

Gestão da drenagem urbana, da formulação à implementação

Adolfo O. N. Villanueva, Rutinéia Tassi,
Daniel G. Allasia, Daniela Bemfica e Carlos Tucci

RESUMO: Embora seja geralmente um sinônimo de prosperidade, o crescimento e desenvolvimento de áreas urbanas são seguidos por inevitáveis impactos ao meio ambiente no qual se inserem. Entre os impactos resultantes do desenvolvimento urbano, os problemas associados com o escoamento das águas pluviais podem ser encontrados na lista dos mais preocupantes. O processo de urbanização altera significativamente os processos de escoamento natural da bacia hidrográfica, com o aumento do volume das águas pluviais escoadas superficialmente, incremento das vazões de pico dos corpos d'água, degradação da qualidade da água, geração de sedimentos, entre outros.

A gestão das águas pluviais tem, então, um papel fundamental em uma área urbana. O planejamento estratégico da gestão das águas pluviais, desenvolvido por governos locais e organismos regionais, deve ocorrer dentro de um sistema de gerenciamento integrado da bacia hidrográfica, em cooperação com todos os atores envolvidos. A gestão das águas pluviais também deve estar integrada com o planejamento do uso do solo e da infra-estrutura urbana, de forma a maximizar os benefícios das medidas adotadas e, de certa forma, evitar que sejam obtidos resultados conflitantes. Neste contexto, surgem os Planos Diretores de Drenagem Urbana (PDDrU) ou, mais recentemente, Planos de Manejo de Águas Pluviais (PMAP), como elemento central da gestão drenagem urbana.

O IPH-UFRGS desenvolveu a base de conhecimento de pesquisa e tecnologia na elaboração de estudos de PDDrU, além de participação em projetos executivos, audiências públicas, implantação de projetos, relacionamento com os municípios e tomadores de decisão de diferentes níveis. O IPH foi também a instituição parceira do Departamento de Esgotos Pluvial (DEP) da Prefeitura Municipal de Porto Alegre (PMPA) na elaboração de um dos primeiros PDDrUs do país, por um período que se estendeu de 1999 a 2005. A partir da experiência obtida (no mundo acadêmico e no mundo real) ao longo desse processo, este artigo visa comentar os aspectos envolvidos e os passos efetivos da gestão das águas pluviais e da drenagem urbana, com o PDDrU como elemento central.

PALAVRAS CHAVE: Drenagem urbana, Plano diretor, gestão águas urbanas,

ABSTRACT: Although it is usually a synonym of prosperity, growth and development of urban areas are followed by inevitable environmental impacts. Among the more important impacts of urban development are the problems associated with stormwater runoff. The process of urbanization significantly changes the basin's natural runoff processes, with increase in the volume and peak of surface runoff, water quality degradation and sediment production increase, among others. Stormwater management has a key role in urban areas. Strategic planning of stormwater management, developed by local governments and regional bodies, should occur within an integrated basin management system, in cooperation with all stakeholders. Stormwater management must also be integrated with land-use and urban infrastructure planning, in order to maximize the benefits of the measures adopted and, somehow, to prevent that conflicting results are obtained. In this context, the Urban Drainage Master Plans (UDMP), or, more recently, Stormwater Management Plans, are a central element of urban drainage management.

The IPH-UFRGS went through all the stages from research and technology development for UDMPs, to participation in works executive projects, public hearings and project implementation, including liaison with the municipalities and decision makers at different levels. The IPH was also a partner institution of Pluvial Drainage Department (DEP) of Porto Alegre Municipality (PMPA) on some of the first UDMPs of Brazil, for a period that spanned from 1999 to 2005. From the experience gained throughout this process (both in the academic world and in the real world), this article aims to discuss the issues involved and the steps to be taken in actual stormwater management and urban drainage, with UDMPs as a central element.

KEYWORDS: Urban Drainage Master Plan, urban water management

INTRODUÇÃO

Embora seja, geralmente, um sinônimo de prosperidade, o crescimento e desenvolvimento de áreas urbanas são comumente seguidos de impactos ao meio ambiente no qual se inserem. Sendo o ambiente urbano um importante determinante para o bem estar e saúde das pessoas, todas as pressões negativas enfrentadas por este sistema terão reflexos sobre a população (Tucci e Barros, 1995).

Entre os elementos que impactam no desenvolvimento urbano, os problemas associados com o escoamento das águas pluviais podem ser encontrados na lista dos mais preocupantes. É sabido que o processo de urbanização altera significativamente os processos de escoamento natural da bacia hidrográfica, com o aumento do volume das águas pluviais escoadas superficialmente, incremento das vazões de pico dos corpos d'água, diminuição da recarga subterrânea, degradação da qualidade da água, geração de sedimentos, entre outros.

No entanto, em longo prazo, o impacto do escoamento pluvial em um ambiente natural ou construído, depende muito da forma como as questões de gestão das águas pluviais são conduzidas, no sentido de integrá-las no processo global de planejamento urbano. Segundo os princípios do *Water Sensitive Urban Design* (2004), traduzido como *Projeto Urbano Hidricamente Sensível* por Souza (2005), o planejamento das águas pluviais deve ser integrado com o abastecimento de água, de coleta de esgoto e de resíduos sólidos, bem como da gestão das águas subterrâneas, sempre apoiado nas melhores práticas correntes de gestão - *Best Management Practices* (Urbonas, 1993).

A gestão das águas pluviais tem um papel fundamental em uma área urbana, pois pode ser utilizada para definir medidas para o controle de cheias, melhoria da qualidade da água, o aproveitamento da água da chuva, a adoção de soluções de baixo custo, ou uma combinação entre elas. Da mesma forma, a gestão também pode ser utilizada para: i) indicar as alternativas preferenciais para o controle do escoamento pluvial de cada local; ii) definir parâmetros e metodologias de projetos regionais; iii) elaborar estudos que justifiquem a busca por recursos financeiros; iv) desenvolver tecnologias inovadoras, ou de adaptações das edificações antigas às medidas de controle do escoamento pluvial; v) proteger as funções ambientais, entre outros.

O planejamento estratégico da gestão das águas pluviais, desenvolvido por governos locais e organis-

mos regionais, deve ocorrer dentro de um sistema gerenciamento integrado da bacia hidrográfica, em cooperação com todos os atores envolvidos. A gestão das águas pluviais também deve estar integrada com o planejamento do uso do solo e da infra-estrutura urbana, de forma a maximizar os benefícios das medidas adotadas e, de certa forma, evitar que sejam obtidos resultados conflitantes.

Com relação à gestão das águas pluviais, verifica-se que atualmente existem inúmeros textos dedicados à drenagem urbana nos seus diferentes aspectos. As publicações mais antigas orientam, principalmente, ao cálculo de vazões de projeto, enquanto o material mais recente enfatiza os aspectos de gestão e fornecem diretrizes para os Desenvoltimentos Urbanos de Baixo Impacto (tradução para *Low Impact Development* (Prince George's County, 1999), conforme Souza, 2005). Quando analisados estes textos, é possível verificar que são muitas, e muito diversas, as questões envolvidas na gestão das águas pluviais no mundo real.

Neste contexto, surgem os Planos Diretores de Drenagem Urbana (PDDrU, Tucci, 1997) ou, mais recentemente, Planos de Manejo de Águas Pluviais (PMAP), como elemento central da gestão drenagem urbana. Esses planos estabelecem as diretrizes para a gestão das águas pluviais em uma bacia hidrográfica e visam, fundamentalmente, reduzir o volume de escoamento, velocidade, taxas, frequência e duração dos alagamentos. Estas medidas são uma tentativa de minimização dos efeitos adversos ao meio ambiente, especialmente dos aspectos quali-quantitativos dos corpos d'água receptores, com consequente redução de perdas econômicas, melhoria das condições de saúde da população e meio ambiente da cidade.

