos e logradouros públicos, como parques e praças; i_m é a parcela impermeável dessa área (%); β é a parcela da área ocupada pelos lotes urbanos; i_l é a parcela de impermeabilização do lote. Nesse caso, $\beta = 1 - \alpha$. A equação acima fica:

$$A_i = \alpha i_m + (1 - \alpha) i_l \quad (4)$$

O valor de α 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 em:

$$i_m = (0,15 \times 100 + 0 \times 0,10) / 0,25 = 60\%$$

A equação 4 fica

$$A_i = 15 + 0,75 i_l \quad (5)$$

O princípio da taxa de cobrança da operação e da 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 que 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. Dessa forma, o custo unitário de uma área permeável é:

$$C_{u_p} = \frac{0,95}{0,15} C_{u_i} = 6,33 C_{u_i} \quad (6)$$

Em que:

o C_{u_i} é o custo unitário das áreas impermeáveis.

O custo total da operação e manutenção é igual a:

$$C_t = \frac{A_b}{100} [C_{u_p} \cdot A_p + C_{u_i} \cdot A_i] \quad (7)$$

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:

$$C_{u_i} = \frac{100 \cdot C_t}{A_b \cdot (15,8 + 0,842 \cdot A_i)} \quad (9)$$

Em que:

C_{u_i} em R\$/m², para C_t em milhões; A_b em km², 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 a área total em questão.

O cálculo do custo a ser pago por propriedade fica assim:

$$T_x = \frac{A}{100} \cdot (C_{u_i} \cdot A_i + C_{u_p} \cdot A_p) \quad (10)$$

e

$$T_x = \frac{A}{100} [C_{u_i} A_i + 0,158 C_{u_i} \cdot (100 - A_i)]$$

$$T_x = \frac{A \cdot C_{u_i}}{100} (15,8 + 0,842 \cdot A_i) \quad (11)$$

Em que: A é a área da propriedade em m² e A_i é a área impermeável da área A em percentual. A expressão de A_i pode ser obtida da equação 5, que, 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 dessa 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 m² 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. Nesse caso, a equação 1 fica:

$$C_{u_p i} = \frac{C_{tp} \cdot 100}{A_b \cdot A_i} \quad (13)$$

Em que C_{tp} 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 ² (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:

$$T_{xp} = \frac{A_i \cdot C_{up_i} \cdot A}{100} \quad (14)$$

Em que:

A_i é a distribuição das áreas impermeáveis em cada área, dada pela equação 5, o que resulta

$$T_{xp} = (15 + 0,75i_1) C_{up_i} \frac{A}{100} \quad (15)$$

Substituindo a equação 13 resulta

$$T_{xp} = \frac{A \cdot C_{tp} \cdot (15 + 0,75i_1)}{A_b \cdot A_i} \quad (16)$$

Em que, como anteriormente:

A_i é a área impermeável de toda a bacia em %; A é a área do terreno em m²; A_b é a área da bacia em km²; C_{tp} é o custo total em milhões de reais; i_1 é a área impermeável do lote em percentual.

Para um lote sem área impermeável, a contribuição tarifária do proprietário refere-se à parcela comum das ruas e fica:

$$T_{xp} = \frac{15 \cdot A \cdot C_{tp}}{A_b \cdot A_i} \quad (16)$$

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 é de 5 km². A taxa a ser paga para um terreno de 300 m² para a 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 M²

Área impermeável (%)	Taxa (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 o desenvolvimento urbano, é necessário estabelecer critérios básicos de cálculo, visando tornar mais simples o estabelecimento de medidas legais e o dimensionamento do controle, decorrente da 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 às condições mais próximas da situação natural. Em princípio, essa vazão deve ser mantida após o desenvolvimento. Para a regulamentação dessa vazão, é necessário estabelecer critérios simples que sejam aplicáveis de forma geral à cidade, sem prejuízo do seu controle.

A vazão pode ser obtida pelo Método Racional, pela expressão:

$$Q = 0,278 C I A \quad 1)$$

Em que:

Q = vazão máxima em m^3/s ,

I = intensidade da precipitação em mm

A = área da bacia em km^2 .

Essa equação pode ser expressa na forma de vazão específica natural em:

$$q_n = \frac{Q}{A} = 2,78.C.I \quad (2)$$

Em que:

q_n é obtido em $L/(s.ha)$.

Essa 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:

$$C = \frac{C_p A_p + C_i A_i}{A_t} \quad (3)$$

Em que:

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.

