DRENAGEM URBANA

Aspectos de Gestão

GESTORES REGIONAIS DE RECURSOS HÍDRICOS

Curso preparado por :

Instituto de Pesquisas Hidráulicas
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Fundo Setorial de Recursos Hídricos (CNPq)

André Luiz Lopes da Silveira

2002

Primeira Edição

1. GESTÃO DA DRENAGEM URBANA

1.1 Introdução

Quem sai de casa em dias de chuva não quer caminhar em calçadas alagadas nem atravessar ruas transformadas em piscinas, pelo desconforto evidente e dificuldade que impõe ao deslocamento. Caso saia de carro não quer ter seu itinerário interrompido ou sofrer uma pane causada pelo contato da água com o motor. Para quem fica em casa, anda pelo comércio ou freqüenta prédios públicos ou societários, evidentemente também não tem nenhuma vontade de que estes sejam inundados, muito menos na sua presença. Também é intolerável a qualquer pessoa que a circulação das águas na cidade seja veículo de contaminação ou cause risco de vida por afogamento ou desastres, como a destruição de casas. Neste contexto a Drenagem Urbana tem um uma função precípua : minimizar a presença de excessos de circulação de água, especialmente pluviais, em locais indevidos no meio urbano. Para minimizar o risco destes transtornos é que existe a Drenagem Urbana. Ela, entretanto, não é contra a acumulação de águas pluviais pois uma alternativa para seu controle é o armazenamento transitório em locais previamente estabelecidos. O que a Drenagem Urbana não deve promover é o desequilíbrio do ciclo hidrológico e o agravamento de condições sanitárias e ambientais.

Nem sempre a Drenagem Urbana foi pensada convenientemente. Há hoje em dia uma consciência de que abordagens divorciadas da realidade das cidades conduziram a situações indesejáveis. Especialmente a falta de consideração de uma gestão integrada das águas urbanas.

1.2 Diagnóstico das Águas Urbanas

Em países em desenvolvimento como o Brasil, um dos maiores problemas das águas urbanas é a deficiência de coleta de esgoto cloacal, além de um baixo índice de tratamento daquele que é coletado. Há grande contaminação das águas de drenagem pluvial e dos mananciais pelo esgoto in natura. De 1989 a 2000 houve pouco avanço no percentual de cidades com esgotamento sanitário (47 para 52%) mas houve um incremento no tratamento do esgoto coletado de 20 para 35% (Pesquisa, 2002). Desta forma mais de 80% do esgoto cloacal in natura distribui-se por córregos, ruas e sistemas de drenagem. Por outro lado, 88% dos distritos contam com abastecimento de água (61% se o abastecimento for com água tratada). O abastecimento é prejudicado pela contaminação dos mananciais. Quase 80% dos municípios declararam ter serviço de drenagem urbana em 2000, mas apenas 45% destes apontaram a existência de legislação municipal que exige a aprovação e implantação de sistema de drenagem pluvial para loteamentos novos e populares (Pesquisa, 2002).

Portanto, há percentuais significativos de descontrole das águas urbanas e a visão setorizada da infra-estrutura de abastecimento e saneamento contribui para uma ineficiência da parte que é tida como controlada.

Wright (1997), citado por Tucci (2002) diagnosticou o seguinte para os países em desenvolvimento :

- planejamento e a construção do sistemas são baseadas em práticas de países desenvolvidos que não consideram as reais necessidades locais, resultando em investimentos com baixo retorno;
- Falta de gerenciamento: dificuldades em financiamento, pouco contato com os clientes e centralização;
- Grandes projetos: projetos com grandes custos no qual o pagamento dificilmente pode ser realizado pela população pobre;
- Desempenho ruim da operação e manutenção dos sistemas

O referido autor sugere a ampliação de opções quanto a tecnologias, avaliação do desejo dos consumidores quanto ao pagamento dos serviços e necessidades; melhoria da eficiência da cobertura com menor custo, inovações institucionais e financeiras, educação em diferentes níveis e participação pública.

Na comparação entre países desenvolvidos e em desenvolvimento, Tucci (2002) apresenta os cenários respectivos de desenvolvimento dos aspectos da água no meio urbano (Tabela 1). Nos países desenvolvidos grande parte dos problemas foram resolvidos quanto ao abastecimento de água, tratamento de esgoto e controle quantitativo da drenagem urbana. Nesta foi priorizado o controle através de medidas que obrigam a população a controlar na fonte os impactos devido a urbanização. Nos países desenvolvidos é prioridade o controle da poluição difusa devido as águas pluviais, que, evidentemente, também existe nos países em desenvolvimento, mas a prioridade é outra.

Tabela 1 - Comparação dos aspectos da água no meio urbano

Infra-estrutura urbana	**Países desenvolvidos**	**Brasil**
Abastecimento de água	Resolvido, cobertura total	Grande parte atendida, tendência de redução da disponibilidade devido a contaminação, grande quantidade de perdas na rede
Saneamento	Cobertura quase total	Falta de rede e estações de tratamento; as que existem não conseguem coletar esgoto como projetado;
Drenagem Urbana	Controlado os aspectos quantitativos; Desenvolvimento de investimentos para controle dos aspectos de Qualidade da água	Grandes inundações devido a ampliação de inundações; Controle que agrava as inundações através de canalização; Aspectos de qualidade da água nem mesmo foram identificados.
Inundações Ribeirinhas	Medidas de controle não-estruturais como seguro e zoneamento de inundação	Grandes prejuízos por falta de política de controle

Nos países em desenvolvimento, a prioridade é o tratamento de esgoto. Em alguns países, como o Brasil, o abastecimento de água que poderia estar resolvido, devido à grande cobertura de abastecimento, volta a ser um problema devido a forte contaminação dos mananciais (Tucci, 2002). Este problema é decorrência da baixa cobertura de esgoto tratado, como mencionado acima. As regiões metropolitanas expandem-se na periferia, justamente onde se concentram os mananciais, agravando sua condição. A tendência é de que as cidades continuem buscando novos mananciais sempre mais distantes e com alto custo. Neste contexto, o estágio do controle da qualidade da água resultante da drenagem está ainda mais distante nos países em desenvolvimento. Até o controle quantitativo da drenagem urbana ainda é limitado nesses países.

Tucci (2002) fala em um ciclo de contaminação urbana que se observa nas cidades brasileiras devido a um gerenciamento precário.

Além disso, o conceito aplicado à drenagem urbana e saneamento esteve estagnado durante o século XX nos países em desenvolvimento, levando ao irracionalismo na implantação de soluções e obras, não raro com efeito contrário ao desejado.

A ineficiência pública segundo Tucci (2002) é observada em vários domínios das águas urbanas que podem ser resumidos no seguinte:

- Perda significativa (cerca de 40%) da água tratada nas redes de distribuição urbana;
- Redes de tratamento que não coletam esgoto suficiente, da mesma forma, que estações de tratamento continuam funcionando abaixo da sua capacidade instalada;
- Redes de pluviais com dois problemas básicos: (a) transporte indesejado de esgoto cloacal in natura, assim como da contaminação do escoamento pluvial (carga orgânica, tóxicos e metais); (b) canais e condutos são construídos sem muito planejamento, havendo excesso deles, cujo efeito é apenas de transferir inundações de um local para outro dentro da cidade, a custos insustentáveis para os municípios.

Isto demonstra que os aspectos relacionados com a infra-estrutura das águas urbanas têm sido planejados de forma inadequada. Grande parte dos problemas citados está relacionada com a forma setorial de como são tratados. Por isso, a gestão integrada das águas urbanas que é o conceito moderno, vê drenagem urbana moderna enquadrada numa visão ampla de planejamento das áreas urbanas, que envolve principalmente :

- planejamento do desenvolvimento urbano;
- transporte;
- abastecimento de água e saneamento;
- drenagem urbana e controle de inundações;
- resíduo sólidos;
- controle ambiental.

2. DRENAGEM URBANA MODERNA

2.1 Conceito atual : enfoque ambiental (a adotar)

O enfoque ambiental da drenagem urbana moderna preocupa-se com a manutenção e recuperação de ambientes saudáveis interna e externamente à área urbana, ao invés de só procurar sanear o interior da cidade, segundo preceitos meramente sanitaristas (Silveira, 1999). Evidentemente, o conceito de saúde evoluiu da abordagem sanitarista (higienista) à abordagem ambientalista, entretanto ambas concordam no objetivo da saúde só que houve uma extensão ao meio ambiente. Uma boa concepção e gestão da drenagem pluvial surge neste contexto como uma necessidade coletiva e indispensável ao funcionamento das aglomerações urbanas.

Os equipamentos de drenagem e de tratamento de esgotos devem caracterizar os sistemas de saneamento como parte integrante da organização dos espaços urbanos que valoriza os cursos d'água, preservando-os e até recuperando-os. Isto conduz à noção de auto-sustentabilidade das cidades com respeito ao ambiente interno e externo. A cidade torna-se viável pelos equipamentos de saneamento e drenagem mas estes mesmos equipamentos preservam a qualidade dos cursos d'água internos e de jusante (externos). Em suma, a cidade deve ser autônoma em relação ao meio ambiente hidrológico e vice-versa (Sangaré, 1995). Indicadores importantes de autonomia da cidade em relação ao meio ambiente são as taxas de ligações de esgotos cloacais e a capacidade da rede de drenagem de atuar corretamente na maior parte do tempo. Integrações inter-bairros ou mesmo intermunicipais otimizando o tratamento de todos os esgotos e os sistemas de drenagem também contribuem para a autonomia, que se completa por uma gestão calcada no conhecimento físico e operacional dos equipamentos que minimiza os riscos de alteração dos níveis mínimos de segurança e salubridade. Do ponto de vista do meio receptor (cursos d'água) a sua autonomia com relação à cidade passa pela sua conservação de modo a permitir o desenvolvimento biológico habitual e permanente das espécies que nele vivem naturalmente. A gestão disto deve monitorar o estado do meio receptor, o estado das fontes poluidoras, avaliar o impacto dos poluentes urbanos sobre os cursos d'água, gerando informações que condicionem a regulação dos níveis de tratamento dos rejeitos urbanos em função do estado atual do meio receptor, de como estes rejeitos podem impactar e das metas de qualidade para ele estabelecidas.

A drenagem urbana moderna deve ter os seguintes princípios (Tucci e Genz, 1995) :

- Não transferir impactos para jusante ;
- Não ampliar cheias naturais ;
- Propor medidas de controle para o conjunto da bacia ;
- Legislação e Planos de Drenagem para controle e orientação ;
- Constante atualização de planejamento por estudo de horizontes de expansão ;
- Controle permanente do uso do solo e áreas de risco ;
- Competência técnico-admnistrativa dos órgãos públicos gestores;
- Educação ambiental qualificada para o poder público, população e meio técnico.

Na verdade há a proposição de mudança de paradigma da gestão da drenagem urbana de um enfoque sanitário-higienista (do livrar-se das águas pluviais o mais rápido possível)

para um enfoque ambiental (re-equilíbrio do ciclo hidrológico para mais perto do natural) que segue os princípios acima, destacando-se o controle na fonte. Para isso é necessária uma verdadeira integração entre todos os chamados setores da água.

Para Tucci (2002) esta integração está vinculada ao reconhecimento de que as seguintes inter-relações devem ser efetivamente consideradas no planejamento urbano :

- o abastecimento de água é realizado à partir de mananciais que podem ser contaminados pelo esgoto cloacal, pluvial ou por depósitos de resíduos sólidos;
- a solução do controle da drenagem urbana depende da existência de rede de esgoto cloacal e suas características;
- a limpeza das ruas, a coleta e disposição de resíduos sólidos interfere na quantidade e na qualidade da água dos pluviais.

O enfoque sanitário-higienista que setorizou demasiadamente a drenagem pluvial influenciou até a estrutura institucional municipal. Hoje, os municípios apresentam uma capacidade institucional limitada para enfrentar problemas tão complexos e interdisciplinares.

2.2 Conceito antigo : enfoque sanitário-higienista (a abandonar)

O conceito sanitário-higienista ainda está muito arraigado em nosso meio. Devemos chamá-lo de antigo para enfatizar seu caráter de ultrapassado. Pode ser resumido pelo princípio seguinte :

- toda água circulante deve ir rapidamente para o esgoto, evitando insalubridades e desconfortos, nas casas e nas ruas

Em consequência, as obras hidráulicas que surgiram como soluções foram as de escoamento rápido como condutos, canais e galerias. A competência exclusiva dos engenheiros em calculá-las ajudou a setorizar a drenagem urbana. O livrar-se rapidamente da água tornou-se praticamente um dogma no meio técnico, convencendo inclusive à população que aplica a mesma idéia nas suas propriedades particulares urbanas. No Brasil, como parece ser em outros países em desenvolvimento, há o agravante ainda do conceito higienista ser mal aplicado, seja por falta de recursos, mau dimensionamento, má execução ou por manutenção deficiente. Adicionalmente, as pressões sócio-econômicas exercidas pela sociedade brasileira como um todo agravam o quadro, estabelecendo um cenário difícil para a implantação de qualquer conceito de drenagem urbana. Os sistemas de drenagem são muitas vezes vistos por grande parte da população como locais de destino de dejetos e lixo. Muitos loteamentos em várias cidades tiveram e, ainda têm, sua drenagem sem se basear em nenhuma norma técnica, o que facilita a aceitação de projetos de eficácia duvidosa. E muitos problemas ambientais foram agravados pelo fato de que tradicionalmente a drenagem urbana é de exclusiva responsabilidade do município e geralmente há pouca preocupação sobre consequências à jusante de ações locais implementadas à montante.

Muitos loteamentos em várias cidades tiveram e, ainda têm, sua drenagem sem se basear em nenhuma norma técnica, o que facilita a aceitação de projetos de eficácia duvidosa. E muitos problemas ambientais foram agravados pelo fato de que tradicionalmente a

drenagem urbana é de exclusiva responsabilidade do município e geralmente há pouca preocupação sobre consequências à jusante de ações locais implementadas à montante.

Um exemplo típico, dentre os vários que diferenciam o higienismo do ambientalismo, é que a drenagem urbana com esta última filosofia deve procurar não ampliar as cheias naturais. Só este exemplo contraria o dogma do higienismo da evacuação rápida e preserva uma produção quantitativa de escoamentos compatível com a natural.

2.3 História da drenagem urbana : evolução dos conceitos do séc 19 ao 21

A drenagem pluvial foi assim tratada como uma prática acessória até meados do século XIX, quando as capitais européias já formavam grandes aglomerados humanos. As mudanças ocorridas no tratamento da drenagem pluvial na segunda metade do século XIX, tiveram, entretanto, seu germe no século XVIII, quando constata-se na Itália que as águas de banhados e zonas alagadiças influenciavam na mortalidade pessoas e animais. Isto foi rapidamente levado em consideração na Inglaterra e na Alemanha e mais tarde na França, e desencadeia-se um processo de extinção de banhados como medida de saúde pública. Também deu-se ordens para aterrar ou cobrir as fossas receptoras de esgoto cloacal, e substituí-las por canalizações enterradas (Desbordes, 1987). Assim as redes de esgotos deveriam evacuar as águas contaminadas, o mais rapidamente possível, e para mais longe dos locais de sua produção. Nascia a idéia de livrar-se da água nas cidades, seja ela de origem pluvial ou cloacal. Ou seja, nascia o conceito sanitarista-higienista.

Curiosamente então a drenagem pluvial como ação pública não evoluiu em decorrência da modernização de práticas de engenharia em busca do conforto, mas sim de uma recomendação de profilaxia médica. Evidentemente coube aos engenheiros e urbanistas a tarefa de materializá-la em obras e integrá-las ao espaço urbano, mas infelizmente isto só teve um impulso maior com a ocorrência de epidemias de cólera em grandes cidades do mundo no século XIX, destacando-se na Europa as dos anos 1832 e 1849. O fluxo de pessoas nas viagens marítimas de então, praticamente globalizaram a epidemia de cólera e muitas cidades brasileiras sofreram com ela em 1855 (Costa Franco, 1992).

Entre 1850 e o fim do século XIX muitas cidades importantes do mundo, principalmente as capitais européias, foram dotadas de grandes redes subterrâneas unitárias de esgotos (esgotos pluviais e cloacais conduzidos pelos mesmos condutos). Sob o comando de seu famoso prefeito Haussmann, Paris torna-se emblemática e referência mundial por construir uma imponente rede de esgotos, ajudando a cristalizar o conceito higienista que passa a ser resumido pela expressão "tout à l'égout" no meio técnico francês da época. Apesar de hoje ser uma atração turística de Paris, não foi a rede de esgotos que deu fama a Haussmann, mas sim a profunda reforma urbanística a qual ela estava associada dentro do conceito higienista. Haussmann buscava a higiene pública com a abertura de espaços abertos, como avenidas largas e parques, obras que facilitariam ainda a instalação da infra-estrutura urbana, entre as quais as redes de esgotos (Souza e Damasio, 1993).

O conceito higienista não demorou a chegar ao Brasil como testemunham as primeiras redes enterradas de esgoto sanitário implantadas em 1864 no Rio de Janeiro, mas ele somente seria aplicado mais decididamente após a proclamação da República em 1889 (Melo Franco, 1968). Nesta época, havia no mundo um casamento bem sucedido entre a filosofia higienista

e o domínio da hidráulica de condutos e canais que permitia promover o saneamento junto com as reformas urbanísticas. Os sanitaristas da época estavam atentos a isso e, no fim do século XIX, o Brasil vê surgir entre eles a grande figura do engenheiro fluminense Saturnino de Brito (1864-1929), formado pela Escola Politécnica do Rio de Janeiro. Adepto do positivismo, ele revoluciona o conceito higienista no Brasil ao trabalhar no saneamento da cidade de Santos (Obras, 1943). Em seu opúsculo Saneamento de Santos de 1898, apresenta argumentos sólidos em favor do sistema separador absoluto (redes de condutos separados para esgotos pluviais e cloacais) contra o sistema dominante da época que era o unitário.

Em decorrência da atuação de Saturnino de Brito, já no início do século XX, o conceito higienista, usando uma rede de drenagem pluvial separada dos esgotos domésticos, ficou estabelecido como regra para as cidades brasileiras. Em 2000, cerca de 82% dos municípios brasileiros com redes subterrâneas tinham sistemas separadores (Pesquisa, 2002). A intensidade das chuvas tropicais não favorem os sistemas unitários. Entretanto, muitas cidades ou muitos bairros de cidades acabaram adotando um arremedo de sistema unitário, destinando efluentes de fossas sépticas para a rede pluvial.

O conceito higienista predominou neste século no mundo inteiro mas o fim da sua história já foi decretada nos anos 60, nos países desenvolvidos, quando a consciência ecológica expôs suas limitações para levar em conta os conflitos ambientais entre as cidades e o ciclo hidrológico. Havia necessidade de reflexões mais profundas sobre as ações antrópicas densas (urbanização) sobre o meio-ambiente, particularmente sobre a quantidade e a qualidade dos recursos hídricos. Nascia o conceito ambiental aplicado à drenagem urbana que fez com que os ícones das soluções higienistas deixassem de reinar sozinhos, ou seja, o rol de obras tradicionais como condutos, sarjetas, bocas-de-lobo, arroios retificados, entre outras, teria de ser ampliado para admitir soluções alternativas e complementares à evacuação rápida dos excessos pluviais, dentro de um contexto de preservação ambiental (Tucci e Genz, 1995). Obras de retenção e amortecimento de escoamentos, como pavimentos permeáveis, superfícies e valas de infiltração, reservatórios e lagos de detenção e a preservação dos arroios naturais passaram a fazer parte do vocabulário da drenagem urbana. Além disso, o enfoque ambiental preconiza também o tratamento dos esgotos pluviais que podem ser tão poluidores quanto os esgotos cloacais.

A maioria das obras de drenagem urbana no Brasil seguem, apesar disso ainda, o conceito higienista. A razão principal é que o conceito ambiental é muito mais difícil e caro de aplicar porque exige ações integradas sobre grandes áreas, com conhecimento técnico multidisciplinar, ao contrário das ações higienistas, voltadas a soluções locais, e concebidas unicamente por engenheiros civis. Além disso, o conceito higienista, embora ultrapassado, exerce ainda um atrativo muito grande pela sua simplicidade (toda água circulante deve ir rapidamente para o esgoto, evitando insalubridades e desconfortos, nas casas e nas ruas) e pelo fato das obras de infraestrutura por ele exigidas terem um comportamento dinamicamente restrito, portanto fáceis de dimensionar, pois só têm a função de transporte rápido.

O livrar-se rapidamente da água tornou-se praticamente um dogma no meio técnico, convencendo inclusive à população que aplica a mesma idéia nas suas propriedades particulares urbanas. No Brasil, como parece ser em outros países em desenvolvimento, há o agravante ainda do conceito higienista ser mal aplicado, seja por falta de recursos, mau

dimensionamento, má execução ou por manutenção deficiente. Adicionalmente, as pressões sócio-econômicas exercidas pela sociedade brasileira como um todo agravam o quadro, estabelecendo um cenário difícil para a implantação de qualquer conceito de drenagem urbana, sobretudo a ambiental : urbanização acelerada e desordenada, criação de um mosaico de ocupações (favelas desassistidas vizinhas a bairros equipados) e nível de educação ambiental deficiente (arroios e bocas-de-lobo vistos por grande parte da população como locais de destino de dejetos e lixo).

A história da drenagem urbana no Brasil apesar dessas dificuldades parece estar hoje numa transição entre a abordagem higienista e a ambiental. Muitas capitais, como Rio de Janeiro, Belo Horizonte, Porto Alegre e Curitiba, estão promovendo ações no sentido de estabelecer planos diretores de drenagem urbana, seguindo os preceitos do conceito ambiental que passa pela conscientização de que a drenagem urbana deve se integrar ao planejamento ambiental das cidades, deixando de ser apenas um mero problema de engenharia.

A história da drenagem urbana que o Brasil quer redirecionar é uma história já em andamento nos países desenvolvidos. Agora o que importa é uma correta gestão dos impactos do meio urbano sobre o meio-ambiente hidrológico e isto transcende a um simples receituário de obras padrão e remete a uma abordagem mais complexa incluindo aspectos técnicos de engenharia, sanitários, ecológicos, legais e econômicos e que exige uma conexão muito mais estreita com a concepção e gestão dos espaços urbanos. O ciclo hidrológico é elemento chave na definição do saneamento urbano e da drenagem.

3. CICLO HIDROLÓGICO NA CIDADE

3.1 Ciclo hidrológico natural

3.1.1 Ciclo Hidrológico Continental

O ciclo hidrológico é o fenômeno global de circulação fechada da água entre a superfície terrestre e a atmosfera, impulsionado fundamentalmente pela energia solar associada à gravidade e rotação terrestres. A superfície terrestre abrange os continentes e os oceanos, participando do ciclo hidrológico a camada porosa que recobre os continentes (solos, rochas) e o reservatório formado pelos oceanos.

Como se pode descrever o ciclo hidrológico nos continentes ? Uma maneira é identificar os fluxos d'água num corte do terreno como mostrado na figura a seguir.

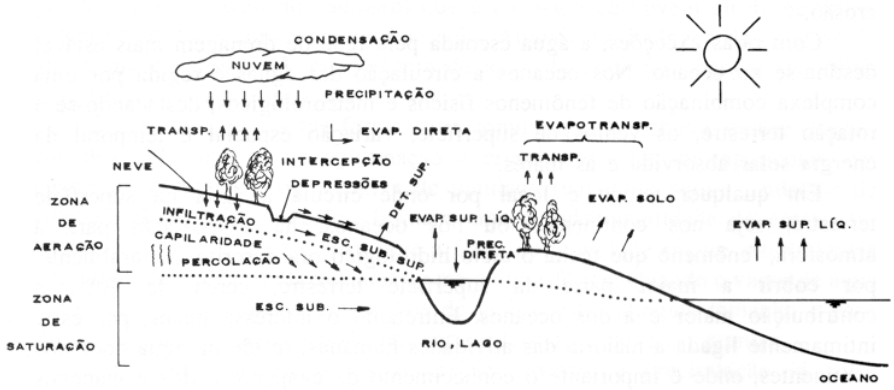


Figura 1 - Ciclo hidrológico na fase terrestre

A precipitação, normalmente na forma um fluxo de gotas d'água atraído para a superfície terrestre pela gravidade, é por si só um fenômeno de origem meteorológica complexa, apresentando grande variabilidade temporal e espacial.

Caindo sobre um solo com cobertura vegetal, parte do volume precipitado sofre interceptação em folhas e caules, de onde, por ação dos ventos, uma parcela pode ainda atingir o solo.

