

ÁGUA NO MEIO URBANO

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

Capítulo 14 do Livro Água Doce

Dezembro de 1997

Sumário

1. Características do desenvolvimento urbano	3
2. Impacto no escoamento do desenvolvimento urbano	5
2.1 Tipos de Enchentes	5
2.2 Impacto no ciclo hidrológico	5
2.3 Impacto Ambiental sobre o ecossistema aquático	7
2.4 Enchentes em áreas ribeirinhas	11
3. Mananciais Urbanos	14
3.1 Caracterização dos Mananciais urbanos	14
3.2 Contaminação dos Mananciais	16
3.3 Proteção dos Mananciais	16
4. Controle do Impacto da Urbanização	20
4.1 Princípios	20
4.2 Controle de Cheias nas áreas ribeirinhas	21
4.2.1 Medidas Estruturais	21
4.2.2 Medidas Não-Estruturais	21
4.3 Controle de Enchentes em áreas urbanizadas	24
4.3.1 Quantificação do impacto da urbanização sobre o escoamento	24
4.3.2 Medidas de Controle	25
4.4 Plano Diretor de Drenagem Urbana	35

A água no meio urbano tem vários aspectos. O primeiro, que qualquer pessoa tem sempre na mente, é o do abastecimento da população. No entanto, vários outros aspectos devem ser considerados, principalmente com o aumento e a densificação populacional que o mundo vem sofrendo nesse século.

Com o crescimento populacional e a densificação fatores como a poluição doméstica e industrial se agravaram, criando condições ambientais inadequadas, propiciando o desenvolvimento de doenças de veiculação hídrica, poluição do ar e sonora, aumento de temperatura, contaminação da água subterrânea entre outros. Esse processo que se agravou principalmente à partir do final da década de 60, mostrou que o desenvolvimento urbano sem qualquer planejamento ambiental resulta em prejuízos significativos para sociedade.

Atualmente tem sido previsto que a crise do próximo século deverá ser a da água, principalmente pelo aumento de consumo e deteriorização dos mananciais existentes que têm capacidade finita. Isto se deve principalmente devido a contaminação dos mananciais urbanos através do despejo dos efluentes domésticos e industriais e dos esgotos pluviais.

Nesse capítulo são tratados de forma resumida o seguinte:

- os principais aspectos do desenvolvimento urbano para caracterizar a sua evolução;
- escoamento no meio urbano e sua interação com o uso do solo, identificando os principais impactos devido a urbanização no escoamento e o impacto do escoamento sobre a população que ocupa espaços inadequados;
- os mananciais urbanos sua proteção frente aos diferentes potenciais impactos e;
- a medidas de controle do escoamento no meio urbano.

Os aspectos que tratam do abastecimento de água e medidas de tratamento do esgoto cloacal são tratados no capítulo xxx.

1. Características do desenvolvimento urbano

No início desse século, a população urbana compunha cerca de 15% da população mundial. No final desse século está previsto que 50% da população mundial estará em cidades. Nos países desenvolvidos como Estados Unidos a urbanização já atinge 94% da população. Isso é consequência natural do desenvolvimento econômico, onde o setor primário representa apenas 2% da economia. Nos países em desenvolvimento existe um acelerado processo de urbanização. Na América Latina e no Caribe a população urbana cresce a taxas de 3 a 5% ano. No ano 2000 é previsto que cerca de seis cidades deverão ultrapassar 10 milhões de habitantes e de 30 a 35 cidades deverão ter população superior a 1 milhão (Foster, 1986).

O Brasil apresentou, ao longo das últimas décadas, um crescimento significativo da população urbana (figura 1.1). A taxa da população urbana brasileira é de 76%. O processo de urbanização acelerado ocorreu depois da década de 60, gerando uma população urbana com uma infra-estrutura inadequada. É previsto que o Brasil terá pelo menos duas cidades com mais de 10 milhões de habitantes no ano 2000, sendo que atualmente, pelo menos 12, possuem mais do que 1 milhão. Alguns Estados brasileiros já apresentam características de urbanização de países desenvolvidos, como São Paulo onde 91% da população é urbana.

O desenvolvimento urbano brasileiro tem sido concentrado em Regiões Metropolitanas na capital dos Estados e cidades pólos regionais. O país reduziu fortemente o crescimento populacional, chegando atualmente a valores de 1,4% ao ano, em média.

Os efeitos desse processo, fazem-se sentir sobre todo o aparelhamento urbano relativo a recursos hídricos: abastecimento de água, transporte e tratamento de esgotos cloacal e pluvial.

O planejamento urbano, embora envolva fundamentos interdisciplinares, na prática é realizado dentro de um âmbito mais restrito do conhecimento. O planejamento da ocupação do espaço urbano no Brasil, não tem considerado aspectos fundamentais, que trazem grandes transtornos e custos para a sociedade e para o ambiente.

O desenvolvimento urbano brasileiro tem produzido aumento significativo na frequência das inundações, na produção de sedimentos e na deterioração da qualidade da água.

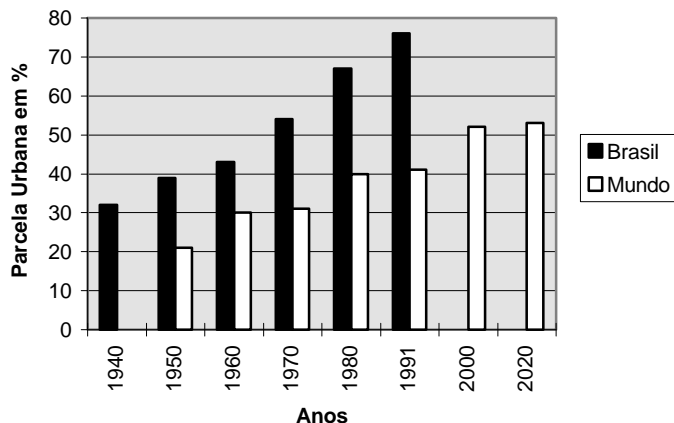


Figura 1.1 Evolução da urbanização no Brasil e no Mundo (Fonte: Mega-cities appud Folha de São Paulo 4/2/1996)

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

- aumento das vazões máximas (em até 7 vezes, Leopold, 1968) devido ao aumento da capacidade de escoamento através de condutos e canais e impermeabilização das superfícies;
- aumento da produção de sedimentos devido a desproteção das superfícies e a produção de resíduos sólidos (lixo);
- e a deterioração da qualidade da água, devido a lavagem das ruas, transporte de material sólido e as ligações clandestinas de esgoto cloacal e pluvial.

Adicionalmente, existem os impactos da forma desorganizada como a infra-estrutura urbana é implantada, tais como: (i) pontes e taludes de estradas que obstruem o escoamento; (ii) redução de seção do escoamento aterros; (iii) deposição e obstrução de rios, canais e condutos de lixos e sedimentos; (iii) projetos e obras de drenagem inadequadas.

Esses impactos têm produzido um ambiente degradado, que nas condições atuais da realidade brasileira somente tende a piorar. Esse processo, infelizmente não está sendo contido, mas está sendo ampliado a medida que os limites urbanos aumentam ou a densificação se torna intensa. A gravidade dessa tendência ocorre principalmente nas médias e grandes cidades brasileiras. A importância desse impacto está latente através da imprensa e da TV, onde se observa, em diferentes pontos do país, cenas de enchentes associadas a danos materiais e humanos.

As ações públicas atuais, em muitas cidades brasileiras, estão indevidamente voltadas para medidas estruturais com visão pontual. A canalização tem sido extensamente utilizada para transferir a enchente de um ponto a outro na bacia, sem que sejam avaliados os efeitos a jusante ou os reais benefícios das obras. Os custos de canais revestidos, freqüentemente utilizados nas áreas mais urbanizadas, são de: US \$ 1,7 milhões/km em Porto Alegre, para canais de pequena largura (DEP apud Pedrosa, 1996); a 50,0 milhões/km, para um canal retangular de 17 m de largura e cerca de 7 m de profundidade com paredes estruturadas no Ribeirão dos Meninos em São Paulo.

O prejuízo público é dobrado, já que além de não resolver o problema, os recursos são gastos de forma equivocada. Esta situação é ainda mais grave quando se soma o aumento de produção de sedimentos (reduz a capacidade dos condutos e canais) e a qualidade da água pluvial (associada aos resíduos sólidos).

Estas condições são decorrentes, na maioria das cidades, do seguinte: (i) da falta de considerar o planejamento da rede cloacal e pluvial e da ocupação das áreas de risco quando se formulam os Planos Diretores de Desenvolvimento Urbano; (ii) o gerenciamento inadequado da implantação das obras públicas e privadas no ambiente.

2. Impacto no Escoamento do desenvolvimento urbano

2.1 Tipos de Enchentes

As enchentes em áreas urbanas são devido a dois processos, que ocorrem isoladamente ou de forma integrada:

- *enchentes devido à urbanização*: são o aumento da frequência e magnitude das enchentes devido a ocupação do solo com superfícies impermeáveis e rede de condutos de escoamentos. Adicionalmente o desenvolvimento urbano pode produzir obstruções ao escoamento como aterros e pontes, drenagens inadequadas e obstruções ao escoamento junto a condutos e assoreamento;
- *enchentes em áreas ribeirinhas* - as enchentes naturais que atingem a população que ocupa o leito maior dos rios. Essas enchentes ocorrem, principalmente pelo processo natural no qual o rio ocupa o seu leito maior, de acordo com os eventos extremos, em média com tempo de retorno da ordem de 2 anos (figura 2.1).

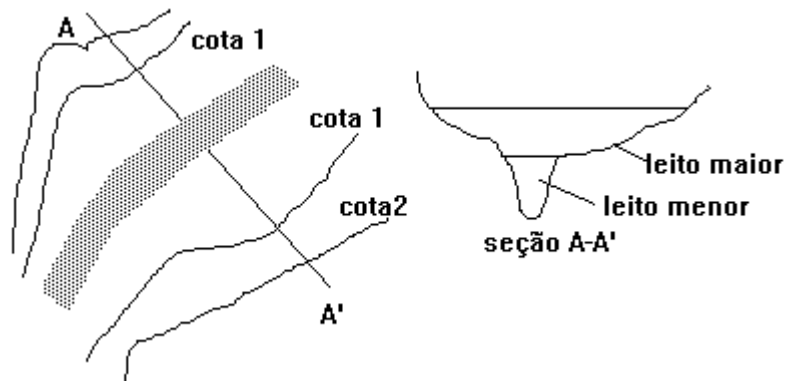


Figura 2.1 Caracterização dos leitos de escoamento

2.2 Impacto no ciclo hidrológico

O desenvolvimento urbano altera a cobertura vegetal provocando vários efeitos que alteram os componentes do ciclo hidrológico natural. Com a urbanização, a cobertura da bacia é alterada para pavimentos impermeáveis e são introduzidos condutos para escoamento pluvial, gerando as seguintes alterações no referido ciclo:

1. *Redução da infiltração* no solo;
2. O volume que deixa de infiltrar fica na superfície, *umentando o escoamento superficial*. Além disso, como foram construídos condutos pluviais para o escoamento superficial, tornando-o mais rápido, ocorre redução do tempo de deslocamento. Desta forma as vazões máximas também aumentam, antecipando seus picos no tempo (figura 2.2);
3. 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*. As redes de abastecimento e cloacal possuem vazamentos que podem alimentar o aquíferos, tendo efeito inverso do mencionado;
4. Devido a substituição da cobertura natural ocorre uma *redução da evapotranspiração*, já que a superfície urbana não retém água como a cobertura vegetal e não permite a evapotranspiração das folhagens e do solo;

Na figura 2.2 são caracterizadas as alterações no uso do solo devido a urbanização e seu efeito sobre o hidrograma e nos níveis de inundação.

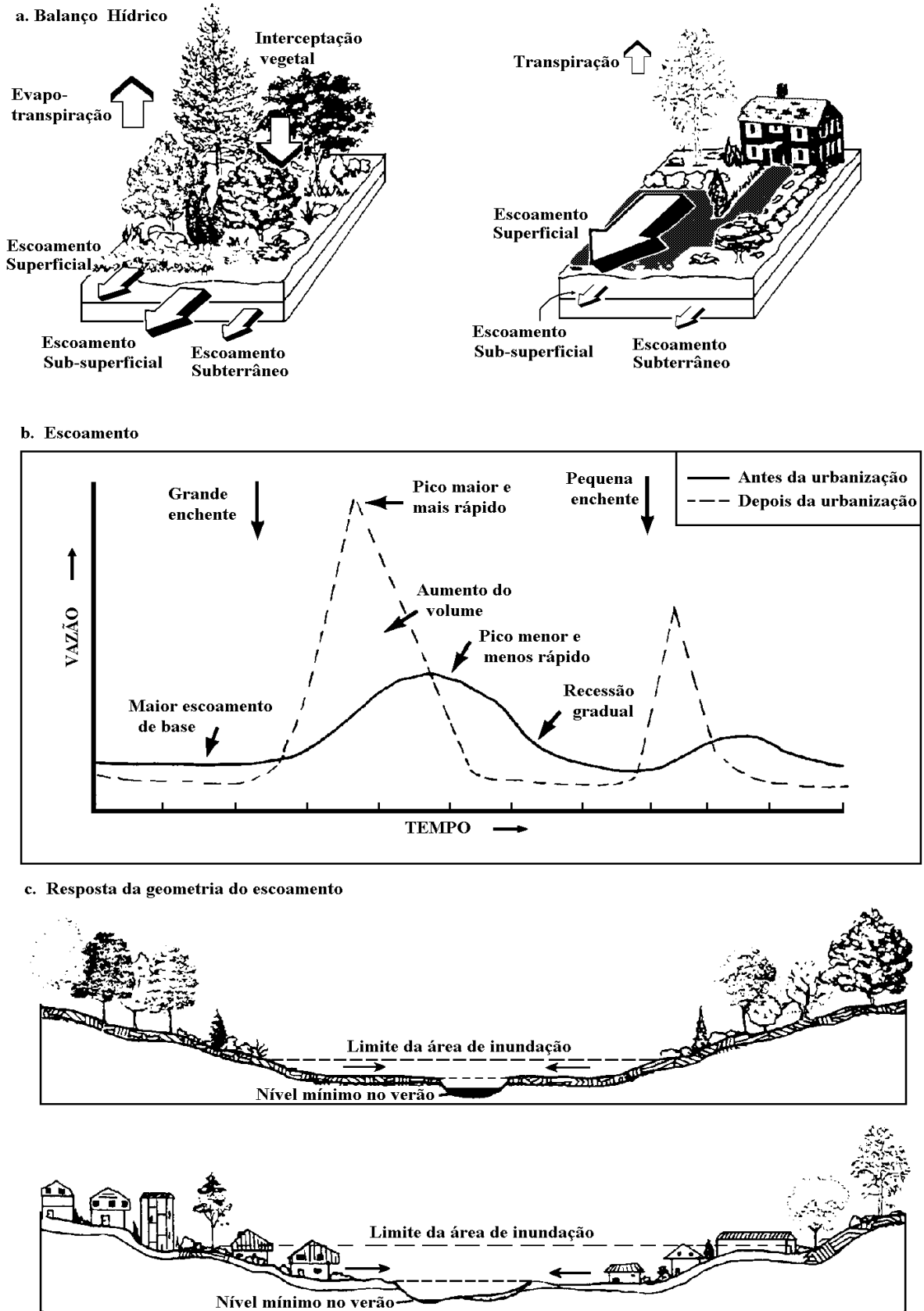


Figura 2.2 Características das alterações de uma área rural para urbana (Schueler, 1987).

