

Regulação das águas pluviais urbanas

Carlos E. M. Tucci
Adalberto Meller

RESUMO: No Brasil o impacto nas águas pluviais em decorrência da urbanização tem reduzido a qualidade de vida da população e comprometido o meio ambiente. O poder público tem sido ineficiente na prevenção e gestão deste problema, tendo como resultado a transferência de custos e responsabilidades do privado para o público em cada novo empreendimento. Este artigo destaca a relação entre a gestão dos recursos hídricos, que prevê a bacia hidrográfica como unidade de gestão e a cidade como unidade local de gestão urbana, e as medidas potenciais de regulação das águas pluviais dentro do município, necessárias à prevenção dos impactos e a transferência de responsabilidades. Esta análise discute também as tendências e práticas internacionais e do Brasil, visando a busca de uma real sustentabilidade de longo prazo.

PALAVRAS-CHAVE: legislação, gestão da drenagem urbana, águas urbanas.

ABSTRACT: In Brazil, the effect of urbanization on the storm water has been reduced the quality of life of the population and impacted the environment. The public institutions have been inefficient in prevention and managing this issue, resulting in the transference of the cost from the private to the public in each new development. This paper presents the institutions relations of water resource management at basin level and the city management of its facilities, the potential measures adopted to regulated inside of the city the storm water in a way to prevent the impacts and do not allow the transference of responsibilities. The paper analysis the international and Brazilian tendencies to regulate in order to achieve long term sustainability in the cities.

KEY-WORDS: regulation, urban stormwater management, urban water.

INTRODUÇÃO

O desenvolvimento urbano é a fonte de vários impactos no meio ambiente e sobre a população devido ao: (a) aumento das inundações pela impermeabilização e canalização; (b) erosão do solo e assoreamento dos rios pela aceleração do escoamento; (c) deterioração da qualidade da água dos mananciais superficiais e subterrâneos (Tucci, 2002).

Parte importante das fontes dos impactos é difusa como a carga do esgoto doméstico no pluvial ou vice-versa (quando existe sistema separador), a contaminação das águas pluviais e subterrâneas, resíduos como lixo, entre outros. A identificação da fonte e do causador do impacto na poluição difusa tem alto custo e nem sempre é viável, o que dificulta a gestão dos recursos hídricos.

Os impactos resultantes são, entre outros: a desvalorização das propriedades, freqüentes prejuízos materiais e humanos, doenças e deterioração do meio ambiente. Estes impactos resultam numa visível redução da qualidade de vida da população. Neste cenário

uma parte da população ao ocupar o seu espaço, geralmente a montante, está recebendo subsídio de outros (que sofrem os impactos) a jusante. Da mesma forma ao não ter controlado os citados impactos, a população está recebendo um subsídio do meio ambiente. O poder público ao aprovar estes projetos fica sujeito a ações de perdas e danos e, quando implementa obras com fundos da arrecadação geral do município está transferindo o ônus do privado para o público.

A legislação ambiental brasileira prevê a licença ambiental para novos empreendimentos específicos, mas não considera o efeito conjunto dos impactos da urbanização. A lei de recursos hídricos do Brasil (9.433 de janeiro de 1997) prevê o domínio e a gestão federal e estadual, mas não define a função do município, onde este impacto é gerado. Este artigo trata de buscar respostas técnicas para estas indefinições. A seguir é analisada a relação entre a gestão nível da bacia e da cidade, definindo os espaços de gestão. A gestão dentro da cidade é analisada em maior detalhe, seguido das medidas associadas a regulação.

GESTÃO DA BACIA E DA CIDADE

Espaços

A gestão das ações dentro do ambiente urbano pode ser definida de acordo com a relação de dependência da água através da bacia hidrográfica ou da jurisdição administrativa Municipal, Estadual ou Federal. A gestão dos recursos hídricos é realizada através da bacia hidrográfica, no entanto a gestão do uso do solo é realizada (Tucci, 2002, 2005) pelo município ou grupo de municípios numa Região Metropolitana. A gestão pode ser realizada de acordo com a definição do espaço geográfico externo (bacia hidrográfica) e interno a cidade (município).

Os Planos das bacias hidrográfica têm sido desenvolvidos para grandes bacias ($>1.000 \text{ km}^2$). Neste cenário existem várias cidades que interferem umas nas outras, transferindo impactos. O Plano da bacia dificilmente poderá envolver todas as medidas em cada cidade, mas deve estabelecer os condicionantes *externos* as cidades como a qualidade de seus efluentes, as alterações no hidrograma (quantidade), que visem evitar a transferência de impactos. O ambiente interno da cidade é gerido pelo município para atender os condicionantes *externos* previstos no Plano de Bacia, e os *internos*, evitando inundação, erosão, resíduos e a contaminação da água nos rios e aquíferos dentro da cidade. Na tabela 1 são apresentados os gestores e instrumentos destes espaços.

A construção global desta estrutura de gestão esbarra em algumas dificuldades: (a) Limitada capacidade dos municípios para desenvolverem a gestão; (b) O sistema de gestão das bacias ainda não é uma realidade consolidada em todo o país; (c) Reduzida

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

Gerenciamento de bacias urbanas compartilhadas

Grande parte das cidades possui uma bacia hidrográfica comum entre si. Geralmente existem os seguintes cenários: (a) um município está a montante de outro; (b) o rio divide os municípios (figura 1).

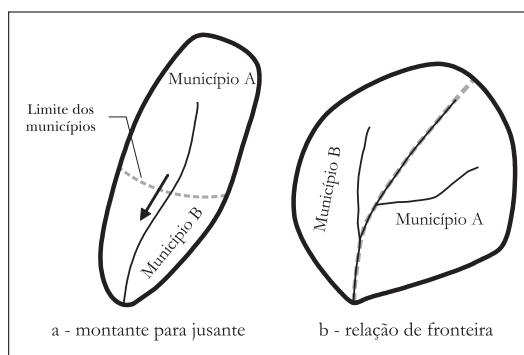


FIGURA 1. Relações básicas entre municípios

TABELA 1
Espaço de Gestão das águas urbanas

Espaço	Domínio	Gestores	Instrumentos	Características
Bacia ¹	Estado ou Governo Federal	Comitê e Agência	Plano de bacia	Gestão da quantidade e qualidade da água nos rios da bacia hidrográfica, evitando a transferência de impactos.
Município ²	Município ou Região Metropolitana	Município ou órgão Metropolitanano	Plano Diretor urbano e Plano integrado de Esgotamento, Drenagem Urbana e Resíduos Sólidos.	Minimizar os impactos de quantidade e qualidade dentro da cidade, nas pequenas bacias urbanas evitando transferir impactos para os rios.

¹ bacias de grande porte ($> 1.000 \text{ km}^2$); ² área de abrangência do município e suas pequenas sub-bacias de macrodrenagem ($< 50 \text{ km}^2$). Os valores de áreas são indicativos e podem se alterar para cidades de grande porte.

O controle institucional das águas urbanas, que envolve pelo menos dois municípios, pode ser realizado pela: (a) legislação municipal adequada para cada município; (b) legislação estadual que estabeleça os padrões a serem mantidos nos municípios, de tal forma a não serem transferidos os impactos; (c) distritos de Drenagem, onde cada Distrito engloba um ou mais municípios sob normas comuns quanto a gestão territorial relacionada com os elementos das águas urbanas.

Estes entendimentos podem ser realizados dentro do comitê da bacia e a regulamentação setorial através dos Planos Estaduais. 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.