O conteúdo dos PDDrUs pode variar enormemente, dependendo de que estudos ou planos de gestão já existem, e das necessidades ou interesses do público alvo (i.e., comunidade local, órgãos locais, departamentos, etc.). Os aspectos incluídos na gestão das águas pluviais podem ser legais, técnicos ou simplesmente práticos. De forma geral, os PDDrUs deveriam incluir as seguintes considerações: a) a proteção contra inundações e, em geral, medidas para redução dos volumes e da velocidade do escoamento das águas pluviais superficiais; b) medidas para evitar a contaminação inicial das águas pluviais e remoção de poluentes que possam ser introduzidos nas superfícies de escoamento. Medidas para minimizar os danos nos corpos de água receptores das águas pluviais; c) a integração do planejamento da gestão das águas

pluviais e o ordenamento territorial; d) medidas destinadas à maximização da infiltração das águas pluviais no solo, fornecendo assim, condições para a manutenção das vazões de base nos corpos de água; e) avaliação das necessidades da comunidade nos aspectos relacionados com a água pluvial no espaço urbano, fornecendo orientação, educação e possibilidade de participação em todo o processo de tomada de decisão e planejamento; f) aspectos recreacionais, paisagísticos, e ecológicos, assim como a estética, a segurança pública (riscos aceitáveis à saúde pública) e outros aspectos sociais; g) conservação da água e a reciclagem, proteção e/ou recuperação da mata ciliar e recuperação de corpos de água degradados.

Uma instituição pioneira na gestão das águas pluviais tem sido o Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (IPH/UFRGS), que começou a trabalhar de forma sistemática em hidrologia urbana entre as décadas dos anos 70 e 80. Nos 30 anos seguintes, o IPH percorreu todo o caminho que vai desde a pesquisa e desenvolvimento de tecnologia até projetos executivos, audiências públicas e implantação de projetos, passando pela elaboração de PDDrU, relacionamento com os municípios e tomadores de decisão de diferentes níveis.

O IPH foi a instituição parceira do Departamento de Esgotos Pluviais (DEP) da Prefeitura Municipal de Porto Alegre (PMPA) na elaboração de um dos primeiros PDDrUs do país, por um período que se estendeu de 1999 a 2005 (IPH, 2002a; DEP/PMPA, 2010a). Durante este período, houve um grande avanço tecnológico no processo de elaboração de PDDrUs no país, visto que até aquela época esse assunto era praticamente “uma novidade” para a grande maioria dos gestores, e mesmo para o meio acadêmico, que tinha apenas um conhecimento baseado na experiência de outros países, em estágio de desenvolvimento mais avançado, portanto, com realidade totalmente diferente da brasileira.

Os Planos Diretores de Drenagem Urbana (PDDrUs) para as bacias do município de Porto Alegre (DEP/PMPA, 2010a) tiveram início em 1999, quando o DEP (órgão municipal responsável pela gestão das águas pluviais em Porto Alegre) determinou a elaboração deles, visando definir diretrizes técnicas e ambientais para a abordagem dos problemas de drenagem da cidade. Tal estudo teve como princípio básico a não transferência dos efeitos da urbanização para outros pontos da bacia hidrográfica, por meio do uso de dispositivos de controle de escoamento pluvial.

Na primeira parte do trabalho foram analisadas 3 das 27 bacias hidrográficas da cidade: arroios Moinho, Areia e Tamandaré. Os sistemas de macrodrenagem dessas bacias foram simulados para diferentes cenários de ocupação do solo, permitindo a detecção dos principais pontos críticos de alagamentos e a análise de possíveis soluções para os problemas verificados.

Na primeira parte do trabalho, foi também verificada capacidade de operação das casas de bombas do sistema de proteção contra enchentes da cidade, tendo sido simulado o funcionamento das dezoito casas de bombas, para os diferentes cenários de urbanização previstos.

Em uma segunda etapa do estudo, foram analisadas mais três bacias hidrográficas: arroios Cavalhada, Capivara e Passo das Pedras. A metodologia aplicada foi a mesma já descrita acima. Novamente as soluções propostas tiveram como base o amortecimento das vazões de pico, através da implantação de reservatórios de retenção. Como produto final do estudo também foi organizado um “Manual de Drenagem”, contendo diretrizes, parâmetros e metodologias a serem empregados nos projetos de sistemas de drenagem urbana no município de Porto Alegre.

A partir da experiência obtida (no mundo acadêmico e no mundo real) ao longo desses mais de 30 anos, este artigo visa comentar os aspectos envolvidos e os passos efetivos da gestão das águas pluviais e da drenagem urbana, com o PDDrU como elemento central. Numa listagem geral, as questões a serem comentadas neste trabalho são: i) Práticas de gestão e gerenciamento (BMPS, SUDS, LID, IMP, etc); ii) Difusão – informação aos decisores e outros atores envolvidos no processo; iii) Vazões e hidrogramas de projeto – Metodologias de cálculo e estimação de parâmetros; iv) Dados e informações necessárias para a gestão; v) Elaboração dos elementos de planejamento e gestão; vi) Implementação das medidas de controle do escoamento pluvial; vii) Operação e manutenção dos sistemas;

PRÁTICAS DE GESTÃO E GERENCIAMENTO (BMPS, SUDS, LID, IMP, ETC)

Urbanas (1993) definiu BMP (Best Management Practices) como uma variedade de técnicas utilizadas para reduzir a frequência das inundações e a poluição devido à drenagem urbana. O planejamento dos dispositivos de controle do escoamento pluvial, no conjunto das BMPs envolve a definição de alternativas baseadas em elementos técnicos, econômicos,

institucionais, sociais e políticos. Isso abrange tanto os diferentes enfoques, que podem ser adotados para tratar a drenagem urbana, quanto as diferentes combinações de medidas estruturais e não estruturais aplicáveis a cada situação específica, resultando nos SUDS (*Sustainable Drainage System*), LID (*Low Impact Development*), IMP (*Integrated Management Practices*), etc. (por simplicidade, SUDS ao longo do texto). Esta maneira de gerenciar a drenagem urbana tem como princípios básicos: i) gestão sustentável; ii) visão integral; iii) prevenção; iv) transferência zero de impactos a jusante (controle local dos impactos); v) integração de medidas estruturais e não estruturais; vi) bacia hidrográfica como unidade de planejamento; vii) gestão e controle do escoamento pluvial; viii) complementaridade das ferramentas; ix) gestão eficiente da manutenção e controle; e x) participação pública.

Uma das principais regras de “boa prática” na drenagem urbana sustentável é evitar o aumento do escoamento superficial, minimizando a utilização de superfícies impermeáveis na urbanização, substituindo-as por superfícies permeáveis sempre que possível. Exemplos desse tipo de medidas são os pavimentos permeáveis, poços, valas e trincheiras de infiltração, telhados verdes (Persch et al., 2010; Castro e Goldenfum, 2008), além de áreas verdes em geral. Caso essas medidas não sejam adotadas, podem ser utilizadas outras técnicas compensatórias para o controle do escoamento pluvial, como o aproveitamento de água da chuva (Kobiyama e Hansen, 2002), o armazenamento em reservatórios de retenção ou detenção.

A concepção de um SUDS deve ser funcional, possuir estética e ser de fácil manutenção para garantir sua aceitação e conservação. Além disso, as técnicas de drenagem sustentável devem ser pensadas para operarem de forma solidária com outros sistemas, como as áreas verdes da cidade e, inclusive, com a infra-estrutura urbana já existente.

Um condicionante crítico no Brasil, e na maioria dos países na região, é que muito do trabalho em drenagem urbana está orientado a solucionar problemas em áreas que já estão total ou parcialmente urbanizadas, numa espécie de “planejamento a posteriori”. Isso limita o leque de medidas disponíveis, seja por questões físicas (não há espaço disponível para reservatórios ou áreas permeáveis), legais (direito adquirido impede modificar o já existente), ou sociais (os moradores não gostam de algumas das soluções propostas). Em geral, somente em novos empreendi-

mentos imobiliários é possível estabelecer o controle através de legislação municipal.