Essa equação pode ser transformada de acordo com o seguinte

$$\begin{aligned} C &= C_p \frac{A_p}{A_t} + C_i \frac{A_i}{A_t} = \\ &= C_p + (C_i - C_p).AI \end{aligned} \quad (4)$$

Em que:

$AI = A_i/A_p$, representando a parcela de áreas impermeáveis.

Coeficiente médio: O coeficiente de escoamento pode ser expresso por uma relação linear com a taxa de áreas impermeáveis, em

que 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, tendo obtido:

$$C = 0,858.AI^3 - 0,78.AI^2 + 0,774AI + 0,04 \quad (6)$$

para $R^2 = 0,72$

Como os dados utilizados referem-se 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, por causa de uma perda de 5%, que pode ser devida 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 desse tamanho de bacias urbanas, mas, com a amostra disponível, Tucci (2000) apresentou a seguinte equação:

$$C = 0,047 + 0,9.AI \quad (7)$$

selecionadas ($R^2 = 0,92$) segundo os seguintes 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, nas quais o valor é próximo do limite superior.

Além disso, 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), as condições iniciais, as características da distribuição da precipitação, o 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. Essas equações permitem uma estimativa média desse 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):

$$C_p = \left[\frac{(P - 0,2S)^2}{P + 0,8S} \right] \cdot \frac{1}{P} \quad (8)$$

Em que:

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

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (9)$$

Os dados utilizados foram de 11 bacias

O valor de CN depende do tipo de solo e das características da superfície.

A precipitação total do evento para o método racional é

$$P = I \cdot t_c \quad (10)$$

Em que:

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). Na mesma tabela, são apresentados valores de C_p para a precipitação de 1 hora e 2 anos de tempo de retorno de Porto Alegre (risco aproximado dos valores médios obtidos dos eventos da tabela 1). Esses 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.

Por conta da grande variabilidade desse coeficiente e da 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) C_p	19,8 0,032	52,9 – 79,5 0	31,1 – 19,8 0 – 0,03
B S (mm) C_p	11,2 0,158	22,8 – 32,5 0 – 0,015	11,91 – 20,7 0,025 – 0,14

Tipo de solo	Campo	Ruas de terra	Área agrícola
C S (mm) C_p	7,6 0,277	13,5-17,8 0,049-0,108	6,9 – 14,3 0,094 – 0,31
D S (mm) C_p	6,3 0,34	9,7 – 12,7 0,12 - 0,20	5,0 – 11,9 0,14 – 0,42

Intensidade da precipitação: A intensidade da precipitação é estimada de acordo com a 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 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 nessa equação, foi estimada uma intensidade para 1 hora, para diferentes riscos. A equação do escoamento em função do tempo de retorno para duração adotada de 1 hora fica:

$$q = 8,35 \cdot T^{0,217} \quad (11)$$

TABELA 2 VALORES DE C_p

Fonte	C_p
Grama (solo arenoso) ASCE, 1969	0,05 a 0,20
Grama (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:

$$V = (Q_u - Q_n)t.k \quad (12)$$

Em que:

V é o volume em m^3 ; Q_n é a vazão de pré-desenvolvimento em m^3/s ; Q_u é a vazão resultado do desenvolvimento urbano; t é duração em minutos e $k = 60$ para conversão de unidades.

A vazão resultante do desenvolvimento urbano é estimada pela equação 1. A vazão de pré-desenvolvimento foi estimada no item anterior, por meio 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 em:

$$C = 0,10 + 0,85.AI \quad (14)$$

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 a duração obtida pela 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 Redenção), foram obtidos 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.

Esses valores foram ajustados a uma equação, com a seguinte expressão:

$$v = 2,624.T^{0,269}.AI \quad (17)$$

Em que:

T é fornecido em anos; AI é área imperme-

ável em % e v é obtido em m^3/ha . O coeficiente de determinação do ajuste foi de $R^2 = 0,99$.

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^2 de ajuste. Nesse caso, a reta resultante para o tempo de retorno de 10 anos é:

$$v = 4,864 \cdot AI \quad (18)$$

TABELA 4 VOLUME ESPECÍFICO EM M^3/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

Nesse caso, o volume necessário para recuperar a vazão preexistente para uma área de 1.000 m^2 , com 50% de área impermeável, é:

$$V = (1.000/10.000) \cdot 4,864 \times 50 = 24,32 \text{ m}^3$$

Para uma profundidade de 2 m, corresponde a $12,32 \text{ m}^2$, 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^2
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

$v = a \cdot AI$; em que v é o volume específico em m^3 e AI em %.