Os problemas atualmente existentes podem ser resumidos nos seguintes cenários:

-  Nas regiões metropolitanas é comum a existência de bacias hidrográficas com grande predominância de urbanização que ultrapassa os limites da cidade. Nesta situação a transferência de impactos entre as cidades é muito grande. Por exemplo, uma cidade a montante que canaliza seu escoamento para jusante seguramente irá aumentar as inundações na cidade de jusante, da mesma forma que a poluição industrial ou esgoto sem tratamento. Para evitar essa situação não existe mecanismo legal;
-  No caso de municípios que se encontram em margens opostas, mesmo que um deles adote medidas legais para gestão de sua parte da bacia, a outra margem continuará causando impacto a jusante, o que inviabiliza uma solução sustentável. O desenvolvimento de medidas sustentáveis de longo prazo somente é possível por meio do estabelecimento de mecanismos legais a serem exigidos dos projetos quando da sua aprovação em ambas as cidades.

Potenciais medidas de controle externo às áreas urbanas

O mecanismo previsto nas legislações de recursos hídricos para o gerenciamento externo das cidades é o Plano de Recursos Hídricos da Bacia. No entanto, no referido Plano dificilmente será possível elaborar o Plano Integrado de Águas Urbanas (Abastecimento, Esgotamento Sanitário, Drenagem Urbana e Resíduos

Sólidos) de cada cidade contida na bacia. O Plano da bacia 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, tendo como meta o enquadramento do rio na classe de uso.

GESTÃO NA CIDADE

Efeito da Urbanização

A maior parte dos efeitos da urbanização sobre o ciclo hidrológico tem origem direta no aumento das superfícies impermeáveis, que diminuem a capacidade de infiltração, retenção e evapotranspiração e aumentam a velocidade do escoamento das bacias urbanas.

A remoção da vegetação natural e o nivelamento das depressões naturais do terreno diminuem a interceptação e o armazenamento da chuva. Com a remoção da camada superior do solo e a compactação da camada sub-superficial ocorre o aumento do escoamento superficial juntamente com a produção de sedimentos devido a erosão.

Precipitações frequentes, com baixo período de retorno, são suficientes para desagregação e carreamento do solo desprotegido. Este fenômeno ocorre devido ao efeito da energia da chuva sobre superfícies durante a construção (canteiro de obras) e da velocidade acelerada a jusante de estradas, condomínios e áreas fortemente urbanizadas.

Com a diminuição das atividades de construção há a diminuição da produção de sedimentos e o aumento da produção de resíduos sólidos domésticos na bacia. Este resíduo acaba por obstruir as redes de micro e macrodrenagem, potencializando os efeitos das inundações.

A qualidade da água pluvial também se deteriora pela lavagem das superfícies urbanas devido aos contaminantes depositados pela poluição aérea, além dos resíduos citados.

Nos corpos receptores a jusante da bacia em desenvolvimento, os impactos podem ser reunidos em quatro grupos principais (State of Georgia, 2001, Commonwealth of Massachusetts, 1997 e State of Connecticut, 2004):

a) *Mudança na vazão dos rios*: (i) aumento do volume, das vazões de pico e da velocidade; (ii) diminuição do tempo de concentração; (iii) aumento da frequência e magnitude dos eventos à “calha

cheia¹” (estes eventos são os responsáveis por moldar a calha menor dos rios e têm TR = 1 a 2anos); (iv) diminuição da vazão de base, devido a diminuição da recarga do aquífero.

b) Mudança na Geomorfologia dos rios: As mudanças quantitativas do escoamento afetam diretamente a morfologia, geometria e as características dos córregos, rios e ravinas. Alguns dos impactos são (figura 2): alargamento da seção transversal e erosão das margens; aprofundamento do leito dos cursos d’água; desaparecimento da vegetação riparia; assoreamento em seções de baixa velocidade; ampliação dos limites da planície de inundação (TR=100 anos).

c) Impactos no Habitat Aquático: Devido às modificações apresentadas nos itens anteriores, há uma diminuição na diversidade do habitat dos corpos d’água. Os impactos incluem: degradação da estrutura do habitat; redução da vazão de base; aumento da temperatura dos rios; declínio em abundância e biodiversidade.

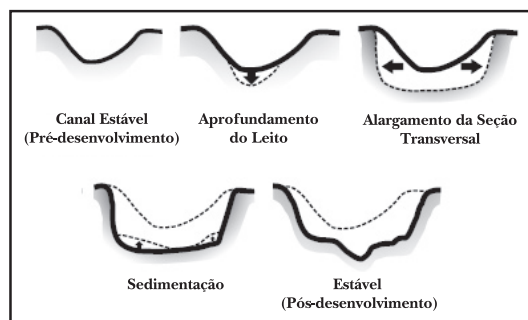


FIGURA 2. Modificações na morfologia dos cursos d’água devido ao desenvolvimento da bacia (State of Georgia, 2001)

d) Impactos na Qualidade da Água: A degradação da qualidade da água começa simultaneamente ao desenvolvimento da bacia. A erosão das áreas em construção leva grande quantidade de sedimentos aos canais. Além de aumentar a carga e introduzir novas fontes de poluentes, a urbanização produz áreas

impermeáveis que acumulam poluentes nos períodos entre os eventos de chuva. Esses poluentes são lavados das superfícies e rapidamente são direcionados aos sistemas hídricos.

Outras fontes importantes de poluição no ambiente urbano são as ligações clandestinas de esgotos, efluentes de fossas sépticas, vazamentos de tanques de combustível enterrados, estabelecimentos de lavagem de automóveis e oficinas, que contribuem para o aumento das cargas poluidoras transportadas pelas redes de drenagem urbana.

Os principais poluentes e seus impactos são (State of Georgia, 2001 e State of Minnesota, 2005): redução de oxigênio dissolvido (OD); enriquecimento por nutrientes (N e P); hidrocarbonetos como óleos, graxas e combustíveis em geral, que contêm compostos que podem ser carcinogênicos, causar tumores ou mutação em certas espécies de peixes; contaminação microbiana (bactéria, vírus ou outros micróbios proveniente das conexões ilícitas de esgoto); materiais tóxicos: metais pesados como cobre, níquel, zinco e cádmio podem intoxicar organismos e se acumular na cadeia alimentar prejudicando a saúde da população; lixo: gera um ambiente desagradável para convivência e diminui o valor recreacional e paisagístico dos cursos d’água.

Fases da gestão e controle na cidade

Desde a década de 70 muitos países (Estados Unidos, França, Inglaterra, Austrália, entre outros) identificaram os aspectos insustentáveis do desenvolvimento urbano (veja tabela 2 para o caso dos Estados Unidos). Até o final dos anos 80 esses países passaram a planejar os controles através da legislação, corrigindo os impactos existentes através do uso de amortecimento e fazendo com que o pico do hidrograma voltasse às condições de pré-desenvolvimento, sem transferir o impacto da urbanização. Na década de 90 passaram a recuperar as condições de funcionamento natural da bacia e algumas cidades procuraram incentivar o uso de dispositivos de infiltração e evapotranspiração do escoamento (na tabela 3). Exemplos desses dispositivos são: planos de infiltração, pavimentos permeáveis, trincheiras de infiltração, biorretenção, telhados verdes entre outros.

Regulação das Águas Pluviais na Cidade

A regulação é entendida aqui como os mecanismos para indução de práticas sustentáveis pelo poder público municipal. Este processo pode ser

¹ “Calha cheia” é quando o rio está com profundidade de escoamento no limite do leito menor ou o limite no qual ocorre o extravasamento.

