

## Desenvolvimento Urbano de Baixo Impacto: Planejamento e Tecnologias Verdes para a Sustentabilidade das Águas Urbanas

Christopher Freire Souza; Marcus Aurélio Soares Cruz; Carlos Eduardo Morelli Tucci

Instituto de Pesquisas Hidráulicas – UFRGS

christopher@ctec.ufal.br; mascruz@uol.com.br; tucci@iph.ufrgs.br

Recebido: 31/07/08 - revisado: 13/12/11 - aceito: 31/05/12

---

---

### RESUMO

A abordagem atualmente adotada para o manejo de águas em meio urbano tem acarretado em prejuízos financeiros, ambientais, estéticos, à saúde e, sobretudo, à qualidade de vida da população. Em contrapartida, experiências recentes em outros países têm apresentado soluções mais aproximadas à sustentabilidade, por meio de planejamento e de tecnologias que reconhecem ecossistemas como mecanismos de controle e tratamento de águas pluviais de forma difusa e integrada às demais atividades urbanas. Este artigo apresenta a abordagem de desenvolvimento urbano de baixo impacto, pontuando suas diferenças em relação às práticas higienistas e compensatórias, por meio de revisão da literatura, além de traçar algumas perspectivas quanto à sua implantação. Com base na avaliação, acredita-se ser possível aplicar técnicas sustentáveis, embora com esforço considerável para capacitação e emprego em larga-escala.

**Palavras-chave:** LID; drenagem urbana sustentável; low impact development.

---

---

### INTRODUÇÃO

A evolução do tratamento das águas urbanas passa por três fases. No início do século XX, a política de saneamento básico consistia na evacuação de efluentes urbanos o mais rápido possível para jusante na tentativa de minimizar a proliferação de doenças. No final da década de 60, tornaram-se evidentes os impactos negativos desta estratégia, especificamente a degradação dos corpos d'água receptores e os danos sociais (econômicos e culturais) provenientes das inundações. A partir destas observações, alguns países alteraram suas políticas de manejo de águas por meio de investimentos significativos no tratamento de esgoto e no controle de águas pluviais, aplicando, principalmente, estruturas de armazenamento. No final dos anos 90, a ciência passou a reconhecer o papel do solo e da vegetação (sistemas naturais de drenagem) no controle qualitativo de águas pluviais, ao promover a infiltração, a evapotranspiração e o contato da água com bactérias e plantas. Os sistemas que mais avançaram neste sentido foram a abordagem americana de *Low Impact Development* (LID, denominado no Brasil por Desenvolvimento Urbano de Baixo Impacto), a abordagem australiana de *Water Sensitive Urban Design*

(WSUD, sem tradução) e a abordagem britânica de *Sustainable Drainage Systems* (SuDS).

O crescimento urbano de cidades brasileiras encontra-se ainda alicerçada na impermeabilização massiva de áreas e canalizações artificiais, ampliando a escassez de água em função da baixa eficiência dos sistemas hídricos, contaminações e baixo grau de reaproveitamento de água. Na última década, no entanto, algumas poucas municipalidades começaram a alterar sua forma de gerir o sistema de drenagem para a utilização de estruturas de armazenamento, casos, por exemplo, de Porto Alegre, São Paulo, Curitiba e Santo André.

Na cidade de Seattle (Washington, E.U.A.; Kloss & Calarusse, 2006), por exemplo, um projeto-piloto de reconstrução da 2ª avenida (200 m; Street Edge Alternative Street Project) ganhou grande reconhecimento por reduzir 99% do escoamento superficial (Homer et al., 2004 apud Kloss & Calarusse, 2006) e promover ambiente mais convidativo à população, pelo plantio de 100 árvores e 1100 arbustos integrados a dispositivos de controle de águas pluviais e mudança para um traçado sinuoso da via, reduzindo a velocidade de automóveis e conferindo maior segurança, além de amenidades relacionadas à presença da vegetação.

Com base nos avanços observados em sistemas de LID, WSUD e SUDS, mostra-se imperativo evoluir o planejamento e a gestão brasileira de águas urbanas, especialmente as águas pluviais. Este trabalho apresenta a abordagem de desenvolvimento urbano de baixo impacto para o planejamento e manejo de águas, com enfoque especial às águas pluviais, além de avaliar perspectivas quanto à sustentabilidade.

## EVOLUÇÃO DE SISTEMAS DE DRENAGEM DE ÁGUAS PLUVIAIS

Os primeiros sistemas de drenagem de águas pluviais surgiram ainda na Idade Antiga, seguindo a reboque as técnicas de evacuação aplicadas no setor de esgotamento cloacal, na tentativa de amenizar inconvenientes (Baptista *et al.* 2005). Sem a devida manutenção dos sistemas, todos os tipos de resíduos e dejetos passaram a ser lançados em áreas abertas e corpos hídricos, configurando o conceito conhecido como “*tout à la rue*”.