Na definição das medidas de controle do escoamento pluvial, e avaliação de seus impactos, um caso que merece atenção especial é o das medidas de controle do escoamento pluvial na fonte, aplicadas à escala de lote, como microrreservatórios de detenção ou superfícies de infiltração. As questões que dificultam essa avaliação são: (a) incerteza quanto a sua implantação e operação e manutenção; (b) qual seu impacto real sobre o escoamento, e qual a sustentabilidade temporal desse impacto.

A efetiva implementação de medidas de controle do escoamento pluvial em escala de lote depende da instalação e adequado funcionamento de um grande número de componentes individuais. Esses elementos dependem, freqüentemente, dos moradores, e não do poder público, que fica limitado a exigir a instalação, e fiscalizar, quando possível, o funcionamento. Em comparação, no caso de medidas de controle que operam em escalas maiores (reservatórios em loteamentos, bairros, etc.) a implantação depende de decisões administrativas do poder público, que são mais claramente individualizadas, e a responsabilidade pela sua operação e manutenção é bem definida.

Além disso, um dos principais problemas associados com a obrigatoriedade de dispositivos para o controle do escoamento na fonte está relacionado com os volumes necessários para reservação e características dos elementos hidráulicos. Os volumes necessários para reservação são grandes, em muitos casos, ocupando parcelas significativas da área do terreno. Além disso, para manter a vazão de pico na saída do lote a um valor igual ou inferior àquela observada em estágio anterior à urbanização (utilizando o princípio da transferência zero de impacto), torna-se necessária a utilização de descarregadores de fundo com diâmetros muito reduzidos (Faulkner, 1999; Agra, 2001; Tassi, 2002; Tassi e Villanueva, 2004), que apresentam problemas, já que entopem com relativa facilidade, quando em funcionamento.

Com relação ao impacto do uso de microrreservatórios sobre o escoamento pluvial, um estudo realizado na bacia do arroio Areia de Porto Alegre, mostrou que mesmo a implantação parcial de microrreservatórios na bacia é positiva, pois a vazão máxima dos eventos de projeto foi reduzida em aproximadamente 10 m³/s para cada acréscimo de 25% de lotes com microrreservatórios (Tassi, 2002; Tassi e Villanueva, 2004), o que representa cerca de 14% da vazão de

pico na saída da bacia hidrográfica (70m³/s) sem qualquer tipo de controle do escoamento pluvial.

Portanto, as dúvidas mencionadas não devem impedir a adoção desse tipo de medidas, sendo sugeridas duas ações: (a) não depender exclusivamente dessa prática para o gerenciamento do escoamento pluvial urbano; e (b) iniciar programas de monitoramento de médio e longo prazo, para obter dados que permitam adotar esse tipo de enfoque nas situações adequadas.

Uma importante questão a ser considerada na análise das BMPs e, em geral, do tipo de alternativa de controle do escoamento pluvial a formular, é a situação atual e prevista do sistema de esgoto cloacal. No Brasil, é raro encontrar sistema separador absoluto e efetivo (são frequentes as conexões clandestinas). O projetista depara-se, quase sempre, com um sistema combinado, como será comentado no item correspondente à elaboração dos elementos de planejamento e gestão.

DIFUSÃO – INFORMAÇÃO AOS DECISORES E OUTROS “STAKEHOLDERS”

Uma questão muito importante para incentivar a adoção dos critérios e práticas apresentadas no item anterior, e para que exista depois uma adequada operação e manutenção, é que todos os atores envolvidos (stakeholders) com a drenagem pluvial urbana, e com a gestão das águas pluviais, tenham informação abrangente e de boa qualidade em relação às alternativas e medidas existentes, e especialmente de suas conseqüências.

O conceito de “atores envolvidos” abrange principalmente os tomadores de decisão (decisores), os funcionários da administração pública (municípios, estados, União), os projetistas e outros profissionais ligados ao projeto e implantação de obras de drenagem, além dos moradores das regiões afetadas. Cada uma dessas categorias requer mecanismos de divulgação, adaptados as suas características e necessidades. De forma resumida, os decisores e funcionários públicos devem saber da existência das BMPs e das vantagens em adotá-las, devem ter acesso ao conhecimento técnico referente a essas práticas, e a população deve ter a informação para entender a necessidade de implantá-la e aprender a “conviver” com este tipo de medida.

Como exemplos de mecanismos de difusão orientados a decisores e técnicos, durante o desenvolvimento dos PDDrUs de Porto Alegre foram realizados o *Workshop for Decision Makers on Floods in South*

América (Tucci, 2002) e o Iº Seminário de Drenagem Urbana do Mercosul-Vº Seminário Nacional de Drenagem Urbana: Soluções para a Drenagem Urbana em Países da América Latina (Villanueva *et al.*, 2001). No caso específico de Porto Alegre, também foram ministradas palestras técnicas para projetistas e, em geral, houve uma participação ativa em todo tipo de eventos relacionados com as águas pluviais.

A difusão dirigida aos moradores das regiões sob planejamento é uma componente crítica para o sucesso da implementação do PDDrU, especialmente no referente à implantação. As audiências públicas fazem parte desse sistema de difusão, sendo que o IPH participou de várias audiências promovidas para que a implantação dos PDDrUs de Porto Alegre fosse discutida com a comunidade. Foi uma experiência bastante interessante, que mostrou que o processo de comunicação com a sociedade deve começar logo no início da elaboração dos PDDrUs e na concepção das medidas de controle do escoamento pluvial. Algumas dessas medidas (notadamente os reservatórios a céu aberto) podem despertar muita resistência por parte da população local. Uma reclamação muito comum nas audiências públicas de implantação dos PDDrUs em Porto Alegre era “por que não conversaram conosco antes?”.

Portanto, é necessário que durante a elaboração de um PDDrU seja feita a ampla divulgação da informação, que campanhas de educação continuada para população em geral sejam desenvolvidas, visando à conscientização da mesma com relação às medidas de controle de escoamento pluvial, fazendo com que ela se torne uma aliada no processo.

METODOLOGIAS DE CÁLCULO DE VAZÕES E HIDROGRAMAS DE PROJETO

O cálculo de uma vazão de projeto é, tradicionalmente, a primeira coisa que vem na cabeça de um engenheiro quando se fala em drenagem urbana. O profissional define a curva I-D-F (Intensidade-Duração-Frequência) a utilizar, estima um coeficiente de escoamento, aplica a equação do método racional, e pronto, temos a vazão para dimensionamento hidráulico. Ainda hoje, essa seqüência é válida (e muito prática) para certos casos simples.

No entanto, o uso generalizado dessa metodologia está basicamente ligado à idéia de escoar o mais rápido possível a água, derivada do conceito higienista (Silveira, 2000), sem prever as conseqüências a jusante. Não bastassem os problemas inerentes a esse enfoque

(impactos a jusante e aumento das vazões, volumes e velocidades), a expansão da urbanização a montante e a jusante das áreas originalmente habitadas, e a grande complexidade dos sistemas de drenagem tem tornado insustentável esse tipo de “solução”.

Geralmente, o gerenciamento da drenagem urbana requer trabalhar com sistemas de escoamento complexos e com múltiplas interações potenciais, entre componentes do sistema e com outros sistemas (por exemplo, com ruas e redes de esgotos). Esse fato, somado à necessidade de representar fenômenos mais complexos que simplesmente o escoamento em regime permanente tem levado ao uso de modelos matemáticos cada vez mais elaborados.

Os modelos matemáticos utilizados em bacias urbanas geralmente têm duas componentes. A primeira componente é o módulo bacia (ou chuva-vazão), que a partir da precipitação calcula a vazão de entrada nas galerias e canais do sistema de drenagem. A segunda componente é o módulo de simulação do escoamento em canais, galerias, detenções e outras estruturas do sistema de drenagem pluvial. É esta última componente a que tem mudado mais nas últimas décadas, sendo que a propagação do escoamento pluvial, que anteriormente era feita em regime permanente em um canal simples, passou a ser realizada com métodos de propagação do escoamento em regime não-permanente, em redes complexas.

