

AVALIAÇÃO DE CENÁRIOS DE COBRANÇA PELA DRENAGEM URBANA DE ÁGUAS PLUVIAIS

Francisco Rossarolla Forgiarini¹, Christopher Freire Souza²,

André Luiz Lopes da Silveira³, Geraldo Lopes da Silveira⁴ & Carlos Eduardo Morelli Tucci⁵

RESUMO --- A urbanização proporciona impactos negativos sobre o ciclo hidrológico quando não planejada de forma sustentável. Atualmente, tem-se discutido a adoção de mecanismos de incitação à redução destes impactos tendo por referência a cobrança pelo serviço de drenagem de águas pluviais. Este trabalho tem como objetivo investigar a aplicação de diferentes cenários para a definição de uma taxa de drenagem a três condomínios hipotéticos no município de Porto Alegre, dimensionados segundo as técnicas higienista, compensatória e de desenvolvimento urbano de baixo impacto (LID). O custo médio que solucionaria os problemas atuais de inundação no município foi rateado entre os condomínios. Conclui-se que ao invés de se analisar a extensão das áreas impermeáveis deve-se considerar a efetiva produção de escoamento. As cobranças utilizando os critérios volume ou área impermeável efetiva incentivam a adoção de técnicas sustentáveis, mesmo que a definição e determinação desta área ainda não estejam consolidadas.

ABSTRACT --- The urbanization provides negative impacts on the hydrological cycle when it's not done in a sustainable way. Currently, the adoption of mechanisms to encourage the reduction of such impacts has been argued having as a reference the fees for the urban drainage services. This paper aims to investigate the application of different scenes for defining a urban drainage fee over three hypothetical condominiums in the city of Porto Alegre, designed under hygienist, compensatory and low impact development (LID) techniques. The average cost to address the flood problems had been divided among the developments. As a result, it is obtained that instead of analyzing the amount of impermeable areas the effective draining production must be considered. The fees based on the volume or effective impermeable area criteria stimulate the adoption of sustainable techniques, although the definition and determination of that area are not yet consolidated.

Palavras-chave: cobrança pela drenagem urbana, sustentabilidade, desenvolvimento urbano de baixo impacto.

1) Msc. Eng. Civil, Doutorando IPH/UFRGS, Bolsista do CNPq – Brasil. Rua Barão do Amazonas, 1157/38, 90670-004, Porto Alegre/RS. E-mail francisco_forgiarini@yahoo.com.br

2) Msc. Eng. Civil, Doutorando IPH/UFRGS, Bolsista do CT-HIDRO/CNPq – Brasil. Av. Bento Gonçalves, 9500, 91501-970, Porto Alegre/RS. E-mail: cfsouza@ppgiph.ufrgs.br

3) Professor da UFRGS, IPH, Av. Bento Gonçalves, 9500, 91501-970, Porto Alegre/RS - Brasil. E-mail andreiph@terra.com.br

4) Professor da UFSM, CT, Av. Roraima, 1000, 97105-900, Santa Maria/RS. E-mail ger_ufsm@terra.com.br

5) Professor da UFRGS, IPH, Av. Bento Gonçalves, 9500, 91501-970, Porto Alegre/RS - Brasil. E-mail tucci@iph.ufrgs.br

1 - INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, os municípios brasileiros apresentaram um processo acelerado e não planejado de urbanização. O desenvolvimento deste processo produziu grandes alterações no ambiente urbano, que se projetaram em impactos significativos sobre a água. Os impactos, especialmente as inundações e a contaminação dos mananciais superficiais e subterrâneos com os efluentes urbanos, promovem a queda da qualidade de vida da população.

A urbanização das cidades brasileiras tem se caracterizado pela remoção da cobertura vegetal original, o aumento da impermeabilização, a canalização e a ocupação das planícies ribeirinhas, que, de forma geral, tende a agravar as cheias naturais. Mostra-se evidente, portanto, a necessidade de alterar o paradigma de controle da drenagem de águas pluviais para alternativas que estejam mais próximas da sustentabilidade. Algumas alternativas promissoras têm sido trabalhadas nas municipalidades brasileiras, como o emprego de técnicas compensatórias, e em outros países com resultados excepcionais obtidos pela estratégia de Desenvolvimento Urbano de Baixo Impacto (*Low Impact Development, LID*).