No século XVIII, constatou-se na Itália que as águas de terra úmida e zonas alagadiças influenciavam na mortalidade de pessoas e animais (Silveira 2000). Isto rapidamente foi considerado na Alemanha e na Inglaterra, e mais tarde na França, desencadeando um processo de extinção de terras úmidas como medida de saúde pública. Com o aumento das aglomerações urbanas a partir do século XIX e o avanço no conhecimento das áreas de microbiologia e epidemiologia, evidenciou-se o papel sanitário de águas pluviais como transmissor de doenças, contribuindo para uma mudança de concepção das relações entre urbanismo e águas urbanas, levando ao conceito higienista de drenagem. A abordagem higienista é caracterizada pela evacuação rápida das águas pluviais e servidas, por meio de impermeabilização de áreas e sistemas de condutos artificiais (“*tout à l'égout*”). A necessidade de proteção do meio ambiente receptor destes lançamentos levou ao emprego de estações de tratamento para minimizar contaminações.

Já no fim do século XIX, o engenheiro Saturnino de Brito (Silveira 2000), diferentemente da prática recomendada, apresentava argumentos em favor do sistema separador absoluto (redes de condutos separados para esgotos pluviais e cloacais), adequando técnicas de drenagem ao comportamento da precipitação em regiões tropicais e inovando ao apresentar projeto - que infelizmente acabou não

vigorando - para a cidade de Belo Horizonte, o qual sugeria a conservação do sistema natural de drenagem.

Atualmente, sistemas higienistas de drenagem são empregados em boa parte das municipalidades brasileiras (Tucci & Orsini 2005), embora não trabalhem em sua plenitude de eficiência na depuração, além de provocar alterações no ciclo hidrológico, muitas vezes acelerando e ampliando o pico de descarga superficial, além de aumentar o volume do escoamento superficial, a duração e a frequência de inundações e diminuir a recarga subterrânea e a evaporação. Com esta abordagem, o que acaba por ocorrer é (Baptista *et al.* 2005): (a) a transferência do problema para áreas de jusante, implicando em novas obras de ampliação do sistema com custos incrementais crescentes; (b) a falsa sensação de segurança na população com respeito às inundações, culminando em grandes prejuízos à sociedade, e; (c) a limitação de outros usos presentes ou futuros da água em meio urbano.

Na tentativa de sanar boa parte das deficiências apresentadas pelos sistemas higienistas, são desenvolvidos métodos compensatórios de manejo de águas pluviais (também denominados *Best Management Practices*, BMPs; Urbonas & Stahre 1993) os quais são constituídos de planejamento em escala de bacia e da aplicação de dispositivos de armazenamento e infiltração (*e.g.* detenções, retenções, pavimentos permeáveis, microrreservatórios, valos e trincheiras de infiltração). Tal abordagem passou a ser recomendada mundialmente a partir da década de 70, e no país - em alguns municípios brasileiros, *e.g.* Porto Alegre, São Paulo - na última década.

No entanto, a ausência de controle adequado de resíduos sólidos urbanos, dos esgotos cloacais e das cargas poluentes (na água e nos sedimentos) presentes no escoamento de águas pluviais continua a gerar inconvenientes no tocante à veiculação de doenças e odor oriundos da retenção da água próxima à população. Estima-se (Niemczynowicz 1999) que metade das doenças do mundo e aproximadamente 25 milhões de mortes/ano estão relacionados ao impacto da poluição das águas. As diferenças sensíveis, quando comparadas à aplicação de sistemas higienistas, dizem respeito à implementação de detenções (prática mais empregada no país como “solução” aos problemas da abordagem higienista) que: (a) ameaçam a saúde da população - *i.e.* construção de uma área de acúmulo de resíduos sólidos, sedimentos e água pluvial de qualidade não-recomendável (Santos 2006); (b) acirram demandas por espaço físico com outros setores de interesse da sociedade (*e.g.* recreação, transportes); (c) deman-

dam capacitação geral (profissionais e população) para projeto e convivência, e; (d) podem ampliar inundações, quando a superposição de descargas acontece pela ausência de controle interligado de liberação de água dos reservatórios individuais (Faulkner 1999). Mesmo países desenvolvidos não conseguem suprir as necessidades de investimento em infra-estrutura, somente pela utilização de estruturas corretivas de armazenamento e infiltração (Niemczynowicz 1993).

Na última década, busca e avaliação de técnicas e dispositivos de manejo sustentável foram aceleradas em virtude da demanda por soluções que apresentem maior respeito às questões ambientais, frente à ameaça a corpos hídricos de alto interesse de conservação ambiental, *e.g.* Puget Sound nos Estados Unidos (Washington; PSAT & WSU, 2005) e um aquífero de boa qualidade próximo à terra úmida na região de Swan Coastal Plain na Austrália (Perth; Hedgcock & Mouritz 1995). Nestas regiões, iniciativas denominadas LID e WSUD têm sido aplicadas, apresentando abordagens bastante parecidas com foco no tratamento do escoamento pluvial em pequena escala, próximo à sua fonte, reaproximando novamente o urbanismo às águas urbanas. Dentre as abordagens, LID foi estudado de forma significativa, inclusive com a realização de congressos e elaboração de manuais específicos, merecendo observação especial quanto à sua viabilidade de aplicação no país, uma vez que tem apresentado bons resultados quanto à preservação de áreas, manutenção de processos hidrológicos, eficiência de tratamento de águas pluviais, redução de despesas em sistemas de drenagem, integração com outras atividades de interesse da sociedade e aceitação popular de medidas.