Essas são as principais alterações no balanço hídrico quantitativo. A proporção como esses valores se alteram variam de acordo com as condições de cada localidade em função do tipo de solo, cobertura, geologia, pluviosidade e clima. Na tabela 2.1 é apresentado um exemplo quantitativo para um clima temperado. Para uma localidade onde a cobertura é rochosa e impermeável provavelmente as alterações relativas serão menores. No entanto, para bacias onde o escoamento superficial é insignificante o impacto poderá ser maior.

O impacto da urbanização é mais significativo para precipitações de maior frequência onde o efeito da infiltração é mais importante. Para precipitações de baixa frequência (alto tempo de retorno) a relação entre as condições naturais e com urbanização são relativamente menores. A tendência é de que a medida que aumenta o risco diminua a diferença relativa entre as vazões máximas pré-urbana e urbana. Para uma enchente de risco alto a proporção da precipitação que infiltra sobre o total precipitado diminui pois a infiltração tende a ser a mesma, independentemente da precipitação, já que esta é maior que a capacidade de infiltração. Como a rede de pluviais está dimensionada para riscos pequenos, ocorrem alagamentos que funcionam como amortecedores, também observados nas condições naturais das bacias.

Tabela 2.1 Variação do balanço hídrico com a urbanização num clima temperado, em % da precipitação total (OECD, 1986)

Elementos dos Balanço	Pré-urbano %	Urbano %
Evapotranspiração	40	25
Escoamento superficial	10	43
Escoamento subterrâneo	50	32
total do escoamento	60	75

Yoshimoto e Suetsugi (1990) apresentaram resultados do aumento da urbanização numa bacia na vizinhança de Tóquio ao longo de um período longo. Na figura 2.3 pode-se observar a variação do tempo de concentração, área impermeável e hidrograma ao longo dos anos de desenvolvimento da bacia.

O impacto quantitativo sobre a vazão máxima foi estimado para uma bacia de 1 mi² por Leopold (1968). O referido autor estabeleceu o aumento da vazão média máxima de cheia com base no aumento da percentagem de área impermeável e de condutos, apresentado na figura 2.4. Pode-se observar dessa figura que o aumento da vazão máxima de uma bacia urbanizada pode chegar, para valores limites superiores, a seis vezes a vazão máxima natural.

Para avaliar o impacto da urbanização na Região Metropolitana de Curitiba, Tucci (1997) utilizou os dados de bacias rurais e urbanas. Na figura 2.5 é apresentada a relação entre a vazão média de enchente e a área da bacia para postos localizados no rio Iguaçu e seus afluentes. Nessa figura, o ponto que se distancia da tendência, na parte superior, se refere a bacia do rio Belém, com 42 km², 100% urbanizada, com cerca de 60% de áreas impermeáveis. Os dois pontos um pouco acima da reta são de duas outras bacias (Palmital, 7% e Atuba, 15% de áreas impermeáveis), que estão em processo de urbanização.

Nas demais bacias, pode-se considerar desprezível o nível da urbanização, se comparado com a bacia total. Utilizando a função ajustada com base nos rios não urbanizados, pode-se estimar qual seria a vazão média de cheia para o rio Belém, em condições de pré-desenvolvimento. A relação entre a vazão urbanizada e de pré-desenvolvimento é de 6 vezes.

2.3 Impacto Ambiental sobre o ecossistema aquático

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

Aumento da Temperatura

As superfícies impermeáveis absorvem parte da energia solar aumentando a temperatura ambiente, produzindo *ilhas de calor* na parte central dos centros urbanos, onde predomina o concreto e o asfalto. O asfalto, devido a sua cor, absorve mais energia devido a radiação solar do que as superfícies naturais e o concreto, a medida que a sua superfície envelhece tende a escurecer e aumentar a absorção de radiação solar.

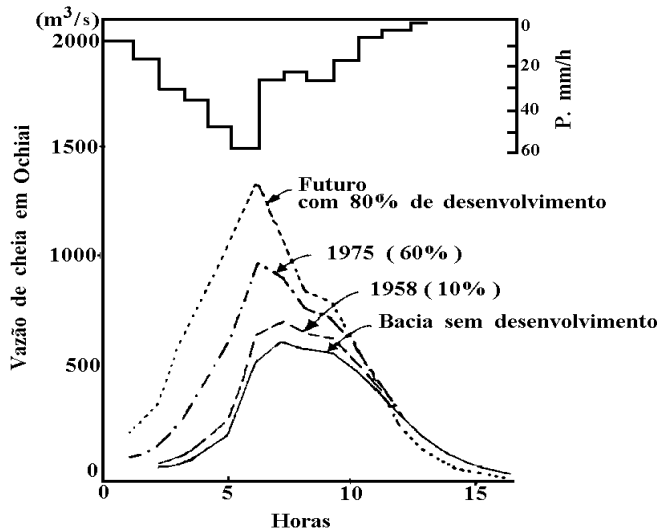
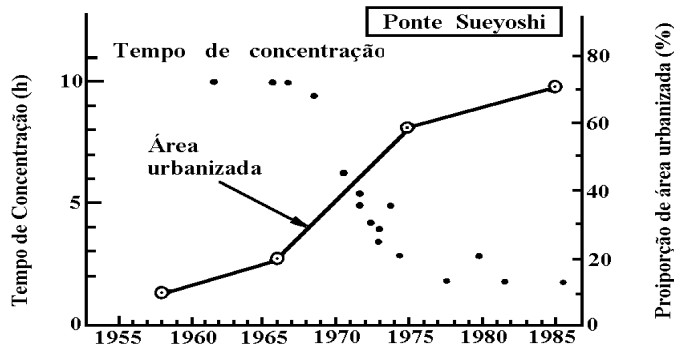


Figura 2.3 Resultados da evolução urbana na bacia Tsurumi (Yoshimoto e Suetsugi, 1990)

O aumento da absorção de radiação solar por parte da superfície aumenta a emissão de radiação térmica de volta para o ambiente, gerando o calor. O aumento de temperatura também cria condições de movimento de ar ascendente que pode criar de aumento de precipitação. Silveira (1997) mostra que a parte central de Porto Alegre apresenta maior índice pluviométrico que a sua periferia, atribuindo essa tendência a urbanização. Como na área urbana as precipitações críticas são as mais intensas de baixa duração, essas condições contribuem para agravar as enchentes urbanas.

Aumento de Sedimentos e Material Sólido

Durante o desenvolvimento urbano, o aumento dos sedimentos produzidos pela bacia hidrográfica é significativo, devido às construções, limpeza de terrenos para novos loteamentos, construção de ruas, avenidas e rodovias entre outras causas. Na figura 2.6 pode-se observar a tendência de produção de sedimentos de uma bacia nos seus diferentes estágios de desenvolvimento.

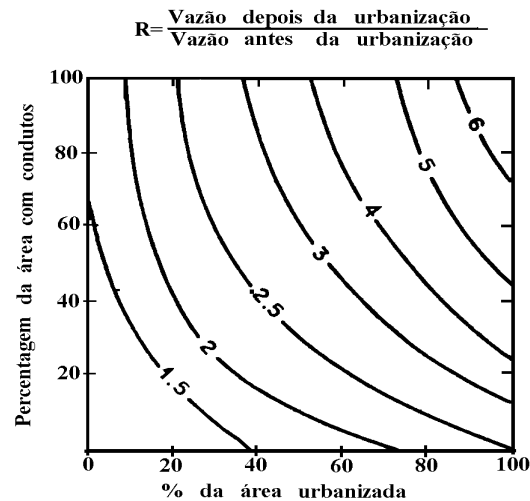


Figura 2.4 Efeito da urbanização sobre a vazão média de enchente numa área de 1 mi² (Leopold, 1968)

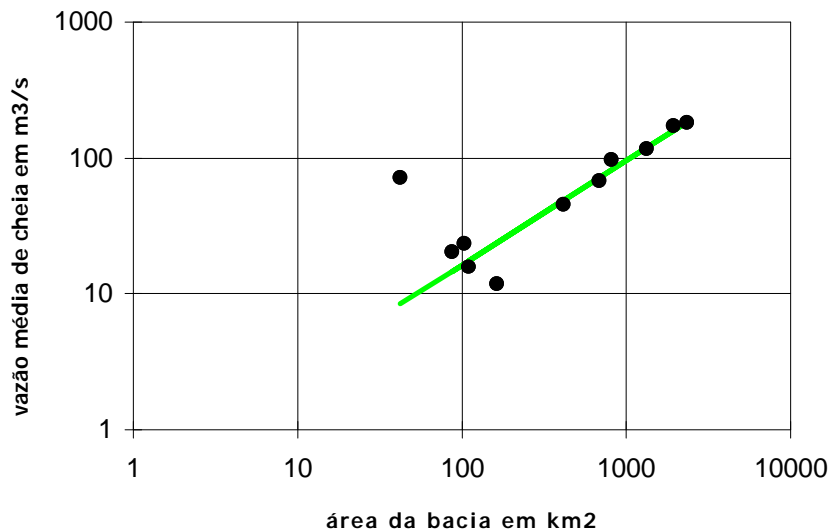


Figura 2.5 Vazão média de enchente, \bar{Q} função da área das bacias para postos na Região Metropolitana de Curitiba.

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

1. assoreamento da drenagem, com redução da capacidade de escoamento de condutos, rios e lagos urbanos. A lagoa da Pampulha é um exemplo de um lago urbano que tem sido assoreado. O arroio Dilúvio em Porto Alegre, devido a sua largura e pequena profundidade, durante as estiagens, tem depositado no canal a produção de sedimentos da bacia e criado vegetação, reduzindo a capacidade de escoamento durante as enchentes;
2. transporte de poluente agregado ao sedimento, que contaminam as águas pluviais

A medida que a bacia é urbanizada, e a densificação consolidada, a produção de sedimentos pode reduzir (figura 2.7), mas um problema ainda maior tende a se agravar, que é a produção de lixo. O lixo obstrui ainda mais a drenagem e cria condições ambientais ainda piores. Esse problema somente é minimizado com adequada freqüência da coleta e educação da população com multas pesadas.

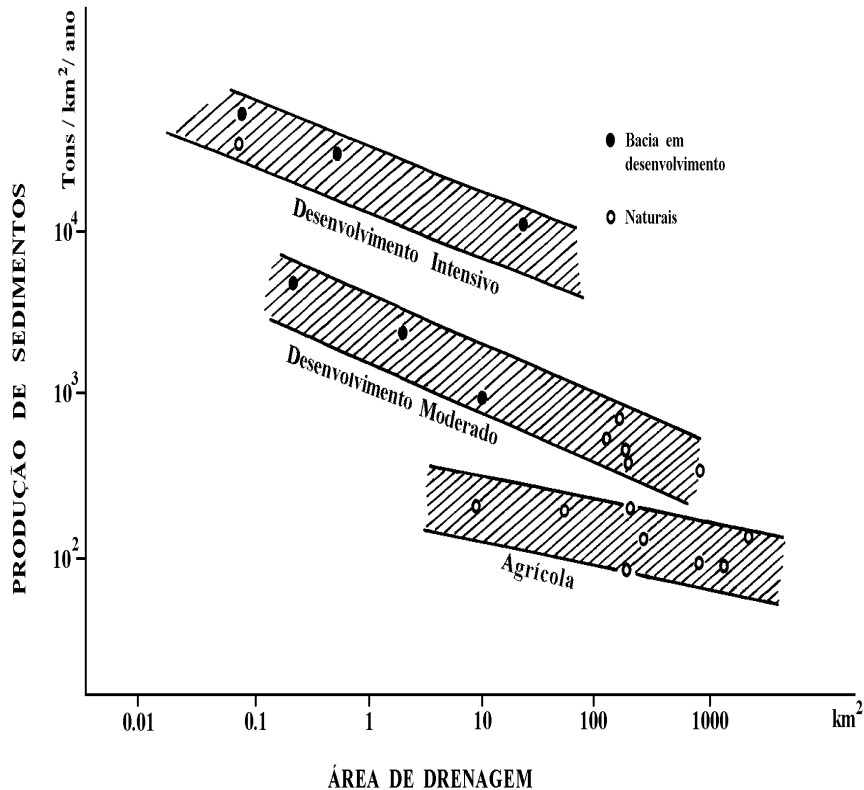


Figura 2.6 Relação entre área de drenagem, produção de sedimentos e atividade de construção (Wolman et al., 1967)

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.

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

A qualidade da água da rede de pluviais depende de vários fatores: da limpeza urbana e sua freqüência, da intensidade da precipitação e sua distribuição temporal e espacial, da época do ano e do tipo de uso da área urbana. Os principais indicadores da qualidade da água são os parâmetros que caracterizam a poluição orgânica e a quantidade de metais. Na tabela 2.2 são apresentados os valores dos parâmetros típicos medidos para algumas cidades.