Cruz *et al.* (2007) comentam das dificuldades para adoção de detenções por empreendedores em Porto Alegre, o que evidenciam a necessidade de trabalhar mecanismos de incentivo à implementação de estruturas de controle da drenagem. De acordo com Baptista *et al.* (2005), no Brasil e em outros países, tem-se discutido a adoção de mecanismos de incitação à redução dos impactos da urbanização sobre o ciclo hidrológico, tendo por referência a cobrança pelo serviço de drenagem de águas pluviais.

Este trabalho tem como objetivo investigar a aplicação de diferentes cenários para a definição de uma taxa de drenagem a um condomínio hipotético no município de Porto Alegre, dimensionado segundo as técnicas higienista, compensatória e de Desenvolvimento Urbano de Baixo Impacto (LID).

2 – A BUSCA DA SUSTENTABILIDADE NA DRENAGEM URBANA

Nos países desenvolvidos, o planejamento da drenagem urbana passou por mudanças significativas nos últimos quarenta anos. De acordo com SNSA (2005), podem-se definir três estágios de planejamento: higienista, corretivo e sustentável (Tabela 1).

Baptista *et al.* (2005) argumentam que as soluções higienistas de drenagem urbana (também denominadas de tradicionais ou clássicas) transferem para jusante os problemas com inundação, tendo que ser construídas novas obras, em geral mais onerosas. Além disso, normalmente as soluções higienistas não contemplam os problemas de qualidade e acarretam situações praticamente

irreversíveis de uso do solo urbano e de outros usos dos recursos hídricos, tais como recreação e paisagismo, ao canalizar os córregos, arroios ou rios.

A partir dos anos 1970, uma outra abordagem para tratar o problema foi sendo desenvolvida. Trata-se da adoção de técnicas corretivas de drenagem, que procuraram utilizar dispositivos principalmente com o objetivo de atuar na consequência do problema, priorizando o controle do escoamento por meio de detenções (USEPA, 1999). Esta forma de planejamento da drenagem urbana se baseou nas técnicas de *Best Management Practices* (BMPs), que ganharam repercussão sendo muito difundidas e adotadas em todo o mundo para a gestão do escoamento pluvial.

Nas últimas décadas, abordagens mais próximas à sustentabilidade (Marsalek, 2005) têm sido estudadas, sob as denominações: *Low Impact Development* (LID), nos EUA e Canadá; *Sustainable Urban Drainage Systems* (SUDS), no Reino Unido; *Water Sensitive Urban Design* (WSUD), na Austrália; e *Low Impact Urban Design and Development* (LIUDD), na Nova Zelândia. No Brasil, a técnica de LID recebeu a tradução de Desenvolvimento Urbano de Baixo Impacto (Souza, 2005), sendo mencionada no Manual de apresentação de propostas para ampliação de sistemas municipais de drenagem, elaborado pelo Ministério das Cidades (Brasil, 2006).

Tabela 1. Estágios do desenvolvimento sustentável da drenagem urbana nos países desenvolvidos (Adaptado de SNSA, 2005)

Anos	Período	Características
Até 1970	Higienista (Canais)	Transferência para jusante do escoamento pluvial por <u>canalização</u>
1970 – 1990	Corretivo (Compensatória)	<u>Amortecimento</u> quantitativo da drenagem e controle do impacto existente da qualidade da água pluvial. Envolve principalmente a atuação sobre os impactos
1990* - ?	Sustentável (LID)	Planejamento da ocupação do espaço urbano, obedecendo aos mecanismos naturais do escoamento; controle dos micro-poluentes, da poluição difusa e o desenvolvimento sustentável do escoamento pluvial por meio da recuperação da <u>infiltração</u>

* período em que iniciou este tipo de visão.

No Brasil, a expressão “Técnicas Compensatórias” é adotada por alguns pesquisadores (tais como Pompêo, 2000; Cruz *et al.* 2001; Goldenfum e Souza, 2001) como sendo um método semelhante ao corretivo (uso de técnicas de BMPs). Para Baptista *et al.* (2005) as técnicas compensatórias levam a reduzir as vazões e os volumes, armazenando ou infiltrando as águas pluviais. Os autores enfatizam que as técnicas compensatórias buscam a diminuição das vazões de pico, dos volumes, das velocidades de escoamento e, por conseguinte, dos tempos de concentração.