No Brasil, o Ministério das Cidades tem estimulado sua utilização para implantação e ampliação de sistemas de drenagem urbana sustentáveis, conforme descrito no manual para apresentação de propostas municipais (Brasil 2006).

## **DESENVOLVIMENTO URBANO DE BAIXO IMPACTO**

Desenvolvimento Urbano de Baixo Impacto (uma tradução livre de LID) surgiu na década de 80 como uma estratégia de manejo de águas (pluviais e servidas; USEPA 2000) por meio do emprego de planejamento multi-disciplinar integrado a práticas de tratamento e controle em pequena-escala para

mimetizar o comportamento hidrológico natural em configurações residenciais, comerciais e industriais. A estratégia avançou principalmente no manejo de águas pluviais, apresentando ênfase na utilização de ecossistemas naturais como infra-estrutura, por meio de conservação e aproveitamento de características de solo e vegetação. Aplicações desta abordagem são encontradas em muitas regiões dos Estados Unidos, no Canadá e na Europa, sendo capaz de atender aos critérios estabelecidos em certificações ambientais para edificações quando devidamente empregada.

### **Princípios**

LID assenta-se sobre os seguintes elementos-chave (USDoD 2004):

- Conservação – Preservação de vegetação e solo nativos, minimizando o emprego de áreas impermeáveis e permitindo a manutenção de caminhos naturais de drenagem;
- Projetos locais únicos – Elaboração de projetos que respeitem peculiaridades locais naturais e assegurem a proteção de toda a bacia, em detrimento a padronizações;
- Direcionar escoamento para áreas vegetadas – Encorajar infiltração e recarga de aquíferos, terras úmidas e riachos, aproveitando controle e tratamento realizados naturalmente;
- Controles distribuídos de pequena-escala – Empregar técnicas de manejo hídrico o mais próximo possível da fonte de geração de excedente de escoamento, de forma integrada ao ambiente, para mimetizar processos hidrológicos naturais;
- Manutenção, prevenção à poluição e educação – Trabalhar a educação e envolvimento público (inclusive de profissionais) objetivando a redução de cargas de poluentes e o aumento da eficiência e longevidade de sistemas de drenagem, exonerando o poder público.

Busca-se, portanto, a conservação qualitativa de processos hidrológicos ao minimizar e mitigar efeitos da ação antrópica pelo desenvolvimento de paisagens multifuncionais que considerem planejamento hidrológico, prevenção à poluição e preservação de recursos naturais. O diferencial da estratégia de LID encontra-se na integração com outros setores de interesse da sociedade via planejamento da bacia e do empreendimento e aplicação

de dispositivos de manejo integrado, viabilizando perturbação mínima de processos naturais e provimento de amenidades à população.

## Planejamento

O planejamento de controle de escoamento com vistas à manutenção ou à recuperação de funções hidrológicas, sob a abordagem de LID, realiza-se em âmbito de bacia (ou sub-bacia), considerando informações atuais de topografia, solo, hidrologia, vegetação e habitat, zoneamento e uso do solo, vias de acesso à área em estudo e proximidade a serviços (*e.g.* hospitais, supermercados). Esta base de referência, que auxilia na identificação de áreas de preservação, solos mais permeáveis e vegetação de interesse especial, serve ao delineamento de metas e ao estabelecimento de indicadores a serem utilizados no monitoramento que subsidiará o manejo adaptativo de águas. Os processos hidrológicos no ambiente em seu estado natural, *i.e.*, estado não-perturbado por intervenção humana, podem servir de referência para definição de metas ambientais demandando para isto informações de passado remoto de solo (uso e ocupação), topografia, vegetação e hidrografia.

O planejamento de empreendimentos, de forma similar ao de bacia, considera as diferentes áreas de interesse utilizando a hidrologia como estrutura integradora (PGDER 1999). Como exemplo, o projeto de um condomínio residencial deve buscar acomodar residências, mas também providenciar estética agradável, segurança para seus usuários, áreas para lazer e recreação, com aproveitamento dos recursos naturais e energéticos, e manutenção de processos naturais e sócio-culturais. LID recomenda o planejamento de sistemas de águas pluviais na fase inicial do projeto do empreendimento, por meio das seguintes etapas (PSAT & WSU 2005):