A evaporação depende de fatores climáticos, de características da superfície evaporante e da disponibilidade de água para evaporar. Já na queda a chuva sofre evaporação. Ocorre também evaporação de uma parcela da água interceptada. Grande parte da evaporação advém, entretanto, da água presente sobre o solo e dentro dele. Fatores climáticos, como a radiação solar, o período de insolação, a temperatura do ar, a umidade relativa, o perfil de velocidades do vento e a pressão atmosférica, influenciam bastante a evaporação. Propriedades energéticas da superfície, como o albedo e a emissividade, completam as

grandezas para o estabelecimento da evaporação potencial. Mas será a textura, a estrutura e as dimensões dos solos e seus perfis de umidade que condicionarão a evaporação real.

A transpiração, que junto com a evaporação compõe a evapotranspiração, depende dos mesmos fatores climáticos da evaporação. Entretanto, em sendo um fenômeno biológico na interface solo-atmosfera, a transpiração real depende da vegetação e da umidade do solo.

A infiltração promove a recarga da umidade do solo, permitindo que parte da precipitação que atinge a superfície penetre a zona não saturada do solo. Há infiltração total da água no solo (um meio poroso) enquanto sua superfície não se satura, ou seja enquanto não há formação de uma delgada camada superficial de solo onde todos os seus poros estão plenos d'água. A partir deste momento, havendo precipitação suficiente, com a saturação avançando verticalmente a infiltração decresce tendendo a uma taxa residual (teoricamente a condutividade hidráulica saturada do meio poroso - lei de Darcy). A umidade do solo realimentada pela infiltração é aproveitada em parte pelos vegetais que a absorvem pelas raízes e devolvem quase tudo para a atmosfera na forma de vapor d'água transpirado.

A infiltração (passagem d'água da superfície para o interior do solo) e a percolação (movimento d'água no interior do solo) na zona não saturada são governadas pelas tensões capilares nos poros e pela gravidade.

A percolação acontece na zona não saturada quando sua umidade, excluídas as parcelas aproveitadas pelos vegetais e as evaporadas pela superfície do solo, se desloca no interior do meio poroso. Pode haver percolação em macroporos, gerando escoamento hipodérmico ('piping' paralelo à superfície), ou percolação vertical para o lençol freático (zona saturada) onde se forma o escoamento de base dos cursos d'água (escoamento subterrâneo).

O escoamento superficial é o excesso não infiltrado da precipitação que surge sobre o solo pela ação da gravidade, na direção das cotas mais baixas, vencendo principalmente o atrito com a superfície do solo. É, por isso, um escoamento rápido se comparado ao escoamento subterrâneo e mesmo ao hipodérmico. Pode ser capturado por depressões e banhados (detenção superficial), onde infiltra, evapora ou é amortecido. O escoamento superficial livre manifesta-se inicialmente na forma de pequenos filetes de água que se moldam ao microrrelevo do solo. A erosão de partículas de solo em seus trajetos na topografia existente molda, por sua vez, uma microrrede de drenagem efêmera que converge para a rede de cursos d'água mais estáveis, formada por arroios e rios.

3.1.2 Bacia Hidrográfica

Define-se bacia hidrográfica como a superfície drenada por um curso d'água. A bacia hidrográfica é uma área de captação natural da água de precipitação que faz convergir os escoamentos para um único ponto de saída, seu exutório. Compõe-se no seu interior basicamente como um conjunto de superfícies vertentes e uma rede de drenagem formada por cursos d'água que confluem até resultar num leito único no exutório. As vertentes constituem os locais onde os escoamentos se produzem em função da precipitação enquanto que a rede de drenagem a céu aberto encarrega-se de transportá-los ao exutório.

Esquematicamente, a bacia hidrográfica pode ser considerada, portanto, como um sistema físico onde a entrada é o volume d'água precipitado e a saída é o volume d'água escoado pelo exutório. Descontando-se as perdas intermediárias como as da evapotranspiração e da infiltração profunda, a resposta hidrológica típica de uma bacia hidrográfica pode ser representada como na figura 2. Esta figura mostra como a bacia transforma uma entrada de volume concentrada no tempo (precipitação) em uma saída (escoamento) de forma mais distribuída temporalmente. Na mesma figura é feita uma diferenciação entre um escoamento mais lento e outro mais rápido. A este escoamento rápido normalmente é atribuído o nome de escoamento superficial, embora nem todos os escoamentos rápidos sejam superficiais. A separação entre escoamento superficial e subterrâneo é conveniente porque o primeiro possui uma relação de causa e feito com a precipitação que é útil no estabelecimento de elementos hidrológicos de projeto. Na figura 2 isto significa que o volume não infiltrado da precipitação, conhecido por precipitação efetiva, é igual ao volume escoado superficialmente.

Dois fenômenos explicam a dispersão no tempo do escoamento : a translação e o armazenamento. A translação produz um escalonamento no tempo dos volumes gerados na bacia em função das distâncias ao exutório. É razoável supor que a precipitação ocorrida perto do exutório gerará um escoamento aue chegará mais cedo que os escoamentos gerados em locais mais distantes. A translação está intimamente ligada ao conceito de curvas isócronas da bacia. O armazenamento é um fenômeno de natureza hidráulica. Todo escoamento cria uma carga (lâmina d'água) que representa um armazenamento, mesmo que temporário. Nas condições naturais, com atrito, quanto maior o volume a escoar na bacia tanto maior é a carga, sendo o efeito do armazenamento maior na rede de drenagem em relação às vertentes. Tanto a translação como o armazenamento dependem profundamente da topologia da bacia hidrográfica, isto é, como estão dispostos no espaço tridimensional as vertentes e a rede de drenagem.

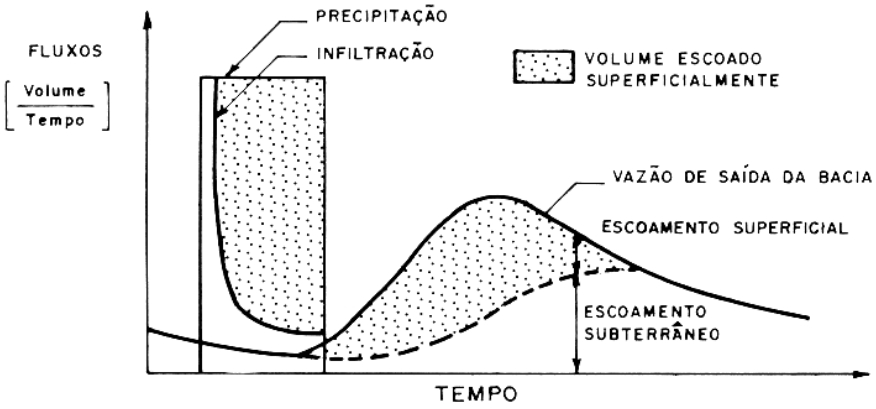


Figura 2 - Visão esquemática da resposta hidrológica da bacia hidrográfica

Da análise das respostas hidrológicas (vazões) em função das precipitações pode-se estabelecer coeficientes de escoamento, que são úteis no diagnóstico de uma bacia hidrográfica.

Uma bacia hidrográfica é fisicamente caracterizada pela sua fisiografia. Consideram-se dados fisiográficos todos aqueles dados e índices derivados que podem ser extraídos de mapas, fotografias aéreas e imagens de satélite. Basicamente são áreas, comprimentos, declividades e índices compostos destas medidas.

3.1.3 Balanço Hídrico e Coeficientes de Escoamento

O balanço hídrico é a contabilidade dos volumes d'água numa área ou bacia segundo a lei da continuidade : num certo período de tempo, o volume d'água de entrada menos o volume d'água de saída deve igualar a variação dos estoques de água na área. O volume d'água de entrada geralmente é proporcionado pela precipitação líquida que é a chuva. Outras formas de precipitação são a neve e o granizo. O nevoeiro interceptado, o orvalho e a geada não são precipitações mas podem ser contabilizados como tais. O volume d'água de saída é constituído pelo escoamento (superficial e subterrâneo) que deixa a área e pelos fluxos de evaporação e transpiração (evapotranspiração). Os estoques de água cuja variação na bacia participam do balanço hídrico são de natureza superficial (basicamente rios, lagos e geleiras) ou subterrânea (solos e rochas, nas zonas não-saturadas e saturadas).

Todos os volumes podem ser expressos em lâmina de água no período de tempo, e a equação do balanço hídrico pode ser expressa por :

$$P = Q + ET + \Delta S$$

onde P é a precipitação, Q é o escoamento, ET é a evapotranspiração e ΔS é a variação (positiva ou negativa) dos armazenamentos de água na bacia.

Em algumas situações, principalmente quando o período de tempo é longo (1 ano ou mais), pode-se admitir $\Delta S=0$, e a equação se simplifica para :

$$P = Q + ET$$

Esta equação permite uma avaliação grosseira da evapotranspiração na bacia, dado que se conheça P e Q. Assim permite também uma avaliação simplificada de possíveis impactos no balanço hídrico, entenda-se em Q, quando a ET é afetada, por exemplo, por um desmatamento ou a construção de um reservatório.

Em textos hidrológicos é comum encontrar D no lugar de ET, sendo D chamado de déficit hídrico.

$$D = P - Q$$

O balanço hídrico é uma ferramenta de análise e planejamento. Pelo balanço hídrico pode-se inferir coeficientes de escoamentos C :

$$C = Q/P$$

Tabela 2 – Exemplos de Coeficientes de Escoamento

Região/Bacia	Q (mm)	P (mm)	C
Amazonas	1079	2460	0,44
Tocantins	492	1660	0,30
São Francisco	143	916	0,16
Atlântico Leste	382	1229	0,31
Paraná	394	1385	0,28
Paraguai	110	1370	0,08
Uruguai	735	1567	0,47
Atlântico Sudeste	605	1394	0,43
Europa	240	600	0,40
Ásia	220	610	0,36
América do Norte	270	670	0,40
América do Sul	490	1350	0,36

3.2 Desequilíbrio do ciclo hidrológico : efeito da urbanização

A urbanização consome espaço natural. Ao fazer isso impermeabiliza significativamente o solo, altera o fluxo e balanço hídrico das águas urbanas e perturba o funcionamento de zonas ribeirinhas.

As enchentes intra-muros são geradas dentro da própria cidade. São enxurradas urbanas que causam alagamentos. Tucci (1993) as define com enchentes ou "inundações devido à urbanização". As enchentes ribeirinhas, por outro lado, ocorrem por extravasamento da calha de um rio em áreas rurais ou urbanas.

Em Tucci (2002) encontramos as seguintes definições :

- Inundações de áreas ribeirinhas: os rios geralmente possuem dois leitos, o leito menor onde a água escoa na maioria do tempo e o leito maior, que é inundado com risco geralmente entre 1,5 e 2 anos O impacto devido a inundação ocorre quando a população ocupa o leito maior do rio, ficando sujeita a inundação;
- Inundações devido à urbanização: as enchentes aumentam a sua freqüência e magnitude devido a impermeabilização ocupação do solo e a construção da rede de condutos pluviais. O desenvolvimento urbano pode também produzir obstruções ao escoamento, como aterros e pontes, drenagens inadequadas e obstruções ao escoamento junto a condutos e assoreamento.

Em síntese, a urbanização desequilibra o fluxo natural das águas, seja ela mesmo alterando os volumes dos diversos processos hidrológicos, seja interpondo-se ao caminho natural delas.

As consequências objetivas são as seguintes:

- Inundações ribeirinhas: ocorrem principalmente pelo processo natural no qual o rio escoa pelo seu leito maior, assim este tipo de enchente é decorrência de processo

natural do ciclo hidrológico, de modo que, quando a população ocupa o leito maior, que são áreas de risco, os impactos são freqüentes (Tucci, 2002);

- Inundações intra-urbanas : a impermeabilização do solo evita a infiltração da chuva no solo, "produzindo" mais água para drenagem e a rede pluvial acelera os escoamentos, favorecendo a acumulação de água em pontos de saturação.

Com respeito às inundações ribeirinhas, baseado em Tucci (2002), podemos apontar o seguinte :

- na quase totalidade das cidades brasileiras, mesmo as com Plano Diretor, não existe nenhuma restrição quanto ao loteamento de áreas de risco de inundação, e uma seqüência de anos sem enchentes é razão suficiente para que empresários loteiem áreas inadequadas;
- população de baixa renda invade com facilidade áreas ribeirinhas que pertencem ao poder público ;
- áreas de médio risco, que são atingidas com freqüência menor, sofrem prejuízos significativos quando as enchentes as atingem.

Desta forma, os principais impactos sobre a população são (Tucci, 2002):

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

As inundações devido a urbanização, por outro lado, acarretam nos seguintes impactos principais (Tucci, 2002) :

- aumento das vazões máximas e da sua freqüência (ver figura) ;
- aumento da produção de sedimentos devido à desproteção das superfícies e à produção de resíduos sólidos (lixo);
- deterioração da qualidade da água superficial e subterrânea, devido a lavagem das ruas, transporte de material sólido e às ligações clandestinas de esgoto cloacal e pluvial e contaminação de aqüíferos;

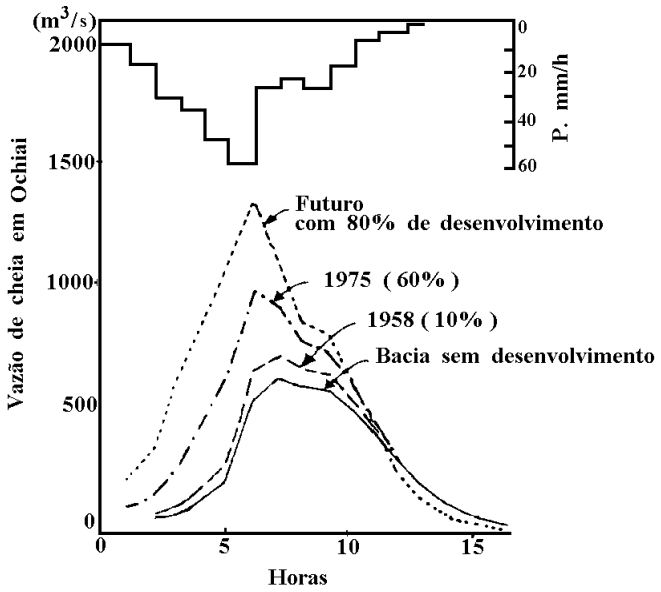


Figura 3 - Impactos evolução urbana em bacia japonesa (Yoshimoto e Suetsugi, 1990)

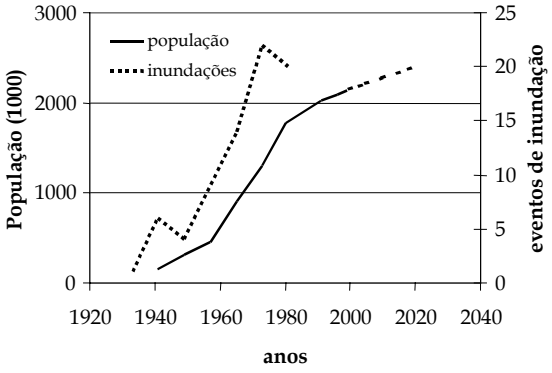


Figura 4 - Evolução urbana e inundações em Belo Horizonte (Ramos, 1998)

Estes impactos são agravados mais ainda pela à forma desorganizada como a infra-estrutura urbana é implantada (Tucci, 2002), tais como: (a) pontes e taludes de estradas que obstruem o escoamento; (b) redução de seção do escoamento por aterros de pontes e para construções em geral; (c) deposição e obstrução de rios, canais e condutos por lixos e sedimentos; (d) projetos e obras de drenagem inadequadas, com diâmetros que diminuem para jusante, drenagem sem esgotamento, entre outros.

Com respeito aos coeficientes de escoamento Silveira (2000) apresenta resultados do impacto da urbanização em algumas bacia urbanas Porto Alegre com ocupação residencial. Foram obtidas algumas funções expressando o coeficiente global de escoamento C em função da taxa de urbanização AURB e da taxa de impermeabilização AIMP. O coeficiente de escoamento evolui rapidamente até uma taxa de impermeabilização de 20% (equivalente a uma urbanização de 50%), com C atingindo um valor entre 45 e 50%. A partir deste estágio, a

urbanização avança sobre toda a bacia, e C encaminha-se mais lentamente para um valor de pouco mais de 60% (Figura 5). Isto significa que o potencial de aumento de escoamento com a urbanização é de 6 a 7 vezes, mas já atinge 4 a 5 vezes com uma urbanização de 50% (admitindo-se um C mínimo de 10%, representando uma condição natural).

A variação de C com a urbanização, considerando-se os valores quantitativos obtidos, indica haver uma alteração significativa do balanço hídrico nas bacias urbanizadas. À medida que a urbanização avança há menos perdas anuais por evapotranspiração e maiores parcelas do escoamento passam a circular na rede pluvial e nos arroios diminuindo a recarga dos aqüíferos, passando a haver menos escoamento de base. Se C evolui de 10 para 60% com a urbanização, as perdas (basicamente por evapotranspiração) reduzem-se em cerca de 55%.

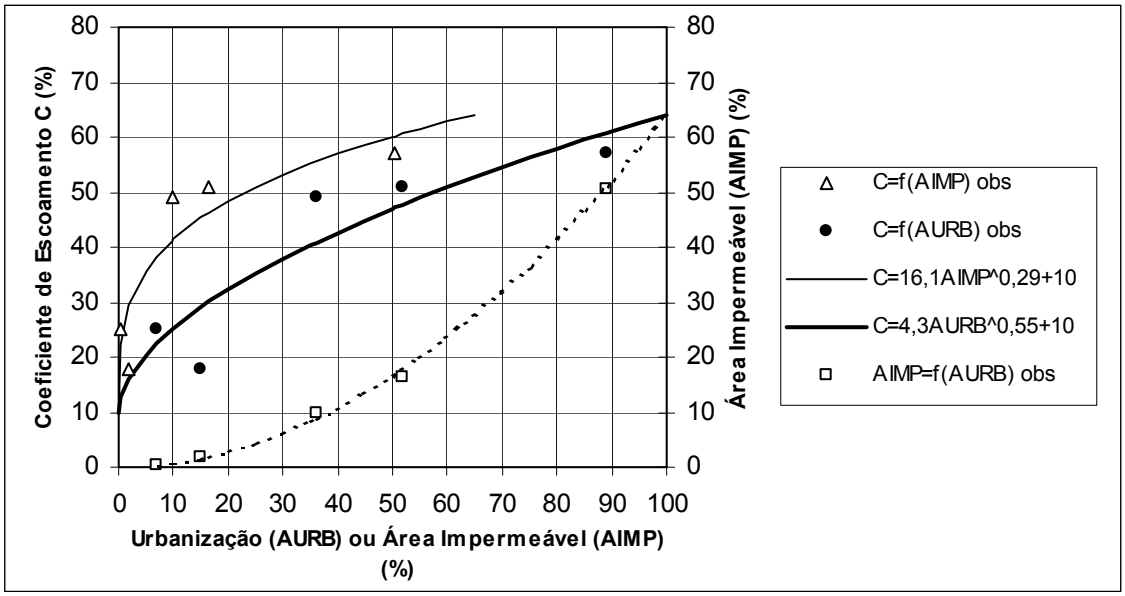


Figura 5 – Coeficiente de escoamento e urbanização em Porto Alegre (Silveira, 2000)

3.3 Re-equilíbrio do ciclo hidrológico urbano

É a reversão do quadro comentado no item anterior. Grande parte do problema decorre do descontrole da "produção" de escoamento pluvial. Infelizmente a filosofia higienista ainda perdura na prática, por diversas razões, nos países em desenvolvimento (Silveira, 2002). É preciso adotar urgente soluções que visem o re-equilíbrio do ciclo hidrológico urbano.

Quantitativamente deve-se buscar :

- Favorecer a infiltração da chuva no solo para não saturar a rede pluvial existente nem incentivar a construção excessiva de redes de condutos e canais para drenagem;
- Promover onde possivel a reservação temporária das águas pluviais para também não onerar a rede pluvial e propiciar alagamentos em locais indevidos.

O ideal é fazer com que o ciclo hidrológico em meio urbano tenha volumes d'água nos diversos compartimentos (escoamento superficial, infiltração no solo, evapotranspiração) em níveis análogos à situação de pré-urbanização.

O re-equilíbrio quantitativo pode ser prejudicado, entretanto, por problemas qualitativos, que também devem ser re-equilibrados, como os seguintes :

- Carreamento de poluentes e contaminação para dentro do solo e aquíferos junto com a infiltração;
- Acumulação de poluentes, esgotos, sedimentos e lixo nos locais destinados à acumulação de escoamento pluvial.

Em resumo, os re-equilíbrios necessários inserem-se dentro de uma filosofia ambientalista da gestão da drenagem pluvial, na qual a drenagem urbana deve se integrar ao planejamento urbano ambiental das cidades, deixando de ser apenas um mero problema de engenharia (Silveira, 2002). A palavra-chave é sustentabilidade.

3.4 Sustentabilidade no gerenciamento do escoamento superficial urbano

A idéia básica é integração da drenagem urbana com todos os atuais setores ligados direta ou indiretamente à gestão das águas urbanas. Sistemas pluviais, de esgotos, abastecimento de água, viário, espaços públicos, áreas protegidas, de regulamentação da ocupação e expansão urbana devem ser pensados juntos. Conforme já comentado anteriormente, a cidade torna-se viável pelos equipamentos de saneamento e drenagem mas estes mesmos equipamentos devem preservar e melhorar a qualidade dos seus cursos d'água. A cidade deve ser autônoma em relação ao meio ambiente hidrológico e vice-versa, justamente por intermédio de um planejamento urbano integrado, incluindo, evidentemente a gestão igualmente integrada das águas urbanas.

Para isso é preciso romper com as práticas vigentes de um planejamento estanque, baseado em setores individuais.

4. OBRAS DE DRENAGEM URBANA E OUTRAS MEDIDAS DE CONTROLE

4.1 Premissas básicas de controle e regulamentações

As obras de drenagem urbana e outras medidas de controle são instrumentos que ajudam à gestão das águas urbanas. Elas, entretanto, têm premissas para serem implementadas, as quais dependem fundamentalmente da legislação. Elas devem incorporar premissas técnicas para serem efetivas.

4.1.1 Legislações Federal e Estadual

De acordo com Tucci (2002) as legislações que envolvem a drenagem urbana e a inundação ribeirinha estão relacionadas com: recursos hídricos, uso do solo e licenciamento ambiental.

Quanto aos recursos hídricos, a Constituição Federal define o domínio dos rios, a legislação de recursos hídricos a nível federal e estabelece os princípios básicos da gestão através de bacias hidrográficas, que podem ser de domínio estadual ou federal. Algumas legislações estaduais de recursos hídricos estabelecem critérios para a outorga do uso da água, mas não legislam sobre a outorga relativa ao despejo de efluentes de drenagem. A legislação ambiental estabelece normas e padrões de qualidade da água dos rios através de classes, mas não define restrições com relação aos efluentes urbanos lançados nos rios. Dentro deste contexto o escoamento pluvial resultante das cidades deve ser objeto de outorga ou de controle a ser previsto nos Planos de bacia. Como estes procedimentos ainda não estão sendo cobrados pelos Estados, não existe ainda uma verdadeira pressão direta para a redução dos impactos resultantes da urbanização.

Quanto a uso do solo, a Constituição Federal, artigo 30, define que é de responsabilidade é municipal. Porém, os Estados e a União podem estabelecer normas para o disciplinamento do uso do solo visando a proteção ambiental, controle da poluição, saúde pública e segurança. Desta forma, observa-se que no caso da drenagem urbana que envolve o meio ambiente e o controle da poluição a matéria é de competência concorrente entre Município, Estado e Federação. A tendência é dos municípios introduzirem diretrizes de macrozoneamento urbano nos Planos Diretores urbanos, incentivados pelos Estados. Observa-se que no zoneamento relativo ao uso do solo não tem sido contemplado pelos municípios os aspectos de drenagem e inundações. O que tem sido observado são legislações restritivas quanto à proteção de mananciais e ocupação de áreas ambientais. A legislação muito restritiva somente produz reações negativas e desobediência. Portanto, não atingem os objetivos de controle ambiental. Isto ocorre na forma de invasão das áreas, loteamentos irregulares, entre outros. Um exemplo feliz foi o introduzido pelo município de Estrela/RS que permitiu a troca de áreas de inundação (proibida para uso) por solo criado ou índice de aproveitamento urbano acima do previsto no Plano Diretor nas áreas mais valorizadas da cidade.

Quanto ao licenciamento ambiental, basicamente são estabelecidos limites para construção e operação de canais de drenagem, regulado pela Lei 6938/81 e resolução CONAMA n. 237/97. Da mesma forma, a resolução CONAMA 1/86 art 2o , VII estabelece

a necessidade de licença ambiental para "obras hidráulicas para drenagem".