LID se diferencia das técnicas de BMPs por serem mais abrangentes no planejamento do sistema de drenagem. A abordagem de LID (LID Center, 2005) também inclui medidas não estruturais como *layouts* alternativos de estradas e prédios para minimizar a impermeabilidade e para maximizar o uso e preservação dos solos e da vegetação nativos, redução das fontes de

contaminação e programas de educação para modificar ações e/ou atividades. Em particular, o LID procura realizar o controle em escala inferior ao aplicado por BMPs, mais próximo à fonte de alteração de processos hidrológicos, onde é gerado o escoamento da água da chuva por meio da manutenção das condições hidrológicas naturais.

O planejamento por meio do LID procura recuperar as funções do ciclo hidrológico perdidas durante a urbanização, ou seja, interceptação, infiltração, evapotranspiração e geração do escoamento superficial (PSAT & WSU, 2005). NRDC (2004) enfatiza que as técnicas de LID atuam estimulando processos físicos, químicos e biológicos naturais, minimizando impactos ambientais e gastos com sistemas de tratamento. Neste relatório é descrito que os ganhos paisagísticos, ambientais e econômicos reforçam as vantagens apresentadas por esta concepção do tratamento da drenagem urbana, controlando não somente o pico, mas também o volume, a frequência e a duração, além da qualidade do escoamento.

Nos Estados Unidos, especialmente, o planejamento urbano por LID é uma realidade sendo orientada por manuais municipais (por exemplo, *Portland Bureau of Environmental Services*, 1999; *Prince George's County*, 2002; *Sarasota County*, 2004; PSAT & WSU, 2005). Tucci (2002) traça um paralelo entre países desenvolvidos e em desenvolvimento de acordo com o estágio atual da gestão das águas no meio urbano. O autor relata que nos países desenvolvidos foram resolvidos os problemas quanto ao controle quantitativo da drenagem urbana, principalmente por meio de medidas não estruturais que obrigam a população a controlar na fonte os impactos devido a urbanização.

Enquanto isso, nos países em desenvolvimento, o controle quantitativo da drenagem urbana ainda é limitado e o estágio de controle da qualidade da água resultante da drenagem ainda está longe de ser atingido (Tucci, 2002). Neste sentido, reforça-se a necessidade de pesquisar meios de incentivar o uso de técnicas que objetivem o controle na fonte e a manutenção das características do ciclo hidrológico de pré-desenvolvimento. Souza (2005) realizou simulações hidrológicas de um condomínio em Porto Alegre dimensionado sob os sistemas de drenagem higienista, compensatório e LID. Os resultados deste estudo são apresentados a seguir para demonstrar os benefícios (hidrológicos, paisagísticos e econômicos) da técnica sustentável de planejamento da drenagem.

2.1 – Simulações hidrológicas dos diferentes estágios de planejamento da drenagem

As estratégias de LID foram numericamente simuladas por Souza (2005) em um condomínio residencial hipotético com condições de solo e chuva da cidade de Porto Alegre, objetivando averiguar suas vantagens e desvantagens com relação às práticas vigentes (higienista e compensatória) simuladas para o mesmo condomínio. Cabe salientar que para simulação dos projetos de LID considerou-se apenas a aplicação de dispositivos de bio-retenção e desconexão de

áreas impermeáveis para controlar o volume do escoamento para condições naturais, sem modificar o projeto arquitetônico-estrutural para conservar ao máximo as características locais como recomendado. Já para o caso de BMPs (compensatório), a alteração do projeto se limitou à presença de uma bacia de retenção para controlar a vazão máxima de saída do reservatório, como se processa usualmente em Porto Alegre (Cruz *et al.*, 2007). Souza (2005) utilizou o evento com Tempo de Retorno de 10 anos e duração de 1 hora e estabeleceu quatro configurações dos condomínios para a realização das simulações numéricas:

- Condomínio I: Condição natural.