- Identificação de regulamentações, como as de zoneamento e uso do solo, aplicáveis ao desenvolvimento (uma reforma de edificação pode ser entendida como um desenvolvimento no sentido sócio-ambiental);
- Identificação e estabelecimento dos limites de perturbação do solo e vegetação, respeitando áreas mínimas exigidas para ruas, elementos estruturais, edificações, paisagismo e manuseio de equipamentos;
- Minimização da movimentação de terra, pela orientação do maior eixo da edificação ao longo de contorno topográfico para reduzir nivelamento (corte e aterramento) do solo;
- Aproveitamento das características locais de solo e vegetação, lotando deposição de materiais e construção em solos menos permeáveis, preservando e utilizando solos permeáveis para infiltração;
- Uso da drenagem/hidrologia como elemento de projeto, sugerindo localização ótima para áreas de construção, parques e áreas esportivas;
- Minimização de áreas impermeáveis efetivas (largura de vias, comprimento de acessos residenciais), *i.e.*, que não são controladas ou drenadas para áreas permeáveis, e de fluxo superficial concentrado pela redução de estruturas de condução de águas (canos, sarjetas e meios-fios) e direcionamento para fluxo raso de superfície;
- Elaboração de planejamento integrado preliminar para avaliar a efetividade do empreendimento em controlar águas pluviais e produção de sedimentos, além de estimar a necessidade de adoção de práticas de manejo;
- Completar o planejamento pela seleção de dispositivos multifuncionais e, em último caso, adoção de técnicas de controle como armazenadores artificiais, respeitando limitações locais de espaço físico, solo, declividade, nível do freático/leito rochoso e proximidade a fundações de edificações.
- Em áreas residenciais, a malha viária é a principal responsável por aumento de volume e carga de poluentes de origem difusa (PSAT & WSU 2005). Para áreas comerciais (PSAT & WSU 2005), telhados e estacionamentos são os maiores contribuintes pela acumulação de cargas de poluentes de deposição atmosférica e emissões veiculares (hidrocarbonetos de petróleo e metais traço como cádmio, cobre, zinco e chumbo). Para minimizar as áreas impermeáveis e facilitar o controle dos efluentes gerados, aconselha-se (PSAT & WSU 2005):
- Utilizar caminhos e áreas verdes que servem tanto à infiltração de águas pluviais quanto à promoção de caminhadas, passeios de bicicleta e acesso ao trânsito e serviços;
- Eliminar ou reduzir onde possível os cruzamentos de vias por meio da ampliação de quarteirões;
- Limitar calçadas a um lado da via, de preferência separadas desta por vegetação;

- Dispor vagas de estacionamento em diagonal, o que minimiza a largura da vaga de 5 a 10%;
- Privilegiar projeto de malha viária de maneira a evitar ruas sem saída para minimizar áreas impermeáveis. Onde inevitável, empregar retornos com área interna capaz de controlar suas águas pluviais;
- Usar materiais permeáveis em vias de acesso em residências e estacionamentos (ao menos nas vagas utilizadas em momentos de pico de demanda);
- Incentivar acordos cooperativos para compartilhamento de áreas de estacionamento, técnica desejável em estabelecimentos com horários diferentes de funcionamento (*e.g.* igreja e repartição pública).
- Adicionalmente, O controle de erosão e sedimentação, processos que influenciam diretamente a qualidade das águas pluviais e a fertilidade do solo, pode ser facilitado pela observação de algumas práticas simples (PSAT & WSU 2005):
- Priorizar atividades de movimentação de terra (limpeza e nivelamento) e construção pesada em períodos de estiagem;
- Seqüenciar atividades construtivas, buscando finalizar operações em uma área para iniciar em outra, reduzindo a atividade de equipamentos e os danos a áreas de proteção de solo e vegetação;
- Estabelecer controles de erosão e sedimentação antes e imediatamente após as atividades de limpeza e nivelamento;
- Cobrir materiais construtivos em períodos chuvosos.
- Um estudo preliminar (Souza et al. 2011) do impacto de adoção de dispositivos recomendados em manuais de LID (minimização de impermeabilização, biorretenções e valos de infiltração) em um condomínio (1,5 ha) apresenta o procedimento de planejamento do sistema de drenagem para as condições de clima e solo da zona sul de Porto Alegre. No estudo, sugere-se a possibilidade de controlar tempo e vazão de pico, volume e duração do escoamento para magnitudes observadas quando da simulação numérica de um evento de precipitação de 1 hora e 10 anos de recorrência sobre cobertura de floresta esparsa.

### Dispositivos de controle de águas pluviais

- Práticas de manejo integrado (uma tradução livre de *Integrated Management Practices*, IMPs) são ferramentas utilizadas em LID para tratamento de qualidade e quantidade de águas pluviais. O diferencial está no provimento de amenidades paisagísticas e no controle integrado (ao harmonizar funções variadas em ambiente comum), havendo aproveitamento e incentivo a dispositivos com estas características (*e.g.* pavimentos permeáveis e telhados verdes). IMPs são caracterizados pelo emprego de vegetação (*e.g.* fitorremediação) para interceptar, evaporar, armazenar, absorver e infiltrar água, nutrientes e sedimentos. IMPs artificiais se limitam à reservação e ao aproveitamento de água (*e.g.* cisternas), e à adaptação de estruturas para mínima perturbação ao sistema de drenagem natural (*e.g.* pavimentos permeáveis, telhados e fundações verdes). No entanto, em virtude de limitações/restrições locais à aplicação de IMPs, dispositivos convencionais podem ser necessários para complementar o controle, sendo aconselhável o emprego de estruturas de fácil manutenção e que resultem em benefícios adicionais, como espaço para recreação. Em seguida, apresenta-se uma descrição breve de IMPs e precauções para a seleção das espécies vegetais e de dispositivos, havendo maior detalhamento quanto a dimensionamento, desempenho, instalação, custo e manutenção no manual elaborado para a região de Puget Sound (Washington, E.U.A.; PSAT & WSU 2005).
- **Preparo de solo** – Práticas paisagísticas usuais não encorajam a preparação adequada de áreas de plantio para readquirir benefícios hidrológicos do solo natural (PSAT & WSU 2005). Como resultado, solos em áreas abertas podem gerar escoamento de forma similar a áreas impermeáveis. A incorporação de matéria orgânica derivada de compostagem ou húmus (de solo local ou importado), quando adequadamente implementado e mantido, providencia serviços ambientais, incluindo: redução de 50% de escoamento (Kolsti *et al.* 1995 *apud* McDonald 2001); redução de erosão; aumento de filtração de sedimentos, adsorção e biofiltração de poluentes; aumento da taxa de