TABELA 2
Histórico do controle nos Estados Unidos

O “Clean Water Act” (CWA) de 1972 (lei federal), estabeleceu um marco, iniciando uma mudança na visão do controle da poluição dos recursos hídricos no país. O enfoque inicial era controlar a poluição de fontes pontuais provenientes de indústrias e redes de esgoto cloacal municipais, de modo que as águas do país pudessem ser utilizadas para pesca, recreação da população além da conservação da vida selvagem.

Na década de 90 a Environmental Protection Agency (EPA) começou a aplicar os objetivos do CWA para a drenagem urbana através da regulação da disposição de efluentes nos corpos receptores por meio de um programa de licenciamento conhecido como National Pollutant Discharge Elimination System (NPDES). A fase I do NPDES, publicada em 1990, focou fontes de poluição originárias de médios e grandes sistemas de drenagem tipo separador absoluto em cidades ou condados com mais de 100.000 habitantes, além de 11 categorias de atividades industriais, as quais incluíram atividades de construção com áreas maiores que 2 ha.

A fase II do NPDES, publicada em 1999, foi além, e exigiu o licenciamento para sistemas de drenagem tipo separador absoluto de pequenas cidades e atividades de construção com áreas entre 0,4 e 2 ha (Estados Unidos, 1993).

Para alcançar os objetivos da fase II do NPDES e de outros programas, os Estados, através dos departamentos estaduais de proteção ambiental, tem desenvolvido guias técnicos de orientação, não regulatórios, para apoiar as jurisdições locais no estabelecimento das regulações e auxiliar empreendedores e a comunidade a cumpri-las (State of Minnesota, 2005, State of Georgia, 2001 e State of Connecticut, 2004). A implantação e administração do NPDES nos Estados que não possuem departamentos de proteção ambiental é feita pela EPA.

TABELA 3
Fases da Drenagem urbana em países desenvolvidos

Fases	Principal medida	Conceito
Até 1970	Canalização	Transferência de impacto
1970 -1990	Amortecimento para Redução da Vazão de Pico	Corretiva da urbanização
1990 >	Infiltração, Redução e tratamento do Volume	Sustentável nos novos empreendimentos

TABELA 4
Processos de regulação na drenagem urbana

Parâmetro regulação	Metas
Controle de pico (Qp)	Manter a vazão máxima de pré-desenvolvimento
Controle do pico, da qualidade da água (QA) e erosão (E)	Anterior + redução da carga da água pluvial (~80%) + controle da erosão pluvial
Anterior + Desenvolvimento de baixo Impacto	Anterior + mecanismos de incentivo para o desenvolvimento sustentável

realizado através de legislação específica do tipo “*command and control*” que exige condições mínimas de implantação, denominada aqui “legislação para drenagem” e guias de práticas recomendáveis através de incentivos econômicos ou não de desenvolver práticas sustentáveis.

Observou-se que as medidas de regulação para atender as fases citadas na tabela 3 ocorreram como apresentado na tabela 4. Inicialmente o principal problema eram as freqüentes inundações devido ao evidente efeito da impermeabilização e canalização. Para evitar que as inundações continuassem a ocorrer as cidades passaram a exigir (através de legislação) que a vazão máxima de cada novo empreendimento fosse menor ou igual a de pré-desenvolvimento. Esta ênfase variou com a magnitude do empreendimento e os mecanismos legais adotados. Na Austrália a ênfase ocorreu em nível de lote, enquanto nos Estados Unidos a ênfase foi na regulação de empreendimentos como loteamentos.

Na avaliação das medidas propostas observou-se que os outros impactos devidos à urbanização não eram controlados (qualidade da água pluvial e erosão), pois o controle do pico não garantia o controle da qualidade da água e a redução da erosão. Observou-se também que estes impactos ocorrem devido às chuvas freqüentes e não necessariamente às extremas. As legislações mais recentes impõem critérios para este controle (veja nos itens seguintes).

As regulamentações mais atuais buscam uma solução ambientalmente sustentável para os novos empreendimentos seja em nível de lote ou loteamento. Para atingir este objetivo é necessário o gerenciamento integrado da infra-estrutura urbana, iniciando-se pela definição da ocupação do espaço com preservação das funções naturais como a infiltração, evapotranspiração e a rede natural de escoamento. Este tipo de desenvolvimento tem recebido a denominação de *Better Site Design* (BSD, melhor projeto local) / *Conservation Design* (CD) / *Low Impact development* (LID, desenvolvimento de baixo impacto) nos Estados Unidos e Nova Zelândia, *Water Sensitive Urban Design* (WSUD, Projeto urbano de água adequado) na Austrália e *Sustainable Urban Drainage Systems* (SUDS, Sistemas de drenagem urbana sustentável) no Reino Unido. Neste caso, a implantação dessas práticas tem sido recomendada, com base na redução de custo da implantação e não necessariamente através de legislação específica. Para isto foram elaborados alguns manuais para orientar o seu uso. Nos Estados Unidos estes tipos de desen-

volvimento são utilizados de modo a complementar outros tipos de controle, como por exemplo, reservatórios de detenção/retenção.

Tendência de Regulação do Desenvolvimento Sustentável

Cinco grandes grupos de metas têm sido selecionados, relacionadas com as fontes dos impactos. O objetivo principal é reproduzir a hidrologia de pré-ocupação da bacia através do controle de todo espectro de freqüência dos eventos de chuva. O espectro de freqüência é dividido em cinco zonas, baseadas em suas freqüências de ocorrência, que são: Recarga do aquífero; Qualidade da Água; Proteção dos rios (erosão e assoreamento); Controle das Inundações da Drenagem Urbana (freqüentes); Controle das Inundações Extremas.

Na figura 3 e tabela 5 são apresentadas as relações entre os impactos e controles. As inundações extremas não são tratadas neste artigo.

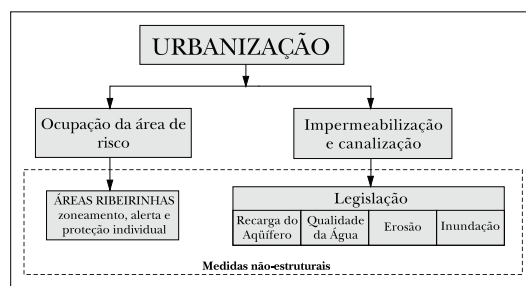


FIGURA 3. Impactos e controles

Recarga do Aquífero: Essa regulação visa manter o volume anual de recarga do aquífero da bacia na situação de pré-desenvolvimento, através da captura e infiltração do escoamento. O objetivo principal é manter os níveis do aquífero, a vazão de base nos córregos e os níveis de umidade nos banhados.

Para definição do volume de recarga (infiltração) os métodos se baseiam no tipo de solo, volume anual de precipitação e na porcentagem de área impermeável do local. Utilizando o grupo hidrológico do solo, o volume de recarga por unidade de área (m^3/ha) pode estimado como (Commonwealth of

TABELA 5
Impactos e regulamentação sobre o escoamento pluvial

Efeito	Impactos	Objetivo	Ação	Regulamentação
Recarga do Aquífero	Diminuição do lençol freático e da vazão de base	Manter os níveis anuais médios de recarga e a vazão de base.	Infiltração na área desenvolvida	Garantir a recarga média anual de acordo com os tipos de solo da região
Qualidade da água	Aumento da carga de poluentes na água pela lavagem das superfícies urbanizadas	Reduzir a 80% da carga da qualidade da água devido a eventos pluviais	Tratar o volume dos sólidos suspensos das superfícies urbanas ¹	O controle é realizado para o volume da chuva de 1 a 2 anos e 24 horas ou um volume correspondente a 90% dos eventos anuais.
Erosão e assoreamento	Erosão do leito dos canais devido ao aumento da vazão e velocidade	Reduzir a energia do escoamento	Restringir a vazão pré-desenvolvimento e dissipar a energia através de reservatórios ou dissipadores	O controle é realizado armazenando a chuva de 1 a 2 anos de 24 horas.
Inundação da Drenagem Urbana	Inundação na drenagem urbana (redes de condutos e canais naturais e/ou artificiais) devido ao aumento da vazão.	Manter a vazão de pico menor ou igual a de pré-desenvolvimento	Com infiltração ou amortecimento na área desenvolvida	Evento de cheia com tempo de retorno de 10 a 25 anos e 24 horas.
Áreas ribeirinhas e eventos extremos	Impactos devido a eventos extremos nas áreas ribeirinhas e segurança dos dispositivos hidráulicos	Mitigar os impactos extremos, não ampliação dos limites da planície de inundação e dimensionamento de estruturas de emergência nos reservatórios.	Controle com reservatórios e/ou zoneamento.	Zoneamento de áreas de inundação para a cheia de 100 anos.