Antes de passar à legislação municipal, há interferências de um município em outro que dificilmente são solucionadas isoladamente. É o caso de do gerenciamento de bacias urbanas compartilhadas: grande parte das cidades brasileiras possuem bacia hidrográfica comum com outros municípios. Geralmente existem os seguintes cenários: (a) um município está a montante de outro; (b) o rio divide os municípios.

O controle institucional da drenagem que envolve mais de um município pode ser realizado pelo seguinte (Tucci, 2002):

- através de legislação municipal adequada para cada município; ou
- através de legislação estadual que estabeleça os padrões a serem mantidos nos municípios de tal forma a não serem transferidos os impactos;
- uso dos dois procedimentos anteriores.

Provavelmente a última hipótese deverá ocorrer a longo prazo. A curto prazo é mais viável a primeira opção, até que o comitê da bacia e os Planos Estaduais desenvolvam a regulamentação setorial. Portanto, quando forem desenvolvidos os Planos das bacias que envolvam mais de um município deve-se buscar acordar ações conjuntas com estes municípios para se obter o planejamento de toda a bacia.

4.1.2 Legislações Municipal

Em cada município existe uma legislação específica definida pelo Plano Diretor Urbano que geralmente introduz o uso do solo e as legislações ambientais, mas dificilmente aborda a drenagem urbana (Tucci, 2002).

Belo Horizonte foi precursora neste processo e no seu Plano de Desenvolvimento Urbano de 1996 estabelece que toda a área prevista como permeável poderia ser impermeabilizada, desde que compensada por uma detenção com volume estimado na razão de 30 l/m2 (PMBH,1996). No entanto, a legislação previa uma exceção, ou seja que a construção do mesmo dependeria de parecer de viabilidade de um engenheiro. Infelizmente, a exceção virou regra, pois geralmente as empresas obtiveram o parecer e praticamente nenhuma detenção foi construída.

Em Porto Alegre o Plano Diretor foi denominado de Desenvolvimento Urbano e Ambiental (PMPA, 2000) e se tornou lei no início de 2000. Este Plano introduziu artigos relativos à drenagem urbana. O Plano especifica a necessidade de redução da vazão devido à urbanização para as áreas críticas através de detenção e remete a regulamentação ao Departamento de Esgotos Pluviais. O detalhamento desta regulamentação está em curso, mas todos os projetos de novos empreendimentos (loteamentos) são obrigados atualmente a manter as vazões pré-existentes.

4.1.3 Premissas Técnicas de Controle

Sucintamente, as premissas técnicas de controle passam por uma ação na fonte (controle pluvial local) de forma integrada com o planejamento urbano.

Os fatores específicos que dificultam a modernização da drenagem urbana nos países em desenvolvimento, basicamente com dispositivos de infiltração e retenção, podem ser agrupados em (Silveira, 2002): (1) novidade do enfoque ambientalista frente ao conceito higienista; (2) o processo de urbanização legal e clandestina, sem controle efetivo; (3) alta contaminação do escoamento pluvial ; (4) excesso de produção de sedimentos e lixo; (5) fatores climáticos que podem aumentar riscos epidemiológicos e encarecer obras ; (6) a carência tecnológica da engenharia civil para soluções modernas em drenagem urbana ; (7) a falta de interação da população com a administração pública na busca de soluções para a drenagem urbana.

Para Tucci (2002) a grande dificuldade de implementar o controle na fonte da drenagem urbana reside: (1) na resistências de profissionais desatualizados; (2) na falta de capacidade técnica dos municípios para atuar na fiscalização e controle, de forma efetiva; e (3) na falta de tratamento de esgoto e de um sistema eficiente de limpeza urbana.

4.1.4 Premissas Gerais de Controle

A política de controle da drenagem urbana envolve dois ambientes: externo a cidade e o interno a cidade (Tucci, 2002). Na Figura 6, pode-se observar de forma esquemática a caracterização institucional dos elementos que podem permitir o gerenciamento dos controles da drenagem urbana.

O gerenciamento atual não incentiva a prevenção de inundações ribeirinhas, por exemplo, já que a medida que ocorre a inundação o município declara calamidade pública e recebe recursos a fundo perdido e não necessita realizar concorrência pública para gastar (Tucci, 2002). Como a maioria das soluções sustentáveis passam por medidas não-estruturais que envolvem restrições a população, dificilmente um prefeito buscará este tipo de solução porque geralmente a população espera por uma obra. Enquanto que, para implementar as medidas não-estruturais, ele teria que interferir em interesses de proprietários de áreas de risco, que politicamente é complexo a nível local.

Existe uma grande inter-relação entre os elementos de uso do solo, controle ambiental e recursos hídricos tanto internamente na cidade como na bacia hidrográfica. O gerenciamento da cidade é controlado monitorando o que a cidade exporta para o restante da bacia, induzindo a mesma ao seu controle interno, utilizando-se dos meios legais e financeiros. O processo interno dentro da cidade é uma atribuição essencialmente do município ou de consórcios de municípios, dependendo das características das bacias urbanas e seu desenvolvimento (Tucci, 2002). O mesmo autor comenta que o mecanismo previsto na legislação brasileira para o gerenciamento externo das cidades é o Plano de Recursos Hídricos da Bacia. Analisa esse autor que, no entanto, dificilmente no referido Plano será possível elaborar o Plano de Drenagem de cada cidade contida na bacia.

O Plano deveria estabelecer as metas que as cidades devem atingir para que o rio principal e seus afluentes atinjam níveis ambientalmente adequados de qualidade da água.

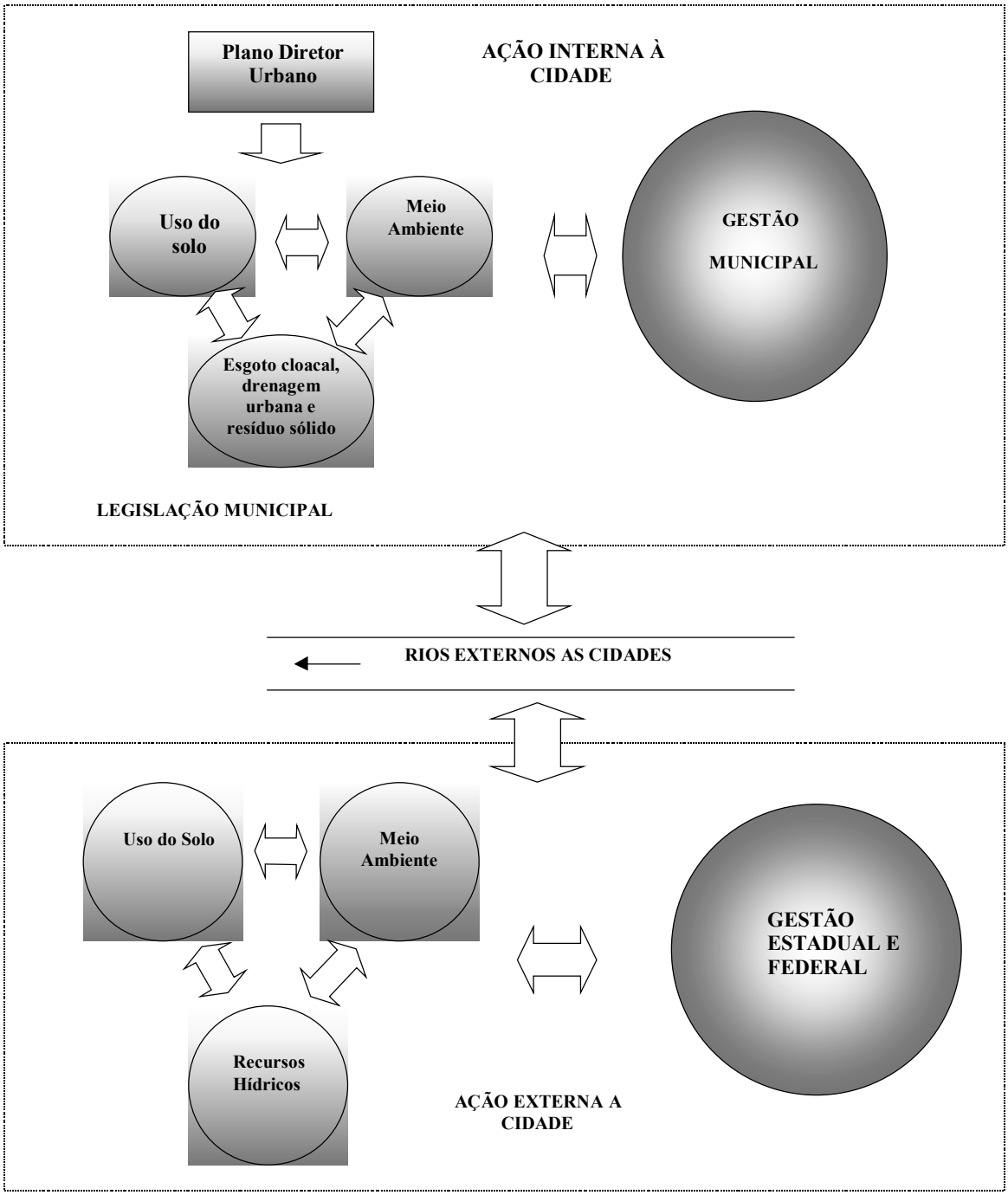


Figura 6 – Política de controle do ciclo da água das cidades

O Plano de Drenagem Urbana deve obedecer os controles estabelecidos no Plano da bacia no qual estiver inserido. Os mecanismos de indução básicos para este processo são: (a) institucional e (b) econômico financeiros. Atualmente a legislação prevê a outorga para efluentes. Desta forma, poderiam ser estabelecidos dois mecanismos básicos: (1) definição de normas e critérios para outorga de efluentes que alterem a qualidade e quantidade de águas

provenientes de áreas urbanas; e (2) estabelecimento de um Plano Integrado de Esgotamento Sanitário, Drenagem Urbana e Resíduo Sólido.

Em termos de financiamento, os elementos de indução para os municípios seriam os seguintes (Tucci, 2002) : (1) subsídio de parte dos recursos para elaboração dos planos pelo comitê de bacia; e (2) criação de um fundo econômico para financiar as ações do Plano previsto para as cidades. O ressarcimento dos investimentos seriam através das taxas municipais específicas para esgotamento sanitário, resíduo sólido e drenagem urbana, este último baseado na área impermeável das propriedades.

4.2 Diferença prática entre microdrenagem e macrodrenagem

Para uma correta gestão da drenagem urbana é preciso ter claro seus conceitos e um deles, dos mais básicos é a distinção entre microdrenagem e macrodrenagem. Bidone e Tucci (1995) definem a microdrenagem urbana como o sistema de condutos pluviais a nível de loteamento ou de rede primária urbana. A macrodrenagem abrange córregos, rios, canais e galerias de maior porte. Um exemplo de microdrenagem é dada na Figura 7.

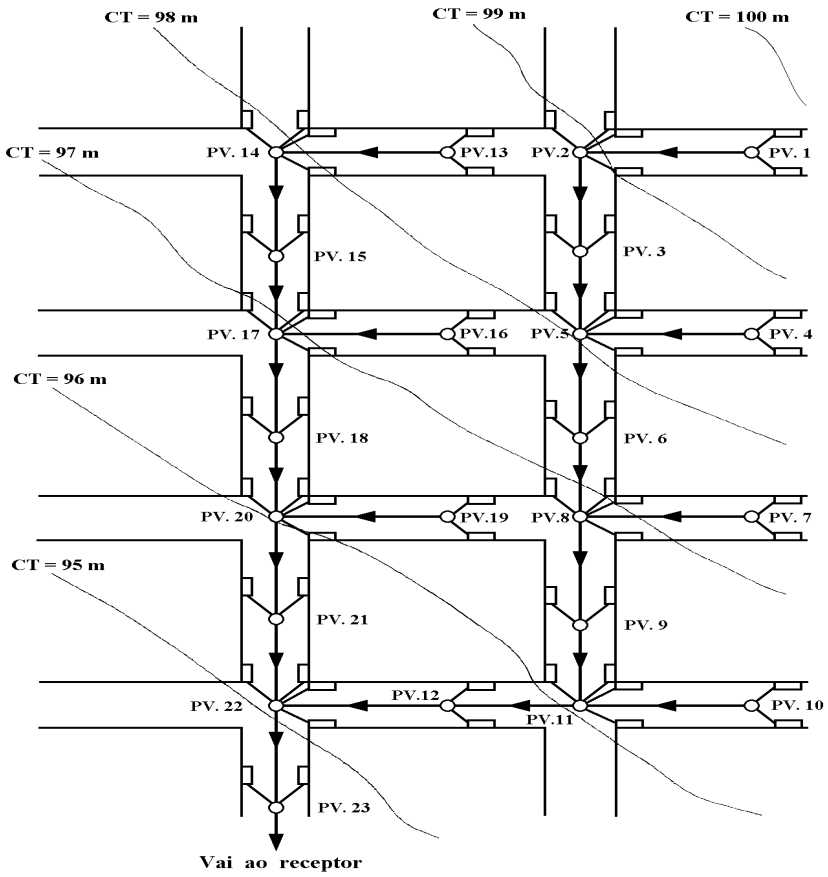


Figura 7 – Microdrenagem tradicional (Bidone eTucci, 1995)

4.3 Medidas de controle estruturais e não-estruturais

As medidas de controle de inundações podem ser classificadas em (Tucci, 1993):

- Estruturais, quando modificam o sistema, buscando reduzir o risco de enchentes, pela implantação de obras para conter, reter ou melhorar a condução dos escoamentos. Estas medidas envolvem construção de barragens, diques, canalizações, reflorestamento, entre outros;
- Não-estruturais, quando são propostas ações de convivência com as enchentes ou são estabelecidas diretrizes para reversão ou minimização do problema. Estas medidas envolvem o zoneamento de áreas de inundações associado ao Plano Diretor Urbano, previsão de cheia, seguro de inundação, legislações diversas, entre outros.

As medidas estruturais são obras de engenharia implementadas para reduzir o risco das enchentes. Estas medidas podem ser extensivas ou intensivas. As medidas extensivas são aquelas que agem no contexto global da 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 numa escala menor, nos cursos d'água e superfícies, e podem ser obras de contenção como diques e pôlderes, de aumento da capacidade de descarga como retificações, ampliações de seção e corte de meandros de cursos d'água, de desvio do escoamento por canais e de retardamento e infiltração, como reservatórios, bacias de amortecimento e dispositivos de infiltração no solo.

As medidas estruturais não são projetadas para dar uma proteção completa ao sistema pois isto exigiria um dimensionamento contra a maior enchente possível, o que é física e economicamente inviável na maioria das situações. A medida estrutural pode, em alguns casos, como o de um reservatório de amortecimento a montante, 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 contraponto, procuram reduzir impactos sem modificar o risco das enchentes naturais, e em alguns casos, estipular princípios que revertam os riscos artificialmente majorados por ações antrópicas às condições naturais. As ações não estruturais em drenagem urbana abrangem os mecanismos de estipulação dos princípios básicos (filosofia), de estabelecimento de como estes princípios devem ser respeitados (legislação, normas e manuais técnicos) e de preparação da sociedade para que eles venham a ser implantados e obedecidos na atualidade e no futuro. O custo de proteção de uma área inundável por medidas estruturais, em geral, é superior ao de medidas não-estruturais.

4.4 Sistema mistos e separados

Os sistemas mistos ou combinados usam um mesmo conduto para o esgoto pluvial e cloacal enquanto que os sistemas separados têm uma rede de condutos para as águas pluviais e outra para os esgotos cloacais.

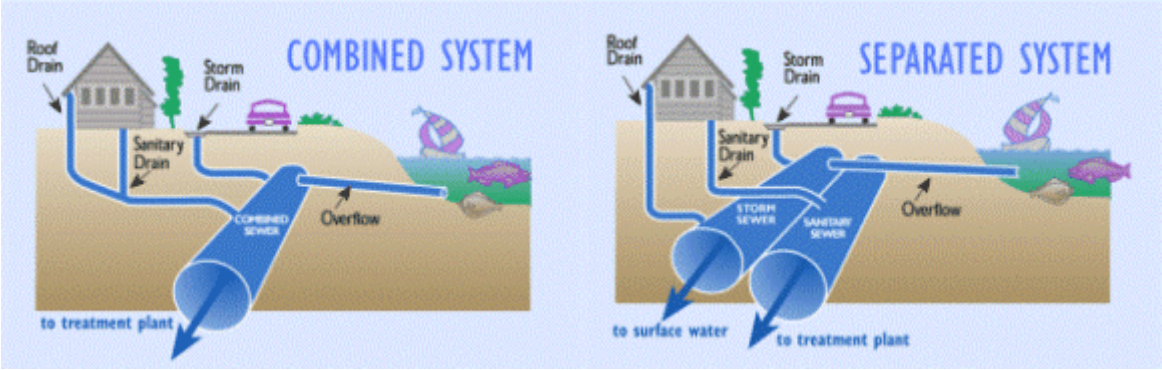


Figura 8 – Sistemas combinados ou mistos e sistemas separadores

A legislação estabelece o sistema separador, mas na prática isto não ocorre devido às ligações clandestinas e à falta de rede cloacal (Tucci, 2002). Devido à falta de capacidade financeira para ampliação da rede de cloacal, algumas prefeituras têm permitido o uso da rede pluvial para transporte do cloacal, o que pode ser uma solução inadequada à medida que esse esgoto não é tratado. Quando o sistema cloacal é implementado a grande dificuldade envolve a retirada das ligações existentes da rede pluvial, o que na prática resultam em dois sistemas misturados com diferentes níveis de carga. As vantagens e desvantagens dos dois sistemas têm gerado longas discussões sobre o assunto em todo o mundo. Considerando a inter-relação com a drenagem, o sistema unitário geralmente amplia o custo do controle quantitativo da drenagem pluvial a medida que exige que as detenções sejam no sub-solo. Este tipo de construção tem um custo unitário várias vezes superior à detenção aberta. As outras desvantagens são: na estiagem, nas áreas urbanas o odor pode ser significativo; durante as inundações, quando ocorre extravasamento, existe maior potencial de proliferação de doenças. Este cenário é mais grave quando os extravasamentos forem freqüentes.

4.5 Obras clássicas e função (ainda úteis)

4.5.1 Obras de Microdrenagem Clássica

Em Bidone e Tucci (1995) encontramos a definição dos principais obras e elementos utilizados no dimensionamento de um sistema pluvial :

- Galeria: canalizações públicas usadas para conduzir as águas pluviais provenientes das bocas-de-lobo e das ligações privadas; um trecho é a porção de galeria situada entre dois poços de visita; os diâmetros comerciais correntes são os seguintes: 0,30; 0,40; 0,50; 0,60; 0,80; 1,00; 1,20 e 1,50 m; as galerias pluviais, sempre que possível, deverão ser lançadas sob os passeios;
- Poço de Visita: dispositivos localizados em pontos convenientes do sistema de galerias para permitirem mudanças de direção, declividade e diâmetro, reunião de vários coletores em cruzamento de ruas, além da inspeção e limpeza das canalizações; espaçamento de 120 a 180 m dependendo do diâmetro dos tubos.

- Bocas-de-lobo: dispositivos localizados em pontos convenientes, nas sarjetas, para captação de águas pluviais das ruas; são locadas em ambos os lados da rua, quando a saturação da sarjeta assim o exigir ou quando forem ultrapassadas as suas capacidades de engolimento; espaçamento máximo de 60 m entre elas é recomendado caso não seja analisada a capacidade de escoamento da sarjeta; a melhor solução para a instalação de bocas-de-lobo é que esta seja feita em pontos pouco a montante de cada faixa de cruzamento usada pelos pedestres, junto às esquinas; não é conveniente a sua localização junto ao vértice de ângulo de interseção das sarjetas de duas ruas convergentes.
- Tubos de ligações: são canalizações destinadas a conduzir as águas pluviais captadas nas bocas-de-lobo para as galerias ou para os poços de visita;
- Sarjetas: faixas de via pública, paralelas e vizinhas ao meio-fio. A calha formada é a receptora das águas pluviais que incidem sobre as vias públicas e que para elas escoam; (os meios-fios são elementos de pedra ou concreto, colocados entre o passeio e a via pública, paralelamente ao eixo da rua e com sua face superior no esmo nível do passeio;
- Sarjetões: calhas localizadas nos cruzamentos de vias públicas, formadas pela sua própria pavimentação e destinadas a orientar o fluxo das águas que escoam pelas sarjetas;
- Condutos forçados: obras destinadas à condução das águas superficiais coletadas, de maneira segura e eficiente, com preenchimento da seção transversal;
- Estações de bombeamento: conjunto de obras e equipamentos destinados a retirar água de um canal de drenagem, quando não mais houver condição de escoamento por gravidade, para um outro canal em nível mais elevado ou receptor final.

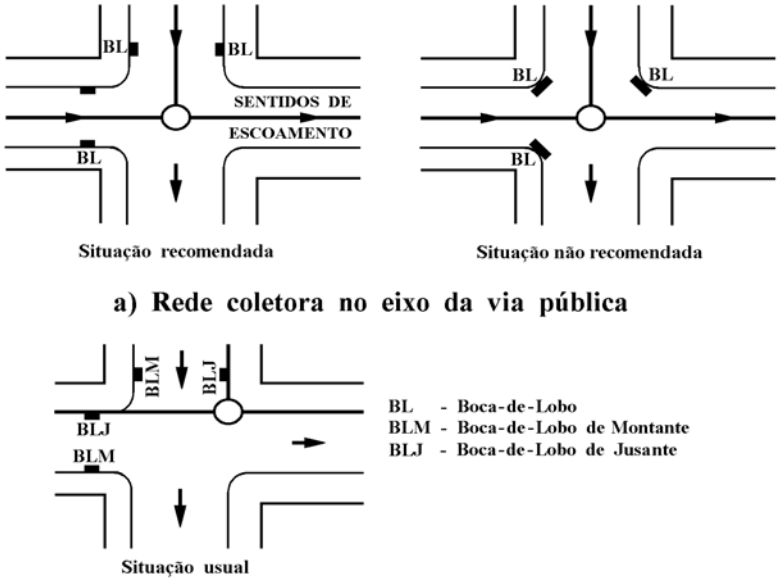
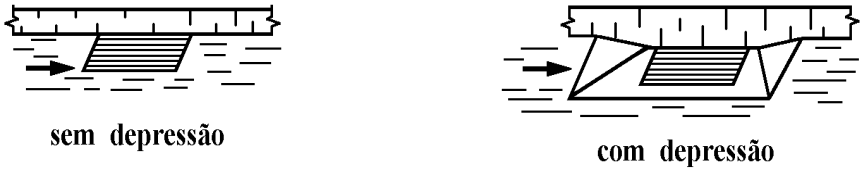


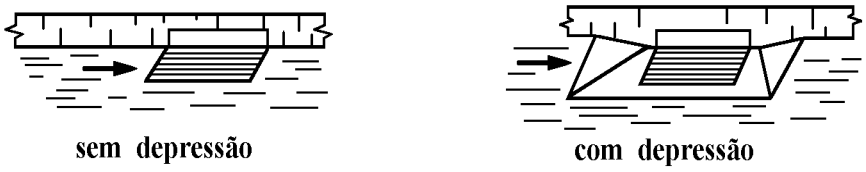
Figura 8 – Posição de bocas-de-lobo

a) Boca-de-Lobo de Guia

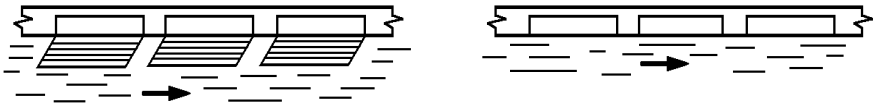
b) Boca-de-Lobo com Grelha



c) Boca-de-Lobo Combinada



d) Boca-de-Lobo Múltipla



e) Boca-de-Lobo com Fenda Horizontal Longitudinal

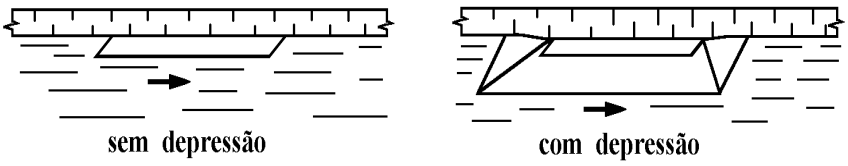


Figura 9 - Tipos de bocas-de-lobo (DAEE/CETESB, 1980)

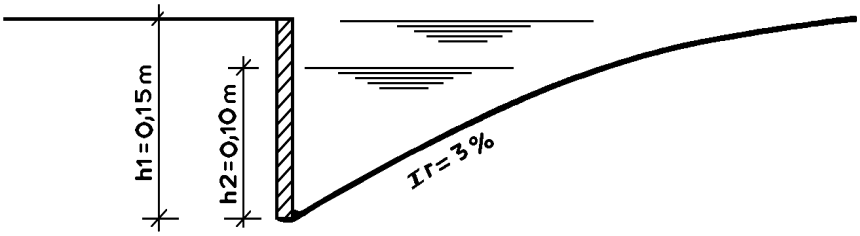


Figura 10 - Seção de sarjeta

O dimensionamento de uma rede de pluviais é baseado nas seguintes etapas:

- subdivisão da área e traçado;
- determinação das vazões que afluem à rede de condutos;
- dimensionamento da rede de condutos.