crescimento de plantas, resistência a doenças, estética paisagística; melhoria da retenção de umidade do solo e redução de demanda por manutenção, *i.e.*, irrigação, fertilizantes e pesticidas. A produção de compostagem – pela reciclagem de resíduos de comida, jardinagem, cultivo agrícola, atividades construtivas (entulhos) e tratamento de efluentes (lodo) – integra atividades, auxiliando a fechar ciclos.

- **Biorretenção** – LID foi inspirado em resultados positivos obtidos de um experimento aplicado no início da década de 90 no condado de Prince George (Maryland, E.U.A.; USEPA 1999a), no qual se buscava avaliar a eficiência de características naturais no controle de águas pluviais. O experimento denominado biorretenção consiste de uma depressão rasa com solo preparado para o plantio (ver descrição do item anterior) de uma diversidade de espécies, dimensionada para receber o escoamento de uma pequena área. Em biorretenções usualmente em formato de célula ou de valo, plantas, solo e microorganismos realizam processos físicos, químicos e biológicos removendo poluentes e controlando águas pluviais. O emprego de uma faixa de vegetação no entorno deste dispositivo é aconselhado para a retenção de sedimentos. Drenos subjacentes para outros dispositivos são utilizados (PSAT & WSU 2005) quando instalada na proximidade de infra-estrutura sensível (*e.g.* fundação não-impermeabilizada), aplicação em áreas onde efluentes com alta carga de poluente é lançada (*e.g.* postos de combustível) ou solo subjacente apresenta baixa taxa de infiltração ou alto nível do lençol freático.
- **Telhados verdes** – As primeiras companhias especializadas na implantação de telhados verdes surgiram no fim da década de 50 na Alemanha e na Suíça (PSAT & WSU 2005). Dentre as vantagens apresentadas por estes dispositivos constam (Grant *et al.* 2003 *apud* PSAT & WSU 2005) a melhoria de eficiência energética, da qualidade do ar (retenção de até 85% da poeira; PGDER 1999) e da estética, redução de temperatura e barulho, controle de águas pluviais e aumento da vida útil do telhado. A diversidade de opções de configuração de telhados verdes (*e.g.*, inclinação de até 40°) facilita a sua implanta-

ção em proporções crescentes (em 2003, 13,5 milhões de m<sup>2</sup> foram instalados na Alemanha; Grant *et al.* 2003 *apud* PSAT & WSU 2005), podendo classificá-los em duas categorias: leves e pesados. Telhados pesados são dimensionados com perfil de solo profundo ( $\geq 15$  cm), possibilitando o plantio de arbustos e árvores e caminhadas. Telhados leves são mais comumente empregados, contendo perfis de solo rasos (2,5 a 12,5 cm) e plantas adaptadas às condições de telhados. Com carga variando de 75 a 250 kg/m<sup>2</sup> para perfis de solo de 2,5 a 12,5 cm, telhados têm sido instalados em reformas nos E.U.A. com pouco ou nenhum reforço estrutural, mostrando ser, para a região, o de 7,5 cm mais vantajoso numa avaliação custo-benefício ambiental e estética (Miller 2002 *apud* PSAT & WSU 2005). Cunha & Mendiondo (2004) realizaram estudo com telhados leves (11,76 m<sup>2</sup>) na cidade de São Carlos (SP), obtendo amenização térmica e economia de custo de instalação (R\$ 8,49/m<sup>2</sup>), quando da sua comparação com telhado cerâmico apoiado em laje.

- **Pavimentos permeáveis** – Estudos com pavimento permeável iniciaram-se nos anos 1945-1950 na França (Azzout *et al.* 1994). Este dispositivo consiste da utilização de concreto/pavimento poroso ou blocos de concreto vazados em sua camada superior, uma camada de base (normalmente brita) e uma manta geotêxtil para impedir a migração de material entre camadas. Outros materiais como anéis de plástico para a camada base ou reservatório podem ser também aplicados, os quais apresentam (Azzout *et al.* 1994) maior capacidade de armazenamento, sem aumento da espessura e do peso da camada, e boa resistência à compressão. Áreas de tráfego de pedestres, ciclistas e veículos leves (*e.g.* calçadas, estacionamentos e vias residenciais e internas a empreendimentos) são preferencialmente escolhidas para implantação de pavimentos permeáveis, recomendando-se evitar o direcionamento de escoamento de outras áreas para o pavimento, para que o aporte de sedimentos não venha a colmatá-lo. No entanto, algumas aplicações com asfalto poroso em via expressa próximo à Phoenix (Arizona, E.U.A.) e com concreto permeável/bloco vazado em áreas industriais sujeitas a tráfego de veículos pesados provaram ser estrutu-

ralmente eficientes (Hossain *et al.* 1992 *apud* PSAT & WSU 2005). Além do controle quantitativo e qualitativo de águas pluviais, pavimentos permeáveis apresentam a vantagem (USEPA 1999b) de aumentar a segurança e conforto em vias pela diminuição de derrapagens e ruídos. Estudo com asfalto poroso e bloco vazado em Porto Alegre (Acioli 2005) comprovou a eficiência hidráulica (coeficiente de escoamento de 5% e 2,3%, respectivamente) dos pavimentos permeáveis, bem como, custos 21% superiores para o asfalto poroso com relação ao comum para uma área de 132 m<sup>2</sup>.