Na elaboração de PDDRu de Porto Alegre foi utilizado software desenvolvido no IPH no fim da década de 1980 (quase todo o software de hidrologia urbana foi desenvolvido até essa época). Para a simulação chuva-vazão foi utilizado o programa IPHS1 (Tucci *et al.*, 1989), com os módulos do CN (*Curva Numero*) do SCS (*Soil Conservation Service - USA*) para a determinação da chuva efetiva, do Hidrograma Unitário Sintético do SCS para a propagação do escoamento superficial, e para a propagação do escoamento nas redes de condutos pluvial foi utilizado o programa Nopres (Villanueva, 1990, Villanueva e Tucci, 1995). O primeiro é um modelo hidrológico de tipo modular, com diferentes algoritmos disponíveis para as diferentes fases do ciclo hidrológico. O segundo é um modelo hidrodinâmico para escoamento em redes livre-pressão, nos moldes do Caredas, da Sogreah (Cunge *et al.*, 1980).

O software IPHS1 foi utilizado para a simulação das sub-bacias elementares, que geram a vazão de ingresso aos canais e condutos da rede de drenagem em estudo. A rede de microdrenagem (segundo os limites estabelecidos nos critérios de projeto) ficou

implicitamente representada nesta modelagem. Por exemplo, sub-bacias do mesmo comprimento e declividade poderiam ter tempos de concentração diferentes, em função da densidade da rede de drenagem incluída nelas.

A modelagem hidrodinâmica de redes de drenagem permitiu identificar todos os trechos das redes de drenagem pluvial com capacidade insuficiente para os cenários de análise considerados. Dessa análise, resultaram mapas da rede topológica com a identificação da situação hidráulica de cada trecho da rede de drenagem pluvial. Posteriormente, o mesmo modelo foi utilizado para simular as alternativas para o controle do escoamento pluvial, mediante a introdução de reservatórios de amortecimento, a ampliação das redes de drenagem e outras estruturas, segundo a situação específica.

A utilização de software próprio teve, nesse momento, vantagens do ponto de vista econômico e técnico. Do ponto de vista econômico, a vantagem era o custo zero, já que outros programas disponíveis gratuitamente (HEC-1, SWMM) eram, quanto mais, equivalentes aos programas próprios e os *softwares* pagos eram muito caros em termos do orçamento disponível. Do ponto de vista técnico, os participantes no trabalho tinham domínio técnico e experiência no uso dos programas. Além disso, como o *software* era aberto, foi possível fazer modificações para adaptar os modelos, acoplar componentes, etc.

Hoje essa situação tem mudado. Os *softwares* têm evoluído muito, especialmente em termos de interfaces amigáveis. Isso abrange tanto modelos disponíveis gratuitamente na internet (SWMM-5 (EPA, 2010), IPHS1 (Viegas F^o et al., 2004), HEC-RAS (USACE, 2010) quanto *softwares* pagos (p. e. Mike-Urban (DHI, 2010), Wallingford-Hydroworks (HR Wallingford, 2011)).

No entanto, a disponibilidade do *software* é só parte da solução, tê-lo não significa automaticamente conhecer e entender sua utilização e suas limitações. Nesse sentido, é necessário capacitar os profissionais e os funcionários municipais na aplicação do *software* e na análise dos resultados. Essa capacitação deve abranger não só a questão operacional do *software*, mas, especialmente, as condições de utilização, a estimativa dos parâmetros (sobre tudo os que são específicos de um *software*).

No caso de Porto Alegre, o envolvimento da equipe do DEP foi bastante efetivo e positivo, pois os técnicos da área estavam atualizados com relação

aos procedimentos e de metodologias que foram utilizadas.

Em relação à aplicação das metodologias, o ponto crítico é a estimativa de parâmetros, especialmente para os cenários de urbanização futura. Isto implica estimar qual será o grau e tipo da urbanização de cada área em estudo, para as possíveis situações de projeto. Depois, para cada uma dessas combinações, é necessário atribuir um valor numérico aos parâmetros dos métodos utilizados. A questão da estimativa dos parâmetros afeta especialmente a transformação chuva-vazão, que calcula a vazão de aporte ao sistema de condutos e canais. A simulação do escoamento na rede de drenagem depende, em geral, de um único parâmetro, a rugosidade, cuja estimativa é mais simples. Em relação aos métodos de cálculo e seus parâmetros, é recomendável:

-  que os parâmetros dos métodos possam ser estimados com base em características físicas da bacia ou da rede de drenagem, seja pela ausência de dados para ajuste, ou para simular situações futuras;
-  como os PDDrUs geralmente só analisam a macrodrenagem, os projetos de detalhe e de microdrenagem são desenvolvidos em separado. Há, portanto, necessidade de que os parâmetros e critérios adotados nesses projetos sejam coerentes com os utilizados no plano. Isso implica em métodos e critérios acessíveis e de fácil generalização, contemplando até sua inclusão em produtos tais como manuais de drenagem e cadernos de encargo;
-  para poder generalizar os critérios, parâmetros e metodologias utilizados, é conveniente evitar o uso de metodologias específicas de *softwares*, sobre as quais não é fácil achar referências, exemplos, ou outros tipos de auxílio para a aplicação;
-  a quantidade de sub-bacias, e o volume de simulações a serem realizadas é muito grande. As metodologias adotadas não devem ser excessivamente trabalhosas, particularmente quanto à determinação dos parâmetros.

No caso da transformação chuva-vazão, diversos estudos (Cheveraux *et al.*, 1978; Allasia, 2002; Allasia e Villanueva, 2004a; Allasia e Villanueva, 2004b) mostram que o impacto dos parâmetros, ou melhor, das incertezas na sua estimativa sobre os resultados, depende muito do grau de discretização a montante do ponto analisado. Considerando os dois processos

principais, cálculo de chuva efetiva (realizado geralmente com um coeficiente de escoamento C ou por CN-SCS), e propagação até o exutório (dependente do tempo de concentração), numa representação concentrada os dois têm um peso equivalente na vazão de pico (não sendo observado o mesmo no volume). Quando o número de sub-bacias a montante aumenta, a propagação nas sub-bacias perde peso em relação à propagação nos cursos de água. Assim, o parâmetro crítico da simulação passa aquele que controla o cálculo de chuva efetiva.

Estimativas e análises do impacto da determinação da chuva efetiva sobre os projetos de drenagem pluvial (Allasia, 2002; Allasia e Villanueva, 2004a; Allasia e Villanueva, 2004b) mostram que 1% de variação no valor de CN (Curva Número do SCS) pode se transformar em uma variação de 8 a 10% na vazão de pico e no volume. Em termos de custo, a variação provocada chega a 5%. Como exemplo, isso seriam R\$ 10 milhões (valores de 2004) na rede de macrodrenagem da bacia do Arroio da Areia (25 km², aproximadamente 2% da área municipal), na cidade de Porto Alegre.

INFORMAÇÕES NECESSÁRIAS

a) Topografia e dados da rede de drenagem pluvial, contendo seções e declividades dos principais elementos da rede de drenagem (condutos, canais, cursos de água naturais).

Se esses dados não existem, a primeira etapa do plano é o levantamento dessa informação, com o nível de detalhe exigido pelos critérios que tenham sido definidos para o plano. Mesmo nos casos de cidades que possuem cadastro das redes de drenagem, muitas vezes são necessários levantamentos complementares e verificações em campo, pois freqüentemente os cadastros não são uniformizados, encontram-se desatualizados e sem padronização.

Na cidade de Porto Alegre, por exemplo, já existia um cadastro das redes de drenagem pluvial, que necessitou de complementação e de diversas verificações em campo, uma vez que a própria equipe do DEP alegava que o que era apresentado no cadastro diferia da obra implantada. Além disso, foi necessário realizar o levantamento topográfico de todos os arroios não canalizados.

Um levantamento das redes de drenagem que apresentem problemas relacionados com assoreamento e depósito de resíduos sólidos também é uma importante informação a ser levantada. Esse

tipo de informação normalmente não se encontra disponível, principalmente se tratando de galerias e tubulações, em que o problema não é visível. Nesses casos, é necessário que, no momento da realização do levantamento topográfico, essas informações sejam igualmente levantadas, ou então, que inspeções complementares de campo sejam realizadas.

b) Hidrologia: Dados de precipitação e curva IDF; eventos com precipitação e vazão medidas, para ajuste dos modelos e métodos de cálculo.