¹ a redução de sólidos implica na redução das cargas de outros poluentes.

Massachusetts, 1997; State of Vermont, 2002; State of Connecticut, 2004; State of Maryland, 2000):

$$V_{ra} = 10.R.(I/100) \quad (1)$$

onde: R (mm) é a recarga do aquífero e I (%) é a área impermeável no caso de novos desenvolvimentos e o aumento da área impermeável para locais que estejam sendo novamente ocupados. O valor de R pode ser estimado pela coluna 3 da tabela 6, que relaciona o tipo de solo com a recarga média em um evento de precipitação.

O volume também pode ser estabelecido como uma porcentagem do volume total de uma chuva de

projeto. No estado de Wisconsin (State of Wisconsin, 2000), por exemplo, 10 a 25% do volume da chuva de 2 anos de tempo de retorno e 24 horas de duração deve ser infiltrada, dependendo do tipo e uso (% de áreas impermeáveis) do solo.

Para alcançar a meta de recarga podem ser utilizadas medidas de controle como trincheiras de infiltração, valos gramados, pavimentos permeáveis e também de técnicas de planejamento do local (LID/ BSD/CD). Os reservatórios não são os dispositivos mais apropriados para a recarga do aquífero, pois normalmente são projetados com fundos impermeáveis ou tem sua capacidade de infiltração no solo significativamente reduzida devido à acumulação do sedimento fino (State of Connecticut, 2004).

TABELA 6
Altura de Recarga do Aquífero
(State of Connecticut, 2004)

Grupo Hidrológico de Solo	Recarga Média Anual (mm/ano)	Recarga (mm)
A	457	10
B	305	6
C	152	3
D	76	0

Qualidade da Água: A regulação sobre qualidade da água visa o tratamento da qualidade da água pluvial para evitar a poluição dos sistemas aquáticos. O objetivo é o tratamento da qualidade considerando os diferentes tipos de poluentes observados na qualidade da água pluvial.

Algumas metas devem ser traçadas para caracterizar este objetivo. A prática americana através da EPA identificou que tratando uma parcela dos sólidos suspensos totais (SST) do escoamento pluvial o objetivo de reduzir a carga anual do escoamento em 80% é atingida (Estados Unidos, 1993). Os SST foram escolhidos como parâmetro indicador da eficiência do tratamento devido à (State of Georgia, 2001):

- os sedimentos e boa parte dos poluentes do escoamento pluvial se encontram aderidos aos SST;
- grande parte dos poluentes são removidos com os SST e suas taxas de remoção são proporcionais a dos SST;
- o nível de remoção de 80% dos SST é geralmente atingido com o uso de dispositivos bem dimensionados e que possuem manutenção adequada.

A definição do volume a ser tratado para alcançar a meta de tratamento pode ser estabelecida com base em um valor limite de precipitação ou um tempo de retorno para essa precipitação. Três metodologias tem sido usadas:

(a) US-EPA: A regulação adotada pela EPA estabelece que tratando o escoamento pluvial correspondente à chuva de 2 anos de tempo de retorno e duração de 24 horas a meta de redução dos poluentes é atingida (Estados Unidos, 1993);

(b) Fenômeno “*first flush*”: essa metodologia se baseia na suposição que a maior parte da carga dos poluentes do escoamento pluvial (80% segundo

Gupta e Saul, 1996) está contido nos 20% (Deletic, 1998) a 30% (Gupta e Saul, 1996) iniciais do volume total escoado. Nas regulações americanas esse valor corresponde em média ao escoamento gerado pelos primeiros 12,7 ou 25,4mm do evento de chuva (State of Connecticut, 2004), que deve ser tratado para alcançar a meta de remoção de poluentes;

(c) “Regra dos 90%”: Admite que capturando e tratando o escoamento associado a 90% dos eventos de chuva que ocorrem anualmente (que transportam cerca de 90% da carga anual de poluentes) a meta de remoção de poluentes é alcançada (State of New York, 2003; State of Maryland, 2000; State of Vermont, 2002 e State of Minnesota, 2005). Na maioria dos estados americanos esse valor é correspondente a aproximadamente 25,4mm de chuva, em concordância com a metodologia anterior.

Os métodos anteriores foram estabelecidos porque se verificou que a carga poluente é resultado de eventos pequenos e frequentes ao longo do ano ((Schueller, 1987; Athayde et al., 1983). Portanto, tratando e infiltrando a maioria dos eventos frequentes a carga sobre o sistema fluvial diminui.

O volume de qualidade da água por unidade de área v_{qa} (m^3/ha) pode ser estimado com base no seguinte:

$$v_{qa} = 10.P.C \quad (2)$$

onde: P é a precipitação em mm/dia (determinado pelos métodos (a), (b) ou (c)) e C é o coeficiente de escoamento que pode ser estimado por $C = 0,047 + 0,9 A_i$, sendo A_i a parcela da bacia com áreas impermeáveis (valor entre 0 e 1). Esta equação do coeficiente de escoamento foi determinada por Tucci (2002) para bacias brasileiras. Um estudo americano com 44 bacias obteve coeficiente de 0,05 para o primeiro termo e o mesmo para o segundo. Estes coeficientes são válidos para eventos como um todo.

No cálculo do volume total da qualidade de água (V_{qa}), V_{ra} (volume infiltrado) pode ser considerado como uma parcela e conseqüentemente ser subtraído do primeiro, contanto que as medidas propostas para infiltração sejam realmente capazes de infiltrar o volume estabelecido para recarga.

Proteção dos rios: A regulação de proteção do canal tem o objetivo de evitar a erosão e a sedimentação dos rios naturais à jusante dos desenvolvimentos, devido à aceleração do escoamento das áreas impermeáveis e dos condutos. Para reduzir a erosão sobre

os leitos de escoamentos pode-se utilizar: redução do volume de escoamento ou da velocidade pela infiltração; dissipação da energia através do aumento da rugosidade; amortecimento do escoamento com volume de água para redução da velocidade e restrição da vazão máxima de saída do empreendimento.

Normalmente o controle nas regulações é obtido através do armazenamento e restrição da vazão máxima de saída do lote ou loteamento. Vários critérios para o estabelecimento de uma vazão máxima admissível têm sido propostos. O critério mais comum para proteção do córrego consiste no controle da vazão de pós-desenvolvimento de 2 anos de período de retorno e 24h de duração ao nível de pré-desenvolvimento. Esse critério baseia-se na consideração que a vazão de pico à calha cheia tem de 1 a 2 anos de tempo de retorno (Leopold, 1994). Pesquisas mais recentes, entretanto, indicam que essa metodologia não protege adequadamente os córregos a jusante e pode, ao contrário, contribuir para o aumento da erosão pela exposição das margens a vazões de grande potencial erosivo por uma longa duração (McRae, 1993; Brown e Caraco, 2001).