Os principais dados necessários à elaboração de um projeto de rede pluvial de microdrenagem são plantas, cadastro, ocupação urbana, e características hidrológicas do corpo receptor. Devem ser estudados diversos traçados da rede de galerias, considerando-se os dados topográficos existentes, o pré-dimensionamento hidrológico e hidráulico e plano urbanístico.

4.5.2 Macrodrenagem Clássica

A macrodrenagem recebe geralmente os aportes da microdrenagem e é constituída por córregos, riachos e rios da zona urbana. Frequentemente córregos e riachos são retificados e encapados (engalerizados). O rol clássico de obras de macrodrenagem constitui-se de retificação e ampliação das seções de canais naturais, construção de canais artificiais, grandes galerias, além de estruturas auxiliares para controle, dissipação de energia, amortecimento de picos, proteção contra erosões e assoreamento, travessias e estações de bombeamento.

4.6 Obras modernas e função (úteis ao re-equilíbrio do ciclo hidrológico urbano)

4.6.1 Controle na Fonte

O controle na fonte da drenagem pluvial urbana visa promover a redução e a retenção do escoamento pluvial de forma a desonerar os sistemas tradicionais de esgotamento pluvial ou mesmo evitar ampliações destes sistemas, ampliações estas que são, muitas vezes, inviáveis e de vida útil curta face ao desenvolvimento urbano. Os sistemas tradicionais são conhecidos e exemplos típicos são condutos e galerias pluviais enterradas, sarjetas, bocas-de-lobo, calhas coletoras de telhados, e arroios urbanos retificados ou engalerizados (enterrados). Enquanto os sistemas tradicionais visam a evacuação rápida das águas pluviais para jusante, os dispositivos de controle na fonte procuram reduzir e retardar escoamentos urbanos. Os dispositivos tradicionais, como tubulações enterradas, podem ser substituídos por outros de

controle na fonte, mas não em todos os casos, pois um moderno projeto de drenagem urbana deve integrar harmoniosamente estruturas de transporte e de infiltração e retenção. Muitos dispositivos de controle na fonte têm um objetivo mais amplo do que o controle quantitativo do escoamento pluvial, incorporando-se também o controle da poluição e dos sedimentos e lixo.

Os dispositivos de controle na fonte são basicamente de dois tipos :

- Dispositivos de armazenamento e
- Dispositivos de infiltração

Os dispositivos de armazenamento normalmente têm por objetivo primordial o retardo do escoamento pluvial para sua liberação defasada, e com pico amortecido, ao seu destino, que pode até ser um ponto de captação de uma rede pluvial existente. Reservatórios residenciais em lotes, bacias de retenção e detenção nos loteamentos ou na macrodrenagem são exemplos típicos destes dispositivos de armazenamento.

Os dispositivos de infiltração, diferentemente dos de armazenamento, retiram água do sistema pluvial, promovendo sua absorção pelo solo para redução do escoamento pluvial. Pavimentos porosos, trincheiras de infiltração, faixas e valas gramadas são alguns exemplos típicos de tais dispositivos, mais adequados às escalas do lote e do loteamento. Há muitos dispositivos mistos que promovem a infiltração e ao mesmo tempo retardam o escoamento excedente. Depende da concepção da obra ou dispositivo, segundo a criatividade do projetista.

Chamaremos aqui os dispositivos de controle na fonte de MCs (Medidas de Controle). Assim as MCs propõem uma gestão ou controle do escoamento pluvial de forma distribuída no espaço, preferentemente na origem. Embora muitas MCs sejam efetivamente dispositivos físicos e obras, há medidas que aproveitam áreas naturalmente aptas à infiltração das águas sem muitos investimentos. As MCs, aliás, poderiam ser divididas em medidas compensatórias (elas compensam o efeito da impermeabilização) e alternativas (medidas de substituição das soluções tradicionais).

A concepção de MCs tem muitas peculiaridades e deve-se buscar a situação ideal que modifica o processo de estudo tradicional de um sistema pluvial. Até há pouco tempo, estes estudos eram feitos só depois do estudo urbanístico, consistindo basicamente de uma rede de condutos enterrados ao longo do sistema viário. Deve-se evitar que esta prática se estenda ao projeto das MCs pois seguramente o projeto urbanístico já pronto vai restringir muito e até ocultar suas potencialidades de controle. O sucesso das MCs, de fato, segundo experiências em países desenvolvidos, é muito mais nítido quando o problema do saneamento pluvial é levado em conta antes do projeto urbanístico. As oportunidades de otimização do projeto se abrem, pois, por exemplo, se uma bacia de detenção é necessária, ela não é imposta ao projeto urbanístico, mas passa a ser um elemento de valorização do ambiente, com plena consciência das restrições que ela possa engendrar na arquitetura do espaço.

As idéias do presente item ajudam a compreender que as MCs abordadas a seguir não devem constituir-se em soluções isoladas do contexto urbano e do saneamento pluvial global.

4.6.2 Elenco de Obras de Controle na Fonte

A experiência internacional referente às MCs aponta para um elenco básico de obras ou estruturas que pode ser listado como na Tabela 3. A vantagem primordial destas obras é a razão da sua própria concepção, isto é, são obras que reduzem ou retardam o deflúvio superficial direto, regulando e limitando as vazões geradas para jusante, para alívio de redes pluviais existentes, muitas vezes saturadas, e dos meios receptores naturais, freqüentemente alterados física e qualitativamente pela função de esgotamento pluvial urbano.

Tabela 3 - Lista das Medidas de Controle (MC) básicas

Obra	Característica Principal	Função	Efeito
Pavimento Poroso	Pavimento com camada de base porosa como reservatório	Armazenamento temporário da chuva no local do próprio pavimento. Áreas externas ao pavimento podem também contribuir.	Retardo e/ou redução do escoamento pluvial gerado pelo pavimento e por eventuais áreas externas
Trincheira de infiltração	Reservatório linear escavado no solo preenchido com material poroso	Infiltração no solo ou retenção, de forma concentrada e linear, da água da chuva caída em superfície limítrofe	Retardo e/ou redução do escoamento pluvial gerado em área adjacente
Vala de infiltração	Depressões lineares em terreno permeável	Infiltração no solo, ou retenção, no leito da vala, da chuva caída em áreas marginais	Retardo e/ou redução do escoamento pluvial gerado em área vizinha
Poço de Infiltração	Reservatório vertical e pontual escavado no solo	Infiltração pontual, na camada não saturada e/ou saturada do solo, da chuva caída em área limítrofe	Retardo e/ou redução do escoamento pluvial gerado na área contribuinte ao poço
Microrreservatório	Reservatório de pequenas dimensões tipo 'caixa d'água' residencial	Armazenamento temporário do esgotamento pluvial de áreas impermeabilizadas próximas	Retardo e/ou redução do escoamento pluvial de áreas impermeabilizadas
Telhado reservatório	Telhado com função reservatório	Armazenamento temporário da chuva no telhado da edificação	Retardo do escoamento pluvial da própria edificação
Bacia de detenção	Reservatório vazio (seco)	Armazenamento temporário e/ou infiltração no solo do escoamento superficial da área contribuinte	Retardo e/ou redução do escoamento da área contribuinte
Bacia de retenção	Reservatório com água permanente	Armazenamento temporário e/ou infiltração no solo do escoamento superficial da área contribuinte	Retardo e/ou redução do escoamento da área contribuinte
Bacia subterrânea	Reservatório coberto, abaixo do nível do solo	Armazenamento temporário do escoamento superficial da área contribuinte	Retardo e/ou redução do escoamento da área contribuinte
Condutos de armazenamento	Condutos e dispositivos com função de armazenamento	Armazenamento temporário do escoamento no próprio sistema pluvial	Amortecimento do escoamento afluente à macrodrenagem
Faixas gramadas	Faixas de terreno marginais a corpos d'água	Áreas de escape para enchentes	Amortecimento de cheias e infiltração de contribuições laterais

Há um favorecimento da própria dinâmica urbanística com as MCs, pois certas delas permitem a viabilização de zonas para as quais o esgotamento pluvial seria técnica e financeiramente difícil, além de adaptarem-se à evolução da ocupação urbana, pois é possível construir gradativamente várias MCs sem a necessidade de construir preventivamente um grande sistema pluvial para a ocupação total prevista (Azzout et al., 1994). As informações gerais da Tabela 3 apontam as características principais, funções e efeitos das MCs básicas, como uma primeira orientação aos projetistas.

Há vários fatores, que poderiam ser entendidos como critérios, que condicionam a escolha de obras de redução e controle do escoamento. As medidas de controle (MCs) listadas na Tabela 3 mostram potencialidades diversas mas sua utilização depende basicamente das situações ou condições abaixo : área controlada, capacidade de infiltração do solo, freático alto, aquífero em risco, solo frágil à água, subsolo duro, declividade alta, ausência de exutório, consumo de espaço, fundações e redes próximas, restrição de urbanização, afluência poluída, afluência com alta taxa de sedimentos, riscos sanitário e sedimentológico por má operação, esforços e tráfego intensos, flexibilidade de desenho, limites dimensionais da MC.

Esta lista foi elaborada com base principalmente nas recomendações de Schueler (1987) e Azzout et al. (1994). A primeira referência diz respeito ao Manual de Drenagem de Washington (EUA) e a segunda baseia-se na experiencia francesa.

Área controlada

Há uma tendência das áreas controladas serem menores para os dispositivos de infiltração e maiores para os de retenção/detenção. Entretanto, isto pode ser relativo. Na verdade, pela própria natureza dos dispositivos, há aqueles que foram concebidos para controle na fonte de pequenas áreas e outros cuja potencialidade é mais efetiva para áreas maiores. Por isso, os valores apresentados na Tabela 4 são meramente indicativos.

Tabela 4 – Áreas contribuintes adequadas para as MCs

Medidas de Controle	**Área de Contribuição (ha)**									
	0	**2**	**4**	**6**	**8**	**10**	**12**	**14**	**20**	**40**
Pavimento Poroso	✔	✔	✔	!	!	✘	✘	✘	✘	✘
Trincheira de Infiltração	✔	✔	!	✘	✘	✘	✘	✘	✘	✘
Vala de Infiltração	✔	✔	!	✘	✘	✘	✘	✘	✘	✘
Poço de Infiltração	✔	!	!	✘	✘	✘	✘	✘	✘	✘
Micro-reservatório	✔	✘	✘	✘	✘	✘	✘	✘	✘	✘
Telhado reservatório	✔	✘	✘	✘	✘	✘	✘	✘	✘	✘
Bacia de Detenção	✘	!	!	!	!	✔	✔	✔	✔	✔
Bacia de Retenção	✘	✘	✘	!	✔	✔	✔	✔	✔	✔
Bacia Subterrânea	✔	✔	✔	!	✘	✘	✘	✘	✘	✘
Condutos de Armazen.	✔	!	✘	✘	✘	✘	✘	✘	✘	✘
Faixa Gramada	✔	✔	!	✘	✘	✘	✘	✘	✘	✘

✔viabilidade de implantação ! viabilidade depende de condição específica ✘inviável, a princípio

Capacidade de infiltração do solo

A capacidade de infiltração do solo condiciona bastante o uso das MCs que infiltram a água no solo, pois é um parâmetro que influencia muito o desempenho destes dispositivos. Baixas capacidades de infiltração (abaixo de 7 mm/h) praticamente inviabilizam as MCs de infiltração. Por outro lado, altas taxas de infiltração prejudicam o uso de bacias de retenção, pois haveria dificuldade de manter os níveis d'água. A Tabela 5 dá as indicações para as MCs influenciadas pela capacidade de infiltração.

Tabela 5 – Restrições de capacidade de infiltração do solo

Medidas de Controle	**Capacidade de infiltração (mmh^{-1})**									
	0,5	**1,0**	**1,5**	**2,0**	**4,0**	**7,0**	**13**	**25**	**60**	**200**
Pavimento Poroso	✘	✘	✘	✘	✘	!	✔	✔	✔	✔
Trincheira de Infiltração	✘	✘	✘	✘	✘	!	✔	✔	✔	✔
Vala de Infiltração	✘	✘	✘	✘	✘	!	✔	✔	✔	✔
Poço de Infiltração	✘	✘	✘	✘	!	!	✔	✔	✔	✔
Micro-reservatório (*)	✘	✘	✘	✘	✘	!	✔	✔	✔	✔
Bacia de Detenção (**)	✘	!	!	✔	✔	✔	✔	✔	✔	✔
Bacia de Retenção	✔	✔	✔	✔	✔	✔	✔	!	!	✘
Faixa Gramada	✘	!	!	✔	✔	✔	✔	✔	✔	✔

(*) variante infiltrante (sem fundo)
(**) caso da variante chamada de bacia de infiltração
✔ viabilidade de implantação
! viabilidade depende de condição específica
✘ inviável, a princípio
Algumas das indicações da Tabela 5 foram retiradas de Schueler (1987), Manual de Drenagem de Washington, EUA.

Freático alto

A situação de freático alto e outras condições solo-aquífero estão reunidas na Tabela 6, que embasa a recomendação ou não das MCs quanto a estes aspectos.

Considera-se o freático alto quando normalmente está a menos de 1 metro de profundidade do fundo da MC. O freático estando alto prejudicaria a saída de água (exfiltração) do dispositivo, diminuindo assim sua capacidade de drenagem da área controlada, já que a própria infiltração no dispositivo ficaria reduzida.

O freático alto, portanto, inviabiliza as MCs de infiltração, exceto o poço de infiltração que poderia ser adaptado nestas condições. O freático alto pode colocar dificuldades, por perigo de infiltração de água, na concepção de uma bacia subterrânea.

Tabela 6 – Condições solo-aquífero para implementação das MCs

Medidas de Controle	Condições solo-aquífero			
	Freático alto	Aquífero em risco	Solo frágil à água	Subsolo duro
Pavimento Poroso	✗	✗	✗	✗
Trincheira de Infiltração	✗	✗	✗	✗
Vala de Infiltração	✗	✗	✗	✗
Poço de Infiltração	!	✗	✗	✗
Micro-reservatório	✔	✔	✔	✔
Telhado reservatório	✔	✔	✔	✔
Bacia de Detenção	!	!	✗	!
Bacia de Retenção	✔	✗	✗	✗
Bacia Subterrânea	✗	!	✔	✗
Condutos de Armazen.	✔	!	✔	✗
Faixa Gramada	!	!	✗	!

✔viabilidade de implantação

! viabilidade depende de condição específica

✗inviável, a princípio

Aquífero em risco

Em zonas de recarga de aquíferos pode haver perigo de contaminação por MCs que promovam a infiltração. As recomendações da Tabela 6 refletem isto, mas mesmo para aquelas MCs não infiltrantes é preciso tomar medidas contra acidentes nestas zonas de recarga.

Solo frágil à água

Alguns solos argilosos ou com muitos finos podem desestruturar-se com a presença frequente de água, perdendo sua capacidade de suporte e suas características hidráulicas. Tais solos, portanto, são inadequados para receber dispositivos de infiltração e mesmo bacias de detenção e retenção, pois nestas o fundo pode tornar-se excessivamente barrento ou lodoso. A Tabela 6 mostra as avaliações por MC.

Subsolo duro

O subsolo ou solo a pouca profundidade da superfície, quando apresentam-se muito compactados ou possuem uma camada pedregosa, prejudicam a exfiltração de eventuais dispositivos de infiltração. A existência de tal camada de impedimento prejudicaria, portanto, a exemplo de um lençol freático alto, a capacidade de drenagem da área controlada por uma MC de infiltração, já que a própria infiltração no dispositivo ficaria reduzida. Por outro lado, no caso da presença de uma camada com rocha, a escavação seria dificultada, o que pode desestimular a construção de bacias de detenção, retenção e subterrâneas. A Tabela 6 resume as recomendações.

Declividade alta

A declividade alta é uma condição que se inscreve naquilo que se poderia chamar de condições de localização (Tabela 7). Várias MCs podem ter seu uso restringido por declividades do terreno altas. Schueler (1987) afirma que declividades acima de 5% ou mais não são boas, por exemplo, para pavimentos porosos e valas de infiltração. E que uma declividade acima de 20% não é prática para uma trincheira de infiltração ou uma faixa gramada.

Tabela 7 – Condições de localização para implementação das MCs

Medidas de Controle	**Condições de localização**				
	Declividade alta	**Ausência de exutório**	**Consumo de espaço**	**Fundações e redes próximas**	**Restrição de urbanização**
Pavimento Poroso	✘	!	!	✘	✘
Trincheira de Infiltração	✘	!	✔	✘	✔
Vala de Infiltração	✘	!	✔	✘	✘
Poço de Infiltração	!	!	✔	✘	✔
Micro-reservatório	✔	✘	✔	✔	✔
Telhado reservatório	✔	✘	✔	✔	✔
Bacia de Detenção	!	✘	✘	✘	✔
Bacia de Retenção	✔	✘	✘	✘	✔
Bacia Subterrânea	✔	✘	!	!	✘
Condutos de Armazen.	✔	✘	✔	!	✔
Faixa Gramada	!	✘	✔	!	!

✔viabilidade de implantação ! viabilidade depende de condição específica ✘inviável, a princípio

Ausência de exutório

As MCs que não infiltram exigem, para sua descarga, um local de destino, um exutório. Há locais, entretanto, onde não há uma rede pluvial ou um córrego próximos para receber a água. Há outros locais em que, por questões ambientais, não é permitido o despejo no meio natural. Assim, a ausência de exutório é altamente limitante à utilização de MCs de armazenamento (Tabela 7). As MCs de infiltração, a princípio, não têm maiores problemas quanto a isso, mas é preciso prever o que fazer no caso de chuvas maiores que as de projeto.

Consumo de espaço

Alguns locais são tão pequenos ou densamente ocupados que não há possibilidade de implementação de MCs que ocupam um espaço significativo. É o caso de bacias de retenção e de detenção (Tabela 7). Pode ser também o caso de pavimentos porosos e bacias subterrâneas.

Fundações e redes próximas

As MCs de infiltração favorecem a percolação de água no interior do solo e isto pode ser prejudicial a fundações e redes urbanas (telefonia, por exemplo) próximas. Também pode haver problemas de contaminação de poços de captação de água. Bacias de detenção e retenção, onde há também infiltração, também não são recomendáveis neste caso. A Tabela 7, acima, fornece o critério de recomendação para cada MC, nesta situação.

Restrição de urbanização

Certas MCs só se adaptam a um tipo específico de urbanização ou ocupação do solo. Os pavimentos porosos são colocados normalmente em estacionamentos ou vias de tráfego leve, e não suportariam se a urbanização evoluísse para um uso com tráfego intenso. As valas de infiltração constituem outro exemplo, pois são concebidas para loteamentos com baixa densidade de ocupação e não seriam adequadas se a ocupação do solo passase a ser com alta densidade habitacional. A Tabela 7 dá as indicações por MC. Note-se que admitiu-se na Tabela 7 que uma provável mudança de ocupação do solo não afetaria bacias de detenção ou retenção existentes, mas isto não é garantido.

Afluência poluída

Em países em desenvolvimento, as condições sanitárias e sedimentológicas podem ser altamente restritivas ao uso das MCs (Tabela 8). As MCs listadas não toleram afluências poluídas por esgoto cloacal e lavagem das ruas. Pode-se contornar este problema com estruturas de pré-tratamento a montante, mas dependendo da carga poluidora, podem conduzir a estruturas mais complexas e caras que a própria MC protegida.

Tabela 8 – Condições sanitárias e sedimentológicas para implementação das MCs

Medidas de Controle	**Condições sanitárias e sedimentológicas**			
	Afluência poluída	**Afluência com alta taxa de sedimentos**	**Risco sanitário por má operação**	**Risco de sedimentológico por má operação**
Pavimento Poroso	✘	✘	✔	✔
Trincheira de Infiltração	✘	✘	✔	✔
Vala de Infiltração	✘	✘	✔	✔
Poço de Infiltração	✘	✘	✔	✔
Micro-reservatório	✘	✘	!	✔
Telhado reservatório	✘	✘	!	✔
Bacia de Detenção	✘	!	✘	✘
Bacia de Retenção	✘	!	✘	✘
Bacia Subterrânea	✘	✘	✘	✘
Condutos de Armazen.	!	✘	✔	✔
Faixa Gramada	✘	✘	✔	✔

Afluência com alta taxa de sedimentos

A exemplo do comentado para afluência poluída, as MCs listadas não toleram afluências com altas cargas de sedimentos e lixo (Tabela 8). A possibilidade de contornar o problema pode esbarrar no dimensionamento de estruturas de retenção de sedimentos e/ou lixo muito complexas e caras. Nas bacias de detenção e retenção de maior porte estas estruturas seriam mais viáveis e a limpeza mecanizada (retroescavadeira) seria possível.

Risco sanitário por má operação

Em MCs de maior porte, que requerem operação de comportas e equipamentos mecânicos, como pode ser o caso de bacias de detenção e retenção, há o risco de má operação (e manutenção) e consequente acúmulo ou disseminação de escoamentos altamente poluídos. Em situações onde não se pode garantir um bom funcionamento de tais estruturas elas não são recomendáveis (Tabela 8). Micro-reservatórios e telhados reservatórios com má manutenção podem favorecer o desenvolvimento de mosquitos se entupimentos e acúmulos d'água não forem resolvidos.

Risco sedimentológico por má operação

As recomendações são análogas às do risco sanitário. O acúmulo de sedimentos, por má operação, sem providências de remoção sistemática, em bacias de retenção e detenção pode deixá-las inoperantes (Tabela 8). Para as outras MCs, não há risco de uma má-operação (se for o caso) provocar um problema sedimentológico de proporções.

Esforços e tráfego intensos

A estrutura em si da MC pode ser restritiva ao seu uso se ela for submetida a esforços ou tráfego intenso. A Tabela 9 mostra para quais MCs há restrições estruturais e de desenho. Por exemplo, os dispositivos de infiltração sofrem degradação sob tráfego intenso, seja de veículos ou de pedestres (neste último caso, com exceção do pavimento poroso). As estruturas de bacias subterrâneas e de condutos enterrados de armazenamento devem ser protegidas de esforços e vibrações para não trincar. O telhado reservatório pode ser inviabilizado pela alta carga sobre a estrutura suporte, em alguns casos.

Flexibilidade de desenho

Ao comparar alternativas de MCs, algumas delas levam desvantagem por terem restrições de desenho (Tabela 9). O micro-reservatório de lote (estanque) exige arranjo que possibilite escoamento por gravidade até a rede pluvial. A bacia subterrânea tem desenho condicionado pela sua estrutura que deve resistir a esforços e pela necessidade de seu esgotamento por gravidade. O telhado reservatório tem limitação ditada pela configuração arquitetônica da edificação.

Limite na altura da MC

Para as MCs de infiltração e uma MC do tipo bacia, que igualmente conte com a infiltração como modo de funcionamento, o cotejo entre o tempo de residência desejado (geralmente 2 a 3 dias para efeito de remoção de poluição leve) e a altura desejável para o dispositivo (condicionado pelo controle volumétrico) pode resultar numa limitação desta última, se a capacidade de infiltração do solo não for suficiente. A Tabela 9 resume as recomendações.

Tabela 9 – Restrições estruturais e de desenho

Medidas de Controle	Restrições estruturais e de desenho		
	Esforços e tráfego intensos	Flexibilidade de desenho	Limite na altura da MC
Pavimento Poroso	✘	✔	✘
Trincheira de Infiltração	✘	✔	✘
Vala de Infiltração	✘	✔	✘
Poço de Infiltração	✘	✔	✘
Micro-reservatório	✔	!	✔
Telhado reservatório	!	!	✔
Bacia de Detenção	✔	✔	!
Bacia de Retenção	✔	✔	✘
Bacia Subterrânea	!	!	✔
Condutos de Armazen.	!	✔	✔
Faixa Gramada	✘	✔	✔

✔ viabilidade de implantação

! viabilidade depende de condição específica

✘ inviável, a princípio

4.6.3 Descrição das obras de controle na fonte

Pavimento Poroso

Os pavimentos porosos são dispositivos que infiltram a água caída sobre eles para um reservatório na camada de base, geralmente de cascalho poroso. O revestimento da superfície é também, freqüentemente, poroso, mas há variantes com revestimento impermeável com entradas pontuais para a camada de base porosa. São pavimentos que agem, normalmente, no controle do pico e volume do escoamento superficial, no controle da poluição difusa, e, quando infiltram a água no solo, promovem a recarga de águas subterrâneas.