- **Coletores de água de chuva** – O aproveitamento de água de chuva oportuniza o aumento da eficiência hídrica no empreendimento, exonerando o poder público ou a concessionária pelo serviço de abastecimento do volume captado. Dentre as alternativas empregadas por LID para coleta e armazenamento de água de chuva encontram-se cisternas, barris de chuva e adaptações de pavimentos permeáveis, telhados verdes e biorretenções (as que apresentam drenos subjacentes). A experiência com O uso de cisternas, especialmente na região Nordeste do país (Brasil 2007) pode facilitar o desenvolvimento de mecanismos para incentivo, dimensionamento e construção.
- **Fundações verdes** – Escavação e movimentação de equipamento pesado compactam o solo e degradam a capacidade de infiltração e armazenamento de água. Fundações verdes podem se apresentar como pilares ou muros (usualmente de concreto), ancorados ao solo por pinos (em concreto, aço ou madeira) protegidos de corrosão. Desta forma, minimizam a perturbação do solo e permitem que águas pluviais escoem por caminhos sub-superficiais naturais, poupando recursos e tempo pela diminuída necessidade de manejar a terra e elaborar medidas para mitigar o efeito de fundações convencionais, que acabam represando águas subterrâneas (Palazzi & Gagliano 2001). Este dispositivo pode ser empregado em configurações residenciais ou comerciais com até 3 pavimentos, decks, calçadas, pátios. Para a construção de conjuntos habitacionais, as fundações se apresentam econômicas, enquanto no estudo desenvolvido para uma residência simples unifamiliar, o custo

de implantação deste dispositivo foi 5% superior ao convencional (PSAT 2003). Este dispositivo ainda não foi trabalhado no Brasil, tendo potencial para reproduzir o sucesso obtido nos E.U.A. entre o setor público e o privado na busca por soluções verdes.

- **Seleção de espécies vegetais** – A definição de espécies a serem plantadas, tanto nas IMPs como em outras partes do empreendimento, deve observar as características locais de solo, clima, hidrologia e sucessão vegetal. Espécies nativas têm prioridade de escolha, por estarem bem adaptadas aos condicionantes locais, minimizando esforços para sua manutenção. Na Austrália, por exemplo, incentivos econômicos têm servido para alterar o padrão de gramados europeus (atualmente 80% da água reservada para uso urbano) por jardins de plantas nativas que apresentam maior economia hídrica (Arthington & Pusey 2003). Aconselha-se ainda a utilização de uma diversidade de espécies, dado que plantas diferentes apresentam funções diferentes (Zalewski *et al.* 2003). Por exemplo, grama é um ótimo filtro para matéria em suspensão e nutrientes de escoamento superficial, mas não apresenta o mesmo potencial que árvores para interceptar, reter e evaporar água.
- **Seleção de dispositivos** – IMPs apresentam fácil adaptação para todo tipo de empreendimento, por sua característica de microgestão e abordagem integrada aos processos rotineiros locais. Múltiplas combinações podem ser formuladas para controlar a drenagem em cada empreendimento, o que facilita a concepção de sistemas. Algumas precauções devem ser tomadas, no entanto, para evitar que seu desempenho e o de estruturas adjacentes sejam comprometidos ou que a saúde da população fique ameaçada pela ausência de cuidados quanto à qualidade da água a ser aproveitada. Assim, o dimensionamento de IMPs que estimulam a infiltração deve (a) guardar distância do mais alto nível sazonal do lençol freático, (b) evitar que contaminantes sem tratamento sejam diretamente lançados e (c) preservar estruturas enterradas, *e.g.*, fundações. O dimensionamento de estruturas de coleta de água de chuva deve considerar sua potencial má qualidade relacionada (a) à primeira parcela de escoamento (água de lava-

gem) de telhados e pavimentos e (b) à proximidade de região de densa urbanização/industrialização e seu efeito na qualidade de água precipitada.

## PERSPECTIVAS

O lançamento do programa “Drenagem Urbana Sustentável” pelo Ministério das Cidades (Brasil, 2006), apoiando municipalidades que utilizarem técnicas de LID na elaboração/ampliação de seus sistemas de drenagem, deveria impulsionar o emprego desta técnica em escala nacional e impelir à reformulação de mecanismos institucionais e à capacitação geral (profissionais e usuários). O alcance destes objetivos, no entanto, é refém da capacidade gerencial para a adoção de LID. A construção da base de referência, atividade inicial para implementação de LID, necessita ser trabalhada, o que aproximaria profissionais dos diferentes campos de atuação do sistema público e direcionaria a definição de metas de controle de águas pluviais.