A prática atualmente recomendada nas regulações é:

(a) controle da vazão de pós-ocupação de 2 anos de tempo de retorno e 24h de duração à: 1) 50% da vazão de pré-desenvolvimento de 2 anos e 24h; 2) vazão de 1 ano e 24h;

(b) armazenamento e liberação gradual do volume gerado pelo evento de 1 ano e 24h, em um período de 24 horas ou mais, para que sejam controladas as velocidades erosivas no canal durante a passagem da cheia;

(c) avaliação detalhada em campo e modelagem hidrológica e hidráulica do curso d'água para determinar o potencial erosivo das cheias e vulnerabilidade do material das margens à erosão. É o método adotado em Ontário no Canadá (Brown e Caraco, 2001).

Embora as alternativas anteriores possam ser efetivas na proteção do canal, do ponto de vista operacional existem sérias limitações na aplicação da regulação. Para locais com área impermeável menor que 2 ha, por exemplo, o tamanho dos orifícios da tomada de água necessários para cumprir a regulação tornam-se muito pequenos, e ficam sujeitos ao entupimento (State of Connecticut, 2004). Para contornar esse problema esta regulação de proteção do canal não é exigida nos seguintes casos: (a) o volume total

relacionado a proteção do canal é recarregado para o aquífero; (b) locais com área menor ou igual 2 ha de área impermeável; (c) locais que descarregam em rios de quarta ordem, lagos, estuários e que tenham área menor que 5% da área da bacia a montante do desenvolvimento.

Controle das Inundações da Drenagem Urbana: O objetivo principal é prevenir os danos das inundações no sistema de drenagem (incluindo a rede de condutos e os cursos d'água urbanos, naturais ou não) e na infra-estrutura urbana a jusante, do aumento da velocidade de escoamento, vazão de pico e volumes pelo desenvolvimento a montante.

Este controle exige a manutenção da vazão de pico de pré-desenvolvimento num evento de projeto com risco (10 a 25 anos de tempo de retorno e duração de 24 horas) semelhante ao usado para projetar pontes, sistemas de drenagem urbana e canais abertos de macrodrenagem nas cidades.

A figura 4 caracteriza os controles citados, mas os efeitos pretendidos não necessitam serem realizados apenas através de reservatórios de retenção ou retenção, mas podem ser obtidos aumentando a infiltração, com resultados semelhantes. Isto depende do tamanho da área envolvida. Para áreas menores < 100 ha, o efeito de medidas distribuídas pode ser efetivo para a regulação. No entanto, para áreas maiores é necessário uma avaliação mais cuidadosa e mesmo um conjunto de reservatórios pode produzir um aumento de vazões devido a concomitância de vazões de pico. Áreas maiores exigem estudos hidrológicos específicos para avaliar o efeito do conjunto de infra-estruturas introduzidas. Estes estudos hidrológicos devem utilizar a simulação dos hidrogramas e distribuição temporal e espacial das precipitações de projeto. A metodologia e especificação dos procedimentos devem fazer parte do manual de drenagem urbana, orientando os profissionais sobre os condicionantes estabelecidos pela regulamentação.

A vazão de pré-desenvolvimento é a vazão máxima que ocorreria na área no risco escolhido durante uma chuva de 24 horas. É utilizado um hidrograma resultante do hietograma de projeto com a distribuição temporal de 24 horas. Para pequenas áreas (<200 ha) é possível utilizar o Método Racional. A vazão por unidade de área q_n ($l.s^{-1}.ha^{-1}$) fica:

$$q_n = 2,78 C. I \quad (3)$$

onde: C é o coeficiente de escoamento e I a intensidade da precipitação em mm/h. A escolha do valor de I depende da duração de chuva escolhida, que varia com o tempo de concentração da área. No caso de utilizar-se 24 horas, este valor seria muito baixo e irreal, pois não se procura a vazão máxima diária para o risco, mas a vazão máxima durante a parte intensa da chuva dentro do dia.

A definição da duração depende do controle estabelecido: (a) quando o controle é somente quantitativo a duração deve ser pequena para evitar volumes e custos altos; (b) Quando os controles envolvem qualidade da água e erosão, a duração deve ser alta para manter a água por mais tempo no reservatório evitando estes impactos. Em Porto Alegre (controle quantitativo, item (a) acima) a duração adotada foi de 1 h e o coeficiente de escoamento igual a 0,15, resultando em uma vazão de pré-dimensionamento de $20,8 \text{ l/s.ha}^{-1}$. A tabela 7 apresenta exemplos de regulações em termos de vazão por unidade de área para alguns locais nos EUA, França e Canadá.

MEDIDAS ASSOCIADAS À REGULAÇÃO

As medidas associadas ao controle podem ser classificadas em dois tipos principais: (a) armazenamento; (b) infiltração. As primeiras são utilizadas tanto em áreas de lotes como em loteamentos e as segundas são mais utilizadas a nível local. Quando as estruturas de armazenamentos são utilizadas em nível local (lote ou pequeno loteamento) são denominadas de OSD (*On-Site Detention*).

A principal medida associada a manutenção da vazão às condições prévias tem sido o armazenamento através de reservatórios (detenções ou retenções). Em regulamentações mais atuais é incentivado o uso de infiltração através dos manuais das cidades como: (a) desconexão de áreas impermeáveis com os pluviais, fazendo a água transitar por planos de infiltração; (b) incentivos para uso de trincheiras, valos e pavimentos permeáveis. Estes elementos fazem parte das práticas do LID citado acima. No entanto, deve-se considerar que áreas que possuem importante contaminação superficial não devem ser infiltradas antes do tratamento da água. O dimensionamento das estruturas de armazenamento se baseia nos seguintes critérios:

Controle quantitativo: vazão máxima de pré-dimensionamento, volume necessário, tempo de retorno e duração da chuva de projeto, carga e diâmetro do conduto de saída para a rede pública. O tempo de retorno está relacionado com o risco no qual será garantida a vazão de pré-dimensionamento, juntamente com a duração da chuva mais crítica. Dependendo do tamanho da área pode-se utilizar o método racional, caso contrário utiliza-se o hidrograma associado ao amortecimento em reservatório.

Controle da qualidade, erosão e quantidade: o dimensionamento se baseia no volume resultante de chuvas com diferentes riscos e duração de 24 horas, além do dimensionamento da segurança da detenção (figura 4). As principais características do controle através das estruturas de amortecimento em alguns países são as seguintes:

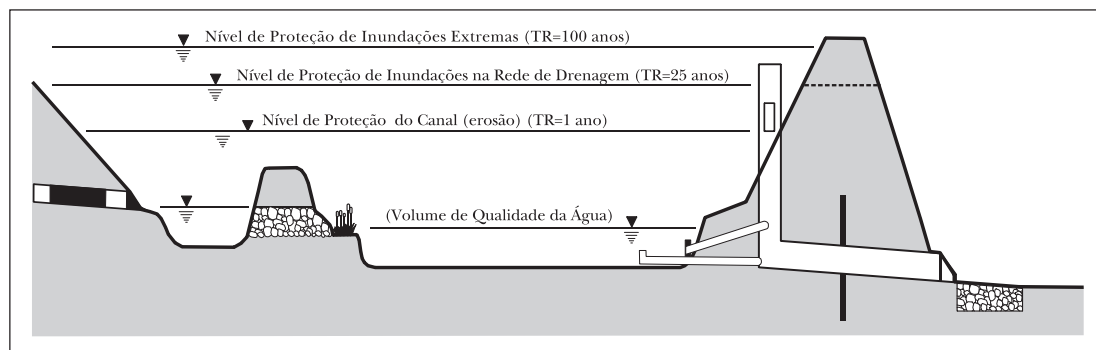


FIGURA 4. Volumes de acordo com o tipo de controle (State of Georgia, 2001): Qualidade da água: o volume definido permite o controle da qualidade da água; Proteção do Canal: o volume correspondente permite reduzir a velocidade e o potencial erosivo a jusante; Inundações na Drenagem Urbana: o volume permite evitar o aumento das vazões devido a urbanização e inundações extremas: o volume permite mitigar os impactos extremos e a não ampliação da planície de inundação.