Os pavimentos porosos podem dividir-se em quatro tipos (Figura 11):

- Pavimento poroso de infiltração e revestimento permeável
- Pavimento poroso de infiltração e revestimento impermeável
- Pavimento poroso de retenção e revestimento permeável ; e
- Pavimento poroso de retenção e revestimento impermeável

Estes quatro tipos encerram duas qualidades de absorção (injeção) e duas de esvaziamento (evacuação) da camada porosa. Nos pavimentos de infiltração a evacuação é vertical e difusa para dentro do solo enquanto que nos pavimentos de retenção ela é horizontal e direcionada para um exutório (rede pluvial existente, por exemplo). Quanto à absorção, tanto os pavimentos porosos de infiltração quanto de retenção podem ter ou uma injeção (entrada) difusa, através de um revestimento permeável, ou localizada, através de captações pontuais em um revestimento impermeável. Os pavimentos de retenção são usados sobre

solos com pouca permeabilidade ou sensíveis à presença de água.

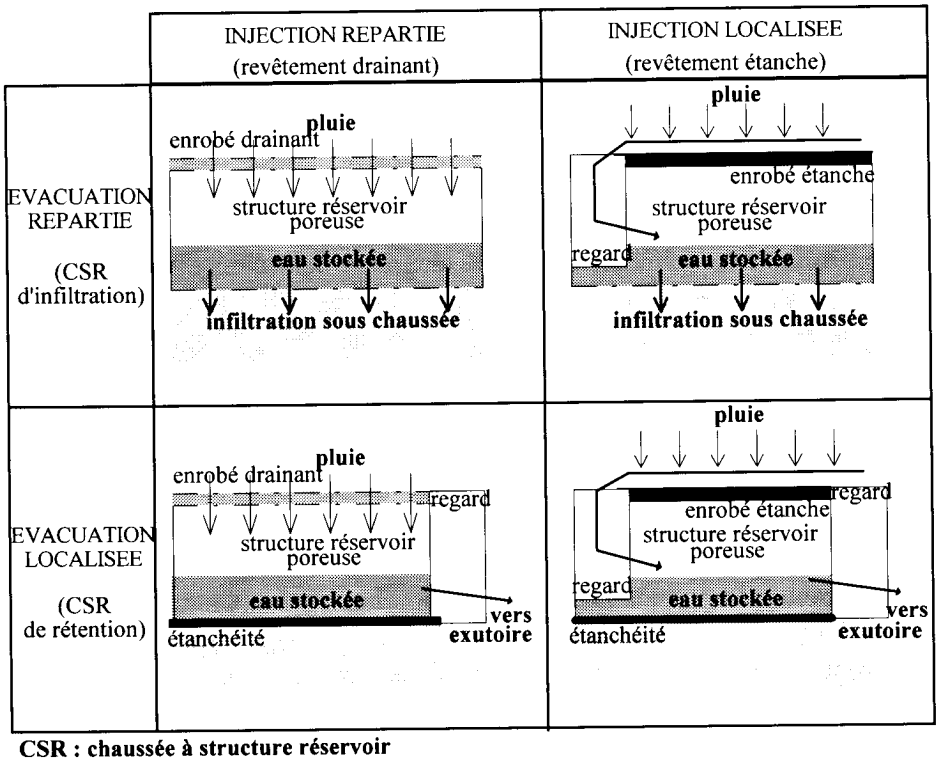


Figura 11 – Tipos de pavimentos porosos (Azzout et al., 1994)

Há três tipos básicos de revestimento superficial permeável : (a) asfalto poroso; (b) concreto poroso; e (c) blocos vazados de concreto. A principal diferença de (a) e (b) para os revestimentos de concreto e asfalto convencionais é a ausência de areia fina na sua composição e o fato de serem colocados sobre uma base granular, com filtros geotêxteis, evitando a migração de finos para esta base.

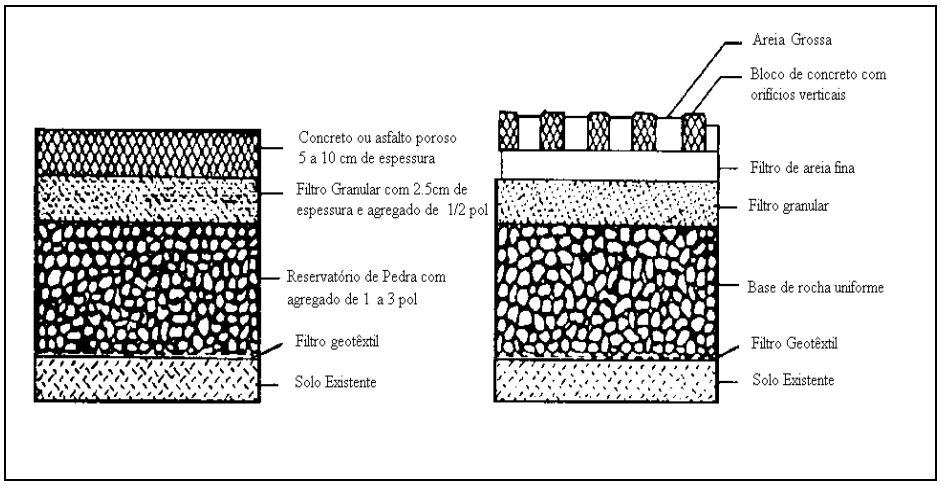


Figura 12 – Pavimentos porosos (Urbonas e Stahre, 1993)

No mercado europeu há a oferta de blocos alveolares em plástico como alternativa para reservação subterrânea em substituição à camada porosa com cascalho. O preço é maior mas há a vantagem de possuir um grau de porosidade maior.

Os pavimentos porosos são adequados para uso em vias de tráfego leve, estacionamentos, calçadões, praças e quadras de esporte. Promovem uma grande redução no pico dos escoamentos gerados na superfície e possuem vantagens adicionais de custo (comparada ao de uma rede pluvial convencional), conforto (menos ruído de tráfego, menos poças d'água, menor risco de aquaplanagem) e melhoria ambiental (filtração de poluentes leves e sedimentos finos e recarga do aquífero). As desvantagens incluem a colmatação das camadas permeáveis, o perigo de contaminação do freático, e a necessidade de manutenção regular especializada.

Trincheira de Infiltração

As trincheiras de infiltração são dispositivos lineares (comprimento extenso em relação à largura e à profundidade) que recolhem o excesso superficial para concentrá-lo e promover sua infiltração no solo natural. Existe uma variante, denominada trincheira de retenção, que é adaptada para solos pouco permeáveis, que direciona a saída de água para um exutório localizado.

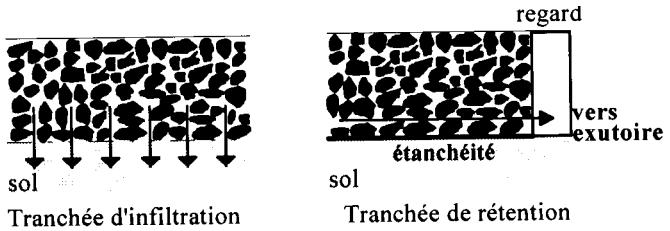


Figura 13 – Trincheira de infiltração e de retenção (Azzout et al, 1994)

A trincheira é escavada no solo e preenchida com brita uniforme. Podem estar descobertas ou cobertas com grama ou com um revestimento permeável (é possível projetá-las de forma a serem 'invisíveis' no arranjo urbanístico). As paredes e o topo são revestidas por um filtro geotêxtil para evitar penetração de sedimentos. A água recolhida infiltra pelas paredes e o fundo e exige que o solo tenha taxa de infiltração nem muito baixa, para que o tempo de esvaziamento não seja elevado, nem muito alta a ponto de contaminar o freático, por falta de filtragem no solo.

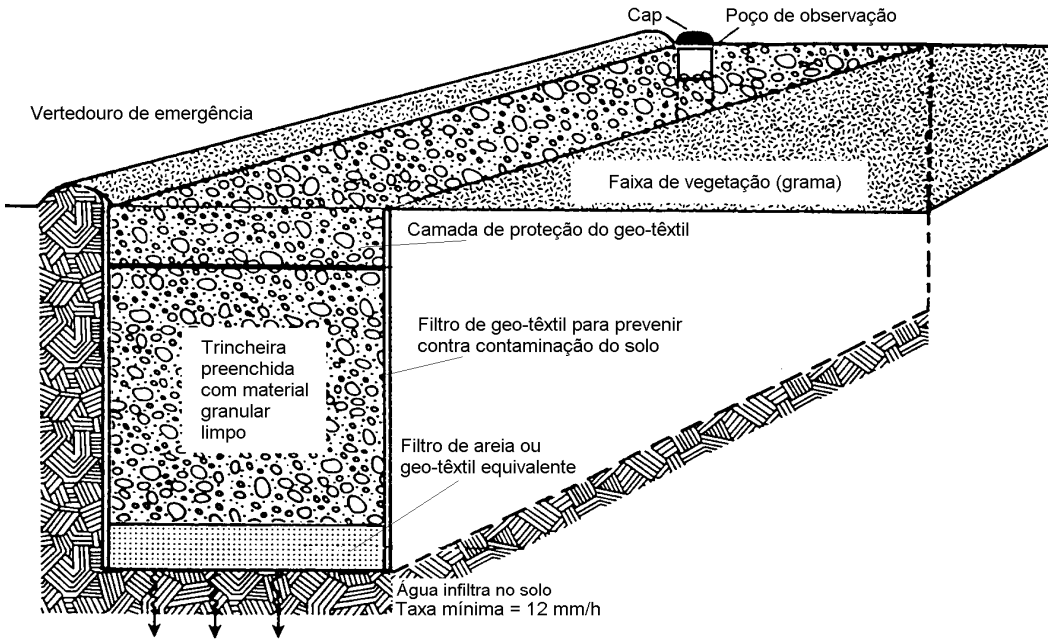


Figura 14 – Trincheira de infiltração (Schueler, 1987)

A trincheira de infiltração tem, portanto, a função precípua de abater descargas de pico de um escoamento superficial e promover a recarga do aquífero, mas outra importante função é a de promover o tratamento do escoamento pela infiltração no solo. Estes dispositivos não toleram uma captação de escoamentos com cargas altas de sedimentos, pois pode haver colmatação do solo e do filtro geotêxtil. Uma carga alta de poluição, por exemplo esgoto cloacal, não pode chegar na trincheira pela incapacidade dela em tratar isso por meio da infiltração no solo. Nestes casos, as trincheiras devem ter a montante estruturas de remoção de sedimentos, como de bacias de decantação ou faixas gramadas. Já os escoamentos muito poluídos devem ser desviados para conveniente tratamento ou despejo sem passar pelas trincheiras.

As trincheiras de infiltração devem ser dispostas a montante do sistema pluvial convencional, como contorno de estacionamentos, por exemplo. Devem ser longas e estreitas e sua utilização não é recomendada em áreas industriais ou comerciais com pelo perigo de contaminação com substâncias químicas, pesticidas e derivados de petróleo. Nem devem ser posicionadas próximas a captações de água de poços.

As maiores restrições ao seu emprego ocorrerão em locais com movimentos excessivos de terra (aporte significativo de sedimentos não previstos) e afluência indesejada de esgotos carregados com matéria orgânica o que é, infelizmente, comum em loteamentos, cujo tempo para as construções ficarem prontas e disporem de convenientes redes pluviais e cloacais é muitas vezes longo.

A realidade urbana dos países em desenvolvimento tende a limitar o uso das trincheiras de infiltração a estacionamentos externos de edifícios residenciais e de empreendimentos comerciais como supermercados e shopping centers consolidados. É tipicamente um dispositivo de controle de escoamento e poluição para áreas consolidadas.

Vala de Infiltração

São depressões lineares gramadas do terreno concebidas para funcionar como pequenos canais onde o escoamento pluvial é desacelerado e infiltrado parcialmente no percurso, com o excesso destinado a uma rede pluvial convencional. A vala de infiltração pode incorporar pequenas barragens de desaceleração favorecedoras de infiltração (Figura 15).

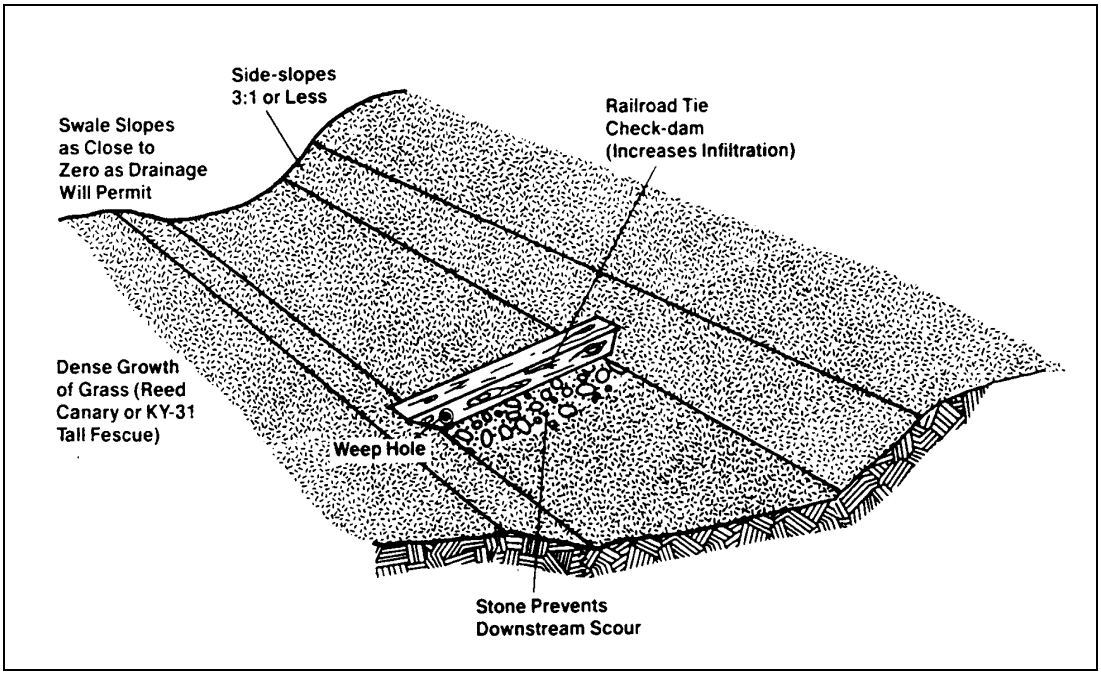


Figura 15 – Vala de infiltração (Schueler, 1987)

Existe uma variante, chamada de vala de retenção (Figura 16) que contém barragens, vedando praticamente toda a seção transversal, com a finalidade de abater o pico do escoamento, controlado por orifícios. São alternativas para solos pouco permeáveis.

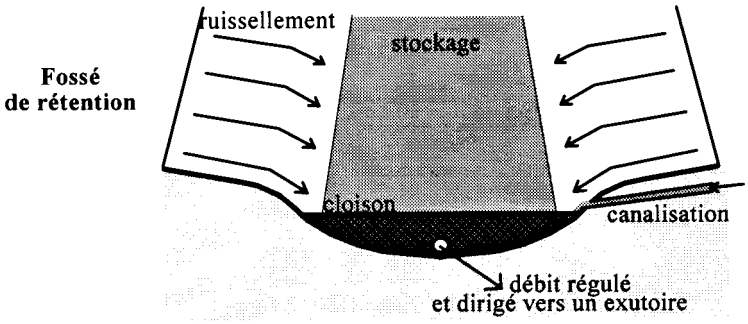


Figura 16 – Vala de retenção (Azzout et al., 1994)

Em geral, as valas são apropriadas para lotes residenciais, loteamentos e parques, onde, em substituição a esgotamentos canalizados convencionais, evitam uma excessiva

aceleração dos excessos pluviais e também uma maior produção em volume, se a área por eles ocupada fosse impermeabilizada.

Os efeitos esperados das valas só são significativos para declividades menores de 5%. Nos países em desenvolvimento, espera-se maiores dificuldades de funcionamento destas valas, em função das altas intensidades de chuva, que poderão saturar rapidamente o solo e promover escoamentos maiores em volume e velocidade, anulando seu efeito. Para chuvas menos intensas, porém freqüentes, pode haver desconforto e perigos sanitários pela constante presença de água nas valas.

Poço de Infiltração

Os poços de infiltração são dispositivos pontuais que permitem a evacuação do escoamento superficial para dentro do solo. Construtivamente podem estar estruturados por um preenchimento com brita (meio poroso) ou por um revestimento estrutural fixando a parede interna e possibilitando o interior vazio. A Figura 17 ilustra o caso de um poço de infiltração preenchido, onde nota-se o isolamento da brita por um geotêxtil para evitar migração de finos para dentro ou para fora do poço.

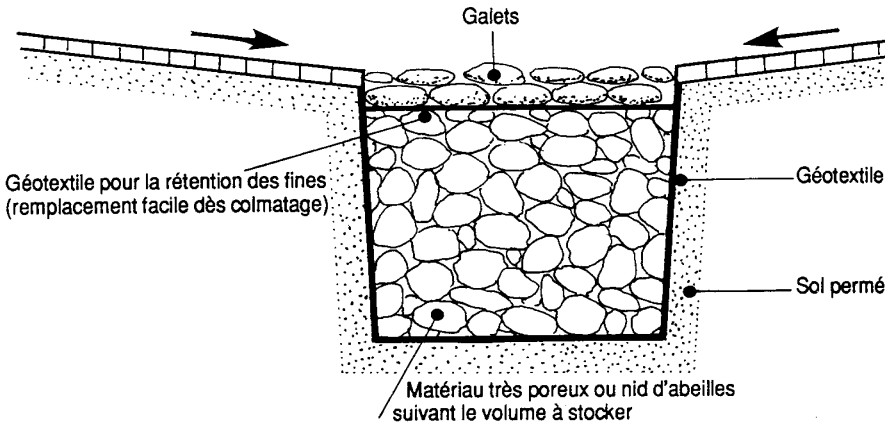


Figura 17 – Poço de infiltração preenchido com brita (Azzout et al., 1994)

Mesmo se a camada superficial de solo é pouco permeável pode-se aprofundá-lo até atingir uma camada de solo permeável. Quando o lençol freático está a pouca profundidade, passa-se a chamar poço de injeção pois ele adentra o lençol freático (fala-se, neste caso, de injeção do escoamento superficial diretamente no freático).A Figura 18 apresenta o esquema comparativo entre um poço de infiltração e um poço de injeção.

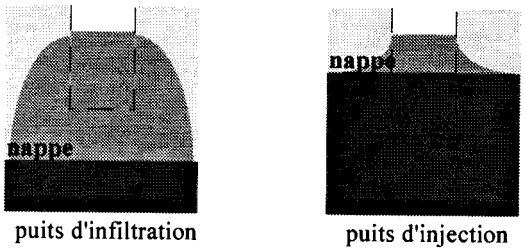


Figura 18 – Poço de infiltração e poço de injeção (Azzout et al., 1994)

O poço de infiltração (ou de injeção) abatem o escoamento superficial de alguns milhares de m2. O escoamento pode ser direcionado diretamente ao poço ou receber contribuição de outras áreas através da conexão com um conduto pluvial.

Representando uma técnica alternativa de redução e amortecimento de picos de escoamento superficial de uma área, os referidos poços integram-se muito bem às soluções urbanísticas pois ocupam pouco espaço e podem mesmo passar despercebidos se isto for uma escolha do projetista. A característica pontual fazem dos poços de infiltração ou injeção dispositivos por excelência para um controle distribuído dos excessos pluviais, permitindo uma economia significativa na construção de redes pluviais convencionais. Entretanto é preciso estar-se ciente da relativa pequena capacidade volumétrica de armazenamento dos poços. Em compensação associam-se muito bem a outras MCs (Figura 19).

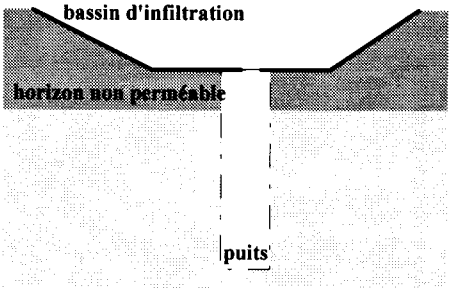


Figura 19 – Poço de infiltração com bacia de infiltração (Azzout et al., 1994)

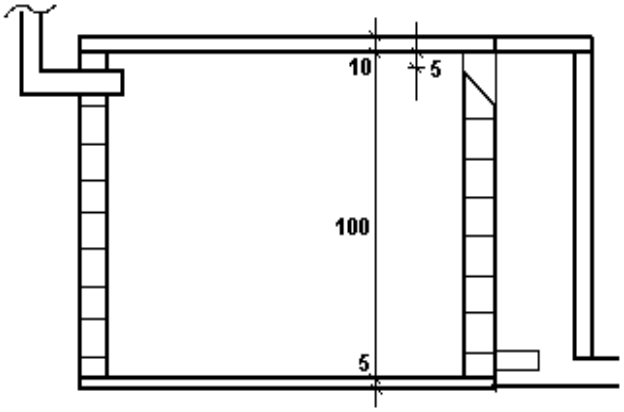
A recarga do freático pelos poços é uma vantagem que reequilibra o ciclo hidrológico urbano, mas por outro lado representa um risco de contaminação das águas subterrâneas. Como toda MC de infiltração, os poços não toleram grandes cargas de sedimentos e poluentes. Estes escoamentos muito poluídos devem ser desviados ou tratados previamente em estruturas especiais (com decantadores e filtros).

Micro-reservatório

Referem-se a pequenos reservatórios construídos para laminar as enxurradas produzidas em lotes urbanos residenciais e comerciais com área de até algumas centenas de m2. Em geral, são estruturas simples na forma de caixas de concreto, alvenaria ou outro material, ou são escavados no solo, preenchidos com brita, e isolados do solo por tecido geotêxtil (semelhante a uma trincheira). Os microrreservatórios podem ser de detenção (Figura 20), tendo neste caso um dispositivo de saída tipo orifício, que restringe a vazão efluente até um limite, ou de infiltração no solo (Figura 21). Em ambos, é preciso dispositivos de emergência para evacuação do excesso à vazão de projeto (vazão do orifício de saída ou de infiltração no solo). A cisterna é uma variante que não possui dispositivo de saída normal, apenas de emergência.

Os microrreservatórios são MCs que normalmente respondem a uma necessidade de atendimento de uma restrição legal de produção de escoamento pluvial no lote, especificada geralmente na forma de uma vazão de restrição. Estas devem ser avaliadas em conjunto, no contexto da bacia, para que as vazões de cada local, quando transladadas até o exutório, não violem o limite para ela estabelecida como um todo. Os microrreservatórios para lotes com menos de 600 m2 não são comuns nos Estados Unidos e na Europa, mas tiveram maior

aplicação na Austrália, com de volumes de reservação tipicamente entre 200 e 500 m3 por hectare (Nicholas, 1995).