Na realidade, geralmente não existem dados de pluviógrafo que permitam analisar chuvas de poucas horas de duração. Mesmo quando esses dados existem, são raras as cidades que, a exemplo de Porto Alegre, possuem quatro IDFs, que mostram a grande variabilidade espacial das chuvas. No caso da ausência de IDF local, o estudo é conduzido com a adoção de chuvas desagregadas, obtidas a partir da aplicação de coeficientes aos dados medidos em pluviômetros, ou então, com a utilização de equações IDF desenvolvidas para cidades vizinhas. Os dados de vazão são praticamente inexistentes, ainda mais para condutos fechados. Os modelos matemáticos utilizados geralmente devem ser “calibrados” qualitativamente, comparando os alagamentos gerados pela modelagem com os registrados pela prefeitura e/ou pelos observados moradores; este procedimento funciona melhor quando utilizados eventos fáceis de serem lembrados (eventos recentes ou excepcionais).

c) Dados de urbanização atual e tendências futuras.

Essa informação está contida no PDDUA, se existir, do qual o PDDrU seria um componente, um plano setorial. Para as cidades que já possuem um Plano Diretor de Uso e Ocupação do Solo (PDDU), obrigatório para cidades com mais de 20 mil habitantes (Brasil, 2001), a estimativa futura de uso do solo pode estar aí definida. Nos casos em que este mecanismo é inexistente, a utilização de projeção de ocupação futura pode ser utilizada, situação na qual podem ser identificadas as áreas não urbanizadas e, seguindo as características atuais de impermeabilidade, se faz uma determinação da impermeabilidade esperada em cada região. No caso de existência de PDDU, é necessário que sejam verificadas todas as regiões a serem analisadas, pois podem ocorrer situações de ocupação irregular, em que a atual taxa de impermeabilidade do solo já tenha superado os limites

previstos no referido plano, a exemplo do observado na cidade de Porto Alegre.

d) Esgotamento sanitário e qualidade de água.

Identificar se o sistema de redes de drenagem pluvial e cloacal é do tipo separador absoluto ou combinado é uma tarefa essencial, que pode mudar toda a forma de elaboração do PDDrU. As estratégias de elaboração de um PDDrU em locais com sistema separador absoluto podem contemplar a adoção de reservatórios sem maiores ressalvas, enquanto em sistemas combinados, é necessária a introdução de dispositivos para a interceptação do escoamento em tempo seco, em que a concentração de esgoto é elevada, além de maiores cuidados com relação ao tipo de reservatório selecionado. Essa identificação, no entanto, não resulta muito fácil, principalmente nas cidades que não possuem um cadastro detalhado dos sistemas das redes de drenagem pluvial e cloacal. Mesmo em cidades onde esta informação existe, podem, com frequência, ocorrer problemas de ligações clandestinas de esgoto.

e) Solos e geologia.

Informações relacionadas com a constituição geológica e as características do solo devem ser levantadas logo no início da elaboração do PDDrU. Novamente, surgem dificuldades na obtenção de informações detalhadas sobre esses elementos, que permitam uma boa discretização nas áreas urbanas, pois, muitas vezes, não existe mapeamento e acabam sendo utilizados dados de um macro-levantamento. Esse procedimento gera simplificações e incertezas na determinação das condições de infiltração da água da chuva no solo do local em estudo, e tem impacto direto na determinação das vazões.

f) Aspectos administrativos e legais.

Devem ser identificados todos os aspectos administrativos e a legislação que possam afetar as condições da drenagem pluvial e do escoamento, como incentivos para a manutenção de áreas verdes, aproveitamento de água da chuva, obrigatoriedade de controle do escoamento na fonte, utilização de técnicas compensatórias, entre outros.

FORMULAÇÃO DOS ELEMENTOS DE PLANEJAMENTO E GESTÃO

Neste artigo os “elementos de planejamento e gestão” contemplam os PDDrUs, e os manuais e di-

retivas de projeto, execução e manutenção de sistemas de drenagem urbana, que abrangem tanto os lineamentos conceituais quanto os aspectos operacionais da drenagem urbana.

Definição de critérios de projeto

Para a elaboração dos PDDrU é necessário definir uma série de questões básicas, que irão condicionar o desenvolvimento do trabalho e a escolha e projeto das medidas de controle: i) grau de detalhamento pretendido no planejamento; ii) escolha dos tempos de retorno e duração da chuva de projeto; iii) características da rede de esgoto cloacal; iv) escolha das metodologias de cálculo e dos *softwares* correspondentes (já comentado previamente).

Uma das definições necessárias diz respeito ao grau de detalhamento pretendido no planejamento; esse detalhamento influencia a quantidade e qualidade dos dados necessários, o volume de trabalho e o tempo de elaboração. Vários critérios podem ser adotados para essa definição, geralmente baseados em uma área máxima das bacias elementares representadas e/ou em um tamanho mínimo dos condutos ou canais considerados. Esses critérios são linhas-guia, que vão sendo adequados na análise caso a caso das bacias em estudo.

Outra questão muito importante é a escolha dos tempos de retorno (TR) a serem utilizados nas diferentes escalas de trabalho (ruas, micro-drenagem, macro-drenagem), nas diferentes regiões (centro, subúrbios, áreas comerciais, etc.), na chuva de projeto e nas chuvas de verificação do projeto. Em geral, quanto maior TR, maior a segurança, e também maiores custos do sistema. Na prática, o que se faz é estabelecer mais de um TR para a análise, iniciando a partir daquele utilizado no projeto. O TR usado no dimensionamento serve para realizar uma análise do sistema instalado, frente a uma chuva equivalente àquela de projeto, enquanto TRs superiores são utilizados para verificar como aumenta o risco (o dano potencial), diante da falha do sistema, quando sujeito a chuvas de intensidade superiores às de projeto.

Além do tempo de retorno, a duração da chuva também deve ser definida. A alternativa mais clássica é utilizar eventos, com duração determinada em função do tempo de concentração da bacia considerada. Outras alternativas, como chuvas de longa duração, ou simulação contínua também podem ser consideradas. Em geral, para análise de vazão de pico é possível adotar

chuvas curtas; se o cálculo inclui análise de volume de reservatórios, é necessário utilizar chuvas mais longas.

Uma das principais dificuldades na avaliação e definição de critérios para o controle da qualidade da água pluvial no PDDrU vem da inexistência da interconexão com redes de condutos cloacais, o que significa lidar com um sistema combinado, onde escoam esgoto cloacal e pluvial. Os cenários básicos são 3: i) existe sistema separador absoluto; ii) não existe separador absoluto no trecho da rede considerado, mas o sistema de esgoto cloacal será construído; e iii) não existe separador absoluto e a rede vai continuar combinada.

No primeiro caso seria possível utilizar reservatórios de duas câmaras, uma para reter temporariamente a primeira parte mais contaminada do escoamento pluvial (*first flush*) e outra câmara para controle do volume do escoamento.

No segundo e terceiro casos, geralmente, é necessário utilizar reservatórios *off-line*, para que a lavagem das ruas e o esgoto não entrem no reservatório. Eventualmente, pode ser possível interceptar essa primeira parte contaminada e enviar para uma Estação de Tratamento de Esgoto (ETE). A contaminação da água pluvial com esgoto cloacal é um dos argumentos freqüentemente utilizado pelos moradores contra a utilização de reservatórios abertos.

Nesta etapa de definição dos critérios básicos já deve haver um acompanhamento e participação “*pari passu*” dos organismos públicos encarregados da drenagem urbana. Também deve começar o diálogo com os moradores das regiões sob planejamento

O acompanhamento dos organismos públicos permite: i) aproveitar a experiência e o conhecimento local dessas entidades; ii) fazer com que os futuros “executores” conheçam, concordem e “encampem” o plano e suas diretrizes; iii) os funcionários públicos estão muito mais cientes de “limitações” em questões administrativas, políticas, “detalhes práticos” (e.g. interferências, etc.), e outros aspectos “extra-técnicos”.