TABELA 7
Exemplos de regulações para a vazão máxima
da drenagem urbana em alguns países

Local	Regulação ¹
Condado de Wayne - EUA (Wayne, 2005)	- $A > 2,02$ ha – $q=10,5$ para $TR=100$ - $A < 2,02$ ha – $q=10,5$ para $TR=10$
Oak Creek - EUA (Oak Creek, 2005)	- $q=10,5$ para $TR=2$ e $td=24$ - $q=28$ para $TR=100$ e $td=24$
Seattle EUA (Seattle, 2002)	- $A < 465$ m ² : $q=14$ para $TR=25$ e $q=10,5$ para $TR=2$ - $A > 465$ m ² : $q=35$ para $TR=100$, $q=14$ para $TR=25$ e $q=10,5$ para $TR=2$
Condado de Adams - EUA (Adams, 2005)	Dependente do grupo de solo dominante (A,B ou C&D) - $q=4,9$; $9,1$ e $11,9$ para $TR=5$ - $q=35$; $59,5$ e 70 para $TR=100$
Condado de Gratiot - EUA (Gratiot, 2005)	A vazão de pré-desenvolvimento deve ser a menor das três opções: a) $q=10,5$; b) vazão calculada pelo método racional com $TR=10$; c) porcentagem da área do local em relação a área total do distrito, multiplicado pela capacidade da rede ou córrego.
Lille Metropole França (Lille, 2004)	- $A < 2$ ha, $q=4$ - $A > 2$ ha, $q=2$
Poissy França (Poissy, 2005)	- $q=4$ a 5 , dependendo da região da cidade
Ville de Ruaudin França (Sarthe, 2003)	- $q=5$ para $TR=20$
Metchosin Canadá (Metchosin, 2003)	De acordo com o tipo de solo do local para $TR=2$: - Rocha < 500 mm de solo – $q=15$ - Solos > 500 mm de silte e argila – $q=12$ - Solos > 500 mm de areia, cascalho e silte – $q=6$ - Solos > 500 mm de areia e cascalho – $q=1$
Sechelt – Canadá (Sechelt, 2004)	- $A < 2$ ha – $q=5$ - Para áreas maiores o distrito exige o cálculo da vazão por um método detalhado

¹A=área do empreendimento, q=vazão por unidade de área
l/(s.ha), TR=tempo de retorno (anos); td=tempo de duração
da chuva de projeto(horas).

EUA: A US-EPA em conjunto com os Estados (através dos manuais) sugerem os volumes para recarga, qualidade da água, erosão, drenagem urbana e para eventos extremos como destaca a figura 4. Amostras dos critérios usualmente recomendados pelos Estados no dimensionamento dos volumes estão na tabela 8.

A regulamentação geralmente incentiva o uso do LID (*low impact development*) através da infiltração em controles locais. Algumas cidades estabelecem a precipitação utilizada para cálculo da qualidade da água pluvial. Por exemplo, considerando o limite de 31 mm em 24 horas e um coeficiente de escoamento de 5%, resulta uma vazão limite de 4,3 l/(s.ha). Portanto, o dispositivo de armazenamento deverá ter orifícios que esvaziem esta chuva em 24 horas com esta vazão. Da mesma forma os outros condicionantes possuem risco da precipitação local no período de 24 horas.

Reino Unido: De acordo com Faulkner (1999) não há nenhuma política formal publicada no Reino Unido com relação às estruturas de amortecimento. Várias metodologias são utilizadas para determinação da máxima vazão permitida à rede (chamada de “*greenfield runoff*”), adotada como a vazão de pré-ocupação da área. Algumas regiões prepararam notas de orientação regionais de padrões e métodos a serem adotados. Apenas a região do Tâmesa possui uma política de dimensionamento de estruturas de armazenamento publicada pela Agência Ambiental. Os critérios são semelhantes aos americanos como mostra a tabela 9.

Austrália: A Austrália tem usado reservatórios de detenção especialmente nas cidades mais populosas do leste, como Sydney, Melbourne, Brisbane, Newcastle, Wollongong e Canberra (Scott et al., 1999; O’Loughlin et al., 1998). Devido a limitação de espaço nas áreas próximas ao centro da cidade, surgiram como alternativa aos grandes reservatórios os OSD’s (“*On-Site Stormwater Detention*”), inicialmente na forma de tanques de detenção em residências, áreas comerciais ou industriais (O’Loughlin et al., 1995).

Segundo O’Loughlin et al. (1995) a resposta inicial à aplicação dos OSD’s (*On site Detention*, detenção local) foi negativa, pelo custo adicional da estrutura, complexidade e falta de eficiência da manutenção. Em regiões densamente urbanizadas ou com solos pouco permeáveis, os OSD’s aparecem como a melhor alternativa. Nos últimos anos, com o aparecimento do conceito de WSUD (*Water Sensitive Urban Design*) tem sido usadas técnicas híbridas

TABELA 8
Critérios para o dimensionamento dos volumes
das estruturas de tratamento do escoamento

Estado	Qualidade	Erosão TR ¹	Inundação TR ¹
New York (State of New York, 2003)	90% dos eventos ou de 20 a 30mm	1 ano	10 anos
Maryland (State of Maryland, 2000)	90% dos eventos Região Oeste=23mm e Leste=25mm	1 ano	10 anos
Georgia (State of Georgia, 2001)	85% dos eventos ou 30mm	1 ano	25 anos
Vermont (State of Vermont, 2002)	90% dos eventos ou 23mm	1 ano	10 anos
Wisconsin (State of Wisconsin, 2000)	2 anos e 24h, 32 a 38mm	2 anos	10 anos
Virginia (State of Virginia, 1999)	13mm	1 ano	10 anos
Connecticut (State of Connecticut, 2004)	25mm ou 90% dos eventos	50% de 2 anos ou 1 ano	10, 25 e 100 anos
Maine (State of Maine, 2006)	25mm das áreas impermeáveis e 10mm das áreas permeáveis	2 anos	10 e 25 anos
Massachusetts (State of Massachusetts, 1997)	25mm para áreas críticas e 13mm para as demais	2 anos	10 anos
Minnesota (State of Minnesota, 2005)	25mm ou 90% dos eventos	1 ano	10 anos

¹ Para uma chuva de projeto com tempo de duração de 24 horas.

TABELA 9
Critérios para controle do escoamento

Região	Vazão de Pré-desenvolvimento	Volume de Pré-desenvolvimento
Southern	q=7 para Tr=1	TR=100
Welsh	q=2-6	TR=100
Midlands	q=4-6 para Tr=1	TR=25
North East	q=3-7 para Tr=1	TR=30

q=vazão por unidade de área l/(s.ha), TR=tempo de retorno (anos). Fonte: Faulkner (1999).