CORTE A - A

Figura 20 – Microrreservatório em alvenaria (Cruz et al, 1998)

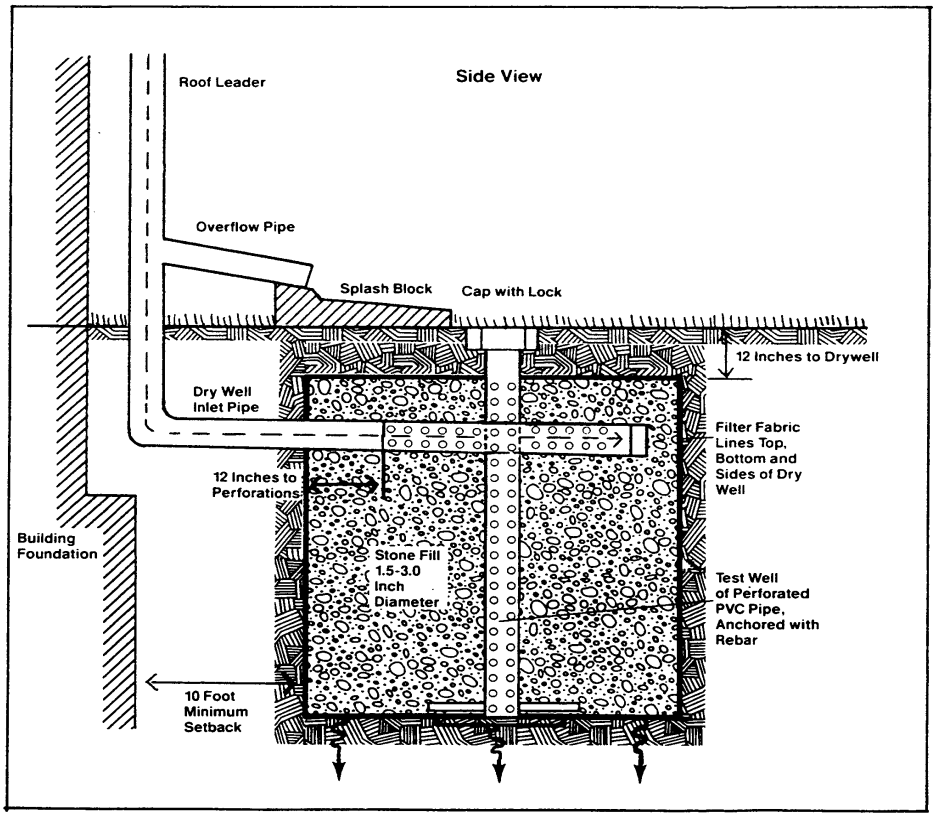


Figura 21 – Microrreservatório poroso enterrado (Schueler, 1987)

Em países em desenvolvimento, os microrreservatórios podem vir a ser uma alternativa interessante, já que a densificação urbana não é um empecilho maior à sua implantação. Instalações industriais, residências, prédios públicos e escolas podem colher com estas estruturas os excessos pluviais dos telhados e retardarem a contribuição até a rede convencional, sem muitas adequações arquitetônicas ou urbanísticas. Até mesmo esforços de urbanização de favelas poderiam recomendar MCs deste tipo que, num primeiro momento, poderiam ser adaptações de caixas d'água comerciais.

As desvantagens colocadas para regiões de maior pluviosidade seria a exigência de volumes de reservação mais significativos, para laminação de um evento de chuva com determinado risco. No aspecto sanitário, um cuidado especial no projeto e na limpeza dos microrreservatórios de detenção evitariam acúmulos de água e sujeiras por longo tempo, que poderiam favorecer o desenvolvimento de vetores de doenças tropicais. Qualquer microrreservatório (detenção ou infiltração) não toleraria aportes de escoamento muito poluído (esgoto cloacal, por exemplo) ou com muitos sedimentos.

Telhado reservatório

O telhado reservatório é uma MC compensatória da impermeabilização inevitável de uma cobertura de uma edificação. Age no sentido de laminar na própria estrutura de cobertura o escoamento pluvial nela gerado. Funciona como um reservatório que armazena provisoriamente a água das chuvas e a libera gradualmente para a rede pluvial, através de um dispositivo de regulação específico. Os telhados planos (na verdade, com pouca inclinação) são mais apropriados a este tipo de MC mas também há arranjos para telhados inclinados (Figura 22).

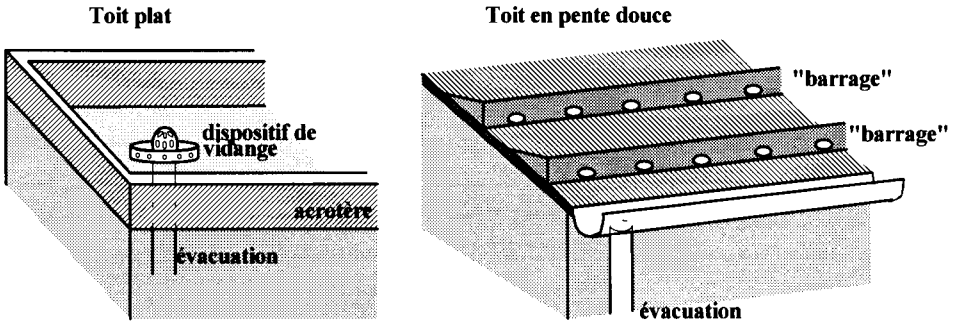


Figura 22 – Telhados reservatório (Azzout, 1994)

O preenchimento com cascalho para conforto térmico é apropriado para uso em telhados reservatório, mas o volume de armazenamento diminui (Figura 23). Há também variantes que associam o papel de telhado reservatório com o de telhado jardim, com um preenchimento com solo e plantas.

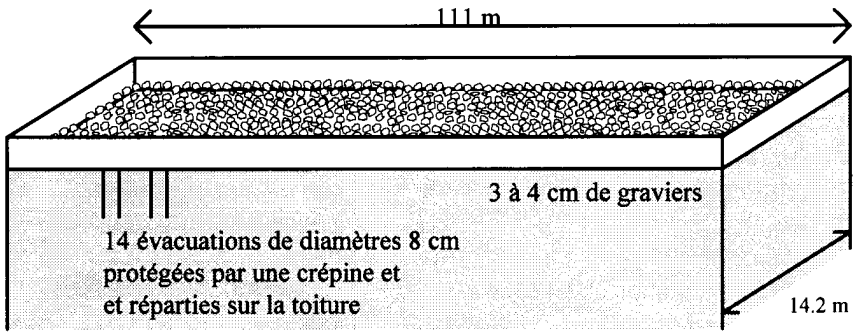


Figura 23 – Telhados reservatório com cascalho (Azzout et al, 1994)

É melhor projetar o telhado reservatório no momento do projeto arquitetônico da edificação, mas nada impede uma adaptação em obras existentes, basta fazer uma averiguação de cargas estruturais e resolver eventuais problemas de impermeabilização do teto.

Como para outras MCs, as vantagens de um controle local do escoamento pluvial incluem economia na rede pluvial, diminuição de riscos de inundação no lote e uma conveniente adequação nas áreas urbanizadas, pois apenas agrega uma função a uma estrutura (telhado) que existiria de qualquer forma. Mas não se pode esquecer as desvantagens como o aumento da freqüência de manutenção do telhado, a restrição de uma inclinação máxima (2%), a maior dificuldade de adaptação de telhado já existente, um custo eventualmente alto demais, e a necessidade de executores especializados.

Bacia de Detenção

É um reservatório (on e off-line) mantido seco nas estiagens destinado a laminar os picos de escoamento superficial, liberando mais lentamente os volumes afluentes (Figura 24). Pode ser escavado ou materializado por uma pequena barragem de terra ou de concreto, aproveitando ou não depressões naturais do terreno. O fundo e taludes podem ser de terreno natural, de terreno escavado ou de concreto. Para seu correto funcionamento necessitam, a montante, de dispositivos como uma bacia de decantação e gradeamentos, contra a entrada de sedimentos e lixo. Na saída, além das estruturas da tomada d'água e tubulações, há um extravasor de emergência para verter vazões acima da de projeto.

Em locais com altas intensidades de precipitação talvez seja necessário baixar o período de retorno de projeto, para a obra ser economicamente viável, mesmo que isso diminua a eficiência deste tipo de obra. Também uma grande freqüência de dias chuvosos prejudica o conceito de detenção pois para as chuvas médias o reservatório talvez nunca esteja vazio para recebê-las. Como as bacias de detenção não devem receber esgoto cloacal, em hipótese nenhuma, tais estruturas não são recomendáveis sem uma correta destinação dos esgotos domésticos à montante. Outro fator que não deve ser desconsiderado é a potencial proliferação de mosquitos em bacias de detenção. Sabendo-se o tempo necessário para o ciclo reprodutivo das espécies locais deve-se procurar tempos de detenção inferiores. A freqüência dos eventos chuvosos pode tornar o sistema de detenção um adequado e nocivo habitat para algumas espécies de mosquitos.

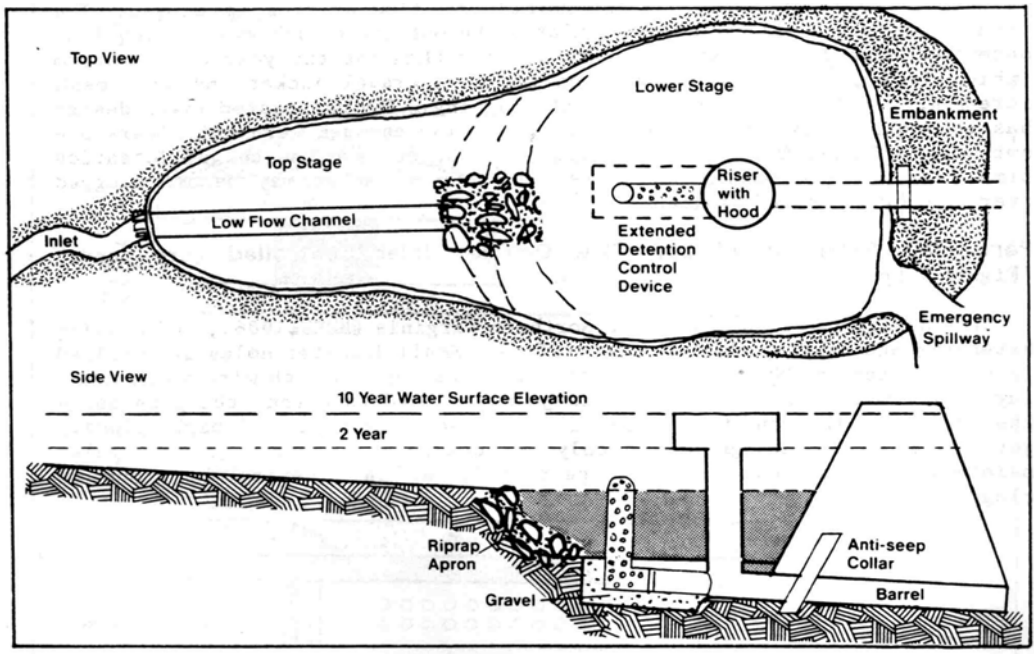


Figura 24 – Bacia de detenção (Schueler, 1987)

Uma variante assume as bacias de detenção como bacias de infiltração, neste caso definidas como áreas isoladas de terreno destinadas à função precípua de infiltração no solo dos excessos pluviais para ela destinados (Figura 25). Assemelha-se a uma bacia de detenção com a diferença de não haver um dispositivo de saída para esvaziamento deliberado. Evidentemente, para segurança, há um vertedor de emergência e, para preservação do fundo, um dreno enterrado no leito. As bacias de infiltração adequam-se a locais com solos permeáveis e com lençol freático profundo.

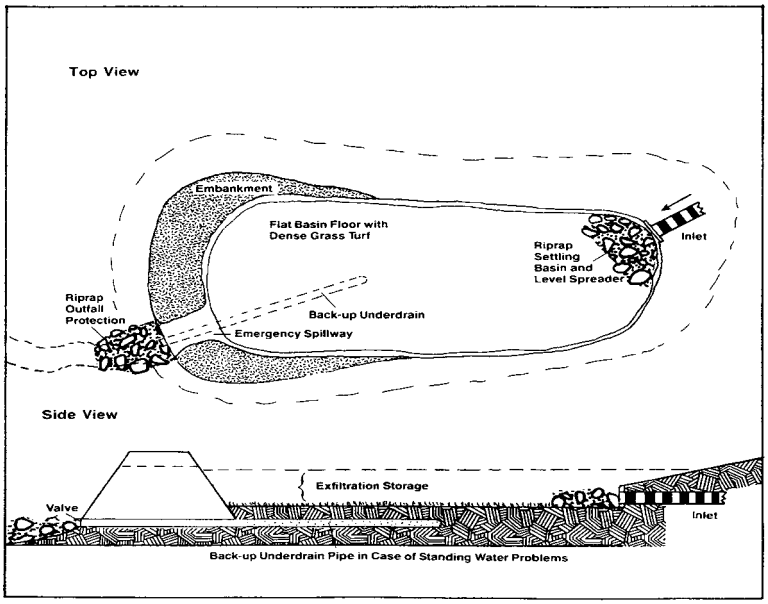


Figura 25 – Bacia de infiltração (Schueler, 1987)

As vantagens principais da bacia de infiltração são a da preservação do balanço hídrico local (com controle de picos para altos períodos de retorno), a do seu uso potencial como bacia de sedimentação durante a fase de construção do loteamento e ter um custo acessível. As desvantagens seriam sua inaplicabilidade para solos pouco permeáveis, necessidade de manutenção freqüente, presença de possíveis maus odores, potencial desenvolvimento de mosquitos e fundo constantemente embarrado, dificultando seu uso para lazer. Em regiões pluviosas estas desvantagens podem ser decisivas para sua não aplicação. Por outro lado, para garantir sua efetividade na remoção partículas poluentes solúveis e finas do escoamento afluente é preciso que este não seja excessivamente contaminado, seja por lixo, esgoto cloacal, sedimentos e outros poluentes. Como esta situação é comum em países em desenvolvimento, esquemas de tratamento a montante devem ser efetivos sob pena de inviabilizar a área de infiltração.

A bacia de detenção ou de infiltração será menos eficiente e de uso mais restrito em situações de descontrole urbano que gera aportes demasiadamente poluídos e reduz áreas físicas para sua aplicação. De qualquer forma é uma estrutura que funciona bem integrada a um sistema que evite aporte de sedimentos, esgotos e lixo. Também é uma estrutura flexível quanto às suas dimensões podendo assumir tamanhos variados conforme a área controlada e o objetivo de seu posicionamento no sistema de drenagem. No Brasil, os exemplos ainda são preferencialmente de aplicação na macrodrenagem (Belo Horizonte e São Paulo) e pouco existe em menor escala, dentro de loteamentos. Em São Paulo há um programa de implantação de várias bacias de detenção na macrodrenagem (piscinões), como medida corretiva, face aos gravíssimos problemas de enchentes urbanas.

Bacia de Retenção

É um reservatório construído para não secar entre uma enxurrada e outra, retendo água permanentemente em uma parcela do seu volume (Figura 26). São estruturas destinadas não só para o controle de cheias mas também para melhorar a qualidade da água das enxurradas. O reservatório não se esvazia e um parâmetro básico é o tempo de residência (2 e 4 semanas).

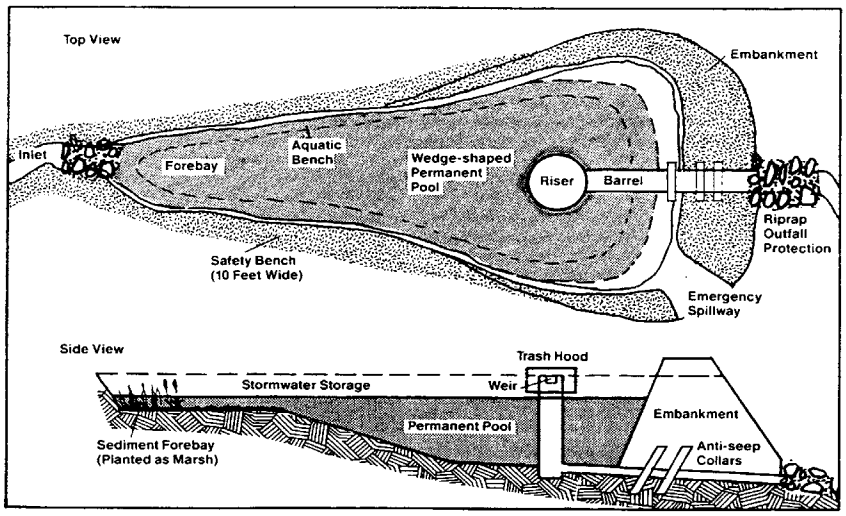
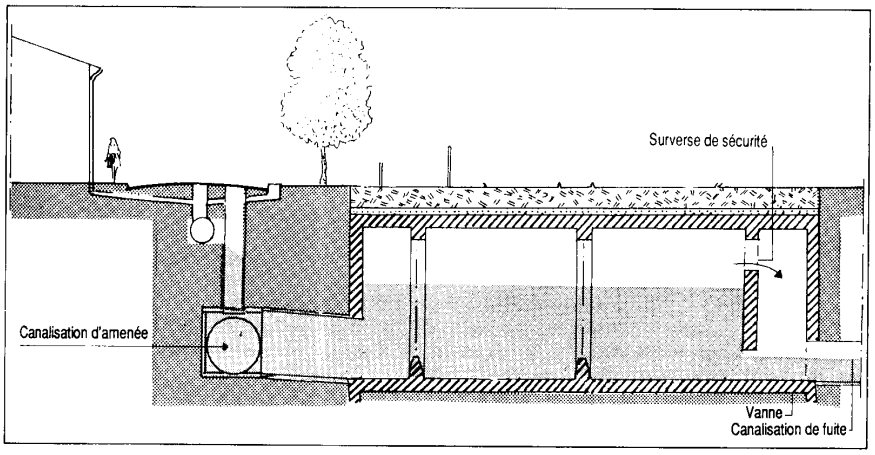


Figura 26 – Bacia de retenção (Schueler, 1987)

Assim como para as bacias de detenção, há restrições de espaço e sanitárias, pois a contaminação por sedimentos, lixo e esgotos cloacais pode provocar efeitos muito danosos, notadamente pela proliferação de mosquitos vetores de doenças como malária, dengue e febre amarela e de ratos que transmitem a leptospirose. Assim são necessárias estruturas de retenção de lixo e desvio de redes de esgotos cloacais. No que diz respeito especificamente aos mosquitos um esquema especial de gestão da estrutura deve ser montado, possivelmente com esvaziamentos forçados em épocas críticas de desenvolvimento de mosquitos perigosos à saúde pública.

Bacia Subterrânea

A bacia subterrânea ou enterrada é uma espécie de tanque estanque construído abaixo do solo (com paredes em concreto impermeável), permitindo o aproveitamento da superfície para outro fim, como por exemplo, uma praça, área verde gramada ou terreno de esporte (Figura 27). Há outros tipos que são escavadas no solo e preenchidas com material poroso estrutural (brita, por exemplo). Em geral, a bacia subterrânea funciona como uma bacia de detenção impermeável a céu aberto. Portanto, abate o escoamento pluvial nela introduzido por efeito de laminação controlado na saída por orifício e válvula no fundo. Nas bacias subterrâneas em concreto também há um vertedor de extravasamento para segurança da obra.



Bassin enterré

Figura 27 – Bacia subterrânea (STU, 1993)

A bacia subterrânea deve estar equipada com dispositivos de proteção contra poluição e aporte de sólidos (sedimentos e lixo). Mesmo assim, pode haver emanação de gases tóxicos e dispositivos contra isto devem ser previstos. De qualquer forma, a bacia subterrânea é uma estrutura que exige uma limpeza após cada utilização. Isto pode restringir sua aplicação em regiões com precipitação freqüente.

Condutos de Armazenamento

O aumento deliberado das dimensões dos constituintes de um sistema pluvial tradicional caracteriza este tipo de MC (aumento do diâmetro de condutos e da capacidade de sarjetas). Além do aumento das dimensões dos próprios condutos podem ser buscadas

soluções que adaptem poços de visita e bocas-de-lobo para que funcionem como microrreservatórios de amortecimento.

Faixa gramada

São faixas de solo gramadas ou arborizadas concebidas para desacelerar e infiltrar parcialmente escoamentos laminares provenientes das superfícies impermeáveis urbanas (estacionamentos e outras superfícies) mas pode ter sua aplicação associada em outras situações. Na macrodrenagem assumem o papel de zona de escape para enchentes.

As faixas menores, como as indicadas para estacionamentos, devem situar-se a montante do sistema de drenagem. Do ponto de vista do controle pluvial é um componente que diminui significativamente a velocidade do escoamento superficial, mas não reduz grandemente seu pico, sendo o seu principal benefício a remoção de partículas poluentes como sedimentos finos, matéria orgânica e traços de metais. Na pequena escala, as faixas gramadas são MCs de aplicação em lotes e loteamentos, no entorno de superfícies impermeabilizadas ou associadas a outras MCs como, por exemplo, um pavimento poroso.

O caráter linear das faixas gramadas (dimensiona-se a largura, mas o comprimento é livre) permite uma grande flexibilidade de arranjos espaciais. Para garantir o escoamento laminar é recomendável associar um difusor (Figura 28) que pode ser uma pequena valeta ou uma pequena soleira.

Em uma escala maior as faixas gramadas ou arborizadas encaixam-se muito bem arquitetonicamente nas margens dos arroios de macrodrenagem. Neste caso, além de destinarem-se a amortecerem cheias freqüentes, podem assumir o papel adicional de parque linear, para lazer e prática esportiva da população e prevenção contra invasões.

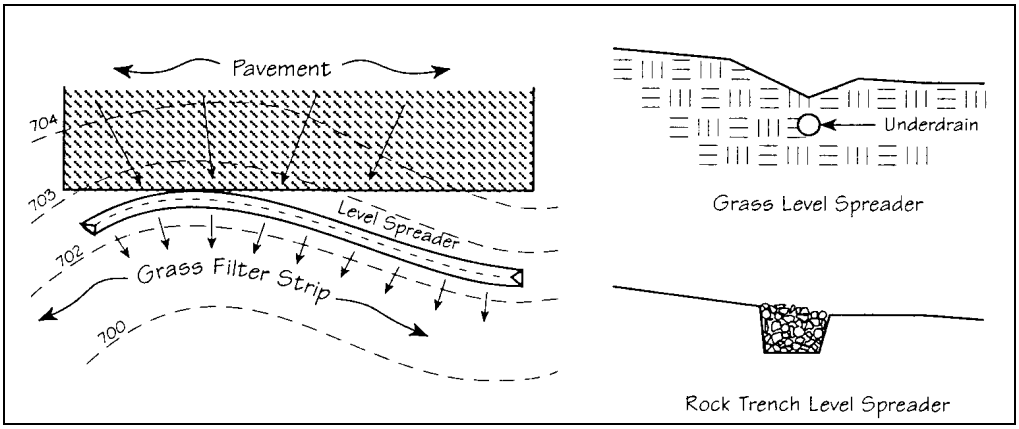


Figura 28 – Faixa gramada (Mecklenburg,1996)

4.6.4 Vantagens agregadas das MCs

Até aqui ressaltou-se que as MCs são concebidas para reduzir ou retardar o escoamento pluvial de áreas urbanas, sendo esta sua vantagem principal, pois menos escoamento precisa ser evacuado para uma rede pluvial ou uma rede de arroios urbanos. Entretanto, como as MCs representam, pelo seu funcionamento, um retorno a um ciclo hidrológico mais natural no meio urbano, é possível detectar vantagens agregadas na

redistribuição da água e no paisagismo (Tabela 10). Neste sentido, pode ser vista como positivo em áreas urbanas, a realimentação do lençol freático, a maior disponibilidade de água para crescimento de vegetação e a possibilidade de melhoria paisagística com espelhos d'água e cinturões verdes. Outra vantagem prática é a possibilidade da MC possuir um comportamento hidráulico autônomo, no sentido de não precisar de uma gestão operativa. Há também casos em que as MCs assumem papéis secundários ou paralelos benéficos.

Tabela 10 – Vantagens agregadas das MCs

Medida de Controle (MC)	Vantagens agregadas Realimentação do freático Umidade para vegetação Composição paisagística aquática Composição paisagística verde Comportamento hidráulico autônomo Função benéfica paralela
Pavimento Poroso	Contribui para recarga do lençol freático e para a umidade do solo, mas variante, que usa exutório, não. Não contribui para paisagismo aquático ou verde. É hidraulicamente autônomo. O revestimento superficial poroso evita empoçamentos, projeções d'água e a aquaplanagem de veículos, além de reduzir ruídos do tráfego. Há maior visibilidade das marcas pintadas na pista.
Trincheira de infiltração	Contribui para recarga do lençol freático e para a umidade do solo, mas a variante de retenção contribui menos. Integra bem a paisagem verde quando recoberta por grama. Hidraulicamente autônoma.
Vala de infiltração	Idem acima exceto pelo funcionamento hidráulico que requer supervisão.
Poço de Infiltração	Recarrega significativamente o freático. Menos efeito na contribuição à umidade do solo (obra pontual). Funcionamento hidráulico autônomo.
Microrreservatório	Quando projeto permite infiltração no solo contribui para recarga do freático e para a umidade do solo. Funcionamento hidráulico automático. Os microrreservatórios tipo cisterna podem agregar função de reserva adicional de água para incêndio, lavagem de carro, irrigação de jardim e outros usos domésticos e industriais.
Telhado reservatório	O projeto pode incorporar a função de jardim e assim também contribuir para o paisagismo verde.
Bacia de detenção	Se o projeto contempla leito permeável, contribui para recarga do lençol freático e umidade do solo. As bacias de detenção em geral integram-se facilmente em um paisagismo verde, com plantio de gramados e árvores. Assumem a função benéfica paralela de ser um espaço verde de lazer, de passeio e prática de esportes.
Bacia de retenção	Se o projeto contempla leito permeável, contribui para recarga do lençol freático e umidade do solo. Com leito estanque, não há contribuição ao freático, mas margens tem umidade para receber vegetação. As bacias de retenção em geral integram-se facilmente em um paisagismo aquático e mesmo a um paisagismo verde se margens receberem vegetação e não materiais inertes como cascalho. Gestão hidráulica pode ser desnecessária em função da variação de níveis de projeto e do tratamento e declividade das margens. Oferece funções complementares de pesca, passeios aquáticos, passeios nas margens e outros.
Bacia subterrânea	Obra discreta com funcionamento hidráulico autônomo, mas dispositivos de emergência e aeração requerem gestão e manutenção. Podem agregar função de reserva adicional de água para incêndio, lavagem de ruas e praças, irrigação de jardim, alimentação de chafarizes e outros usos públicos.
Condutos de armazenamento	São discretas e possuem funcionamento hidráulico autônomo, mas dispositivos de emergência e aeração requerem gestão e manutenção.
Faixas gramadas	Contribui para recarga do lençol freático e para a umidade do solo. Integra bem a paisagem verde. Hidraulicamente autônoma. Pode ser espaço verde de lazer e passeio e, dependendo das dimensões, local de prática de esporte.