Na verdade, é necessário que a equipe técnica do órgão contratante do PDDrU participe ativamente de todas as definições e critérios do estudo, para auxiliar a equipe na tomada de decisão a tempo. Posteriormente, isso simplificará a fase de implantação das medidas de controle.

Nesta mesma etapa deve ser dado início à participação dos moradores, para facilitar a aceitação das medidas na fase de implantação.

Formulação de alternativas de controle do escoamento pluvial

Como já foi comentado, boa parte do trabalho se desenvolve sobre áreas com algum grau de urbanização, não sendo raros casos de urbanização completa. Nessas áreas já urbanizadas, o objetivo na análise de alternativas passa a ser minimizar as inundações e as transferências para jusante, dentro dos condicionantes já existentes: manter o escoamento próximo das condições de pré-urbanização não é mais possível. Portanto, no estudo de alternativas deve-se avaliar o conjunto da bacia, utilizando combinações de medidas que evitem as inundações, e mantenham a vazão e os danos dentro de limites aceitáveis para a população.

Em geral, a solução de um problema pontual qualquer resulta do efeito combinado de várias medidas distribuídas na bacia hidrográfica, mais do que de medidas unicamente de controle local. Nesse sentido, é fundamental a análise integrada da bacia, que permite considerar interações entre as componentes da rede de macrodrenagem, e facilita a otimização da solução. As limitações das medidas de controle do escoamento pluvial em uma região podem ser compensadas em outra, ou medidas de controle caras em uma região podem ser descartadas em favor de medidas mais baratas em outra região.

Além do impacto sobre o escoamento, na análise das medidas de controle do escoamento pluvial é fundamental contemplar a viabilidade em termos administrativos, em termos de implantação, fiscalização e manutenção, além, é claro da aceitação pela população.

Em geral, por se tratar de planejamento, não são apresentados elementos de projeto executivo das estruturas propostas. No entanto, no caso dos reservatórios de detenção, é necessário ir além de definir a localização e estimar o volume. Pode acontecer que um reservatório tenha o volume adequado, mas não existam as estruturas hidráulicas adequadas, ou as cotas topográficas não são suficientes para permitir o funcionamento previsto. Portanto, deve-se verificar a viabilidade do funcionamento, especialmente as condições de entrada e saída do reservatório, as cotas de operação, e as estruturas hidráulicas.

Preferencialmente, a frequência com que os reservatórios entram em funcionamento deve ser baixa, em geral da ordem de uma vez a cada dois anos, o que significa dimensioná-los para eventos com períodos de recorrência superior a 2 anos. Para

isso, o reservatório deve funcionar *off-line*, e/ou com duas câmaras, uma para vazões freqüentes e outra para vazões maiores.

Avaliação econômica de alternativas

Um dos principais elementos envolvidos na comparação de alternativas é o custo de implementação de cada uma de elas. Como se trata da etapa de planejamento, não são elaborados projetos detalhados das componentes de cada alternativa. As estimativas de custos devem, então, ser elaboradas a partir de definições esquemáticas das soluções. No caso das ampliações, duas são as situações mais freqüentes: (a) é possível definir no plano qual será o traçado e as características (tamanho e forma do conduto) da ampliação; (b) pode-se avaliar que a ampliação é viável, mas a escolha de um traçado e de características requer trabalhos fora do escopo de planejamento.

No primeiro caso, o custo pode ser estimado mediante um cálculo que leve em conta as condições específicas de construção da ampliação; ou pode se adotar um custo por unidade de comprimento, a partir de tabelas, geralmente disponíveis nas prefeituras, de custo médio de construção em função do tamanho e tipo de conduto.

Na situação em que não é possível (ou justificável) definir o traçado e características da ampliação, uma possibilidade é elaborar, a partir da tabela de custo por unidade de comprimento, uma curva de custo em função da capacidade hidráulica necessária. Com essa metodologia, o trabalho na simulação de alternativas é simples, já que a ampliação é definida a partir do aumento da capacidade do conduto existente. Alguns condicionantes adicionais para a ampliação, como níveis de água máximos para evitar efeitos de remanso, ou condicionantes específicos em certos trechos ou locais, também podem, e na medida do possível devem, ser contemplados.

Na escolha de qual metodologia de cálculo de custo utilizar, deve ser considerada a importância da obra contemplada no PDDrU, e seu “peso” no custo total. Uma questão adicional a ser observada na avaliação dos custos de cada alternativa é a transferência de impactos para jusante do sistema que está sendo estudado. Solucionar os problemas causados por essa transferência gera custos, que devem ser somados aqueles custos gerados dentro do sistema (bacia) objeto do planejamento.

IMPLEMENTAÇÃO DAS MEDIDAS DE CONTROLE

A partir dos elementos gerados na etapa anterior, é dado início à fase de implementação dos PDDrUs e à implantação das medidas de gerenciamento. Isso abrange tanto as medidas estruturais (obras de controle do escoamento pluvial), como as medidas não-estruturais (elementos administrativos, legislação, educação, etc.)

Em Porto Alegre, por exemplo, os estudos referentes à primeira e segunda etapas do PDDrU do município de Porto Alegre foram concluídos no ano de 2005. Para dar início à implementação das medidas de controle definidas, o DEP priorizou a bacia do Arroio da Areia, visto que esta era a única região da cidade na qual havia registros frequentes de mortes, em função de alagamentos.

Conforme anteriormente descrito, nesta bacia hidrográfica foram previstos 11 reservatórios de amortecimento de cheias, bem como a ampliação de diversos trechos de condutos. A estimativa de custos apresentada no PDDrU considerou a implantação de estruturas de retenção a céu aberto, com taludes gramados, sendo a maioria delas localizada em praças ou outras áreas públicas.

O primeiro grande desafio encontrado pelo DEP foi a não aceitação das medidas de controle do escoamento pluvial definidas no PDDrU por parte da SMAM (Secretaria Municipal do Meio Ambiente), órgão responsável pela gestão ambiental do município, em razão da necessidade do uso de praças públicas para implantação das bacias de retenção. Nesse aspecto, a SMAM recebeu amplo apoio da população local, bastante contrariada pela sua não participação durante a elaboração do PDDrU.

A experiência de Porto Alegre confirma, portanto, a já mencionada necessidade de ampla difusão, possibilitando a participação dos receptores das medidas de controle (ou seja, a comunidade local) em todo o processo de tomada de decisão e planejamento. Nesse aspecto, o PDDrU do Arroio da Areia tinha deficiências, já que as primeiras ações de divulgação foram tomadas já durante a elaboração do projeto executivo das intervenções.

O principal questionamento levantado pela população local foi a presença de esgoto cloacal na rede pluvial, o que poderia inviabilizar, em tempo seco, o uso da área para lazer, em função de uma possível contaminação do solo. Mesmo sendo propostos reservatórios do tipo *off-line*, essa concepção nunca

foi aceita. Já por parte da SMAM, sequer foi aceito o conceito de usos múltiplos para as praças.

Após várias discussões entre DEP, SMAM e moradores dos bairros atingidos, incluindo a realização de audiências públicas na região, houve uma alteração da solução originalmente proposta, sendo previstas estruturas de retenção fechadas, em concreto. Além disso, ocorreram negociações com o DMAE (Departamento Municipal de Água e Esgoto) para que a implantação de rede separadora absoluta na região, prevista inicialmente para um prazo de 10 anos, fosse realizada concomitantemente à execução das obras de drenagem pluvial.

Tais alterações, obviamente, acarretaram uma elevação considerável dos custos inicialmente previstos. Considerando-se apenas a diferença de valores entre os reservatórios abertos em grama e fechados em concreto, verifica-se que a segunda alternativa pode ser 5 vezes mais cara. Deve-se somar a isso, o custo excedente em função da antecipação da implantação de rede separadora absoluta na sub-bacia hidrográfica, que foi totalmente assumido pelo DMAE.