Sugere-se que vantagens ambientais, sociais e financeiras, tanto na construção do empreendimento quanto na sua utilização, devem conduzir à aceitação e busca popular por LID, quando da difusão de sua filosofia e dos resultados obtidos por seus projetos. Mostram-se como argumentos sólidos para aplicação de LID a potencial diminuição de ameaças à saúde da população em função da redução de alagamentos urbanos e de detenções, assim como pela melhoria da qualidade de águas pela redução do aporte de resíduos sólidos, nutrientes (especialmente nitrogênio e fósforo) e sedimentos a sistemas hídricos, bem como dos custos associados aos prejuízos dos eventos de inundação e mesmo de atividades de mitigação dos impactos de práticas correntes. Paralelamente, incentivos ao controle de águas pluviais podem ser trabalhados, como punição (*e.g.* taxaço) a empreendimentos pouco efetivos e/ou premiação aos empreendimentos bem-sucedidos (*e.g.* implantação de certificação ambiental a edificações).

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Mostra-se de extrema necessidade sanar problemas atuais de falta de controle, tratamento, suprimento e deposição adequada de água em meio urbano, bem como, assumir responsabilidade pelo

passivo social e ambiental das práticas vigentes, reformulando-as. Buscando servir a este propósito, apresentou-se neste artigo uma estratégia de manejo de águas urbanas que corrobora com a mudança para a filosofia “*fazer o trabalho certo*”, sugerida por Falkenmark & Folke (2002), em detrimento a “*fazer corretamente o trabalho*”, avançando na discussão acerca das perspectivas para sua implementação.

A grande vantagem das técnicas de desenvolvimento urbano de baixo impacto encontra-se na possibilidade de gerenciar águas urbanas de forma integrada às atividades locais, com mínimo dano ambiental e à saúde da população, além de ser financeiramente mais acessíveis e de mais fácil conscientização popular pela simplicidade e proximidade às atividades rotineiras da população. Interessa, portanto, estimular reformas para a aplicação de LID, principalmente em regiões onde se utilizam estruturas voltadas apenas ao controle da drenagem, *i.e.*, estruturas não-integradas às atividades locais. Com isto, a idéia de que a construção de estruturas de drenagem representa ônus adicional a empreendedores passa a ser diminuída.

Além disto, enfatiza-se que todo dispositivo apresenta capacidade limitada de controle de escoamento em função da definição do evento de projeto. Desta forma, a ausência de obra física pode auxiliar na minimização de danos pela convivência com eventos pluviométricos.

Cabe ressaltar, no entanto, o risco que se incorre ao incentivar a aplicação de técnicas que conduzem à infiltração, potencializando uma falsa sensação de controle em razão de possível contaminação do solo e das águas subterrâneas. Com isto, mostra-se importante drenar apenas efluentes de qualidade assimilável para áreas vegetadas, direcionando efluentes de pior qualidade para seu tratamento.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq pela concessão de bolsa de estudos ao primeiro autor.

## REFERÊNCIAS

ACIOLI, L.A. 2005. *Estudo experimental de pavimentos permeáveis para o controle do escoamento superficial na fonte*. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Programa de Pós-

- Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Porto Alegre. [145]f.
- ARTHINGTON, A.; PUSEY, B.J. 2003. Flow restoration and protection in Australian rivers. *River Research and Applications*. 19:377-395.
- AZZOUT, Y.; BARRAUD, S.; CRES, F.N.; ALFAKIH, E. 1994. *Techniques alternatives en assainissement pluvial*. Paris: Technique et Documentation – Lavoisier.
- BAPTISTA, M.; NASCIMENTO, N.; BARRAUD, S. 2005. *Técnicas compensatórias em drenagem urbana*. Porto Alegre: ABRH. 266p
- BRASIL. Ministério das Cidades. 2006. *Programa Drenagem Urbana Sustentável*. Manual para apresentação de propostas. 23 p.
- BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Social e Combate à Fome. *Programa Cisternas*. (Site eletrônico) Acesso em 23 de maio de 2007. Disponível em: <<http://www.mds.gov.br/programas>>
- CUNHA, A.R.; MENDIONDO, E.M. 2004. Experimento hidrológico para aproveitamento de águas de chuva usando coberturas verdes leves(CVL). Proc. FAPESP :03/06580-7.
- FALKENMARK, M.; FOLKE, C. 2002. The ethics of sociohydrological catchment management towards hydrosolidarity. *Hydrology and Earth System Sciences*, 6(1):1-9.
- FAULKNER, B. 1999. The control of surface water runoff from new development – UK national 'policy' in need of review. *Urban Water*. 1:207-215.
- HEDGCOCK, D.; MOURITZ, M. 1995. Water sensitive residential design: from research to implementation. In: *Hydropolis. The role of Water in Urban Planning*. International UNESCO-IHP Workshop. (1993, Wageningen and Emscher region). Van Engen, Hans; Kampe, Dietrich; Tjallingii, Sybrand. Proceedings... Leiden: Backhuys Publishers, p.177-202.
- KLOSS, C.; CALARUSSE, C. 2006. Rooftops to rivers: Green strategies for controlling stormwater and combined sewer overflows. Natural Resources Defense Council. vi [47]f
- MCDONALD, K. 2001. Soils for Salmon: Integrating Stormwater, Water Supply and Solid Waste Issues in New Development and Existing Landscapes. In: Puget Sound Water Quality Action Team. *Low Impact Development in Puget Sound - Innovative Stormwater Management Practices*. Puget Sound, Washington.
- NIEMCZYNOWICZ, J. 1993. Integrated Water Management Background to Modern Approach with Two Case Examples. In: Field, R.; O'Shea, M.L.; Chin, K.K. *Integrated Stormwater Management*. Lewis Publishers: Florida, p.45-57.
- \_\_\_\_\_. 1999. Urban hydrology and water management – present and future challenges. *Urban Water*. 1:1-14.
- PALAZZI, L.; GAGLIANO, R. 2001. Reducing Effective ImperVIOUS Cover: A Case Study in Residential Construction. In: Puget Sound Water Quality Action Team. *Low Impact Development in Puget Sound – Innovative Stormwater Management Practices*. Puget Sound, Washington.
- PORTO ALEGRE. Prefeitura Municipal. Departamento de Esgotos Pluviais. 2000. *Plano Diretor de Drenagem Urbana*. Porto Alegre: Instituto de Pesquisas Hidráulicas/UFRGS. 6v.
- PORTO ALEGRE. Prefeitura Municipal. 2006. Decreto nº 15371, de 17 de novembro de 2006. Regulamenta o controle da drenagem urbana.
- Prince George's County. Department of Environmental Resources [PGDER]. *Low-Impact Development Design Strategies: An Integrated Design Approach*. Maryland, 1999. 150p.
- Puget Sound Action Team [PSAT]. 2003. Natural Approaches to Stormwater Management: Low Impact Development in Puget Sound.
- Puget Sound Action Team; Washington State University Pierce County Extension [PSAT & WSU]. 2005. *Low Impact Development: Technical Guidance Manual for Puget Sound*. Washington. 246p.
- SANTOS, A.R. dos. 2006. *Piscinões: um atentado urbanístico ambiental*. [online] Disponível em: <http://www.ambientebrasil.com.br/noticias/index.php?action=ler&id=27504> Acesso em 30 out. 2006.
- SEATTLE PUBLIC UTILITIES [SPU]. 2007. *Drainage Improvements: Street Edge Alternatives*. Disponível em: <http://www.seattle.gov> Acesso em 12 fev. 2007.
- SILVEIRA, A.L.L. da. 2000. Aspectos históricos da drenagem urbana no Brasil. In: Tucci, C.E.M.; Goldenfum, J.A.; Depettris, C.A.; Pilar, J.V. (Orgs.) *Hidrologia urbana na bacia do Prata*. Porto Alegre: ABRH; CAPES; SETCIP; UNNE; IPH/UFRGS, p.11-17.
- SOUZA, C.F.; CRUZ, M.A.S.; TUCCI, C.E.M. 2011. *Adapting a rainfall-runoff model to simulate LID stormwater systems*. In: Proceedings of the 12nd International Conference on Urban Drainage, Porto Alegre/Brazil, 10-15 September 2011, v. CD-ROM. p.1-8.
- TUCCI, C.E.M. 2001. escoamento Superficial. In: TUCCI, C.E.M. (Org.). *Hidrologia, ciência e aplicação*. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS: ABRH. 2.ed., p.391-441.
- \_\_\_\_\_; ORSINI, L.F. 2005. Águas urbanas no Brasil: cenário atual e desenvolvimento sustentável. In: Brasil. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. *Gestão do território e manejo integrado das águas urbanas*. Brasília: Ministério das Cidades.
- \_\_\_\_\_; ZAMANILLO, E.; PASINATO, H. 1989. *Sistema de simulação precipitação-vazão IPHS1*. Porto Alegre: Recursos Hídricos n. 20 IPH-UFRGS, 1989.

- United States. Department of Defense [USDoD]. 2004. Unified Facilities Criteria (UFC) Design: Low Impact Development Manual.
- United States. Environmental Protection Agency [USEPA]. 1999a. *Storm Water Technology Fact Sheet: Bioretention*. Washington D.C. 8p.
- \_\_\_\_\_. 1999b. *Storm Water Technology Fact Sheet: Porous Pavement*. Washington D.C. 6p.
- \_\_\_\_\_. 2000. *Low Impact Development (LID): A Literature Review*. Washington D.C. 35 p.
- URBONAS, B.; STAHRE, P. 1993. *Stormwater Best Management Practices and Detention*. Prentice Hall: Englewood Cliffs, New Jersey. 450p.
- ZALEWSKI, M.; SANTIAGO-FANDINO, V.; NEATE, J. 2003. Energy, water, plant interactions: 'Green feedback' as a mechanism for environmental management and control through the application of phytotechnology and ecohydrology. *Hydrological Processes*, 17:2753-2767.

***Low Impact Urban Development: Planning and Green Technologies for Sustainability of Urban Waters***

**ABSTRACT**

*The current approach to Urban Water Management, especially in South American countries, causes financial, environmental, aesthetic and health losses and above all impairs quality of life. On the other hand, some developed countries have been practicing sustainable solutions through planning and the use of green technologies. This paper presents the low impact development strategy, assessing its evolution compared to pipe and detention systems, through a review of literature, including an analysis of prospects. This assessment shows that low impact development is feasible, although it may require considerable efforts especially for large-scale application.*

**Key-words:** *LID, Low Impact Development, Sustainable Urban Drainage.*