4.6.5 Efeito ambiental das MCs

Muitas MCs tem um efeito ambiental que é deliberadamente benéfico na sua concepção, principalmente aquelas que promovem a infiltração do escoamento no solo. Isto quer dizer que podem realizar um certo tratamento ou retenção de poluentes e sedimentos em escoamentos pluviais não excessivamente carregados por estes, nem contaminados por esgotos cloacais.

Pode haver, entretanto, efeitos ambientais deletérios, geralmente ligados à proliferação de vetores de doenças, se o projeto e a gestão da obra for deficiente.

A Tabela 11 abaixo resume os efeitos esperados nas diversas MCs.

Tabela 11 – Efeito ambiental das MCs

Medida de Controle (MC)	Efeitos ambientais (positivos e negativos) : Retenção de poluentes (+) Retenção de sedimentos finos (+) Retenção indesejada de poluentes, lixo ou sedimentos (-) Proliferação de mosquitos (-) Proliferação de vetores ligados ao lixo (-)
Pavimento Poroso	Age positivamente ao filtrar na camada porosa e no solo os escoamentos fracamente poluídos.
Trincheira de infiltração	Efeito positivo ao tratar escoamentos levemente poluídos por infiltração na estrutura porosa e no solo.
Vala de infiltração	Favorece tratamento de escoamentos levemente poluídos por infiltração no solo. Em valas de retenção evitar períodos inundados compatíveis com a proliferação de mosquitos.
Poço de Infiltração	idem à trincheira de infiltração
Microrreservatório	O escoamento vindo dos telhados é tratado por microrreservatórios de infiltração. Os reservatórios tipo 'caixa d'água' e cisternas precisam de limpeza constante e serem bem vedados para evitar riscos sanitários. O ideal é mantê-los secos.
Telhado reservatório	A estagnação de águas por entupimento da saída pode favorecer a proliferação de mosquitos.
Bacia de detenção	Esta estrutura não deve ser implantada se dispositivos de retenção de poluição, sedimentos e lixo significativos não puderem ser implantadas ou uma limpeza muito freqüente não puder ser sustentada. Grande risco de proliferação de vetores ligados ao lixo. Por outro lado trata eventual poluição leve pela infiltração no solo.
Bacia de retenção	Idem anterior acrescentando-se o problema de uma provável proliferação de mosquitos em função do espelho d'água.
Bacia subterrânea	Problemas análogos aos da bacia de detenção.
Condutos de armazenamento	Pode haver retenção indesejada de poluentes, lixo ou sedimentos.
Faixas gramadas	São benéficas no tratamento do escoamento pluvial fracamente poluído, como o de um estacionamento.

4.6.6 Pré-dimensionamento das MC

Este item trata do pré-dimensionamento de algumas medidas de controle (MC), considerando somente o aspecto quantitativo de retenção e/ou redução do escoamento superficial. São apresentados procedimentos básicos gerais e fórmulas para pré-dimensionamento hidráulico.

A capacidade de algumas MCs em tratar em certo grau a poluição leve e de reter algum sedimento, em baixas taxas, não é levada em conta diretamente nos pré-dimensionamentos apresentados, mas isto pode ocorrer se for forçado um tempo de residência

ou esvaziamento da ordem de 2 a 3 dias.

Os procedimentos de pré-dimensionamento indicados a seguir consideram as seguintes premissas :

- As MCs de infiltração (pavimento poroso, micro-reservatório infiltrante, e trincheira, vala, poço e bacia de infiltração) promovem infiltração no solo de todo o excesso pluvial a elas destinado (portanto, as áreas por elas controladas terão escoamento superficial nulo, para o período de retorno de projeto);
- As MCs de armazenamento sem infiltração no solo (incluindo bacias de detenção e retenção com leitos considerados impermeáveis) serão dimensionadas para liberar o escoamento máximo equivalente à vazão de pré-desenvolvimento.

As MCs de armazenamento com infiltração no solo (bacias de detenção e retenção com leitos considerados permeáveis) serão dimensionadas para liberar o escoamento máximo, sendo a infiltração no solo usada para diminuir as dimensões da MC (portanto, mesmo com esta infiltração, as áreas por ela controladas, terão escoamento superficial de projeto para o período de retorno de projeto).

Em resumo, na análise do escoamento gerado por um empreendimento onde há áreas controladas por MCs e áreas não controladas, é preciso verificar se o conjunto do empreendimento gera, no máximo, a vazão de pré-desenvolvimento. Pode haver áreas não controladas que gerem mais do que vazão de pré-desenvolvimento, mas isto deve ser contrabalançado pelas áreas controladas pelas MCs.

As vazões das áreas não controladas devem ser calculadas pelo método racional.

Os pré-dimensionamentos das MCs são feitos pelo método das curvas de massa (volumes acumulados no tempo) afluente e efluente. A máxima diferença entre as duas curvas é o volume de pré-dimensionamento. A curva afluente é calculada com base na curva IDF expressa em volume acumulado sobre o dispositivo, reduzido por coeficientes de escoamento, enquanto que a curva efluente é admitida como uma reta, isto é, considera-se uma vazão de saída constante do dispositivo (saída por infiltração no solo e/ou liberada para um exutório).

5. DRENAGEM URBANA MODERNA E OUTRAS FUNÇÕES URBANAS

5.1 Ocupação do solo e a drenagem urbana

Atualmente mais de 80% da população brasileira é urbana. O crescimento da população urbana tem sido acelerado nas últimas décadas no Brasil (Tucci, 2002). Este crescimento gerou grandes metrópoles na capital de cada Estado brasileiro, que possuem um núcleo principal e várias cidades circunvizinhas, resultado da expansão deste crescimento. As taxas de crescimento populacional baixaram no todo, mas se há uma taxa pequena de crescimento na cidade núcleo da região metropolitana, por outro lado há aumento da taxa de crescimento na sua periferia e em cidades que são pólos regionais de crescimento.

Tucci (2002) comenta que cidades acima de 1 milhão crescem a uma taxa média de cerca de 1 % anual, enquanto os núcleos regionais como cidades entre 100 e 500 mil, crescem a taxa de quase 5%. Portanto, todos os processos inadequados de urbanização e impacto ambiental que se observaram nas regiões metropolitanas estão se reproduzindo nestas cidades de médio porte. Este crescimento urbano tem sido caracterizado por expansão irregular de periferia com pouca obediência da regulamentação urbana relacionada com o Plano Diretor e normas específicas de loteamentos, além da ocupação irregular de áreas públicas por população de baixa renda. Esta tendência dificulta o ordenamento das ações não-estruturais do controle ambiental urbano. Um dos graves problemas neste processo de desenvolvimento urbano resulta da expansão, geralmente irregular, que ocorre sobre as áreas de mananciais de abastecimento humano, comprometendo a sustentabilidade hídrica das cidades.

O crescimento urbana dá-se dentro de um quadro sócio-econômico difícil, envolvendo população e administração pública. Tucci (2002) aponta causas deste tipo para explicar o ciclo de contaminação das águas urbanas, entre elas :

- pequena renda econômica de parte importante da sociedade, agravada nos períodos de crise econômica e desemprego significativo;
- falta de planejamento e investimento público no direcionamento da expansão urbana: como o preço da infra-estrutura exigida para o lote é inferior ou próximo do valor de mercado do próprio lote (empreendimentos de baixa renda), a mesma não é realizada ficando para o poder público o ônus da regularização e implementação futura da infra-estrutura;
- medidas restritivas incompatíveis com a realidade brasileira. A proteção de mananciais gerou legislações restritivas que condicionaram a desobediência. Estas leis impedem o uso das áreas de mananciais sem que o poder público compre a propriedade. O proprietário é penalizado por possuir esta área, já que na maioria das vezes deve continuar pagando imposto e ainda preservar a área quase intacta. A desobediência acaba ocorrendo devido ao aumento do valor econômico das áreas circunvizinhas. Observou-se em algumas cidades a invasão destas áreas por população de baixa renda por convite dos proprietários, como um meio de negociar com o poder público.

Observa-se assim uma cidade legal e uma cidade ilegal que necessita de ordenamento,

controle e de políticas mais realistas quanto às áreas de mananciais e de riscos de inundação.

Evidentemente que a drenagem urbana moderna precisa da reversão deste quadro. A reversão total e imediata é difícil, mas é preciso iniciá-la. Dentre os instrumentos básicos, temos principalmente leis municipais alusivas ao uso e ocupação do solo (Plano Diretor) e códigos associados.

Seria interessante que o disciplinamento do uso e ocupação do solo, no âmbito de uma configuração urbanística da cidade como um todo, considerasse efetivamente:

- Planejamentos conjuntos com a macro e a micro-drenagem de toda a área urbana;
- Impactos hídricos na proposição dos zoneamentos de índices de ocupação por edificações;
- A importância de combater solos expostos (sujeitos à erosão) e terraplanagens descontroladas;
- Proteção inteligente de áreas verdes, com ou sem mananciais (ver observações de Tucci, 2002, mais acima).

Por exemplo, se um princípio a ser obedecido é não transferir enchentes para jusante, o disciplinamento do uso e ocupação do solo, poderia atuar na redução dos índices de impermeabilização, sugerindo o uso de dispositivos (ações estruturais) de infiltração ou de reservação. Um recente decreto em Porto Alegre regulamenta o uso de estruturas de detenção.

5.2 Coleta e tratamento de esgotos cloacais e a drenagem urbana

A falta de coleta de esgotos, mesmo com o uso de fossas sépticas, que via de regra não têm manutenção, é um grave problema para as águas urbanas pelas cargas in natura significativas liberadas. Havendo sistema de coleta de esgotos, mas sem tratamento na ponta, o saneamento local ocorre, mas grandes cargas poluidoras são lançadas nos mananciais. Somente a coleta com tratamento pode preservar as águas urbanas intra-muros e dos mananciais externos.

Em síntese, tal situação torna redes pluviais em arremedos de sistemas mistos, conduzindo esgotos cloacais e pluviais juntos, e deteriora expressivamente a qualidade de córregos e rios da macrodrenagem, que muitas vezes são enterrados para sumir da paisagem urbana.

Tucci (2002) diagnostica que o desenvolvimento das cidades tem sido realizado com baixa cobertura de redes de coleta de esgoto, além da quase total falta de tratamento de esgoto. Inicialmente, quando a cidade tem pequena densidade, é geralmente utilizada a fossa séptica para disposição do esgoto. A medida que a cidade cresce e o poder público não investe no sistema, a saída do esgoto das propriedades são ligadas à rede de esgotamento pluvial sem nenhum tratamento. Este escoamento converge para os rios urbanos e o sistema fluvial de jusante, gerando os conhecidos impactos na qualidade da água. Nos últimos anos, as empresas de saneamento têm investido em redes de coleta de esgoto e estações de tratamento, mas a parcela do volume gerado pelas cidades que efetivamente é tratado antes de chegar ao rio é ainda muito pequena.

Algumas das questões são as seguintes, prossegue Tucci (2002):

- Quando as redes de esgoto são implementadas ou projetadas não tem sido prevista a ligação da saída das habitações ou condomínios às redes. Desta forma as redes não coletam o esgoto projetado e as estações não recebem o esgoto para o qual têm a capacidade. O esgoto continua escoando pelo sistema pluvial para os rios e o impacto ambiental continua alto ; parece evidente que os investimentos públicos são realizados de forma inadequada, atendendo apenas às empresas de engenharia (obras) e não à sociedade que aporta os recursos;
- Como uma parte importante das empresas de saneamento já cobra pelo serviço de coleta e tratamento, mesmo sem que o tratamento seja realizado, qual será o interesse das mesmas em completar a cobertura de coleta e tratamento do esgoto?
- Quando for implementado o sistema de cobrança pela poluição quem irá ser penalizado pela poluição gerada? Será novamente a população?

Existe atualmente um impasse sobre a concessão dos serviços de água e esgoto que tem imobilizado o financiamento e a privatização do setor. A Constituição Federal previu que a concessão dos serviços de água e esgoto pertence aos municípios, enquanto que as empresas de água e saneamento geralmente são estaduais. Como as mesmas não detêm a concessão, o seu valor econômico fica reduzido no mercado de privatização (Tucci, 2002).

5.3 Coleta e disposição do lixo e a drenagem urbana

Em sociedades não desenvolvidas uma quantidade enorme de lixo é carreada para os sistemas de drenagem. Isto ocorre porque o sistema de coleta de lixo não abrange toda a cidade e mesmo nos locais com coleta parte da população costuma jogar lixo em vias públicas e terrenos baldios. Desta forma o sistema de arroios da cidade é praticamente transformado em vias de condução de lixo com direção a outros mananciais. Na microdrenagem existente, os sistemas de bocas-de-lobo e condutos pluviais são obstruídos, causando alagamentos e retenções de lixo indesejadas.

Segundo Tucci (2002), a produção de lixo no desenvolvimento urbano passa a ser significativa em estágios intermediários e finais. No estágio final praticamente todas as superfícies urbanas estão consolidadas e apenas resulta a produção de lixo urbano, como parcela significativa de resíduo sólido, com a parcela de sedimentos reduzida a áreas de construção ou sem cobertura consolidada. Assim, neste estágio final, os sólidos totais que chegam à drenagem são devido à freqüência e cobertura da coleta de lixo, freqüência da limpeza das ruas, forma de disposição do lixo pela população e freqüência da precipitação.

A produção de lixo coletada no Brasil é da ordem de 0,5 a 0,8 kg/pessoa/dia, mas não existem informações sobre a quantidade de lixo que fica retida na drenagem. Mesmo a nível internacional as informações são reduzidas. Em San José, Califórnia o lixo que chega na drenagem foi estimado em 2 kg/pessoa/ano. Após a limpeza das ruas resultam quase 1 kg/pessoa/ano na rede. Para o Brasil este volume deve ser maior, considerando que muitas vezes a drenagem é utilizada como destino final de resíduos sólidos.

Na última década houve um visível incremento de lixo urbano devido as embalagens plásticas que possuem baixa reciclagem. Os rios e todo o sistema de drenagem ficam cheios de garrafas tipo PET, além das embalagens de plásticos de todo o tipo.

Além da coleta de lixo domiciliar, o poder público deveria criar um serviço de remoção sistemática de sedimentos e lixo acumulados nos arroios; este serviço teria grande visibilidade e publicidade para funcionar também como um fator de conscientização dentro da educação ambiental (Silveira, 2002).

5.4 Controle da erosão e sedimentos e a drenagem urbana

Os sedimentos, assim como o lixo, são resíduos sólidos de alto impacto na cidade e na rede de drenagem urbana. As diferenças básicas são :

- As produções de sedimentos e lixo variam distintamente com os estágios de desenvolvimento urbano;
- Na cidade organizada há melhor controle do lixo, em relação aos sedimentos, que chega às ruas e sistemas de drenagem.

Segundo Tucci (2002), no desenvolvimento urbano são observados alguns estágios distintos da produção de material sólido na drenagem urbana, que são os seguintes:

- No estágio inicial quando ocorre modificação da cobertura da bacia pela retirada da sua proteção natural, o solo fica desprotegido e a erosão aumenta no período chuvoso, aumentando também a produção de sedimentos. Exemplos desta situação são: enquanto um loteamento é implementado o solo fica desprotegido; da mesma forma na construção de grandes áreas ou quando o loteamento os lotes são construídos ocorre também grande movimentação de terra, que é transportada pelo escoamento superficial. Nesta fase existe predominância do sedimentos e pequena produção de lixo;
- No estágio intermediário: parte da população está estabelecida, ainda existe importante movimentação de terra devido a novas construções e a produção de lixo da população se soma ao processo de produção de sedimentos.
- No estágio final: nesta fase praticamente todas as superfícies urbanas estão consolidadas e apenas resulta produção de lixo urbano, com menor parcela de sedimentos de algumas áreas de construção ou sem cobertura consolidada.

Entretanto, se pensarmos que as cidades brasileiras sempre possuem muitas áreas em grande atividade de movimento de terra em obras privadas e públicas, no cômputo global da cidade, tem-se uma produção que não declina como nos países desenvolvidos. Isto gera aproximadamente de 1 a 2 kg/pessoa/dia de sedimentos numa bacia (Silveira, 2002).

Não há sistema de coleta sistemática de sedimentos, fora o varrimento de pequenas quantidades em clima seco, depois que maiores quantidades são carreadas pela chuva. As dragagens são feitas só de modo eventual.

Segundo Tucci (2002) as principais consequências ambientais da produção de sedimentos é :

- assoreamento das seções dde canalizações da drenagem, com redução da capacidade de escoamento de condutos, rios e lagos urbanos. A lagoa da Pampulha (em Belo Horizonte) é um exemplo de um lago urbano que tem sido assoreado. O arroio Dilúvio em Porto Alegre, devido a sua largura e pequena profundidade, durante as estiagens, tem depositado no canal a produção de sedimentos da bacia e criado vegetação, reduzindo a capacidade de escoamento durante as enchentes. Na tabela 5 são apresentados alguns valores de produção de sedimentos de cidades brasileiras;
- transporte de poluente agregado ao sedimento, que contaminam as águas pluviais.

5.5 Limpeza das ruas e a drenagem urbana

A limpeza das ruas, varrição, lavagem e remoção de entulhos, têm reflexo direto na eficiência da drenagem urbana. A presença de lixo e sedimentos em áreas públicas por deficiências de limpeza urbana afetam quali-quantitativamente a drenagem urbana. Pode provocar obstrução e entupimento de condutos e sarjetas, assoreamento de reservatórios de detenção, canais, galerias e arroios. O prejuízo principal esperado é a ineficiência das obras de drenagem e o aparecimento de alagamentos pontuais. Em termos de qualidade da água, a deficiência de limpeza urbana favorece a distribuição difusa de poluentes agregados a finos e sedimentos, incluindo poluentes químicos e orgânicos da vida urbana (tráfego, por exemplo). Também a falta de limpeza favorece a poluição orgânica de dejetos domésticos e esgotos cloacais sem coleta, assim como de dejetos animais. Qualquer acúmulo de lixo, sedimentos e matéria orgânica nas ruas propicia a proliferação de muitos vetores de doenças. Os primeiros 25 mm de escoamento superficial geralmente transportam grande parte da carga poluente de origem pluvial (Schueller, 1987).

5.6 Setor de meio-ambiente e a drenagem urbana

A urbanização altera radicalmente a ocupação do solo para satisfazer a necessidade do desenvolvimento humano. Entretanto muitas das práticas urbanísticas são feitas pagando o preço de um desequilíbrio ambiental muito grande. Se, de um lado, é praticamente inviável a manutenção dentro da cidade de todos os ecossistemas naturais, por outro, muito poderia ser feito para minimizar os impactos.

Nos moldes de hoje, já vimos que a urbanização provoca desequilíbrio do ciclo hidrológico e isto pode ser combatido com enfoque adequado da drenagem. Outro tipo de desequilíbrio está ligado ao balanço de energia e é chamado de “ilha de calor”. As superfícies e edificações urbanas (asfalto, concreto, alvenarias, telhados) irradiam para o ar a energia solar absorvida, aumentando a temperatura ambiente. Tucci (2002) alerta que o asfalto, devido a sua cor, absorve mais energia da radiação solar do que as superfícies naturais e o concreto. A medida que as superfícies de concreto envelhecem tendem a escurecer e a aumentar a absorção de radiação solar. Isto combinado com uma drenagem urbana que afasta rapidamente do meio urbano as águas das chuvas (além disso, fazendo-as circular em condutos enterrados) agrava mais ainda a “ilha de calor” porque tira a oportunidade da água circulante no meio urbano em absorver parte do calor. Ou seja, a urbanização impermeabiliza, uma drenagem urbana equivocada livra rapidamente os excessos pluviais gerados, fazendo com que a água, com seu alto calor específico, não participe do balanço energético,

principalmente nos períodos de estiagem. Em contrapartida, as águas fluviais afastadas rapidamente penetram com temperaturas mais frias nos corpos d'água receptores.

O aumento de temperatura também cria condições de movimento de ar ascendente que pode gerar aumento de precipitação. Silveira (1997) mostra que a parte central de Porto Alegre apresenta maior índice pluviométrico que a sua periferia, atribuindo essa tendência à urbanização. Como na área urbana as precipitações críticas são as mais intensas e com baixa duração, estas condições contribuem para agravar as enchentes urbanas.

A drenagem urbana com preceitos ambientais contribui para minimizar esses efeitos porque é favorável à manutenção de córregos naturais e ao armazenamento em bacias de detenção. O incentivo à utilização de superfícies permeáveis, mesmo as não vegetadas, retém mais a água e sua capacidade de absorção de calor por mais tempo no perímetro urbano.

Fora a questão hídrica quantitativa e o excesso de calor ambiente, é evidente que há muitas questões ambientais ligadas à urbanização. A substituição ou modificação de ecossistemas é muitas vezes inevitável. Entretanto, há impactos que devem ser combatidos. A drenagem urbana não deve ser vetor de distribuição de esgotos in natura. Os esgotos cloacais devem ter coleta e tratamento independentes. Tem-se que ter como meta também o tratamento dos esgotos pluviais. A rede de drenagem pluvial pode contaminar o solo através de perdas de volume no seu transporte e até por entupimento de trechos da rede que pressionam a água contaminada para fora do sistema de condutos.

5.7 Sistema viário e a drenagem urbana

Sistemas viários com ruas não revestidas contribuem com alta carga de sedimentos.

5.8 Saúde coletiva e a drenagem urbana

São várias as doenças de veiculação hídrica. Elas podem ocorrer devido (Tucci, 2002) : (a) a falta de água segura de abastecimento da população, que envolve o abastecimento de água, sendo a diarréia a doença mais freqüente; (b) as doenças que dependem da higiene das pessoas, relacionada com a sua educação; (c) as doenças relacionadas com o ambiente e a disposição da água, como a malária, dengue e esquistossomose, entre outras; (d) doenças relacionadas com as inundações como a leptospirose, que é a contaminação da urina do rato na água de inundação.

A drenagem mal feita pode favorecer várias dessas doenças.

5.9 Educação ambiental e a drenagem urbana

A falta de participação popular na busca de soluções para que a drenagem urbana seja sustentável é um dos maiores empecilhos para o sucesso de medidas de controle pluvial modernas, sejam elas medidas estruturais ou não estruturais. Esta participação popular, em países democráticos, depende normalmente de dois fatores : (a) vontade e capacidade de auto-organização dos moradores e (b) abertura de canais reais de comunicação direta por parte da administração municipal. Assim estabelece-se um caminho de duas vias, com a administração

municipal comunicando-se com os moradores e vice-versa. Isto pode evoluir até uma forma de democracia participativa ou direta para definição das obras de drenagem urbana prioritárias. O nível de informação técnica e de educação ambiental de todos aumentaria.

A falta de participação popular conduz à repetição de erros anteriores na solução dos problemas de drenagem, ao descrédito na ação pública, e ao desprezo pela questão ambiental. A aceitabilidade popular de um novo conceito que é a sustentabilidade ambiental é fundamental para o sucesso das medidas de controle pluvial. Evidentemente, a maior dificuldade deste processo são as grandes diferenças dos níveis educacionais, em um sentido amplo, da população da cidade. Moradores pobres em áreas mal atendidas por serviços públicos tendem naturalmente a desprezar tudo que é público.

Neste sentido, programas de educação ambiental são úteis, entretanto, não há ainda uma maneira objetiva de avaliá-los. Só se sabe que ela visa conscientizar o cidadão de que é possível harmonizar os espaços urbanos com o meio ambiente e que o sistema de drenagem pode ser concebido para valorizar os córregos naturais e áreas verdes, evitando inundações ; os arroios urbanos devem deixar de ser vistos como depósitos de lixo e dejetos e passar a integrar espaços abertos de convivência civil ; para isso as ações estruturais não devem ter como regra erradicá-los (substituídos por galerias subterrâneas) da paisagem urbana.