Contaminação de aquíferos

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

1. 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 essas áreas com baixa permeabilidade. Os efeitos da contaminação nas águas subterrâneas devem ser examinados quando da escolha do local do aterro;

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

Tabela 2.2 Valores médios de parâmetros de qualidade da água de pluviais em mg/l

Parâmetro	Durham	Cincinnati	Tulsa (3)	P. Alegre	APWA (5)	
	(1)	(2)		(4)	Mínimo	máximo
DBO		19	11,8	31,8	1	700
Sólidos totais	1440		545	1523	450	14.600
PH		7,5	7,4	7,2		
Coliformes (NMP/100 ml)	23.000		18.000	$1,5 \times 10^7$	55	$11,2 \times 10^7$
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)

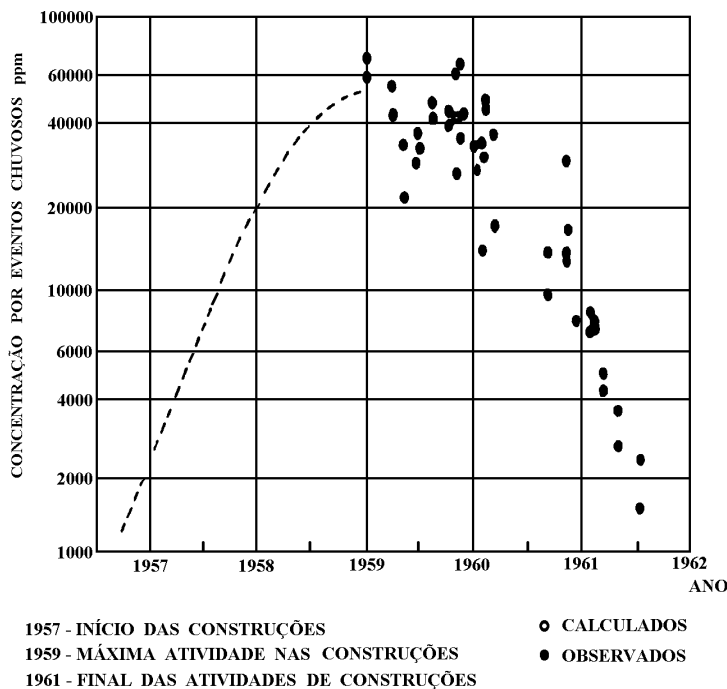


Figura 2.7 Variação da produção de sedimentos em decorrência do desenvolvimento urbano (Dawdy, 1967)

2.4 Enchentes em áreas ribeirinhas

As cidades, no passado, localizavam-se próximas a rios de médio e grande porte, para uso do transporte fluvial. A parcela do leito maior ocupada pela população sempre dependeu da memória dos habitantes e da frequência com que as enchentes ocorriam. Uma seqüência de anos sem inundações é motivo para que a sociedade pressione, para ocupar o leito maior do rio.

Na cidade de Blumenau existem registros de cotas de inundações que atingem o leito maior desde 1852. No período de 1912 a 1982 (71 anos), não ocorreu nenhuma enchente com cota superior a 13,00 m. Nos anos mencionados a seguir ocorreram cotas muito superiores a mencionada: em 1852 16,50m, em 1880 17,10m, em 1911 16,90m - 71 anos - 1983 15,34m e em 1984 15,50m. No período de baixas enchentes, houve grande ocupação do vale de inundação, o que resultou em significativos prejuízos com a enchente de 1983, representando 16% do PIB da época de Santa Catarina. A Cia. Hering, fundada no ano da maior enchente, 1880, manteve na memória o nível dessa enchente (17,10 m), sempre buscou espaços em cotas acima da mencionada, e não sofreu com as inundações posteriores. As informações sobre as enchentes existem, mas é necessário utilizá-la tecnicamente no planejamento da cidade.

Outro exemplo é a cidade de Porto Alegre. A grande enchente deste século foi em 1941, e atingiu grande parte do centro da cidade e algumas áreas ribeirinhas. Em 1967, ocorreu uma enchente de menor porte, mas, depois dessa data, não houve nenhuma cheia importante. Na década de 70 foi construído um sistema de diques de proteção para a cidade. A necessidade desse sistema de proteção vem sendo questionada por parte significativa da população porque há muitos anos não ocorre nenhuma enchente que atinja a cota de proteção. Essa falsa idéia de segurança pode representar custos altos se a proteção for removida, como deseja parte da população.

Em algumas cidades onde a freqüência de inundação é alta, as áreas de risco são ocupadas por subhabitações, porque representam espaço urbano pertencente ao poder público ou desprezado economicamente pelo poder privado. A defesa civil é, constantemente, acionada para proteger essa parte da população. A questão com a qual o administrador municipal depara-se, nesse caso, é que, ao transferir essa população para uma área segura, outros se alojam no mesmo lugar, como resultado das dificuldades econômicas e das diferenças sociais.

Devido a tais impactos, a população pressiona seus dirigentes por soluções do tipo estrutural, como canalização, barragens, diques, etc. Essas obras, em geral, têm um custo que os municípios e, muitas vezes, os Estados, não têm condições de suportar. Até 1990, o DNOS - Departamento Nacional de Obras e Saneamento -, a nível federal, atendia parte desses problemas. Com a criação da Secretaria de Recursos Hídricos no governo atual provavelmente essa atribuição ficou com essa entidade, pois o artigo 21 da Constituição, esta expresso que "*competete à União*" e, no inciso 28, "*planejar e promover a defesa permanente contra as calamidades públicas, especialmente as secas e as inundações*".

As administrações estaduais, em geral, não estão preparadas técnica e financeiramente para planejar e controlar esses impactos, já que os recursos hídricos são, normalmente, tratados de forma setORIZADA (energia elétrica, abastecimento urbano e tratamento de esgoto, irrigação e navegação), sem que haja maior interação na administração e seu controle. A regulamentação do impacto ambiental envolve o controle da ação do homem sobre o meio ambiente e não a prevenção e controle de enchentes. Os municípios foram pressionados a estabelecerem o Plano Diretor Urbano, o qual, na sua quase totalidade, não contempla os aspectos de prevenção contra a ocupação dos espaços de risco de enchentes. Observa-se que os Planos Diretores já tratam de aspectos de preservação ambiental do espaço, disseminados pela divulgação da proteção ambiental, mas, por falta de conhecimento e orientação, não se observa nenhum dispositivo de prevenção da ocupação das áreas de risco de enchentes.

O prejuízo médio de inundação, nos Estados Unidos, chegou a cerca de 7 bilhões de dólares anuais (estimativa de 1983, Hudlow et al., apud NRC, 1991). No Brasil, são raros os estudos que quantificam esse impacto. JICA (1986) estimou em 7% do valor de todas as propriedades de Blumenau o custo médio anual de enchentes para essa cidade e em 22 milhões de dólares para todo o Vale do Itajaí. O prejuízo previsto para uma cheia de 50 anos foi de 250 milhões de dólares.

As medidas de controle de inundações podem ser classificadas em **estruturais, quando o homem modifica o rio, e em não-estruturais, quando o homem convive com o rio**. No primeiro caso, estão as medidas de controle através de obras hidráulicas, tais como barragens, diques e canalização, entre outras. No segundo caso, encontram-se medidas do tipo preventivo, tais como zoneamento de áreas de inundação, alerta e seguros. Evidentemente que as medidas estruturais envolvem custos maiores que as medidas não-estruturais.

As principais medidas de controle de enchentes não-estruturais são: zoneamento de

áreas de inundação, sistema de alerta ligado à defesa civil e seguros. O zoneamento é baseado no mapeamento das áreas de inundação dentro da delimitação da cheia de 100 anos ou a maior registrada. Dentro dessa faixa, são definidas áreas de acordo com o risco e com a capacidade hidráulica de interferir nas cotas de cheia a montante e a jusante. A regulamentação depende das características de escoamento, topografia e tipo de ocupação dessas faixas. O zoneamento é incorporado pelo Plano Diretor Urbano da cidade e regulamentado por legislação municipal específica ou pelo Código de Obras. Para as áreas já ocupadas, o zoneamento pode estabelecer um programa de transferência da população e/ou convivência com os eventos mais freqüentes. O sistema de alerta tem a função de prevenir com antecedência de curto prazo, reduzindo os prejuízos, pela remoção, dentro da antecipação permitida. Além disso, o sistema de alerta é fundamental para os eventos que atingem raramente as cotas maiores, quando as pessoas sentem-se seguras.

A solução ideal deve ser definida para cada caso em função das características do rio, do benefício da redução das enchentes e dos aspectos sociais de seu impacto. Certamente, para cada situação, medidas estruturais e não-estruturais podem ser combinadas para uma melhor solução. De qualquer forma, o processo de controle inicia pela regulamentação do uso do solo urbano, através de um plano diretor que contemple as enchentes.

Em 1936, nos Estados Unidos, foi aprovada uma legislação, a nível federal, sobre controle de enchentes, que identificava a natureza pública dos programas de redução de enchentes e caracterizava a implantação de medidas físicas ou estruturais como um meio de reduzir esses danos. Com isso, acelerou-se a ocupação das várzeas, o que resultou em aumento dos danos ocasionados pelas enchentes. Em 1966, o governo reconheceu que as medidas anteriores eram inadequadas, devido ao seu alto custo, e deu ênfase a medidas não-estruturais, principalmente ao programa de seguros. Nesse programa, toda obra financiada pelo governo e outras entidades particulares exige que o proprietário que ocupa a área de inundação pague um seguro de enchentes.

No Brasil, não existe nenhum programa sistemático de controle de enchentes que envolva seus diferentes aspectos. O que se observa são ações isoladas por parte de algumas cidades. Estrela, no Rio Grande do Sul, implementou, dentro de seu Plano Diretor, a legislação de zonas de uso especial, definidas pela restrição de ocupação e de construções abaixo de determinadas cotas, estabelecidas no zoneamento de inundação previamente elaborado (Rezende e Tucci, 1979). O município prevê, na legislação, a troca de área de inundação por índice de ocupação em zonas valorizadas, como uma forma de adquirir áreas de risco para uso público. O DAEE (1990), com o apoio de várias Associações ligadas a Recursos Naturais, desenvolveu recomendações para artigos da seção de Recursos Hídricos nas leis orgânicas dos municípios, onde, no art. 2, inciso IV, é prescrito que se deve " *proceder ao zoneamento das áreas sujeitas a riscos de inundações, ..*" e, no inciso VI, é recomendado o seguinte: " *implantar sistema de alerta e defesa civil, para garantir a saúde e segurança públicas, quando de eventos hidrológicos indesejáveis*".

Como se observa, não existe nenhum programa sistemático em qualquer nível para controle da ocupação das áreas de risco de inundação no Brasil. Há, apenas, poucas ações isoladas de alguns poucos profissionais. Em geral, o atendimento a enchente somente é realizado depois de sua ocorrência. A tendência é que o problema fique no esquecimento após cada enchente, retornando na seguinte. Isso se deve a vários fatores, entre os quais estão os seguintes:

- falta de conhecimento sobre controle de enchentes por parte dos planejadores urbanos;
- desorganização, a níveis federal e estadual, sobre controle de enchentes;
- pouca informação técnica sobre o assunto a nível de graduação na Engenharia;
- o desgaste político para o administrador público, resultante do controle não-estrutural (zoneamento), já que a população está sempre esperando uma obra hidráulica;
- falta de educação da população sobre controle de enchentes.

3. Mananciais Urbanos

Os mananciais urbanos são as fontes disponíveis de água no qual a população pode ser abastecida nas suas necessidades. O manancial deve possuir quantidade e qualidade de água adequada ao seu uso. O uso mais nobre é o consumo de água de água pela população ou denominado de consumo doméstico.

O desenvolvimento urbano a medida que aumenta envolve duas atividades conflitantes, aumento da demanda de água com qualidade e a degradação dos mananciais urbanos por contaminação dos resíduos urbanos e industriais.

A tendência do desenvolvimento urbano é o de contaminar a rede de escoamento superficial com despejos de esgotos cloacais e pluviais inviabilizando o manancial e exigindo novos projetos de captação de áreas mas distantes, não-contaminadas, ou o uso de tratamento de água e esgoto mais intensivo, o que envolvem custos maiores

Nesse capítulo são destacados os aspectos da bacia hidrográfica que envolve o manancial de abastecimento já que no capítulo xx são abordados os aspectos referente ao abastecimento: adução, tratamento e distribuição e; esgoto: coleta, tratamento e despejo, além do lixo urbano.

3.1 Caracterização dos mananciais urbanos

Os principais mananciais de suprimento de água de uma população são:

- águas superficiais e;
- águas subterrâneas.

Águas superficiais são encontradas na rede de rios da bacia hidrográfica onde a população se desenvolve. Uma seção de um rio define a sua *bacia hidrográfica*. Essa bacia é a área definida pela topografia superficial em que, a chuva ali precipitada, potencialmente contribui com escoamento pela seção que a define. A vazão de um rio varia muito ao longo do ano, portanto é necessário conhecer essa variabilidade para melhor definir a disponibilidade natural do rio no atendimento da demanda.

A disponibilidade hídrica depende da capacidade de regularização natural do rio ao longo do ano. Poderá existir um parcela do ano em que o rio não atenderá a demanda sendo necessário regularizar a vazão através de um reservatório. A capacidade máxima de regularização de um reservatório é a vazão média de longo período da bacia, estimada pela média das médias anuais.

A disponibilidade hídrica de uma bacia é avaliada com base na série hidrológica de vazões afluentes através da sua distribuição estatística temporal. Essas vazões dependem das características da precipitação, evapotranspiração (total, variabilidade temporal e espacial) e da superfície do solo, que são os condicionantes naturais.

As funções estatísticas hidrológicas mais utilizadas para avaliação da disponibilidade hídrica são a *curva de permanência* e a *curva de regularização*. A curva de permanência relaciona a probabilidade de que uma vazão seja maior ou igual durante o ano (ou do período da série). Na figura 3.1, a vazão de Q_{75} indica que no rio 75% da vazões são maiores ou iguais a esse valor. A curva de regularização relaciona vazão, volume necessário para regularizar a referida vazão e o nível de probabilidade da relação (figura 3.2).

A demanda urbana usualmente pode ser atendida por pequenas bacias hidrográficas. Na região Sul e Sudeste do Brasil as pequenas bacias ($< 500 \text{ km}^2$) têm vazão específica entre 15 e 25 l/s.km^2 . A demanda usual de cidades médias e grande é da ordem de 200 l/ha.dia . Dessa forma, considerando um valor médio para o intervalo acima e que seja possível regularizar 70% da média, 1 km^2 poderia abastecer cerca de 6.000 pessoas. Quando o atendimento da demanda é realizado á partir de grandes mananciais o risco de atendimento quanto a quantidade é muito pequeno e pode ser realizado usualmente sem regularização.

Águas subterrâneas: a água subterrânea é a maior reserva de água doce do globo. Os aquíferos, onde ficam esses reservatórios podem ser confinados ou não confinados. Os primeiros, devido a formação geológica, possuem pressão superior a atmosférica e são alimentados por recargas em cotas superiores ao ponto de captação. Nos aquíferos não-confinados a água não está sob pressão e pode ser alimentada pelo fluxo local (da mesma

forma que pode ser contaminada). Para maiores detalhes consulte o capítulo xxx. A grande variabilidade das condições de solo e geologia fazem com que a capacidade de armazenamento nas águas subterrâneas dependa dessas condições quanto a sua exploração para atendimento do abastecimento.