OSD/WSUD, que promovem a utilização conjunta dos OSDs com dispositivos que permitem o reuso da água da chuva (Coombes et al., 2002) e/ou infiltração do escoamento no solo (Beecham et al., 2004).

Os problemas encontrados com os OSD na prática foram: (a) falta de conhecimento técnico por parte dos engenheiros; (b) manutenção. Still e Bewsher (1995) apud O'Loughlin et al. (1998) citam: problemas de projeto como volumes inadequados, material orgânico e limpeza, dificuldade de acesso, entre outros.

A utilização das OSDs para controle do escoamento são reguladas na Austrália em termos de “descargas permissíveis” (*Permissible Site Discharge* - PSDs) e do “armazenamento necessário” (*Site Storage Requirements* - SSRs). A limitação da vazão na estrutura é feita através do orifício de saída.

De modo geral o valor das PSDs e SSRs nas municipalidades australianas variam entre 80 a 300 l/s.ha e 200 a 550 m³/ha (Nicholas, 1995), respectivamente. O tempo de retorno geralmente adotado é de 100 anos. O diâmetro mínimo do orifício de saída dos OSD é limitado em 25 mm, para evitar entupimento das estruturas. Deve ainda existir uma proteção interna de grade. A profundidade máxima admissível para os tanques enterrados é 60 cm.

Brasil: No Brasil a abordagem tradicional para a solução/prevenção dos problemas de drenagem urbana nas cidades tem sido baseada no princípio higienista do início do século passado. Somente a partir da década de 90 o uso de técnicas alternativas conhecidas como *Best Mangament Practices* (BMP's, práticas da melhor gestão) começaram a ser introduzidas. Entre essas técnicas, o armazenamento através de bacias ou reservatórios de retenção tem sido a mais utilizada.

Embora existam hoje bacias de retenção em diversas cidades brasileiras como Porto Alegre, São Paulo, Curitiba, Belo Horizonte, Natal entre outras, ainda há grande resistência a sua aplicação pela maior parte dos projetistas, por falta de conhecimento e integração ambiental à paisagem das cidades.

Segundo Baptista et al. (2005) não existe hoje no país uma regulação específica para emprego de dispositivos de controle do escoamento pluvial na cidade, entretanto a legislação brasileira nas esferas federal, estadual e municipal dispõe de instrumentos legais que podem ser utilizados. Em áreas urbanas, o Estatuto da cidade (lei federal 10.257/2001) contém instrumentos de política urbana com potencial para

emprego de dispositivos para o controle de impactos da urbanização sobre a bacia.

Em Porto Alegre, o Plano Diretor de Drenagem Urbana ordenou a construção dos dispositivos de controle na cidade e previu um decreto de lei para controle na fonte do impacto gerado pela impermeabilização no escoamento urbano. Pela lei todo novo desenvolvimento com área superior a 600m², que gerar impermeabilização, deve controlar sua vazão máxima de saída à rede pública ao nível de pré-desenvolvimento. Em São Paulo a lei 13.276/2002 tornou obrigatório o controle através de reservatórios para áreas maiores que 500m². Este tipo de legislação limita o tipo de solução.

A principal preocupação com relação às águas pluviais ainda está ligada ao controle das inundações, não havendo historicamente preocupação com os aspectos qualitativos da água no meio urbano. Assim, é preponderante o uso de bacias de detenção às estruturas de retenção. As dificuldades encontradas têm sido: (a) falta de integração a paisagem da cidade e seus usos; (b) esgoto sanitário e lixo contaminam a área; (c) limitada manutenção das obras; (d) falta de entendimento da população sobre as funções das detenções.

CONCLUSÕES

Nos países desenvolvidos a prática de controle segue restrições de volume ou vazão que permita controlar a qualidade da água pluvial, a erosão e a vazão da drenagem. As medidas para atender a legislação podem ser realizadas através de ação na fonte com infiltração e detenção ou com detenções e retenções em áreas maiores.

Quando o controle é somente quantitativo utilizam-se vazões limites maiores, visando apenas que os impactos não se ampliem na bacia para tempos de retorno de 10 a 100 anos, resultando em vazões limites de 16 a 200 l/(s.ha), cenário mais utilizado no Brasil.

Quando o controle também ocorre sobre a qualidade da água, a vazão limite é calculada para reter

a primeira precipitação por 24 horas que possui a maior parte da poluição e, portanto, vazões limites de entre 2 e 10 l/(s.ha).

O desenvolvimento sustentável passa por uma drenagem baseada na infiltração, na ocupação do espaço preservando os caminhos naturais do escoamento, que desta forma minimizem a necessidade das estruturas.

Os impactos na drenagem urbana devido a urbanização tem sido significativos no Brasil e a solução do problema está distante. Para atuar sobre este importante problema que se transfere dentro das cidades e na bacia é necessário estabelecer um mecanismo institucional de gestão que depende: (a) estabelecimento da gestão institucional entre a bacia e a cidade; (b) regulamentação dentro da cidade. O primeiro depende da efetiva implementação da lei de Recursos Hídricos 9.433 que estabelece condicionantes de outorga para alterações da quantidade e qualidade da água na bacia, condicionando as cidades a implementação de um Plano e a regulamentação dentro da cidade (Tucci, 2002).

A regulamentação dentro da cidade no cenário brasileiro esbarra nas seguintes dificuldades: (a) limitado tratamento de esgoto sanitário das cidades, gerenciado na sua maioria pelas empresas estaduais (80% segundo Brasil (2002)). Isto dificulta a gestão da qualidade da água pluvial, pois as redes de drenagem recebem esgoto sanitário; (b) gestão deficiente a nível municipal devido falta de qualificação técnica dos engenheiros e de corpo técnico nos municípios para este tipo de atividade; (c) oposição dos investidores devido ao ônus deste controle dentro do empreendimento.

A experiência brasileira é recente e apenas sobre o controle da quantidade, devido as dificuldades existentes. O desafio do futuro é procurar atingir os padrões internacionais de desenvolvimento sustentável na drenagem. Instituto de Pesquisas Hidráulicas – Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Referências

ADAMS COUNTY (Colorado). 2005. Storm drainage and erosion control design and technical criteria. In: ADAMS County development standards and regulations. ch. 9.

Disponível em: <<http://www.co.adams.co.us>>. Acesso em: 2006.

ATHAYDE, D.N.; SHELLEY, P.E.; DRISCOLL, E.D.; GABOURY, D.; BOYD, G. 1983. Results of nationwide urban runoff program. Washington. v. 1: Final report.