6. PLANO DIRETOR DE DRENAGEM URBANA

6.1 A drenagem e o gerenciamento das águas urbanas

Segundo Tucci (2002), a estrutura institucional é a base do gerenciamento dos recursos hídricos urbanos e da sua política de controle. A definição institucional depende dos espaços de atribuição da organização do país, sua inter-relação tanto legal como de gestão quanto a água, uso do solo e meio ambiente.

O espaço geográfico de gerenciamento abrange dois contextos espaciais diferentes :

- Impactos que extrapolam o município, ampliando as enchentes e contaminando a jusante os sistemas hídricos como rios, lagos e reservatórios. Este tipo de impacto é a resultante das ações dentro da cidade, que são transferidas para o restante da bacia. Para o seu controle podem ser estabelecidos padrões a serem atingidos e geralmente são regulados por legislação ambiental e de recursos hídricos federal ou estadual;
- Impacto dentro das cidades, que atingem a sua própria população; o controle neste caso é estabelecido através de medidas desenvolvidas dentro do município através de legislação municipal e ações estruturais específicas.

6.2 Plano Diretor de Drenagem Urbana

O Plano Diretor de Drenagem Urbana tem por objetivo de criar os mecanismos de gestão da infra-estrutura urbana relacionado com o escoamento das águas pluviais e dos rios na área urbana da cidade (Tucci, 2002). Este planejamento visa evitar perdas econômicas, melhoria das condições de saúde e meio ambiente da cidade, tendo como metas :

- 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;
- controlar a ocupação de áreas de risco de inundação através de restrições na áreas de alto risco e;
- convivência com as enchentes nas áreas de baixo risco.

A palavra-chave é a integração da drenagem com outros aspectos dos recursos hídricos urbanos (Figura 29). A estrutura pode ser vista na Figura 30.

Figura 29 - Visão integrada do planejamento dos aspectos da água no ambiente urbano

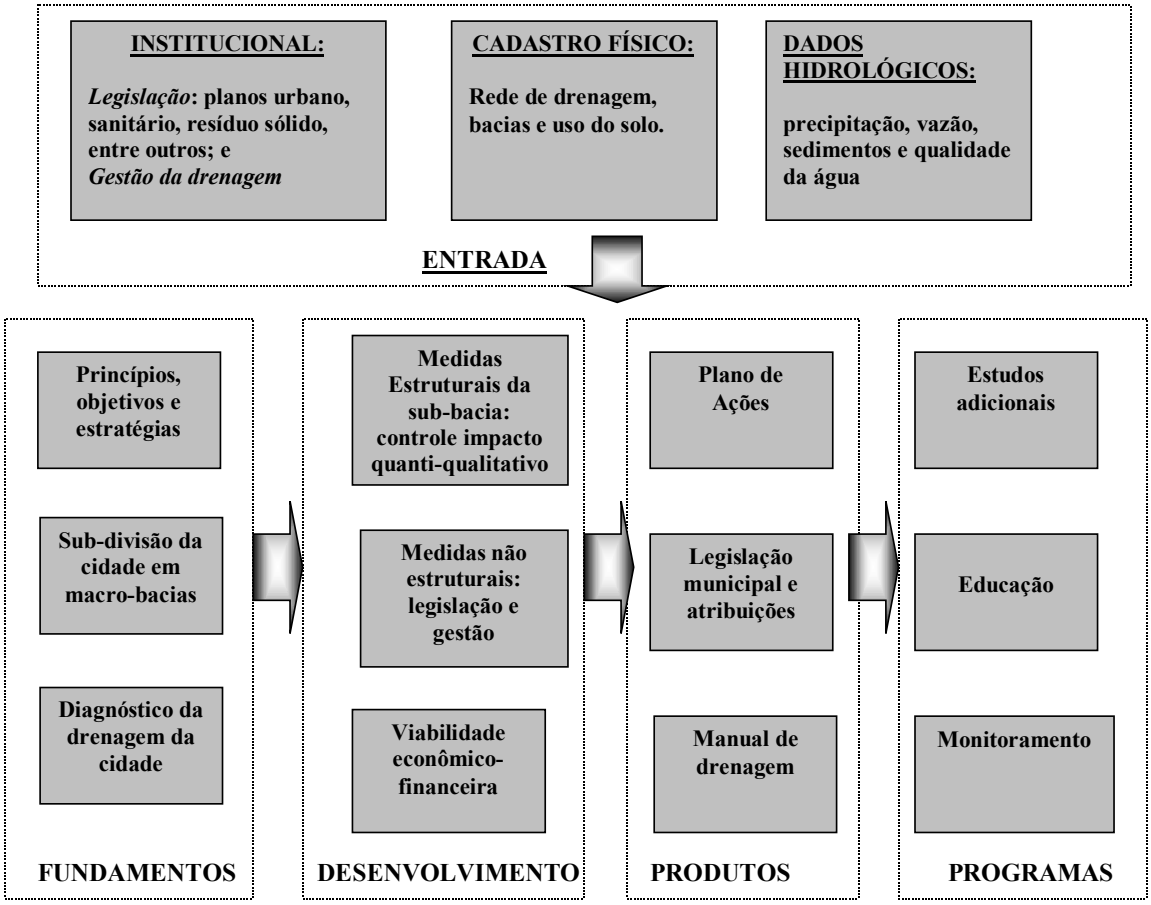


Figura 30 - Estrutura do Plano Diretor de Drenagem urbana

Para estabelecer um Plano de Drenagem são necessárias várias informações, que são, segundo Tucci (2002), as seguintes :

- Cadastro da rede pluvial, bacias hidrográficas, uso e tipo de solo das bacias, entre outros dados físicos;
- Planos: Plano de Desenvolvimento urbano da cidade, Plano de Saneamento ou esgotamento sanitário, Plano de Controle dos Resíduos Sólidos e Plano Viário. São Planos que apresentam interface importante com a Drenagem Urbana. Quando os planos de Água e Saneamento e Resíduos sólidos são desenvolvidos de forma integradas as interfaces entre estes elementos devem ser destacadas;
- Aspectos Institucionais: Legislação municipal relacionada com o Plano Diretor Urbano e meio ambiente; Legislação estadual de recursos hídricos e Legislação federal; Gestão da drenagem dentro do município;
- Dados hidrológicos: precipitação, vazão, sedimentos e qualidade da água do sistema de drenagem.

Os fundamentos do Plano de Drenagem incluem os princípios, objetivos, estratégias, cenários e riscos; sub-divisão da cidade em sub-bacias e sua compatibilização com o sistema de administração da mesma para a gestão da drenagem; e um diagnóstico do conjunto da drenagem urbana da cidade e suas interfaces.

Os Princípios básicos são os seguintes :

- Plano de Drenagem deve fazer do Plano de Desenvolvimento Urbano e Ambiental da cidade. A drenagem faz parte da infra-estrutura urbana, portanto deve ser planejada em conjunto com os outros sistemas, principalmente o plano de controle ambiental, esgotamento sanitário, disposição de material sólido e tráfego;
- escoamento durante os eventos chuvosos não pode ser ampliado pela ocupação da bacia, tanto num simples loteamento, como nas obras de macrodrenagem existentes no ambiente urbano;
- controle da drenagem urbana deve contemplar as bacias hidrográficas sobre as quais a urbanização se desenvolve, não podendo reduzir o impacto de uma área em detrimento de outra, ou seja, os impactos de quaisquer medidas não devem ser transferidos, a não ser que haja medidas mitigadoras;
- Deve prever a minimização do impacto ambiental devido ao escoamento pluvial através da compatibilização com o planejamento do saneamento ambiental, controle do material sólido e a redução da carga poluente nas águas pluviais que escoam para o sistema fluvial externo a cidade;
- Deve contemplar na sua regulamentação o planejamento do Plano Diretor para as áreas a serem desenvolvidas e a densificação das áreas atualmente loteadas. Depois que a bacia, ou parte dela, estiver ocupada, dificilmente o poder público terá condições de responsabilizar aqueles que estiverem ampliando a cheia, portanto, se a ação pública não for realizada preventivamente através do gerenciamento, as conseqüências econômicas e sociais futuras serão muito maiores para todo o município.

- Realização do controle através de medidas estruturais e não-estruturais, que, dificilmente, estão dissociadas. As medidas estruturais, na macrodrenagem, podem envolver grande quantidade de recursos e resolvem somente problemas específicos e localizados. Isso não significa que esse tipo de medida seja totalmente descartável. A política de controle de enchentes, certamente, poderá chegar a soluções estruturais para alguns locais, mas dentro da visão de conjunto de toda a bacia, onde estas estão racionalmente integradas com outras medidas preventivas (não-estruturais) e compatibilizadas com o esperado desenvolvimento urbano. O controle deve ser realizado considerando a bacia como um todo e não trechos isolados.
- Valorizar os mecanismos naturais de escoamento na bacia hidrográfica, preservando, quando possível os canais naturais;
- Integrar o planejamento, atualmente setoriais, de drenagem urbana, esgotamento sanitário e resíduo sólido;
- Os meios de implantação do controle de enchentes são o Plano Diretor Urbano, as Legislações Municipal/Estadual e o Manual de Drenagem. O primeiro estabelece as linhas principais, as legislações controlam e o Manual orienta.
- Controle permanente: o controle de enchentes é um processo permanente; não basta que se estabeleçam regulamentos e que se construam obras de proteção; é necessário estar atento as potenciais violações da legislação na expansão da ocupação do solo das áreas de risco; nenhum espaço de risco seja 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 de engenheiros, arquitetos, agrônomos e geólogos, entre outros profissionais, da população e de administradores públicos é vista como essencial para que as decisões públicas sejam tomadas conscientemente por todos;
- custo da implantação das medidas estruturais e da operação e manutenção da drenagem urbana devem ser transferido aos proprietários dos lotes, proporcionalmente a sua área impermeável, que é a geradora de volume adicional, com relação as condições naturais.

O conjunto destes princípios prioriza o controle do escoamento urbano na fonte distribuindo as medidas para aqueles que produzem o aumento do escoamento e a contaminação das águas pluviais.

O Plano de Drenagem deve considerar diferentes cenários de desenvolvimento, conforme os seguintes exemplos : (a) condições atuais; (b) Plano Diretor Urbano (PDDU) ; (c) tendencial; (d) máximo. O cenário atual permite identificar a situação existente de ocupação. O cenário do Plano Diretor em vigor na cidade estabelece diferentes condicionantes de ocupação urbana para a cidade que, se obedecido, seria o cenário máximo. O cenário tendencial identifica o cenário urbano para o horizonte de projeto com base nas tendências existentes. O cenário máximo envolve a ocupação máxima de acordo com o que vem sendo observado em diferentes partes da cidade que se encontram neste estágio. Este cenário representa a situação que ocorrerá se o PDDU não for obedecido e medidas não-

estruturais não forem implementadas.

Risco de projeto: as medidas estruturais são planejadas para controle dos impactos do cenário adotado nas diferentes bacias urbanas baseado num risco ou probabilidade relacionada com os eventos hidrológicos. A definição do risco envolve um compromisso entre segurança e custos das obras.

Na maioria das estimativas de vazão para um tempo de retorno (ou a probabilidade), que caracterizam o risco, são obtidas com base na precipitação que ocorre sobre a bacia. O tempo de retorno, neste caso é o da precipitação e não necessariamente da vazão. Portanto o risco final se refere a ocorrência da precipitação associada as condições do modelo hidrológico utilizado.

Na literatura (ASCE, 1992;Wilken, 1978) existem vários manuais e livros que definem os riscos adequados de acordo com o tipo de ocupação urbana, onde nitidamente os riscos maiores (menor tempo de retorno, 2 a 5 anos) ficam para a microdrenagem e os riscos maiores (10 a 100 anos) para a macrodrenagem. A definição do risco também pode variar de acordo com a capacidade econômico financeira da comunidade, da freqüência de ocorrência e magnitude dos eventos (Tucci, 2002). A escolha do risco está relacionada com: (a) avaliação econômica, ou seja o risco que melhor atende a relação entre os benefícios do controle e o custo de implementá-lo; (b) definições de ordem de segurança; ou (c) sociais.

O Plano de Drenagem, como qualquer plano, requer estratégias de aplicação. Para áreas não ocupadas é preferível o desenvolvimento de medidas não-estruturais relacionadas com a regulamentação da drenagem urbana e ocupação dos espaços de riscos visando conter os impactos de futuros desenvolvimentos. Assim o ônus do controle das alterações hidrológicas com ocupações urbanas fica com quem efetivamente produz as alterações. Para as áreas que estão ocupadas é melhor desenvolver estudos específicos por macro bacias urbanas visando planejar as medidas necessárias para o controle dos impactos dentro destas bacias, sem que as mesmas transfiram para jusante os impactos já existentes. Nesse planejamento são priorizados obras de armazenamento temporário como bacias de detenções. A princípio, o risco de 10 anos de tempo de retorno é escolhido para dimensionamento da macrodrenagem com base numa avaliação qualitativa dos impactos econômico das medidas de controle. Geralmente, os maiores custos dos prejuízos das inundações encontram-se nas inundações com alto risco (baixo tempo de retorno), devido a sua grande freqüência de ocorrência. Desta forma o benefício de uso de medidas de controle para riscos baixos (alto tempo de retorno) podem representar grandes custos e não apresentam um benefício médio alto.

Quanto ao controle ambiental a estratégia deve observar os seguintes que seguem. Para as áreas onde não existe rede de esgoto cloacal ou existe grande quantidade de ligações de efluentes cloacais na rede pluvial, as medidas de controle devem priorizar o controle quantitativo, mas apenas o volume excedente da capacidade de drenagem atual. Assim evita-se que o escoamento em estiagem e o volume da primeira parte do hidrograma contamine as detenções. Estas áreas de armazenamento são mantidas a seco durante o ano e somente nos eventos com tempo de retorno acima de 2 anos são utilizadas. Após implementação adequada da rede cloacal é possível modificar a distribuição da vazão junto às detenções, retendo o início do escoamento superficial, que transporta a maior carga poluente. Desta forma a

detenção passa a contribuir também para a redução da carga para jusante do sistema de drenagem.

Para o controle da contaminação dos aqüíferos e o controle de material sólido deverão ser criados programas de médio prazo visando a redução desta contaminação através de medidas distribuídas pela cidade.

O próprio Plano de Drenagem configura uma medida não estrutural de controle das enchentes urbanas, pois através da legislação ou da regulamentação da legislação existente busca-se introduzir os seus princípios. Estes elementos legais são estabelecidos para os futuros desenvolvimentos na cidade e envolvem vários aspectos. Um deles é a densificação. Em áreas anteriormente parceladas na cidade, os impactos das áreas públicas já ocorreram e controle passa a ser sobre a ocupação dos lotes. Quando são propostos novos parcelamentos e loteamentos do solo urbano para construção de residências, áreas comerciais e industriais, medidas não-estruturais mais efetivas podem ser aplicadas, como limites de vazão efluente ou padrões de volume de detenção.

Como medidas estruturais o Plano de Drenagem deve, em cada sub-bacia urbana, determinar os locais onde a drenagem não tem capacidade de escoamento e produz inundações para cada cenário e risco escolhido. O Plano deve apresentar solução para evitar que eventos deste tipo ocorram. As etapas usuais são as seguintes: (a) avaliação da capacidade de drenagem existente; (b) a identificação dos locais críticos, onde ocorrem inundações para o cenário e riscos definidos; (c) o estudo de alternativas para controle destas inundações; (d) avaliação econômica; (e) avaliação ambiental. Para as áreas ribeirinhas não protegidas poderá ser estabelecido o 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.

A avaliação econômica em Planos de Drenagem possui dois componentes : (a) custos das obras e seus benefícios; (b) mecanismos de financiamento das obras e da manutenção da rede de drenagem.

A distribuição dos custos do controle de inundações devem ser definidos de acordo com o tipo de inundação. Para as áreas ribeirinhas, a principal causa dos impactos se deve à ocupação da população em áreas de risco, assim o beneficiário e o agente causador são os mesmos e o rateio dos custos deve ser realizado entre os beneficiários. Para casos de inundação na drenagem urbana os beneficiários são os que sofrem a inundação e se encontram nos trechos de jusante, enquanto que os agentes causadores encontram-se em toda a bacia a montante da sub-bacia. Portanto, o rateio de custos deve ser distribuído pelos proprietários da bacia, de acordo com a sua área impermeável.

Na drenagem urbana os custos são devido a :

- Implementação das obras de macrodrenagem e outras medidas estruturais para controle dos impactos existentes na cidade. Estes custos estão distribuídos pelas bacias hidrográficas, através do Plano de cada bacia. Além disso, este custo ocorre quando da sua implementação;

- Custos de operação do sistema de drenagem existente da rede de pluvial, que envolve a limpeza, manutenção dos condutos e solução de problemas localizados. Este custo deve ser distribuído pelos usuários da rede de drenagem.

O princípio básico do financiamento das ações da drenagem urbana são o de distribuir os custos de acordo com as áreas impermeáveis não controladas da propriedade. A distribuição dos custos da implantação da drenagem propostos neste Plano são baseados no seguinte:

- Obras de controle: Para as obras de controle planejadas em cada bacia, os custos de sua implantação devem ser distribuídos dentro de cada bacia planejada de acordo com a área impermeável de cada propriedade a partir de um valor total cobrado pelo período estimado de implantação da mesma ou seu financiamento. A população das bacias onde a impermeabilização é maior e, portanto, com condições mais críticas de drenagem deverá pagar quantias maiores.
- Operação e manutenção: O custo referente a operação e manutenção da rede de drenagem urbana. Este custo pode ser cobrado através de: (a) como parte do orçamento geral do município, sem uma cobrança específica dos usuários; (b) através de uma taxa fixa para cada propriedade, sem distinção de área impermeável; (c) baseada na área impermeável de cada propriedade. Esta última alternativa é a mais justa sobre vários aspectos, a medida que quem mais utiliza o sistema deve pagar proporcionalmente ao volume que gera de escoamento.

A principal dificuldade no processo de cobrança está na estimativa real da área impermeável de cada propriedade. Uma alternativa é utilizar a área construída de cada propriedade projetada para o plano da área do terreno como a área impermeável. Este valor não é o real , pois o espaço impermeabilizado tende a ser maior em função da pavimentação dos pátios. Outra alternativa é estabelecer um programa de avaliação da área impermeável com base em imagem de satélite e verificação por amostragem através de visita local.

Quanto ao rateio dos custos deve ser estimada a área total impermeabilizada na bacia, a área total e o custo total da intervenção ou da operação e manutenção.

O Plano de Drenagem é o conjunto dos seus produtos :

- Legislação e/ou Regulamentação que compõem as medidas não-estruturais;
- Proposta de gestão da drenagem urbana dentro da estrutura municipal de administração;
- Mecanismo financeiro e econômico para viabilizar as diferentes medidas;
- Plano (estudo) de controle estrutural das bacias hidrográficas urbanas;
- Plano de Ações : medidas escalonadas no tempo de acordo com a viabilidade financeira;
- Manual de Drenagem: elementos necessários ao preparo dos projetos na cidade.

O Plano de Drenagem deve recomendar estudos complementares (Programas) de médio e longo para melhorar as deficiências encontradas na sua elaboração. Exemplos de Programas são :

- Monitoramento: da hidrologia de bacias representativas da cidade, de áreas impermeáveis e resíduos sólidos na drenagem

- Revisão do Cadastro do sistema de drenagem
- Estudos específicos de avaliação econômica dos riscos, de revisão dos parâmetros hidrológicos e metodologia para estimativa da qualidade da água pluvial, de dispositivos para retenção do material sólido nas detenções, de verificação das condições de projeto dos dispositivos de controle da fonte, entre outros;
- Manutenção: Devido ao uso de dispositivos de controle distribuídos pela cidade o programa de manutenção deverá ser eficiente para manter as condições de controle ao longo do tempo.
- Educação, envolvendo atualização dos engenheiros de drenagem urbana, arquitetos e engenheiros que projetam obras na cidade, gestores urbanos; e educação da população.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASCE, 1992

AZZOUT, Y.; BARRAUD, S.; CRES, F.N.; ALFAKIH, E., 1994, Techniques Alternatives en Assainissement Pluvial : Choix, Conception, Réalisation et Entretien, LCPC, INSA Lyon, Certu, Agences de l'Eau, Lavoisier Technique et Documentation, Paris.

BIDONE, F. R., TUCCI, C.E.M., 1995, Microdrenagem, in : Tucci, C.E.M., Porto, R.L., Barros, M.T., 1995, org, Drenagem Urbana, Porto Alegre, Editora da Universidade, 428p., pp 77-105.

COSTA FRANCO, S., 1992, Porto Alegre : guia histórico. Porto Alegre: Ed. da Universidade, 448 p.

CRUZ, M.S.; TUCCI, C.E.M.; SILVEIRA, A.L.L, 1998, Controle do Escoamento com detenção em lotes urbanos, Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Vol. 3, N.4, out/dez, pp 19-31.

DAEE/CETESB, 1980. Drenagem Urbana : Manual de Projeto. 2. ed. corr. São Paulo. 468 p

DESBORDES, M., 1987, Contribution à l'analyse et à la modélisation des mecanismes hydrologiques en milieu urbain, Montpellier : Académie de Montpellier. 242 p. Thèse.

MECKLENBURG, D., 1996, Rainwater and Land Development : Ohio's Standards for Stormwater Management Land Development and Urban Stream Protection, 2nd Edition, Ohio Department of Natural Resources, Columbus, Ohio, USA.

MELO FRANCO, A. A., 1968, História do povo brasileiro. São Paulo : Jânio Quadros Editores Culturais.

NICHOLAS, D., 1995, Techniques for On Site Stormwater Detention in Sidney, Australia : Quantity and Quality Control Mechanisms for Frequency Staged Storage, 2nd International Conference on Innovative Technologies in Urban Storm Drainage, NOVATECH 95, Lyon, France.

OBRAS Completas de Saturnino de Brito, 1943. Rio de Janeiro : Imprensa Nacional, 23 v.

PESQUISA Nacional de Saneamento Básico, 2002, IBGE, SEDU/PR, CEF, FUNASA, primeiro semestre de 2000.

PMBH (1996)

PMPA (2000)

RAMOS, 1998

SANGARÉ, I. B. , 1998. Évaluation de quelques conditions de durabilité de l'assainissement urbain : le cas de Tours, Novatech 98, 3ème Conférence Internationale, Les Nouvelles Technologies en Assainissement Pluvial, Lyon, França, vol 1, pp 173-181

SCHUELER, T. R., 1987. Controlling Urban Runoff : A Practical Manual for Planning and Designing Urban BMPs. Department of Environmental Programs, Metropolitan Washington Council of Governments.

SILVEIRA, A.L.L., 1997, Provável Efeito Urbano nas Relações IDF das Chuvas de Porto Alegre, Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Vol. 2, N.2, jul/dez, pp 93-107.

SILVEIRA, A.L.L., 1999, A História da Drenagem, Revista Rio-Águas, v1, n1, p.9-13.

SILVEIRA, A.L.L., 2000, Impactos hidrológicos da urbanização em Porto Alegre, In : Tucci, C.E..M.; Marques, D.M., 2000, Avaliação e Controle da Drenagem Urbana, Editora da Universidade/UFRGS, Porto Alegre, pp 153-163.

SILVEIRA, A.L.L., 2002. Problems of Modern Urban Drainage in Developing Countries. Water Science & Technology Vol 45 No 7 pp 31–40 © IWA Publishing 2002

SOUZA, C. F., DAMASIO, C. P. 1993, Os primórdios do urbanismo moderno : Porto Alegre na administração Otávio Rocha. In : Panizzi, W. M., Rovatti, J. F., ed., Estudos urbanos : Porto Alegre e seu planejamento. Porto Alegre : Editora da Universidade : Prefeitura Municipal de Porto Alegre, 374 p. p 133-145.

STU, 1993, La maîtrise des eaux pluviales : des solutions sans tuyau dans l'agglomération de Bordeaux, Les Éditions du STU, Service Technique de l'Urbanisme, Bordeaux, France.

TUCCI, 1993

TUCCI, 1995

TUCCI, C. E. M., 2002, Gerenciamento da drenagem urbana. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Vol. 7, N.1, jan/mar, pp 5-27.

TUCCI, C.E.M., GENZ, F., 1995, Controle do Impacto da Urbanização, in : Tucci, C.E.M., Porto, R.L., Barros, M.T., 1995, org, Drenagem Urbana, Porto Alegre, Editora da Universidade, 428p., pp 277-347.

URBONAS, B., STAHRE, P., 1993. Stormwater Best Management Practices and Detention, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 450 p.

WILKEN, P. S., 1978. Engenharia de drenagem superficial. São Paulo : Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, 1978, 478 p.

WRIGHT, 1997

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).