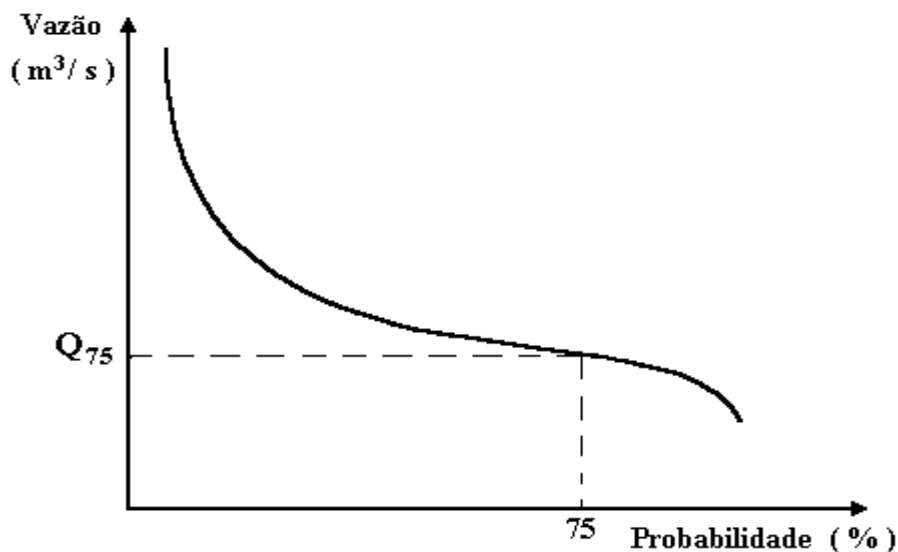


Figura 3.1 Curva de permanência de vazões

Por exemplo, no Rio Grande do Sul na província hidrogeológica do *Planalto* existe 80% de chance que a vazão de um poço seja maior que 2,2 m³/h, enquanto que na província hidrogeológica do *Botucatu Sotoposto ao Basalto a Leste* essa vazão é 6,7 m³/h. No primeiro caso seria possível atender 264 pessoas por dia e no segundo 804. Existem regiões onde o subsolo é composto apenas por rochas, onde a água escoar apenas pelas fraturas e a disponibilidade é muito baixa.

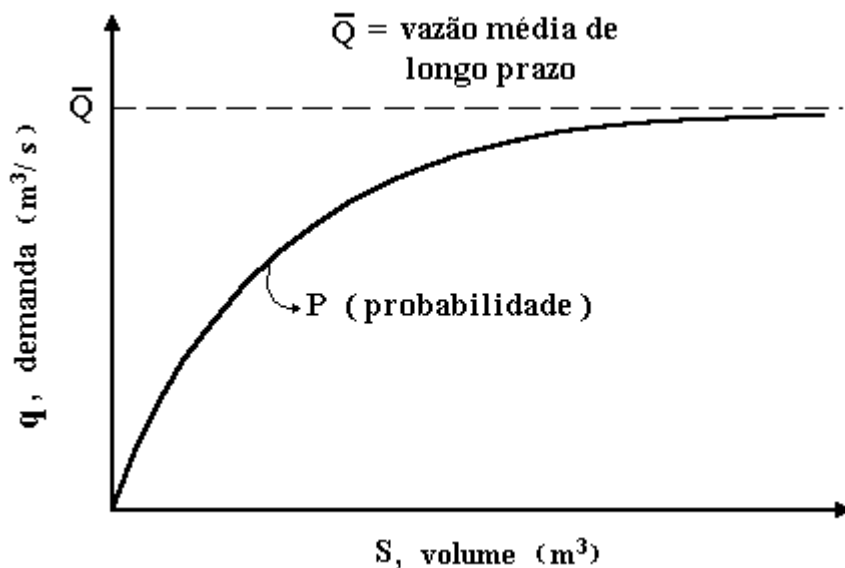


Figura 3.2 Curva de Regularização

A vantagem do manancial subterrâneo tem sido a capacidade de atendimento distribuído através de poços, no entanto essa alternativa não tem sido usual no Brasil para o atendimento a grandes comunidades devido a demanda alta.

Usualmente o abastecimento através de água subterrânea tem sido realizado para comunidades menores e distribuídas espacialmente. Essas condições dependem da capacidade de exploração das águas subterrâneas e da contaminação dos aquíferos.

3.2 Contaminação dos mananciais

A contaminação das fontes de mananciais ocorrem devido ao desenvolvimento urbano e rural através do seguinte:

Esgotos domésticos e industriais: principal fonte de contaminação dos mananciais urbanos são os esgotos domésticos e industriais.

A contaminação das águas subterrâneas ocorre principalmente devido ao seguinte:

1. desenvolvimento da maioria das cidade é realizado com uso de fossa séptica que contamina o lençol freático, portanto a tendência é de que as águas subterrâneas não-confinadas sejam contaminadas.
2. Contaminação dos aquíferos confinados, que potencialmente devem possuir melhor qualidade de água, através da perfuração de poços sem cuidados específicos para evitar a ligação entre as camadas do sub-solo;
3. a localização dos depósitos de lixo contamina o aquífero pela lixiviação dos períodos chuvosos. A localização desses depósitos deve ser cuidadosa, evitando-se áreas de recarga, e seu efluente controlado;
4. vazamento de rede de esgotos cloacais e pluviais tende a contaminar o aquífero com o despejo de poluentes proveniente dessas fontes;
5. Contaminação de áreas de recarga;
6. Uso de produtos fertilizantes e pesticidas na agricultura podem contaminar as águas subterrâneas após algumas colheitas;
7. Despejo de resíduos de cargas industriais sobre áreas de recarga para depuração de efluentes desse tipo tende a contaminar águas subterrâneas.

Existe a tendência de utilizar-se a terminologia de poços artesanais para poços profundos, mesmo que não-confinados, o que leva a falsa idéia de que estão protegidos contra contaminação. No entanto, mesmo em camadas muito profundas e baixa percolação, os mananciais podem ser contaminados após um período longo. Portanto, o monitoramento da qualidade das águas de poços deve ser realizado freqüentemente.

A contaminação das águas superficiais, caracterizada pelos rios urbanos ou que atravessam cidades ocorrem devido ao seguinte:

1. despejos de poluentes dos esgotos cloacais domésticos ou industriais;
2. despejos de esgotos pluviais agregados com lixo urbano;
3. escoamento superficial que drena áreas agrícolas tratadas com pesticidas ou outros compostos;
4. drenagem de água subterrânea contaminada que chega ao rio.

3.3 Proteção dos mananciais urbanos

Legislação

A Resolução n. 20 de 18/6/86 do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) classifica as águas doces, salobras e salinas do país. A classificação se baseia fundamentalmente no uso da água. Na tabela 3.1 são apresentadas as classes e usos e os condições quanto aos parâmetros de qualidade da água da classe 2 são apresentados na tabela 3.2.

A lei n. 8935 de 7/3/89 dispõe sobre os requisitos mínimos para águas provenientes de bacias de mananciais destinadas a abastecimento público. Estabelece que os requisitos mínimos deve ser seu enquadramento na Classe 2 e estabelece como atividades proibidas na bacia o seguinte:

- Industriais: fecularia de mandioca ou álcool, indústrias metalúrgicas que trabalhem com metais tóxicos, galvanoplastia, indústrias químicas em geral, matadouros, artefatos de aianto, processadoras de material radiativo;
- hospitalares: hospitais, sanatórios e leprosários;
- depósitos de lixo;
- parcelamento de solo de alta densidade: lotes, desmembramento, conjuntos habitacionais.

Tabela 3.1 Classificação segundo Normas do CONAMA

Classe	Uso
Especial	<ul style="list-style-type: none"> • abastecimento doméstico sem prévia ou com simples desinfecção • preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas
Classe 1	<ul style="list-style-type: none"> • abastecimento doméstico após tratamento simplificado • proteção das comunidades aquáticas; • recreação de contato primário (natação, esqui aquático e mergulho); • irrigação de hortaliças que são consumidas cruas ou de frutas que se desenvolvem rente ao solo ou que sejam ingeridas cruas sem remoção de películas • criação natural e/ou intensiva (aquicultura de espécimes destinadas à alimentação humana
Classe 2	<ul style="list-style-type: none"> • abastecimento doméstico, após tratamento convencional; • proteção das comunidades aquáticas; • recreação de contato primário (natação, esqui aquático e mergulho); • irrigação de hortaliças e plantas frutíferas; • criação natural e/ou intensiva (aquicultura de espécimes destinadas à alimentação humana
Classe 3	<ul style="list-style-type: none"> • abastecimento doméstico após tratamento convencional; • irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras; • dessedentação de animais
Classe 4	<ul style="list-style-type: none"> • navegação • harmonia paisagística • usos menos exigentes

Gerenciamento bacias de mananciais

As cidades que utilizam intensamente a água como fonte de vida e desenvolvimento devem ter um plano básico de controle e preservação de seus mananciais de suprimento dentro de um cenário atual, médio e longo prazo. A seguir descremos alguns dos elementos essenciais de gerenciamento dessas bacias.

Aspectos Institucionais: Para a maioria das cidades os mananciais representam bacias pequenas ou aquíferos de pequena extensão, onde a ação envolve o município ou no máximo o Estado. As exceções são as Regiões Metropolitanas onde a demanda geralmente exigindo grandes mananciais. O controle sobre a ocupação e a preservação dos mananciais é um processo que deverá cada vez mais ficar sob a responsabilidade dos municípios onde a própria ação predatória se inicia. Apenas nas bacias intermunicipais que a tendência será de controle estadual, do comitê de bacia ou mesmo do consórcio de municípios.

Planejamento e preservação de mananciais: Os estudos necessários ao planejamento e controle dos mananciais envolvem:

1. *seleção potenciais mananciais:* bacias ou aquíferos inseridos em bacias: considerando os custos dos aproveitamentos, ocupação das bacias e viabilidade de preservação são selecionados as principais alternativas de mananciais;

Tabela 3.2 Limites dos parâmetros de qualidade da água para classe 2

Parâmetro de Qualidade da água	Características limites
DBO ₅ a 20°C (mg/l)	5
OD (mg/l)	≥ 5 em qualquer amostra
Ph	6 a 9
Amônia (mg/l)	≤ 0,02
Arsênio (mg/l)	≤ 0,05
Benzeno (mg/l)	≤ 0,01
Cádmio (mg/l)	≤ 0,001
Cianetos (mg/l)	≤ 0,01
Chumbo (mg/l)	≤ 0,03
Cloretos (mg/l)	≤ 250
Cobre (mg/l)	≤ 0,02
Cromo Hex (mg/l)	≤ 0,05
índice de Fenóis (mg/l)	≤ 0,01
Fosfato Total (mg/l)	≤ 0,025
Ferro Solúvel (mg/l)	≤ 0,3
Mercurio (mg/l)	≤ 0,0002
Nitrato (mg/l)	≤ 10
Sólidos Dissolvidos Totais (mg/l)	≤ 500
Sulfetos (mg/l)	≤ 0,002
DDT (µg/l)	≤ 0,002
Aldrin (µg/l)	≤ 0,01
Paration (µg/l)	≤ 0,04
coliformes fecais /100ml	≤ 1000 ou pelo menos 80% de um mínimo de cinco amostras mensais colhidas em qualquer mês
cor mg Pt/l	≤ 75
Turbidez UNT	≤ 100
	ausência de corantes artificiais que não sejam removíveis por processos de coagulação, sedimentação e filtração convencionais
	ausência de materiais flutuantes, inclusive espumas não-naturais
	ausência de óleos e graxas
	ausência de substâncias que comuniquem gosto ou odor
	ausências de substâncias que formem depósitos objetáveis

2. *avaliação da disponibilidade dos mananciais* : os mananciais são quantificados quanto ao atendimento da demanda atual e diferentes cenários futuros do desenvolvimento da comunidade, verificando a necessidade de regularização e os custos envolvidos;
3. *ocupação da bacia e potenciais poluentes*: identificação dos usos atuais e propostos para as bacias dos mananciais, identificando fontes potenciais de poluentes com as cargas atuais e projetadas para os cenários;
4. *quantificação atual e potencial da qualidade da água dos mananciais*: com base

nas fontes atuais e potenciais é estimada a qualidade da água dos mananciais;

5. *seleção dos mananciais*: com base na qualidade potencial dos mananciais, no desenvolvimento urbano previsto, nos custos e na capacidade de controle da ocupação da bacia são selecionados os mananciais para a cidade;
6. *definição de programa de controle do uso do espaço e preservação da bacia*: um programa de conservação da bacia deve ser elaborado visando preservar as condições de qualidade e quantidade da água como fonte de manancial. Esse programa poderá conter: ocupação pública de áreas através de parques, incentivos com impostos de áreas preservadas, reflorestamentos, agricultura sem uso de defensivos químicos, entre outros;
7. *projeto de aproveitamento da água*: Desenvolvimento do projeto de aproveitamento do manancial dentro dos estágios de desenvolvimento e uso da comunidade;
8. *programa sistemático de monitoramento da qualidade da água dos mananciais selecionados*: Monitoramento da quantidade e da qualidade da água em locais estratégicos para acompanhamento de qualquer alteração que eventualmente possa ocorrer;
9. *mecanismos de controle institucionais da preservação das bacias mananciais*: legislação estadual ou municipal específica de preservação dos mananciais selecionados.
10. *controle do espaço*: o monitoramento do espaço da bacia é essencial devido ao grande número de invasões e loteamentos clandestinos que ocorrem nas cidades brasileiras. Esse processo somente é possível com um forte investimento na educação ambiental da população do município.

4. Controle do Impacto da Urbanização

4.1 Princípios

Os princípios básicos do controle de enchentes tanto devido as enchentes naturais da várzea como à urbanização são os seguintes (Tucci e Genz, 1995):

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

As medidas de controle no conjunto da bacia : O controle de enchentes envolve medidas estruturais e não-estruturais, que dificilmente estão desassociadas. As medidas estruturais envolvem custos que a maioria das cidades não possui recursos para enfrentar. Além disso, resolvem somente problemas específicos e localizados, sem criar um programa para toda a bacia ou região urbana de interesse. Isto não significa que este tipo de medida é totalmente descartável. A política de controle de enchentes certamente poderá chegar a soluções estruturais para alguns locais, mas dentro da visão de conjunto de toda a bacia, onde as mesmas estão racionalmente integrada com 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, Legislação Municipal/Estadual e Manual de Drenagem. O primeiro estabelece as linhas principais, a legislação controla e o Manual orienta.