A disponibilização de verba para implantação das ações previstas pelo PDDrU é outra grande dificuldade enfrentada. Os valores necessários são bastante altos, inviabilizando a execução das obras com recursos próprios do DEP.

Como contraste aos problemas encontrados na implantação do PDDrU da Bacia do Arroio da Areia, pode ser citado o caso do Conduto Forçado Álvaro Chaves – Goethe, componente do PDDrU da Bacia Almirante Tamandaré (DEP, 2010b). Essa obra já entrou em funcionamento, e tem evitado sérios problemas de alagamento (mais de 1 metro de água) que aconteciam na área do Parque Moinhos de Vento. Mesmo sob as intensas chuvas do verão 2009-2010, o funcionamento do sistema foi satisfatório.

Em termos gerais, a etapa de implantação das medidas definidas nos PDDrUs está no seu início, e ainda não é possível extrair conclusões definitivas. O acompanhamento deste processo pode fornecer elementos muito importantes para a futura elaboração e implementação de outros PDDrUs, e para a gestão das águas pluviais.

MANUTENÇÃO E OPERAÇÃO DOS SISTEMAS

Após a conclusão da implantação das medidas de controle do escoamento pluvial, inicia uma etapa menos visível, mas fundamental: a operação e manu-

tenção do sistema. Tomando como exemplo as bacias de amortecimento em Porto Alegre, neste momento são 20 delas implantadas ou em processo de implantação, cuja manutenção cabe ao DEP.

Existe uma grande dificuldade neste processo. Vis-to que desde o início da implantação de reservatórios de amortecimento de cheias na cidade (em meados dos anos 90) não houve incremento significativo na verba destinada pelo poder público municipal ao DEP para fins de manutenção e operação do sistema pluvial, a manutenção dessas estruturas tem sido bastante deficiente. Ações de manutenção preventiva são executadas muito esporadicamente e, em casos de eventos extremos de precipitação, quando os reservatórios de fato entram em operação, sua limpeza só é feita após muitos dias (pois são priorizadas redes e canais obstruídos que causem danos em imóveis ou em vias públicas).

Essa deficiência nos serviços de manutenção não apenas traz problemas operacionais ao sistema (por exemplo, assoreamento das bacias a céu aberto), mas também ajudam a construir uma imagem negativa desse tipo de solução junto à população local.

COMENTÁRIOS FINAIS

Após aproximadamente uma década do início da implementação do PDDrU de Porto Alegre, podem-se verificar muitos avanços, apesar das dificuldades relatadas. O conceito de não ampliação das vazões de pré-ocupação já está relativamente bem sedimentado entre os técnicos da área: todos os novos empreendimentos de parcelamento do solo na cidade respeitam esse aspecto, por meio da implantação de dispositivos de controle, orientados, principalmente pelo Manual de Drenagem (IPH, 2002b; DEP/PMPA, 2010a), desenvolvido durante a elaboração do PDDrU.

Neste sentido, os instrumentos de regulação e manejo das águas pluviais de Porto Alegre têm se mostrado adequados, embora possam ser continuamente melhorados. Uma das solicitações, por parte da maioria dos projetistas, é a revisão da equação que o DEP utiliza para o dimensionamento de reservatórios no lote, alegando que a mesma gera volumes necessários para armazenamento significativamente superiores aos encontrados em outras cidades.

Além desta pressão, na última revisão do Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano Ambiental de Porto Alegre, concluída em 2010, foi aprovada uma alteração no artigo que exige o controle do escoamen-

to pluvial em novos empreendimentos do parcelamento do solo na cidade, tendo sido inserida a frase “*desde que comprovada tecnicamente a sua necessidade*”. Assim, desde esta data, o DEP tem a responsabilidade de comprovar que o controle do escoamento pluvial é necessário, embora até o momento a equipe tenha conseguido a implantação de reservatórios de retenção em todos os empreendimentos.

Nas bacias hidrográficas que já dispõem de PDDrU, o DEP está implementando, de forma gradual, as obras previstas para o controle do escoamento pluvial na macrodrenagem. A bacia do Arroio da Areia, especificamente, é a mais avançada neste sentido: 3 bacias de amortecimento já se encontram em operação e 2 outras estão em processo de liberação de verbas para sua execução. A comunidade local tem amplo conhecimento das medidas previstas no PDDrU, apesar de ainda não haver consenso em sua aceitação. A comunidade local tem muita resistência à construção de reservatórios de retenção, mesmo fechados. O setor imobiliário exerce forte pressão para a ocupação dos vazios urbanos, que estão destinados à construção de reservatórios de amortecimento. Existe, ainda, uma forte oposição de órgãos internos da Prefeitura Municipal de Porto Alegre, no caso a SMAM (Secretaria Municipal do Meio Ambiente), no caso de ocupação de praças e parques públicos.

Acredita-se que essa resistência será vencida no momento em que os reservatórios existentes e a serem implantados, em breve, mostrarem-se efetivamente eficientes na redução dos alagamentos na região. Esta tarefa torna-se difícil, visto que até o momento não foram previstos procedimentos ou programas de monitoramento para verificar de forma quantitativa a efetividade das ações tomadas. Um único trabalho foi realizado (Carmona, 2008), no qual foram compilados dados das obras de controle de escoamento pluvial executadas até maio/2008, e avaliada sua eficiência no abatimento das vazões de pico.

A terceira e última etapa do PDDrU de Porto Alegre, que se encontra atualmente em elaboração, e abrange todas as restantes 21 bacias hidrográficas da cidade, deve considerar as “lições aprendidas” durante o processo de implementação das ações no Arroio da Areia. Nessa terceira etapa, é prevista a divulgação para representantes da população local ainda na etapa de definição da solução a ser adotada, por meio da apresentação em Fóruns Regionais de Planejamento, a serem realizados em 2 fases: durante a definição das soluções a serem propostas para cada bacia, para fins de coleta de sugestões e críticas, e ao

final do trabalho, para conhecimento do produto final. As medidas de controle do escoamento pluvial também estão sendo adaptadas às condicionantes do Plano Diretor de Esgotamento Sanitário da cidade, atualmente em fase de revisão, em uma tentativa de integração entre planos setoriais, conforme diretrizes da Lei 11.445/2007 (Brasil, 2007). Está prevista, ainda, a revisão do PDDrU das primeiras 6 bacias-piloto, concluído em 2003.

Já as deficiências de manutenção deverão ser superadas internamente pelo DEP, através da alocação de mais verbas, equipamentos e equipes de trabalho para atuar nas bacias de retenção já implantadas. A Secretaria de Gestão e Planejamento Estratégico

do Município de Porto Alegre está preparando um edital para contratação de consultoria que irá elaborar o Marco Regulatório para criação da Agência Municipal de Saneamento, e irá revisar o sistema contábil do DEP e DMAE, com o objetivo de alcançar a sustentabilidade econômica dos serviços de saneamento. Infelizmente, essa não é apenas uma questão econômica, mas também cultural, tendo em vista que os próprios técnicos da área de operação e manutenção do DEP ainda não assimilaram a importância das estruturas de controle do escoamento dentro do sistema de águas pluviais da cidade. Novamente, é uma concepção que vem sendo alterada no decorrer dos anos, em função da comprovação da eficácia das obras executadas.