- BAPTISTA, M.B.; NASCIMENTO, N.; BARRAUD, S. 2005. Técnicas compensatórias em drenagem urbana. Porto Alegre: ABRH. 266 p.
- BEECHAM, S.; HOURIGAN, P.; WELLS, J.; BRISBIN, S. 2004. Estimating the treatment performance and OSD characteristics of both proprietary and non-proprietary WSUD systems at Castle Hill in Sidney. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON WATER SENSITIVE URBAN DESIGN, Adelaide, 2004. Jakarta: Unesco Jakarta Office.
- BRASIL. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. 2002. Diagnóstico dos serviços de água e esgotos 2001: Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS. Brasília: Secretaria Especial de Desenvolvimento Urbano da Presidência da República. 540 p.
- BROWN, T.; CARACO, D. 2001. Channel protection. *Water Resources Impact*, Herndon, v. 3, n. 6, p. 16-19.
- COMMONWEALTH OF MASSACHUSETTS. 1997. Stormwater policy handbook. In: STORMWATER management. Massachusetts Department of Environmental Protection: Office of Coastal Zone Management. v. 1. Disponível em: <<http://www.mass.gov>>. Acesso em: 2006.
- COMMONWEALTH OF VIRGINIA. 1999. Virginia stormwater management handbook. Virginia Department of Conservation and Recreation. v. 1. Disponível em: <<http://www.state.va.us>>. Acesso em: 2006.
- COOMBES, P.J.; FROST, A.; KUCZERA, G.; O'LOUGHLIN, G.; LEES, S. 2002. Rainwater tank options for stormwater management in the upper Parramatta River Catchment. In: HYDROLOGY AND WATER RESOURCES SYMPOSIUM, 27., 2002, Melbourne, Australia. Proceedings. Barton, A.C.T.: The Institution of Engineers.
- DELETIC, A. 1998. The first flush load of urban surface runoff. *Water Research*, New York, v. 32, n. 8, p. 2462-2470, Aug.
- ESTADOS UNIDOS. Environmental Protection Agency. 1993. **Guidance specifying management measures for sources of nonpoint pollution in coastal waters**. Washington. (EPA 840-B-92-002). Disponível em: <<http://www.epa.gov/owow/nps/MMG/index.html>>. Acesso em: 2006.
- FAULKNER, B. 1999. The control of surface water runoff from new development – UK national 'policy' in need of review? *Urban Water*, Amsterdam, v. 1, n. 3, p. 207-215, Sept.
- GRATIOT COUNTY (Michigan). 2005. Administrative guidelines for storm water management: requirements and general compliance guidelines for storm water drainage system design for development and redevelopment within Gratiot County. Ithaca. Disponível em: <<http://www.co.gratiot.mi.us>>. Acesso em: 2006.
- GUPTA, K.; SAUL, A.J. 1996. Specific relationships for the first flush load in combined sewer flows. *Water Research*, New York, v. 30, n. 5, p. 1244-1252, May.
- LEOPOLD, L.B. 1994. A view of the river. Cambridge: Harvard University. 297 p.
- LILLE (França). 2004. Reglement d'assainissement: Lille Metropole. Article 19: Rejet au milieu naturel superficiel de l'excédent non infiltrable. Disponível em: <<http://www.lillemetropole.fr>>. Acesso em: 2006.
- MACRAE, C. 1993. An alternative design approach for the control of instream erosion potential in urbanizing watersheds. In: MARSIALEK, J.; TORNO, H. (Ed.). Proceedings of the 6th International Conference on Urban Storm Drainage. Niagara Falls: Seapoint.
- METCHOSIN (Canadá). 2003. **Bylaw n. 467**: For the protection and management of rain water. 4.4 Rain water detention facilities. District of Metchosin. Disponível em: <<http://www.district.metchosin.bc.ca>>. Acesso em: 2005.
- NICHOLAS, D.I. 1995. On-site stormwater detention: improved implementation techniques for runoff quantity and quality management in Sidney. *Water Science and Technology*, Oxford, v. 32, n. 1, p. 85-91.
- OAK CREEK (Michigan). 2005. Storm water management. In: ENGINEERING design manual. Oak Creek: Engineering Department. ch. 4. Disponível em: <<http://www.oakcreekwi.org>>. Acesso em: 2006.
- O'LOUGHLIN, G.; BEECHAM, S.; LEES, S.; ROSE, L.; NICHOLAS, D. 1995. On-site stormwater detention systems in Sidney. *Water Science and Technology*, Oxford, v. 32, n. 1, p. 169-175.
- O'LOUGHLIN, G.; NGUYEN, V.; BEWSHER, D.; LEES, S. 1998. Refining on-site stormwater detention practice in Sidney. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON INNOVATIVE TECHNOLOGIES IN URBAN STORM DRAINAGE, 3., 1998, Lyon. Novatech 98. Lyon: Graie.
- POISSY (França). 2005. Dispositions applicables à les zones. Desserte par les réseaux. 2. Assainissement. c. Définition des débits de pointe acceptables rejetés vers les réseaux pluviaux ou unitaires. Ville de Poissy. Disponível em: <<http://www.ville-poissy.fr>>. Acesso em: 2006.
- SARTHE (França). 2003. Recueil des actes administratifs. Environnement: loi sur l'eau. 11.4.03.-0723. Raudin – Z.A.C. des Hunaudières – Monsieur le Maire – Travaux d'aménagement: autorisation. 20/02/03. L'État en Sarthe. Disponível em: <<http://www.sarthe.pref.gouv.fr>>. Acesso em: 2006.
- SCHUELLER, T.R. 1987. Controlling urban runoff: a practical manual for planning and designing urban BMPs. Washington: Metropolitan Washington Council of Governments.
- SCOTT, P.; SANTOS, R.; ARGUE, J.R. 1999. Performance, environmental and cost comparisons of onsite detention (OSD) and onsite retention (OSR) in re-developed residential catchments. *Water Science and Technology*, Oxford, v. 39, n. 2, p. 33-41.
- SEATTLE (Washington). 2002. Drainage review/requirements. Seattle Department of Transportation. Seattle Public Utilities. Disponível em: <<http://www.seattle.gov>>. Acesso em: 2006.
- SECHLT (Canadá). 2004. **Synopsis of the regulations and standards**. District of Schelt. Subdivision and Control Bylaw 430. Disponível em: <<http://www.district.sechelt.bc.ca>>. Acesso em: 2005.

- STATE OF CONNECTICUT. 2004. **Connecticut stormwater quality manual**. Disponível em: <<http://dep.state.ct.us>>. Acesso em: 2006.
- STATE OF GEORGIA. 2001. Technical handbook. In: GEORGIA stormwater manual. Atlanta: Sanitation Connection. v. 2.
- STATE OF MAINE. 2006. Stormwater management for Maine. Maine Department of Transportation Office of Environmental Services.
- STATE OF MARYLAND. 2000. **Maryland stormwater design manual**. Baltimore: Center for Watershed Protection and the Maryland Department of the Environment. 2 v.
- STATE OF MINNESOTA. 2005. The Minnesota stormwater manual: version 1.0. Minnesota Pollution Control Agency. Disponível em: <<http://www.pca.state.mn.us>>. Acesso em: 2006.
- STATE OF NEW YORK. 2003. New York State stormwater management design manual. Center for Watershed Protection. Disponível em: <<http://www.dec.state.ny.us>>. Acesso em: 2006.
- STATE OF VERMONT. 2002. Stormwater treatment standards. In: THE VERMONT stormwater management manual. Vermont Agency of Natural Resources. v. 1. Disponível em: <<http://www.anr.state.vt.us>>. Acesso em: 2006.
- STATE OF WISCONSIN. 2000. The Wisconsin storm water manual: technical design guidelines for storm water management practices. Board of Regents of the University of Wisconsin System. Disponível em: <<http://dnr.wi.gov>>. Acesso em: 2006.
- TUCCI, C.E.M. 2002. Gerenciamento da drenagem urbana. RBRH: Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, v. 7, n. 1, p. 5-27, jan./mar.
- TUCCI, C.E.M. 2005. Programa de drenagem urbana sustentável: apoio ao desenvolvimento do manejo das águas pluviais urbanas, versão 2.0. Brasília: Ministério das Cidades.
- WAYNE COUNTY (Michigan). 2005. **Stormwater ordinance summary and administrative rules**. Department of Environment of Wayne County. Disponível em: <<http://www.waynecounty.com/>>. Acesso em: 2006.

Carlos E. M. Tucci Instituto de Pesquisas Hidráulicas – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. tucci@iph.ufrgs.br

Adalberto Meller Instituto de Pesquisas Hidráulicas – Universidade Federal do Rio Grande do Sul.