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

O critério fundamental de não ampliar a cheia natural : A cheia natural não deve ser ampliada pelos que ocupam a bacia, seja num simples loteamento, como nas obras existentes no ambiente urbano. Isso se aplica a um simples aterro urbano, a construção de pontes, rodovias, e fundamentalmente a impermeabilização dos loteamentos. O princípio é que, de cada usuário urbano, não deve ampliar a cheia natural.

O controle permanente: O controle de enchentes é um processo permanente, não basta estabelecer regulamentos e construir obras de proteção, é necessário estar atento as potenciais violações da legislação e a expansão da ocupação do solo das áreas de risco. Portanto, recomenda-se que:

- nenhum espaço de risco deve ser desapropriado se não houver uma imediata ocupação pública que evite a sua invasão;
- a comunidade deve ter uma participação nos anseios, nos planos, na sua execução e na contínua obediência das medidas de controle de enchentes.

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

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

4.2 Controle de cheias nas áreas ribeirinhas

As medidas para controle da inundação podem ser do tipo estrutural e não-estrutural. As medidas estruturais são aquelas que *modificam o sistema fluvial* evitando os prejuízos decorrentes das enchentes, enquanto que as medidas não-estruturais são aquelas em que os prejuízos são reduzidos *pela melhor convivência da população com as enchentes*. O controle de enchentes pode ser obtido pela combinação de medidas desse tipo ou isoladamente por uma delas.

4.2.1 Medidas Estruturais

As medidas estruturais são obras de engenharia implementadas para reduzir o risco das 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 enchentes 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): (i) aceleram o escoamento: construção de diques e polders, aumento da capacidade de descarga dos rios e corte de meandros; (ii) retardam o escoamento: Reservatórios e as bacias de amortecimento; (iii) desvio do escoamento: são obras como canais e desvios.

Estas medidas são as que vem sendo utilizada na engenharia com custos muito altos. As mesmas não são apresentadas nesse texto já que podem ser encontradas em vários livros de hidráulica.

4.2.2 Medidas Não-estruturais

As medidas não-estruturais não são projetadas para dar uma proteção completa. Isto exigiria a proteção contra a maior enchente possível. Esta proteção é fisicamente e economicamente inviável na maioria das situações. A medida estrutural pode criar uma falsa sensação de segurança, permitindo a ampliação da ocupação das áreas inundáveis, que futuramente podem resultar em danos significativos. As medidas não-estruturais, em conjunto com as anteriores ou sem essas podem minimizar significativamente os prejuízos com um custo menor. O custo de proteção de uma área inundada por medidas estruturais geralmente é superior ao de medidas não-estruturais.

As principais medidas não-estruturais são as seguintes:

- instalação de vedação temporária ou permanente nas aberturas das estruturas;
- elevação de estruturas existentes;
- construção de novas estruturas sob pilotis;
- construção de pequenas paredes ou diques circundando a estrutura;
- relocação ou proteção de artigos que possam ser danificados dentro de uma estrutura existente;
 - uso de material resistente à água;
 - regulamentação da ocupação da área de inundação por cercamento;
 - regulamentação do loteamento e código de construção;
 - compra de áreas de inundação;
 - seguro de inundação;
 - previsão de cheia e plano de evacuação;
 - incentivos fiscais para uso prudente da área de inundação;
 - política de desenvolvimento adequada ao município, evitando prejuízos da inundação.

Zoneamento

Para definição do zoneamento é necessário preparar um *mapa de inundação*. O mapa

de inundação é composto de linhas que indicam as áreas atingidas para um determinado risco de inundação. Para construção do mapa de inundação para planejamento da ocupação pode-se utilizar a seguinte seqüência:

1. As cotas para vários tempos de retorno na seção do rio junto a cidade são determinadas com base na curva de probabilidade de vazão máxima e transformadas em cotas através da curva de descarga;
2. Para cada tempo de retorno (vazão) é determinada a linha de água ao longo da cidade através de do cálculo de remanso;
3. escolha o tempo de retorno;
4. determine para cada seção do posto fluviométrico a cota correspondente;
5. utilizando a declividade da linha de água determine os níveis das outras seções ao longo do eixo do rio dentro da cidade;
6. prolongue a linha da seção do rio, até encontrar a cota topográfica correspondente na margem;
7. os pontos marcados nas margens podem ser ligados, definindo a curva correspondente ao tempo de retorno.

O zoneamento é a definição de um conjunto de regras para ocupação das áreas de maior risco de inundação, visando à minimização futura das perdas materiais e humanas em face das cheias.

O Water Resources Council (1971) definiu zoneamento por “ Zoneamento envolve a divisão de unidades governamentais em distritos e a regulamentação dentro desses distritos de: (a) usos de estruturas e da terra; (b) altura e volume das estruturas; (c) o tamanho e densidade de uso.”

O risco de ocorrência de inundação varia com a respectiva cota da várzea, como foi apresentado anteriormente. A delimitação dos distritos do zoneamento depende das cotas altimétricas. O rio possui um ou mais leitos. O leito menor corresponde a seção do escoamento em regime de níveis médios ou de cheias pequenas. Esse leito menor costuma ser definido naturalmente pela média das enchentes (tempo de retorno de cerca de 2 anos). O leito maior é a várzea que sofre inundações com risco superior a 2 anos e tem sido delimitada na cota superior pela cheia de 100 anos.

Para o zoneamento, a seção do rio pode ser dividida em três partes principais:

1. **zona de passagem da enchente:** Essa parte da seção funciona hidraulicamente e permite o escoamento da enchente. Qualquer construção nessa área reduzirá a área de escoamento, elevando os níveis a montante dessa seção. Deve-se deixar essa faixa desobstruída;
2. **zona com restrições:** essa é a área restante da superfície inundável que deve ser regulamentada. Essa zona fica inundada mas, devido às pequenas profundidades e baixas velocidades, não contribuem muito para o escoamento;
3. **zona de baixo risco:** pequena probabilidade de inundar, mas necessita regulamentação para a convivência da população com as enchentes, na eventualidade dessas cotas serem atingidas.

Previsão em tempo real

O controle de enchentes através de zoneamento e depois com a existência de diques **exige a previsão em tempo real dos níveis para a cidade.**

Um sistema de alerta de previsão tempo real envolve os seguintes aspectos:

1. sistema de coleta e transmissão de informações;
2. sistema de processamento de informações;
3. modelo de previsão de vazões e níveis;
4. procedimentos para acompanhamento e transferência de informações para a

Defesa Civil e Sociedade;

5. planejamento das situações de emergência através Defesa Civil.

Os três primeiros itens envolve o estabelecimento de procedimentos técnicos específicos e a modelagem do local de interesse. Normalmente estas atividades são desenvolvidas por entidades que operam a rede de alerta estadual.

Os dois itens seguintes envolvem a transferência dos níveis para população através de diferentes condições que podem ser as seguintes

1. **nível de acompanhamento:** nível a partir do qual, existe um acompanhamento por parte dos técnicos, da evolução da enchente. Nesse momento, é alertada a Defesa Civil da eventualidade da chegada de uma enchente. Inicia-se nesse momento a previsão de níveis em tempo real;
2. **nível de alerta:** a partir do qual as entidades prevêm que a cota inferior e prévia a que pode produzir prejuízos será atingida dentro de um horizonte de tempo da previsão. A Defesa Civil, Administrações municipais passam a receber regularmente as previsões para a cidade;
3. **nível de emergência:** quando é previsto que dentro do tempo de previsão será atingida a cota que produz prejuízos. A população passa a receber as informações. Essas informações são o nível atual e previsto com antecedência e o intervalo provável dos erros, obtidos dos modelos;

As ações de planejamento envolvem:

Emergência: A sociedade local, através da Prefeitura deve organizar a Defesa Civil para os atendimentos de emergência. Esse planejamento deve estabelecer procedimentos de evacuação e convivência com a inundação para diferentes partes da cidade, de acordo com faixas de cotas.

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

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

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

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

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, enquanto que será 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.

4.3 Controle de Enchentes em áreas urbanizadas

4.3.1 Quantificação do impacto da urbanização sobre o escoamento

Para que se possa efetivamente planejar o impacto do desenvolvimento urbano é necessário quantificar os impactos decorrentes das alterações da bacia hidrográfica.

A avaliação do impacto da urbanização sobre o escoamento pode ser realizada pelo método racional a nível de *microbacia urbana* (alguns hectares), dentro do conceito de vazão de projeto (Bidone e Tucci, 1995; Tucci e Genz, 1995).

Para a *macrobacia urbana* existem dificuldades adicionais que são as seguintes: (i) como a bacia se desenvolverá no futuro?; (ii) considerando que o processo de ocupação normalmente ocorre de jusante para montante, como quantificar futuros cenários nos projetos e controle da drenagem?

Os métodos utilizados podem ser os seguintes:

(i) métodos estatísticos: esses métodos utilizam-se de dados não-homogêneos de vazão para estimar o impacto da urbanização. Usualmente necessitam de uma grande quantidade de informações em diferentes sub-bacias. A metodologia se baseia na regionalização de vazões máximas (NERC 1975), utilizando como indicador da urbanização a parcela urbanizada. Esse tipo de procedimento requer informações que na maioria das bacias não existem. Tucci (1996) utilizou regionalizou a curva de vazão média das bacias rurais para estimar a vazão média de enchente natural da bacia do rio Belém e comparou com a vazão média de cheia atual (figura 2.5).

(ii) modelos matemáticos que determinam a vazão máxima com base na precipitação, já que dificilmente existem dados hidrológicos monitorados ao longo do tempo que permitam determinar, para diferentes tempos de retorno, a diferença entre os cenários de pré-desenvolvimento e depois de urbanizada, principalmente em bacias urbanas brasileiras.

O cálculo é realizado com base no risco (tempo de retorno) da precipitação, o que não é necessariamente o mesmo risco da vazão. No entanto, as técnicas de determinação da distribuição da precipitação e definição dos parâmetros buscam maximizar as condições críticas das cheias (Tucci, 1995), buscando compensar parte dessas incertezas.

Para utilizar os modelos hidrológicos é necessário a estimativa: (i) das áreas impermeáveis e a rede de drenagem da bacia para o cenário de futura urbanização. (ii) estimativa dos parâmetros dos modelos com base em dados de bacias brasileiras.

O planejamento urbano é implementado através do plano diretor da cidade e a densidade habitacional é o parâmetro de planejamento para cada subdivisão da cidade (e bacia). Essa densidade é implementada através das seguintes restrições: índice de ocupação e índice de aproveitamento. O primeiro estabelece a área ocupada em planta e o segundo se refere ao *solo criado* ou seja a relação entre a área construída e a área do terreno. Para transferir esses elementos para o modelo hidrológico, em macro-bacias urbanas, permitindo a estimativa dos cenários de planejamento urbano é necessário converter densidade habitacional em áreas impermeáveis. Como no planejamento urbano não são especificados o arruamento e a distribuição das quadras, mas os condicionantes da ocupação, tornou-se necessário estabelecer a relação entre essas variáveis para as macro-bacias.

SCS (1975) utilizou a área impermeável e o tempo de concentração da bacia como os indicadores da alteração urbana, para simular os dois cenários em macrobacias urbanas. Nesse modelo, os autores apresentam valores típicos de áreas impermeáveis, de acordo com o tipo de ocupação prevista (residencial, comercial e industrial). Para o tempo de concentração, são apresentados fatores de correção, de acordo com a área impermeável e a parcela da bacia com condutos pluviais.

Motta e Tucci (1984) estabeleceram duas curvas que relacionam área impermeável e densidade habitacional para a bacia do arroio Dilúvio em Porto Alegre. Tucci et al (1989) estabeleceram essa relação para a cidade de São Paulo com base em dados de 11 bacias urbanas e, recentemente, Campana e Tucci (1994) apresentaram essa relação com base nos dados de Curitiba, Porto Alegre e São Paulo. Na tabela 4.1 são apresentados os valores da

curva ajustada. Os dados utilizados não fazem distinção entre o tipo de concentração urbana, já que abordavam áreas com pelo menos 2 km². Essa tabela retrata bacias com predominância da ocupação residencial e declividade média. Pode-se observar da tabela 4.1, que o valor máximo encontra-se em 66,7%. O valor adotado pelo SCS (1975) para áreas residenciais com lotes menores que 500 m², típico da ocupação urbana brasileira, é de 65%.

Tabela 4.1 Densidade habitacional e área impermeável
(adaptado de Campana e Tucci, 1994)

Densidade habitacional (hab/ha)	Área Impermeável (%)
25	11,3
50	23,3
75	36,0
100	50,0
120	58,7
150	64,7
200	66,7

Para o tempo de concentração, Motta e Tucci (1984) e Tucci et al (1989), utilizaram um fator de correção, baseado no comprimento do canal entre bacias urbanizadas e rurais. Campana (1995) utilizou geoprocessamento para estimar a relação entre o tempo de concentração de uma bacia urbana e rural, através de uma hipotética malha urbana.

Com base nesses elementos, é possível estimar a alteração do hidrograma devido ao cenário futuro de desenvolvimento urbano, previsto nos Planos Diretores de Planejamento Urbano para macrobacias urbanas.

Estes métodos quantitativos são essenciais para estimar as vazões máximas e o volumes para os cenários atuais e futuros do desenvolvimento urbano e avaliar as medidas de controle.

4.3.2 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:** normalmente, cria espaço para que a água tenha maior infiltração e percolação no solo, utilizando o armazenamento e o fluxo subterrâneo para retardar o escoamento superficial;
- **armazenamento:** através de reservatórios, que podem ser de tamanho adequado para uso numa residência (1-3 m) até terem porte para a macrodrenagem urbana (alguns milhares de m³). O efeito do reservatório urbano é o de reter parte do volume do escoamento superficial, reduzindo o seu pico e distribuindo a vazão no tempo;
- **aumento da eficiência do escoamento:** através de condutos e canais, drenando áreas inundadas. Esse tipo de solução tende a transferir enchentes de uma área para outra, mas pode ser benéfico quando utilizado em conjunto com reservatórios de detenção;
- **diques e estações de bombeamento:** solução tradicional de controle localizado de enchentes em áreas urbanas que não possuam espaço para amortecimento da

inundação.

Medidas de controle distribuído

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

- o aumento de áreas de infiltração e percolação e
- o armazenamento temporário em reservatórios residenciais ou telhados.