Referências

- AGRA, S. G., 2001. *Estudo Experimental de Microrreservatórios para o Controle do Escoamento Superficial*. Porto Alegre: UFRGS – Programa de Pós Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. 105f. Dissertação (Mestrado).
- ALLASIA, D. G., 2002. *Impacto das incertezas no custo de uma rede de macrodrenagem*. Porto Alegre: UFRGS – Programa de Pós Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. 152f. Dissertação (Mestrado).
- ALLASIA, D. G.; VILLANUEVA, A. O. N., 2004. *Custo da incerteza na macrodrenagem urbana I: Determinação dos parâmetros mais sensíveis na modelagem de macrodrenagem urbana*. In: Revista Brasileira de Recursos Hídricos (RBRH), v.12, p. 1-11, 2007.
- ALLASIA, D. G.; VILLANUEVA, A. O. N., 2004. *Custo da incerteza na macrodrenagem urbana II: Influência do erro na estimativa do CN sobre o custo da rede*. In: Revista Brasileira de Recursos Hídricos (RBRH), v.12, p. 12-22, 2007.
- BRASIL, 2001. Estatuto das Cidades. Lei nº 10.257, de 10 de Julho de 2001. 16 p.
- BRASIL, 2007. Lei nº 11.445, de 05 de janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis nºs 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1983, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei nº 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 05 jan. 2007.
- CARMONA, M. V. C., 2008. *Gestão da Drenagem Urbana em Porto Alegre-RS*. Monografia de Conclusão de Curso de Especialização, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 102 p.
- CASTRO, A.S; GOLDENFUM, J.A. Uso de telhados verdes no controle quali-quantitativo do escoamento superficial urbano. Agosto de 2008. Programa de Pós-graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, IPH/UFRGS. Disponível em: <<http://www.ecotelhado.com.br/arquivos/documento/Resultados%20Preliminares%20Telhado%20Verde%20pdf.pdf>>. Acesso em Maio/2010.
- CHEVERAUX, G.; HOLLY, F.; PREISSMAN, A., 1978. *Can Detailed Hydraulic Modeling Be Worthwhile When Hydrologic Data is Incomplete?* In: Urban storm drainage. Billing & Sons Limited. Estover Road, Plymouth, Devon. pg. 87-99.
- CUNGE, J. A.; HOLLY, F.M.; VERWEY, A., 1980. *Practical aspects of computational river hydraulics*. Pitman. 420p.
- DEP/PMPA, 2010a. Departamento de Esgotos Pluviais/Prefeitura Municipal de Porto Alegre- Plano Diretor de Drenagem Urbana. Disponível: <http://www2.portoalegre.rs.gov.br/dep/>. Acessado em Maio/2010.
- DEP/PMPA, 2010b. Departamento de Esgotos Pluviais/Prefeitura Municipal de Porto Alegre- Conduto Forçado Álvaro Chaves. Disponível: http://www2.portoalegre.rs.gov.br/dep/default.php?reg=1&p_secas=89. Acessado em Maio/2010.
- DHI, 2010. *Software Mike Urban*. Disponível: <http://www.dhigroup.com/>. Acessado em Maio/2010.
- EPA, 2010. Storm Water Management Model. <http://www.epa.gov/ednrmrl/models/swmm/>
- FAULKNER, B., 1999. *The control of surface water runoff from new development – UK national “policy” in need of review?* In: Urban Water, Vol. 1, 1999, 207-215. MWH, 2010. Wallingford-Hydroworks. <http://www.mwhsoft.com/>
- HR WALLINFORD, 2011. *Software Wallinford-Hydroworks*. Disponível: <http://www.hrwallingford.co.uk/index.aspx>. Acessado em Maio de 2011.
- IPH, 2002a (Tucci, C.; Villanueva, A.; Tassi, R.; das Neves, M; Allasia, D). Plano Diretor de Drenagem Urbana de Porto Alegre - Volumes I a IX.
- IPH, 2002b (Tucci, C.; Villanueva, A.; Tassi, R.; das Neves, M; Allasia, D). Manual de Drenagem Urbana de Porto Alegre - Plano Diretor de Drenagem Urbana de Porto Alegre - volume II.

KOBIYAMA, M., HANSEN, S., 2002. Vantagens da utilização do sistema de coleta da água da chuva sob o ponto de vista dos aspectos hidrológicos e econômicos: Estudo de caso em Florianópolis/SC. In: *Aproveitamento da água da chuva*. Group Raindrops. Organizadores e Tradutores: KOBIYAMA, M., USHIWATA, C. T., AFONSO, M.. Curitiba/PR. 2002. p. 169-181.

PERSCH, C. G. ; TASSI, R. ; DE SALLES, L. S. ; ALLASIA, D. ; PAVI, D. R. ; MACAGNAN, C. C., 2010. Telhado Verde como Alternativa para o Controle Quali-Quantitativo das Águas Pluviais. In: 25a Jornada Acadêmica Integrada, 2010, Santa Maria. Anais 25a JAI. Santa Maria : UFSM, 2010.

PRINCE GEORGE'S COUNTY, 1999. *Low-impact development design strategies: An integrated design approach*. Prince George's County, MD Department of Environmental Resources. 150 p.

SILVEIRA, A. L. L., 2000. *Aspectos históricos da drenagem urbana no Brasil*. In: Tucci, C. E. M., Goldenfum, J. A., Depettris, C. A., Pilar, J. V. Hidrologia Urbana na Bacia do Prata. Porto Alegre: ABRH: IPH/UFRGS. p. 11-17.

SOUZA, C. F., 2005 *Mecanismos Técnicos-Institucionais para a sustentabilidade da drenagem urbana*. Porto Alegre: UFRGS – Programa de Pós Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. 193f. Dissertação (Mestrado).

TASSI, R., 2002. *Efeito dos microrreservatórios de lote sobre a macrodrenagem urbana*. Porto Alegre: UFRGS – Programa de Pós Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. 132f. Dissertação (Mestrado).

TASSI, R., VILLANUEVA, A. O. N., 2004. *Análise do impacto dos microrreservatórios nos custos de uma rede de drenagem urbana*. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Volume 9, no 3, Jul/Set/2004. p. 89-100.

TUCCI, C.E.M.; 1997. Plano Diretor de Drenagem Urbana: Princípios e Concepção. Revista Brasileira de Recursos Hídricos. ABRH. Vol. 2, nº 2.

TUCCI, C. E. M., PORTO, R. L. e BARROS, M. T. (Orgs.), 1995. Drenagem Urbana. Porto Alegre: Editora da Universidade (UFRGS) e ABRH Associação Brasileira de Recursos Hídricos. v. 1. 428 p.

TUCCI, C. E. M., 2002 (Org.). Workshop for Decision Makers on Floods. Santiago: GWP WMO., v. 1. 260 p.

TUCCI, C. E. M.; ZAMANILLO, E.; PASINATO, H., 1989. Sistema de Simulação Precipitação-Vazão IPHS1, Publicação Recursos Hídricos n.20, IPH/UFRGS.

USACE, 2010. HEC-RAS. <http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/>

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

VILLANUEVA A. O. N., 1990. *Modelo para Escoamento não Permanente em uma Rede de Condutos*. Porto Alegre: UFRGS – Programa de Pós Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. 83f. Dissertação (Mestrado).

VILLANUEVA, A. O. N., e C. E. M. TUCCI. 1995. Simulação hidrodinâmica de redes de condutos pluviais. In Métodos numéricos em recursos hídricos 2, editado por Silva, R. C. V, 99-154. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Recursos Hídricos.

VILLANUEVA, Adolfo O. N.; GOLDENFUM, J. A.; SILVEIRA, A. L. L. da. (Org.). Soluções para a drenagem urbana em países da América Latina. Porto Alegre/RS, 2001, v. 1, p. 1-174.

VIEGAS FILHO, C. E. M, TUCCI, VILLANUEVA, A., D, G. ALASIA P., TASSI, T., & R. C.F. DAMÉ. Manual do Usuário IPHS1 para Windows, v. 2.11 – Versão PDF. IPH/UFRGS, Porto Alegre RS, 46 p. 2004.

WATER SENSITIVE URBAN DESIGN, 2004. Material disponível no site <http://www.wsud.org/>. Acessado em Maio/2010.

Adolfo O. N. Villanueva Instituto de Hidrologia de Llanuras – Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires/Argentina - avillanueva@faa.unicen.edu.ar

Rutinéia Tassi Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – Universidade Federal de Santa Maria/Brasil - rutineia@gmail.com

Daniel G. Allasia Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – Universidade Federal de Santa Maria/Brasil - hidrologia@gmx.net

Daniela Bemfica Departamento de Esgotos Pluviais – Prefeitura Municipal de Porto Alegre - daniela@dep.prefpoa.com.br

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