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

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

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

Instalações comerciais, industriais e esportivas que impermeabilizam o solo numa proporção significativa devem ser responsabilizadas pela distribuição de volume, evitando que aumente a vazão máxima a jusante; caso contrário, reduz-se a capacidade dos condutos de transportar a cheia, provocando inundação. Em geral, o agente causador do acréscimo da vazão fica a montante do local de sua consequência. Sendo assim, se não houver regulamentação e educação sobre o assunto, os impactos se multiplicar-se-ão, como já acontece em grande parte das cidades brasileiras.

Infiltração e percolação: Os sistemas urbanos, como mencionado anteriormente, criam superfícies impermeáveis que não existiam na bacia hidrográfica, gerando impactos de aumento do escoamento, que é transportado através de condutos e canais. Esses dispositivos hidráulicos apresentam custos diretamente relacionados com a vazão máxima, aumentada 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, o mais próximos possível, às condições naturais.

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

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

A *infiltração* é o processo de transferência do fluxo da superfície para o interior do solo. A *capacidade de infiltração* depende das características do solo e do estado de umidade da camada superior do solo, denominada também de zona não-saturada. A velocidade do fluxo de água através da camada não-saturada do solo até o lençol freático (zona saturada) é denominado de *percolação*. A percolação também depende do estado de umidade da camada superior do solo e do tipo de solo. Determinados tipos de solos apresentam maiores dificuldades de percolação e pequeno volume de armazenamento, o que inviabiliza seu uso, já que poderão: (i) manter níveis de água altos por muito tempo na superfície; (ii) 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, essas áreas são gramados laterais, que recebem a precipitação de uma área permeável, como residência ou edifícios (figura 4.1). Durante precipitações intensas, essas áreas podem ficar submersas, se a sua capacidade for muito inferior à intensidade da precipitação. Caso a drenagem transporte muito material fino, a capacidade de infiltração pode ser reduzida, necessitando limpeza do plano para manter sua capacidade de funcionamento.

Valos de infiltração: esses são dispositivos de drenagem lateral, muitas vezes utilizados paralelos às ruas, estradas, estacionamentos e conjuntos habitacionais, entre outros (Figura 4.2). Esses valos concentram o fluxo das áreas adjacentes e criam condições para uma infiltração ao longo do seu comprimento. Após uma precipitação intensa, o nível sobe e, como a infiltração é mais lenta, mantém-se com água durante algum tempo. Portanto, o seu volume deve ser o suficiente para não ocorrer alagamento. Esse dispositivo funciona, na realidade, como um reservatório de detenção, à medida que a drenagem que escoar para o valo é superior à capacidade de infiltração. Nos períodos com pouca precipitação ou de estiagem, ele é mantido seco. Esse dispositivo permite, também, a redução da quantidade de poluição transportada a jusante.

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 4.3). De acordo com o solo, é necessário criar-se maiores condições de drenagem. Para o solo argiloso com menor percolação, é necessário drenar o dispositivo de saída. A principal dificuldade encontrada com o uso desse tipo de dispositivo é o entupimento dos espaços entre os elementos pelo material fino transportado, portanto é recomendável o uso de um filtro de material geotêxtil. De qualquer forma, é necessário a sua limpeza após algum tempo (Urbonas e Stahre, 1993).

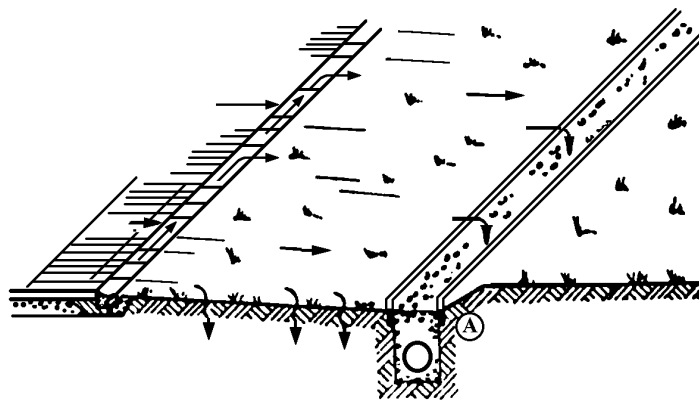


Figura 4.1 Planos de infiltração com valo de infiltração

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 4.4a, observa-se um filtro,

na parte superior da caixa, para evitar entupimento;

- *trincheiras ou valas permeáveis* que, no fundo, são um caso especial de bacia de percolação e consistem de uma caixa com cascalho e filtro por onde passa um conduto poroso ou perfurado (figura 4.4b);
- *meio fio permeável*: esse dispositivo é utilizado fora do lote ou dentro de condomínios, indústrias ou áreas comerciais (figura 4.4c).

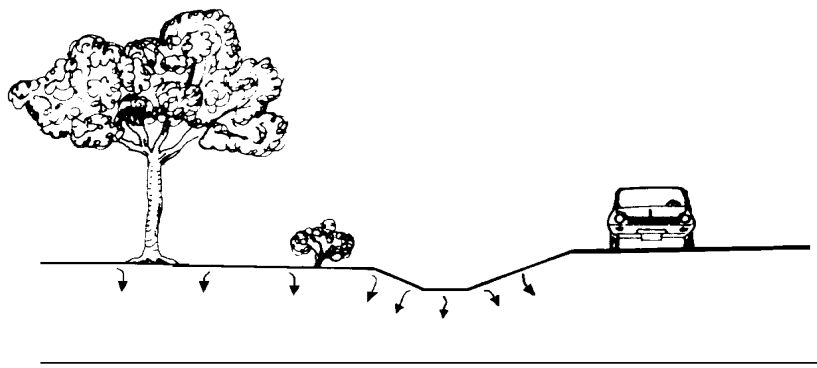


Figura 4.2 - Valos de infiltração (Urbonas e Stahre, 1993)

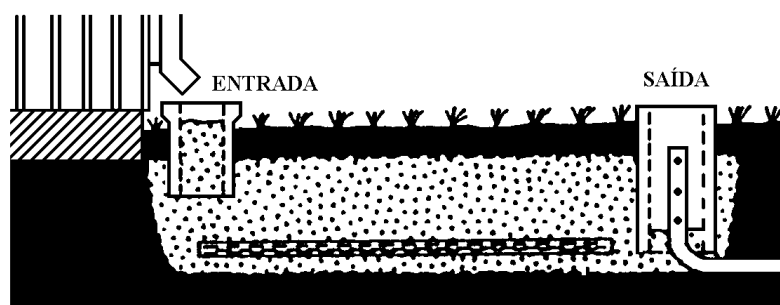


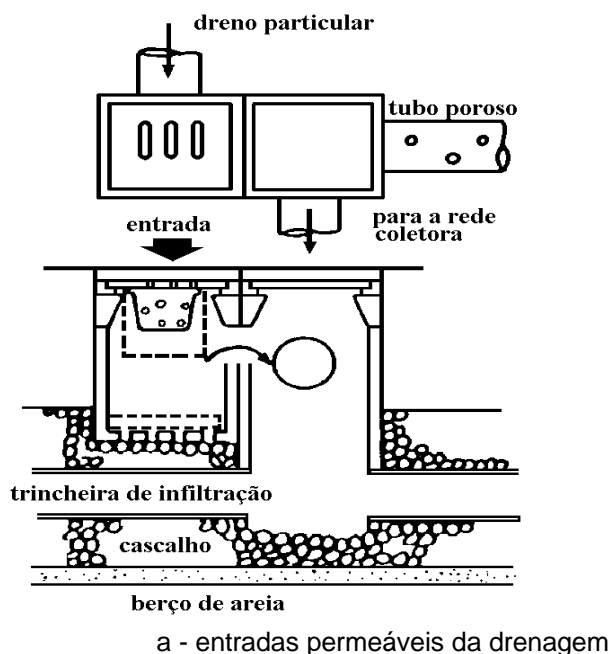
Figura 4.3 Exemplo de bacia de percolação (Holmstrand, 1984)

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.

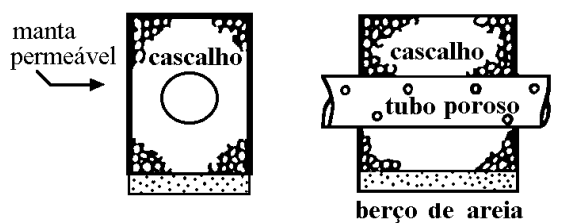
Esse tipo de pavimento pode ser de concreto ou de asfalto e é construído da mesma forma que os pavimentos tradicionais, com a diferença que o material fino é retirado da mistura. Além dessas superfícies tradicionais, existem os pavimentos construídos com módulos de blocos de concretos vazados.

Quando esses pavimentos são construídos para reter parte da drenagem, é necessário que sua base esteja, pelo menos, 1,2 m acima do lençol freático do período chuvoso. A base é drenada com canos perfurados espaçados de 3 a 8 m. O sistema de drenagem deve prever o esgotamento do volume existente na camada do solo num período de 6 a 12 horas (Urbonas e Stahre, 1993).

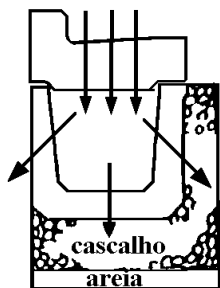
As vantagens desse tipo de controle podem ser as seguintes: redução do escoamento superficial previsto com relação a superfície impermeável; redução dos condutos da drenagem pluvial; redução de custos do sistema de drenagem pluvial e da lâmina de água de estacionamentos e passeios. As desvantagens são: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



a - entradas permeáveis da drenagem



b - trincheiras ou valas permeáveis



c - meio fio permeável

Figura 4.4 Dispositivos hidráulicos permeáveis (Fujita, 1984)

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

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

Lotes urbanos: o armazenamento no lote pode ser utilizado para amortecer o escoamento, em conjunto com outros usos, como abastecimento de água, irrigação de grama e lavagem de superfícies ou de automóveis. Na figura 4.5, é apresentado um reservatório desse

tipo.

Em regiões com pequena capacidade de distribuição de água, a precipitação 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 m^2 , com uma precipitação anual de 1500 mm , é possível obter-se 360 m^3 por ano, que, distribuídos, representam cerca de 15 m^3 por mês, o suficiente para abastecer uma residência. Evidentemente que, à medida em que o reservatório é mantido com água, reduz-se sua capacidade de amortecimento.

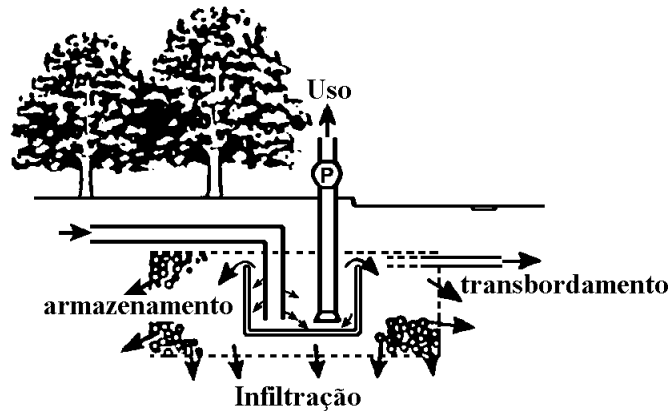


Figura 4.5 Reservatório com usos variados (Fujita, 1993)

Tucci (1997) utilizou como critério o seguinte: (i) Lotes de tamanho usualmente utilizados nas cidades brasileiras: 300 , 400 , 500 e 600 m^2 . Para esses lotes foram adotadas frentes de 10 , 12 , 15 e 16 m , respectivamente. A distância adotada é a diagonal do lote retangular. O desnível no lote foi adotado de 1% . Nesse caso, para declividades maiores existe a tendência do volume diminuir, portanto, os valores obtidos são conservadores; (ii) O coeficiente de escoamento (Wilken, 1978) para condições naturais adotado foi de $0,1$ (matas, parques e campos de esporte) e para desenvolvimento do lote $0,5$ (Edificações com poucas superfícies livres); (iii) tempo de retorno de 2 . Com base nesses elementos estimou qual deveria ser o volume necessário para amortecer a urbanização total do lote. Como esses resultados dependem da curva de Intensidade-duração e frequência de cada local, na tabela 4.2 são apresentados os valores para diferentes cidades brasileiras com base nos valores da IDF publicado por Pfafstetter (1957).

Para o lote padrão mínimo das cidades brasileiras, que é 300 m^2 , observa-se que é necessário, em média $1,54 \text{ m}^3$ de volume de detenção para um tempo de retorno de 2 anos, variando, para 67% dos casos entre $1,31$ e $1,87 \text{ m}^3$.

A vazão específica para esse tamanho de lote é de $5,15 \text{ l/m}^2$, podendo chegar a $6,66 \text{ l/m}^2$ para lotes de 600 m^2 . O aumento do volume por unidade de área para lotes maiores é devido a diferença de tempo de concentração dos dois cenários.

Medidas de Controle no Loteamento

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 preexistentes. Dessa forma, acaba provocando inundações nos troncos principais ou na macrodrenagem.

Como foi apresentado anteriormente, a impermeabilização e a canalização produzem aumento na vazão máxima e no escoamento superficial. Para que esse acréscimo de vazão máxima não seja transferido a jusante, utiliza-se o amortecimento do volume gerado, através de dispositivos como: tanques, lagos e pequenos reservatórios abertos ou enterrados, entre

outros. Essas medidas são denominadas de controle a jusante (*downstream control*).

Tabela 4.2 - Volume de detenção em m³ em função do tamanho do lote para algumas cidades brasileiras, Tempo de retorno de 2 anos

Cidades	do		Lote m ²	
	300	400	500	600
Florianópolis	1,14	1,74	2,26	3,08
Aracaju	1,42	2,12	2,73	3,64
Belém	1,79	2,67	3,44	4,58
B. Horizonte	1,66	2,47	3,18	4,22
Caxias Sul	1,36	2,03	2,62	3,48
Cuiabá	1,86	2,77	3,57	4,74
Curitiba	1,63	2,42	3,12	4,14
Fortaleza	2,18	3,25	4,19	5,56
Goiânia	1,86	2,77	3,57	4,74
R. Janeiro	1,2	1,84	2,39	3,26
J. Pessoa	1,19	1,81	2,34	3,16
Maceió	1,04	1,58	2,05	2,78
Manaus	2,01	2,98	3,84	5,09
Natal	1,3	1,94	2,5	3,33
Niterói	1,67	2,49	3,21	4,27
P. Alegre	1,3	1,94	2,5	3,33
P. Velho	2,07	3,09	3,98	5,28
R. Branco	1,74	2,6	3,36	4,47
Salvador	1,15	1,75	2,27	3,09
São Luiz	1,43	2,18	2,82	3,83
S. Carlos	1,66	2,49	3,21	4,29
Uruguaian	1,32	2,01	2,6	3,54
a				
Média				
Desv.	1,54	2,32	2,99	4,00
Padrão	0,33	0,48	0,61	0,79
Cv				
q (l/m ²)	0,21	0,21	0,21	0,20
	5,15	5,79	5,98	6,66

O objetivo das bacias ou reservatórios de detenção é minimizar o impacto hidrológico da redução da capacidade de armazenamento natural da bacia hidrográfica.

Esse controle tem as seguintes vantagens e desvantagens (Urbonas e Stahre, 1993): custos reduzidos, se comparados a um grande número de controles distribuídos; custo menor de operação e manutenção; facilidade de administrar a construção; dificuldade de achar locais adequados; custo de aquisição da área; reservatórios maiores têm oposição por parte da população.

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

Características e funções dos reservatórios

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

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

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

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

Esses reservatórios podem ser dimensionados para manterem uma lâmina permanente de água (*retenção*), ou secarem após o seu uso, durante uma chuva intensa para serem utilizados em outras finalidades (*detenção*) (figura 4.6a) A vantagem da manutenção da lâmina de água e do conseqüente volume morto é que não haverá crescimento de vegetação indesejável no fundo, sendo o reservatório mais eficiente para controle da qualidade da água. O seu uso integrado, junto a parques, pode permitir um bom ambiente recreacional. A vantagem de utilização desse dispositivo seco é que pode ser utilizado para outras finalidades. Uma prática comum consiste em dimensionar uma área com lâmina de água para escoar uma cheia freqüente, como a de dois anos, e planejar a área de extravasamento com paisagismo e campos de esporte para as cheias acima da cota referente ao risco mencionado. Quando a mesma ocorrer, será necessário realizar apenas a limpeza da área atingida, sem maiores danos a montante ou a jusante.

Na figura 4.6, são apresentados, de forma esquemática, o reservatório mantido seco e o com lâmina de água. Os reservatórios ou bacias de detenção mantidas secas são os mais utilizados nos Estados Unidos, Canadá e Austrália. São projetados, principalmente, para controle da vazão, com esvaziamento de até seis horas e com pouco efeito sobre a remoção de poluentes. Aumentando-se a detenção para 24 a 60 h, poderá haver melhora na remoção de poluentes (Urbanas e Roesner, 1994). Esse tipo de dispositivo retém uma parte importante do material sólido.

Os reservatórios de detenção com lâmina de água permanente são mais eficientes no controle de poluentes. Nos reservatórios que se mantêm secos, mas que estão ligados diretamente à drenagem, existe uma seção menor para o escoamento durante as estiagens. 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.

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

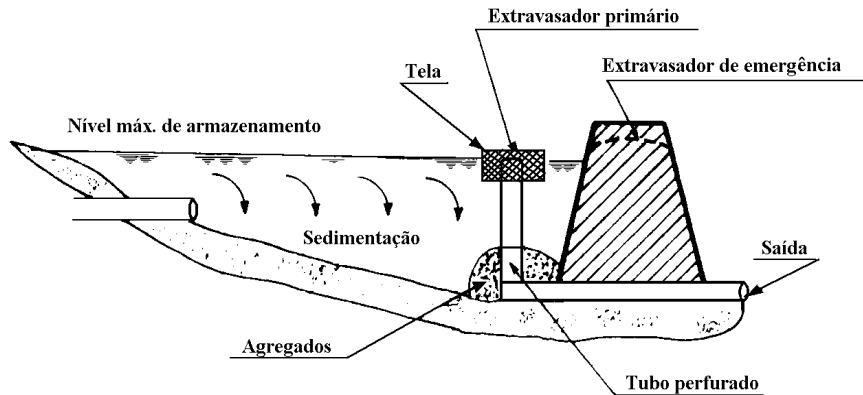
Localização

Como foi mencionado acima, os reservatórios podem ser abertos ou enterrados, de acordo com as condições para sua localização. Em locais onde o espaço seja reduzido ou que seja necessário manter-se uma superfície superior integrada com outros usos, pode-se utilizar reservatórios subterrâneos; no entanto, o custo desse tipo de solução é superior ao dos

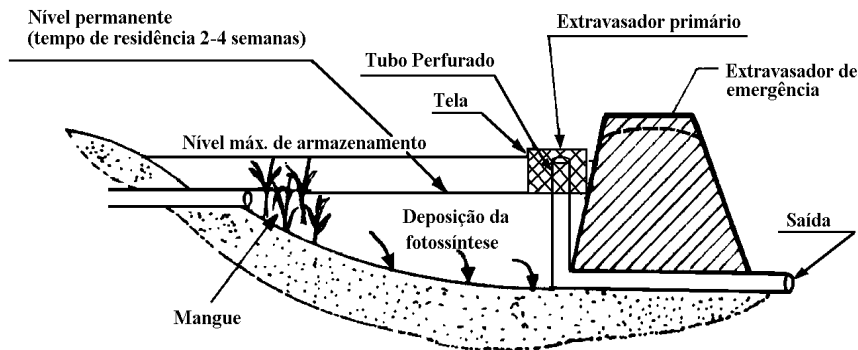
reservatórios abertos.

Quando a drenagem utiliza a folga de volume do sistema para amortecimento, ele é chamado de *on-line*. No caso em que o escoamento é transferido para a área de amortecimento, após atingir uma certa vazão, o sistema é denominado *off-line*.

A localização depende dos seguintes fatores:



a - reservatório de detenção



b - reservatório de retenção

Figura 7.12 - Reservatórios para controle de material sólido (Maidment, 1993)

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

Medidas de controle na macrodrenagem

O controle de vazões na macrodrenagem urbana pode ser realizado por medidas estruturais ou não-estruturais (item anterior).

As principais medidas estruturais são: canalização, reservatório de amortecimento e diques em combinação com polders. As medidas não-estruturais envolvem o zoneamento de áreas de inundações, através da regulamentação do uso do solo com risco de inundações, ocupação com áreas de lazer, seguros contra inundações e previsão em tempo atual, entre

outras.

Planejamento no controle da macrodrenagem

O controle do impacto do aumento do escoamento devido à urbanização, na macrodrenagem, tem sido realizado, na realidade brasileira, através da canalização. O canal é dimensionado para escoar uma vazão de projeto para tempos de retorno que variam de 25 a 100 anos. Considere a bacia da figura 4.7. 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 freqüência.

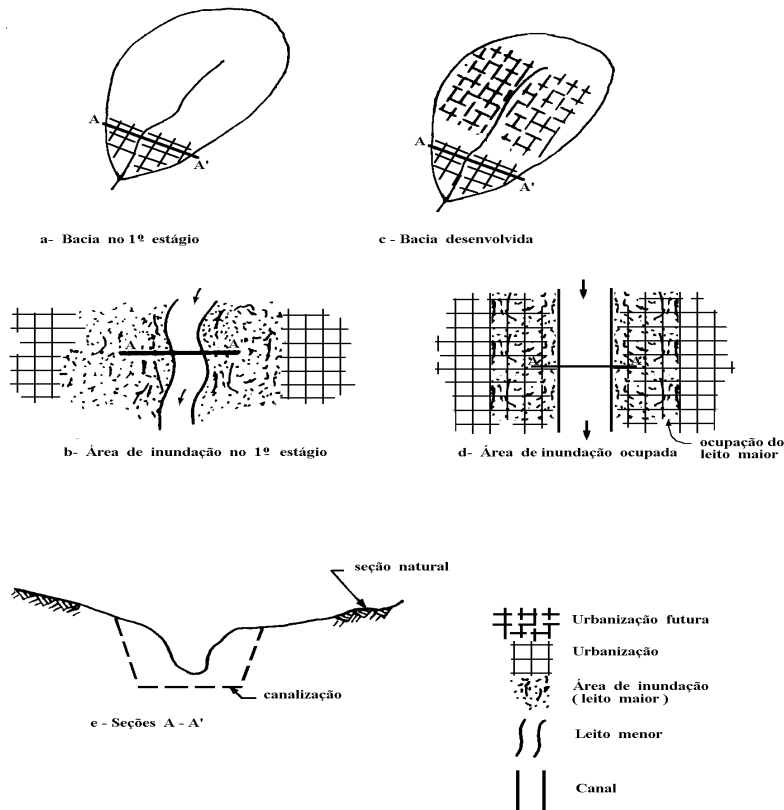


Figura 4.7 A ocupação da bacia hidrográfica e suas conseqüências

Com a canalização desse trecho, as inundações deixam de ocorrer. Nas áreas que, antes, eram o leito maior do rio e sofriam freqüentes inundações, existiam *favelas*, ou eram desocupadas. Essas áreas tornam-se valorizadas, pela suposta segurança do controle de enchentes. O loteamento dessas áreas leva a uma ocupação nobre de alto investimento. Com o desenvolvimento da bacia de montante e o respectivo aumento da vazão máxima, que não é controlada pelo poder público, voltam a ocorrer inundações no antigo leito maior. Nessa etapa, não existe mais espaço para ampliar lateralmente o canal, sendo necessário aprofundá-lo, aumentando os custos em escala quase exponencial, já que é necessário estruturar as paredes do canal. Esses custos podem chegar a valores de US \$ 50 milhões/km.

Esse processo, encontrado em muitas cidades brasileiras, pode ser evitado através do uso combinado das medidas mencionadas dentro do planejamento urbano, utilizando-se os princípios de controles mencionado no início deste capítulo.

Para o planejamento de controle da bacia, quando a mesma ainda está no primeiro estágio, pode-se utilizar o seguinte (figura 4.8):

- regulamentação do uso do solo e ocupação, pelo poder público, das áreas naturalmente inundáveis;
- combinar essas áreas, para atuarem como bacias de detenção urbanas;
- regulamentar a microdrenagem para não ampliar a enchente natural, tratando cada distrito ou sub-bacia de acordo com sua capacidade e transferência a jusante. Nesse caso, é estudada cada sub-bacia e definido o risco de inundação que cada empreendedor deve manter nas condições naturais;
- utilizar parques e as áreas mencionadas acima para amortecer e preservar os hidrogramas entre diferentes sub-bacias ;
- prever subsídios de impostos para as áreas de inundações e a troca de solo criado por compra de áreas de inundações;
- nenhuma área desapropriada pelo poder público pode ficar sem implantação de infraestrutura pública, parque ou área esportiva; caso contrário, será invadida.

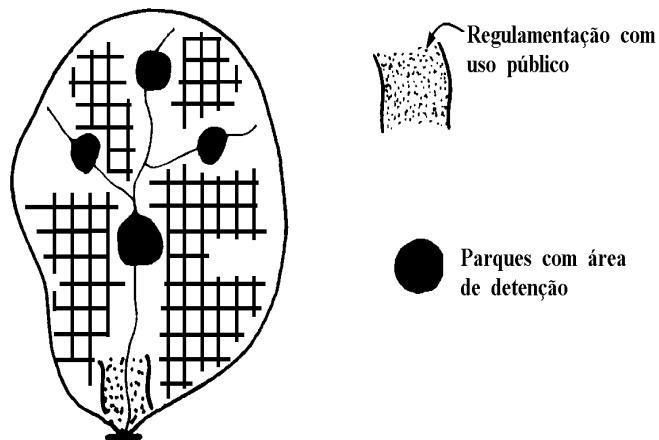


Figura 4.8 Planejamento de controle de bacia no primeiro estágio de urbanização

Wisner e Cheung (1982) apresentaram, conforme tabela 4.3, uma comparação entre outras alternativas e o uso de parques para amortecimento. Na figura 4.9, são apresentados o parque e os fluxos numa área urbana.

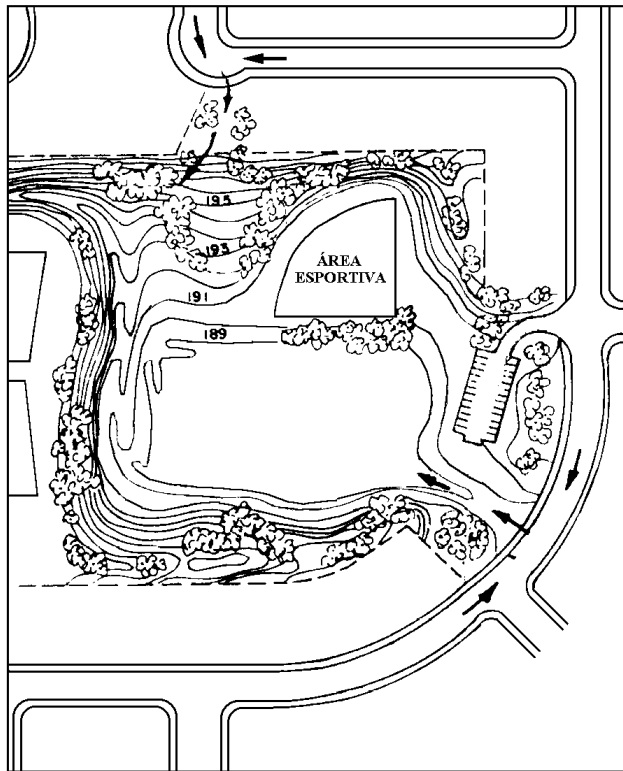
Quando a bacia encontra-se num estágio avançado de desenvolvimento, a tendência é que as medidas estruturais predominem, com custos altos. No entanto, pode-se minimizar esses custos através do aumento da capacidade de amortecimento na bacia urbana, buscando recuperar, o máximo possível, o amortecimento natural pela exploração de todas as áreas possíveis. 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 através de ação municipal, além de outras medidas de retardo. Essas ações reduziram os prejuízos para enchentes recentes.

4.4 Plano Diretor de Drenagem Urbana

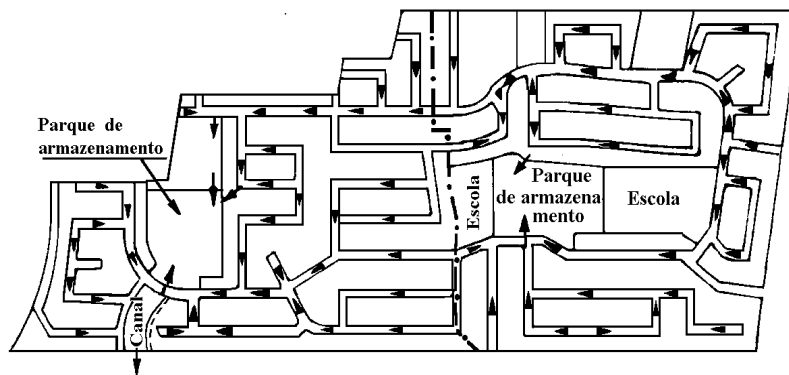
Esses princípios são normalmente aplicados nos países desenvolvidos. No entanto, a realidade brasileira apresenta características que dificultam a implementação de alguns desses princípios.

Os principais problemas identificados são os seguintes:

1. Nas áreas de periferia das grandes cidades, onde o lote tem menor valor agregado, existe uma ponderável implementação de loteamentos clandestinos nas áreas privadas (sem aprovação legal na prefeitura);



a - parque



b - o parque e a rede de drenagem

Figura 4.9 Parque de armazenamento (Wisner e Cheung, 1982)

2. Invasão em áreas públicas (áreas verdes) reservadas pelo Plano Diretor ou de propriedade pública. Devido ao caráter social da população envolvida, a consolidação se dá pela implementação de água e luz nas habitações;
3. As áreas ribeirinhas de risco de enchentes tem sido ocupada principalmente pela população de baixa renda, tendo como consequência freqüentes impactos devido às enchentes;

Como mencionado, as invasões dificultam a regulamentação das áreas de periferia, onde o Plano Diretor é pouco obedecido, no entanto no restante da cidade o processo de densificação (construção de moradias, comércio e indústria) tende a acompanhar a regulamentação, o que permite um controle sobre áreas em que os loteamentos foram implantados.

Tabela 4.3 Comparação entre armazenamento em parques e outras alternativas de armazenamento (Wisner e Cheung, 1982)

Tipo	Armazenamento de vale	Deteção com água	Deteção 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

Bases para o Plano Diretor de Drenagem

Um Plano Diretor de Drenagem Urbana deve buscar: (i) planejar a distribuição da água no tempo e no espaço, com base na tendência de ocupação urbana compatibilizando esse desenvolvimento e a infra-estrutura para evitar prejuízos econômicos e ambientais; (ii) controlar a ocupação de áreas de risco de inundação através de restrições na áreas de alto risco e; (ii) convivência com as enchentes nas áreas de baixo risco.

Os condicionamentos urbanos são resultados de vários fatores que não serão discutidos aqui, pois parte-se do princípio que os mesmos foram definidos dentro âmbito do Plano Diretor Urbano. No entanto, devido a interferência que a ocupação do solo tem sobre a drenagem existem elementos do Plano de Drenagem que são introduzidas no Plano Diretor Urbano ou na legislação de ocupação do solo. Portanto, o Plano de Drenagem urbana (PDU) deve ser um componente do Plano Diretor de Planejamento Urbano de uma cidade.

Os controles de enchentes são desenvolvidos por sub-bacias e regulamentados a nível de distrito. A filosofia de controle de enchentes é o de: (i) *para a macrodrenagem urbana*: reservar espaço urbano para parques laterais ou lineares nos rios que formam a macrodrenagem para amortecimento das enchentes e retenção dos sedimentos e lixo; (ii) *para as áreas ribeirinhas*: zoneamento de áreas de inundação, definindo-se zonas de alto e baixo risco de ocupação, e critérios de construção no código de obras da cidade.

No primeiro caso é necessário o seguinte:

- elaborar a nível de anteprojeto o controle do escoamento na macrodrenagem das sub-bacias, priorizando medidas de retenção e/ou medidas não-estruturais;
- identificar os limites necessários ao desenvolvimento urbano para as áreas sem ocupação definida e caso necessário, alterações na densificação para as áreas

- aprovadas e não densificadas;
- Elaboração da regulamentação necessária para impor as condições identificadas.

O anteprojeto envolve o seguinte: (1) capacidade máxima do escoamento de cada trecho da macrodrenagem; (2) anteprojeto das medidas de controles prevista para os diferentes estágios de desenvolvimento; (3) no caso da existência de parques deve-se incluir as zonas de uso de parque e área de amortecimento com o dispositivo de controle e programa de manutenção

No caso de áreas ribeirinhas Tucci (1993) apresentou os elementos básicos a serem definidos no controle através de zoneamento de áreas de inundação.

Avaliação da capacidade da drenagem atual

Abrangência: A regulamentação se refere as bacias com potencial de desenvolvimento urbano e constantes do Plano de Desenvolvimento Urbano da cidade.

Módulo de regulamentação: O módulo de regulamentação definido aqui é o *distrito*. O distrito deve considerar a administração municipal e as condições de escoamento. Cada sub-bacia pode ter vários distritos, delimitados pela administração de municípios que envolvam uma mesma bacia.

Condições de desenvolvimento: Em cada sub-bacia existem as seguintes condições: (i) situação atual; (ii) loteamentos e densificações aprovadas; (iii) áreas sem ocupação definida ou sem aprovação para ocupação. Nessa fase deve-se procurar identificar as áreas que poderão ser utilizadas para parques ou áreas de preservação natural.

Essas condições caracterizam os três cenários básicos urbanos. O primeiro caracteriza a situação atual, ou seja, que o custo do controle é do poder público. O segundo caracteriza o cenário do controle a nível de densificação, ou seja na aprovação a nível de construção e, terceiro o controle é a nível de loteamento. Os dois últimos podem ser realizados a custo dos investidores, enquanto que o primeiro exige investimento público.

Avaliações: Para a macrodrenagem das sub-bacias, devem ser quantificadas as vazões de cheia para um tempo de retorno adequado ao controle e ao tipo de drenagem. Nessa avaliação deve-se considerar os cenários da bacia mencionados no item anterior, ou seja:

(i) condições de drenagem para o cenário de ocupação atual; (ii) com a densificação controlada para não ampliar as cheias naturais e; (iii) com os novos loteamentos também não ampliando as cheias naturais.

Regulamentação: Com base nos elementos desenvolvidos nos itens anteriores será possível definir a capacidade dos principais troncos do sistema de drenagem secundária e macrodrenagem. Com base nesses elementos pode-se estabelecer critérios limites para a drenagem urbana na aprovação das construções, baseados em:

- vazão máxima de saída do lote ou loteamento menor ou igual as condições de pré-desenvolvimento;
- taxa de impermeabilização e controles específicos do lote.

Portanto, dentro dos cenários citados no item anterior é necessário estabelecer a regulamentação e prever controles para o problemas identificados, ou seja: (i) áreas invadidas; (ii) loteamentos clandestinos; (iii) passeios e ruas na fase de densificação.

Para o controle deve-se simular os diferentes cenários com as condições mencionadas para sub-bacias pré-definidas que englobem os distritos.

As medidas públicas do plano devem-se concentrar no seguinte: (i) regulamentar a aprovação da densificação e de novos loteamentos; (ii) prever áreas públicas de amortecimentos para a impermeabilização dos passeios e ruas, além das áreas em que o controle é presumidamente difícil devido as ações ilegais.

Manual de Drenagem de Urbana

O manual de Drenagem Urbana tem como objetivo orientar os projetistas sobre as restrições e métodos aceitos no dimensionamento da drenagem na cidade e deve conter o seguinte:

Concepção e princípios do Plano Diretor de Drenagem Urbana: Nesse capítulo devem estar contidos os principais elementos que norteiam o desenvolvimento do Plano Diretor e os princípios básicos tais como: o controle distribuído na bacia hidrográfica, sem transferência para jusante, a previsão dos cenários futuros e seus impactos caso não houvesse controle distribuído sobre a bacia.

A regulamentação por distritos de drenagem: Identificar claramente a regulamentação exigida em cada distrito de drenagem, tais como: densificação permitida, critérios quanto a vazão de saída do desenvolvimento e incentivos existentes para controle de enchentes, condições de manutenção dos sistemas;

Projeto e critérios: O manual deve procurar orientar sobre as alternativas potenciais disponíveis sobre o controle da vazão e os principais cuidados. No entanto, o manual não necessita especificar como devem ser elaborados os cálculos, mas deve especificar os critérios e os métodos básicos aceitos para a avaliação da regulamentação. Isto envolve, entre outros: (i) o tempo de retorno para o qual a vazão não pode ser ampliada; (ii) tempo de retorno de segurança das obras; (iii) controle sobre erosão, a jusante de obras de retenção, se o canal for sem revestimento; (iv) critério para a manutenção.

Esses elementos exigem um detalhamento maior para cada cidade dentro de suas peculiaridades, no entanto é uma base inicial que pode auxiliar o desenvolvimento dos planos, viabilizando o controle desse processo dentro do país, onde hoje representa custos significativos para a sociedade.

Referências

- APWA, 1969. *Water pollution aspects of urban runoff*. Water Quality Administration.(Water Pollution Control Research Series. Report N. WP-20-15).
- AVCO, 1970. *Stormwater pollution from urban activity*. Water Quality Administration. (Water Pollution Control Research Series. Report n. 11034 FKL).
- BIDONE, F; TUCCI, C.E.M., 1995 *Microdrenagem*, in: Drenagem Urbana, capítulo 3, Editora da Universidade ABRH.
- COLSON, N.V., 1974. *Characterization ant treatment of urban land runoff*. EPA. 670/2-74-096.
- CAMPANA, N., 1995. *Impacto da Urbanização nas Cheias Urbanas*. Tese de Doutorado Instituto de Pesquisas Hidráulicas UFRGS.
- CAMPANA, N.; TUCCI, C.E.M., 1994 Estimativa de área Impermeável de macro bacias urbanas. *RBE*, Caderno de Recursos Hídricos V12 n.2 p79-94.
- DAEE, 1990. *Redação proposta para os artigos da Seção de Recursos Hídricos das Leis, Orgânicas Municipais no Estado de São Paulo*. São Paulo. 4p.
- DAWDY, D. R.,1967. Knowledge of sedimentation in urban environments. *Journal of the Hydraulic Division, ASCE*, v.93, Ser. HY, n.6, p.235-245, Nov.
- FOSTER, S.S.D, 1990. Impacts of Urbanization on Groundwater. in: DUISBERG SYMPOSIUM, 1988. *Hydrological Processes and Water Management in Urban Areas*. IAHS. p187-207 International Association of Hydrological Sciences Publication 198).
- FUJITA, S., 1993. Stormwater goes to ground as Japan chooses infiltration. *Water Quality International*. London, n.3, p. 18-19.
- IDE, C., 1984. *Qualidade da drenagem pluvial urbana*. dissertação de mestrado, Programa de pós-graduação em Recursos Hídricos e Saneamento, IPH/UFRGS, 137 p.
- JICA, 1988. *The Itajai River Basin Flood Control Project, Part I, Master Plan Study*. Japan International Cooperation Agency.
- LEOPOLD, L.B.,1968. *Hydrology for Urban Planning - A Guide Book on the Hydrologic Effects on Urban Land Use*. USGS circ. 554, 18p.

- MAIDMENT, D.R. (ed.) 1993. *Handbook of Hydrology*. New York: McGraw-Hill.
- MOTA, J. C., TUCCI, C. E. M., 1984. Simulation of the urbanization effect in flow. *Hydrological Sciences Journal*, V.29, n.2, p.131-147, June.
- NERC, 1975. *Floods Studies Report* NERC.
- NRC, 991. *Opportunities in the Hydrologic Sciences*. Washington. National Academic Press. 348p.
- OECD, 1986. Control of Water Pollution from Urban Runoff. Organization for Economic Cooperation and Development. Paris
- PFASTETTER, O. , 1957. *Chuvvas Intensas no Brasil*. Rio de Janeiro: DNOS 419p.
- REZENDE, B. e TUCCI, C. E. M., 1979. *Análise das Inundações em Estrela*: relatório técnico. Estrela: Prefeitura Municipal de Estrela, 30p.
- SCS, 1975. *Urban Hydrology for Small Watersheds* USDA Soil Conservation Service Technical Release n. 55, Washington DC
- SIEKER, F., 1984. Stormwater Infiltration in Urban Areas. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON URBAN STORM DRAINAGE, 3, 1984. Göteborg. *Proceedings*, Göteborg: Chalmers University of Technology, 4v, v3.,p1083-1091.
- SIMONS, D. B., et al. 1977. *Flood flows, stages and damages*. Fort Collins: Colorado State University.
- TUCCI, C.E.M., 1993. *Controle de Enchentes*, in: Tucci, C. (org). *Hidrologia ciência e aplicação*. Porto Alegre: Ed. da Universidade: ABRH cap 16, p621-658.: 952p.
- TUCCI, C.E.M., 1995 *Enchentes urbanas* in: Drenagem Urbana, cap. 1 Editora da Universidade, ABRH
- TUCCI, C.E.M; BRAGA, B.; SILVEIRA, A.,1989. Avaliação do Impacto da urbanização nas cheias urbanas, *RBE Caderno de Recursos Hídricos* V7 N.1
- TUCCI, C.E.M. e GENZ, F., 1995 *Controle da Urbanização* in: Drenagem Urbana Editora da Universidade ABRH
- TUCCI, C.E.M., 1996. *Estudos Hidrológicos e Hidrodinâmicos do rio Iguaçu na RMC*, COMEC, Relatório técnico.
- TUCCI, C.E.M., 1997 Estimativa do Volume para Controle da Drenagem no Lote. *Anais III Seminário Nacional de Drenagem Urbana*. ABRH. Curitiba
- URBONAS, B.; ROESNER, L.A., 1993. Hydrologic Design for Urban Drainage and Flood Control. In: *Handbook of Hydrology*. D.R. Maidment (ed.). Cap. 28.
- URBONAS, B.; STAHR, P., 1993. *Stormwater Best Management Practices and Detention*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey. 450p.
- YOSHIMOTO, T.; SUETSUGI, T., 1990. Comprehensive Flood Disaster Prevention Measures in Japan. in: DUISBERG SYMPOSIUM, 1988. *Hydrological Processes and Water Management in Urban Areas*, IAHS , p175-183 International Association of Hydrological Sciences Publication 198).
- WATER RESOURCES COUNCIL, 1971. *Regulation of Flood Hazard areas to reduce flood losses*. Washington.
- WEIBEL, S.R., ANDERSON, R.J.; WOODWARD, R.L., 1964. Urban Land Runoff as a factor in stream pollution. *Journal Water Pollution Control Federation*. Washington, V. 36, n.7, 914-924.
- WILKEN, P.S., 1978. *Engenharia de Drenagem Superficial*, CETESB, São Paulo, 477p.
- WISNER, P.E., CHEUNG, P.W., 1982. Parks against storms. In: YEN, B., ed. *Urban stormwater quality, management and planning*. Littleton, Water Resources Publications. p.322-330.
- WOLMAN, M. GORDON; SCHICK, ASHER P.; 1967. Effects of Construction on Fluvial Sediment, Urban and Suburban Areas of Maryland. *Water Resources Research*. V3, n 2, p451-464.