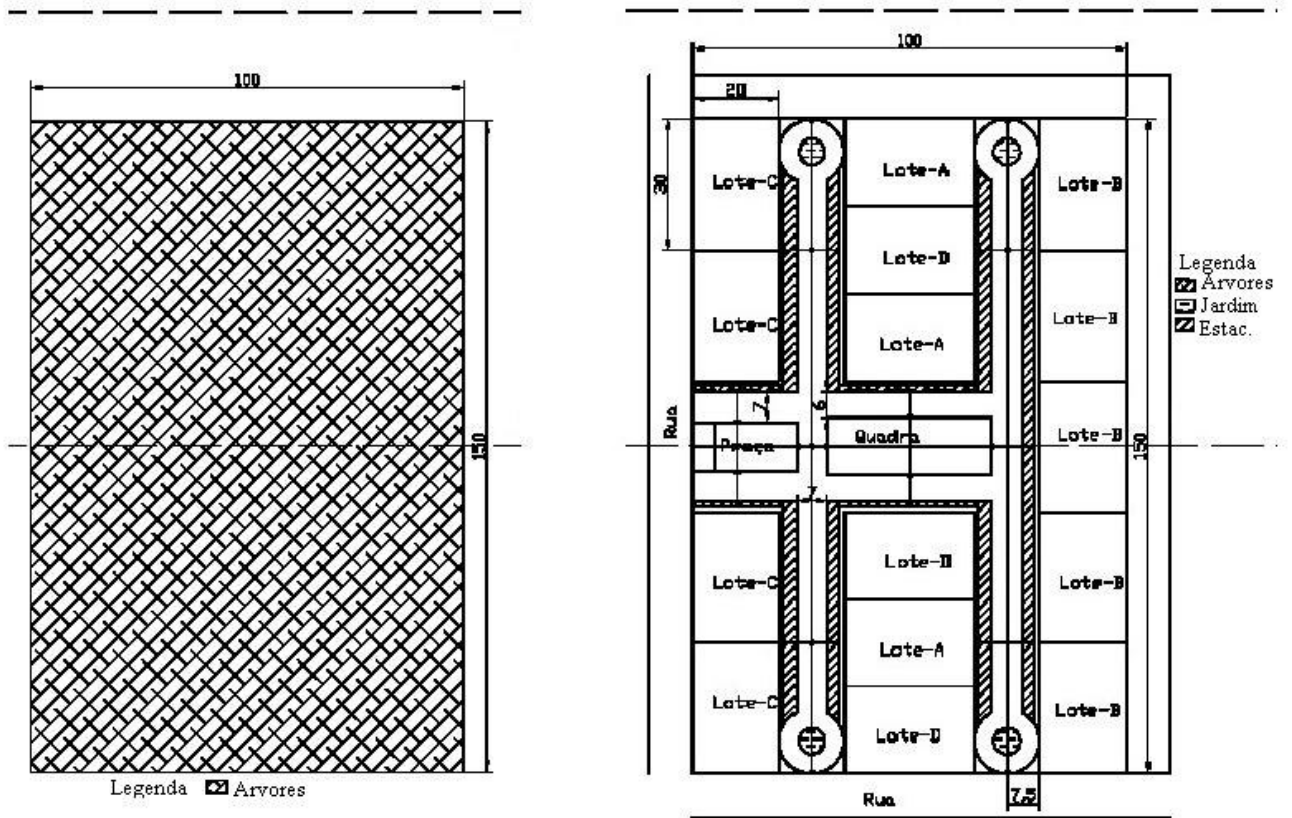
- Condomínio II (sem controle – higienista): Desenvolvimento do condomínio sem qualquer controle com rápido afastamento do escoamento gerado.

- Condomínio III (retenção – compensatório): Desenvolvimento do condomínio seguindo a regulamentação local para a construção de loteamentos, i.e., o controle do pico de vazões é efetuado para que à saída dos loteamentos sejam obtidas as vazões das condições naturais (pré-desenvolvimento), por intermédio, na maior parte dos casos, de bacias de retenção.

- Condomínio IV (LID): Desenvolvimento do condomínio em conformidade com as estratégias de LID, i.e., mitigar impactos na fonte, buscando o controle de pico, volume, duração, frequência e qualidade do escoamento para condições naturais.

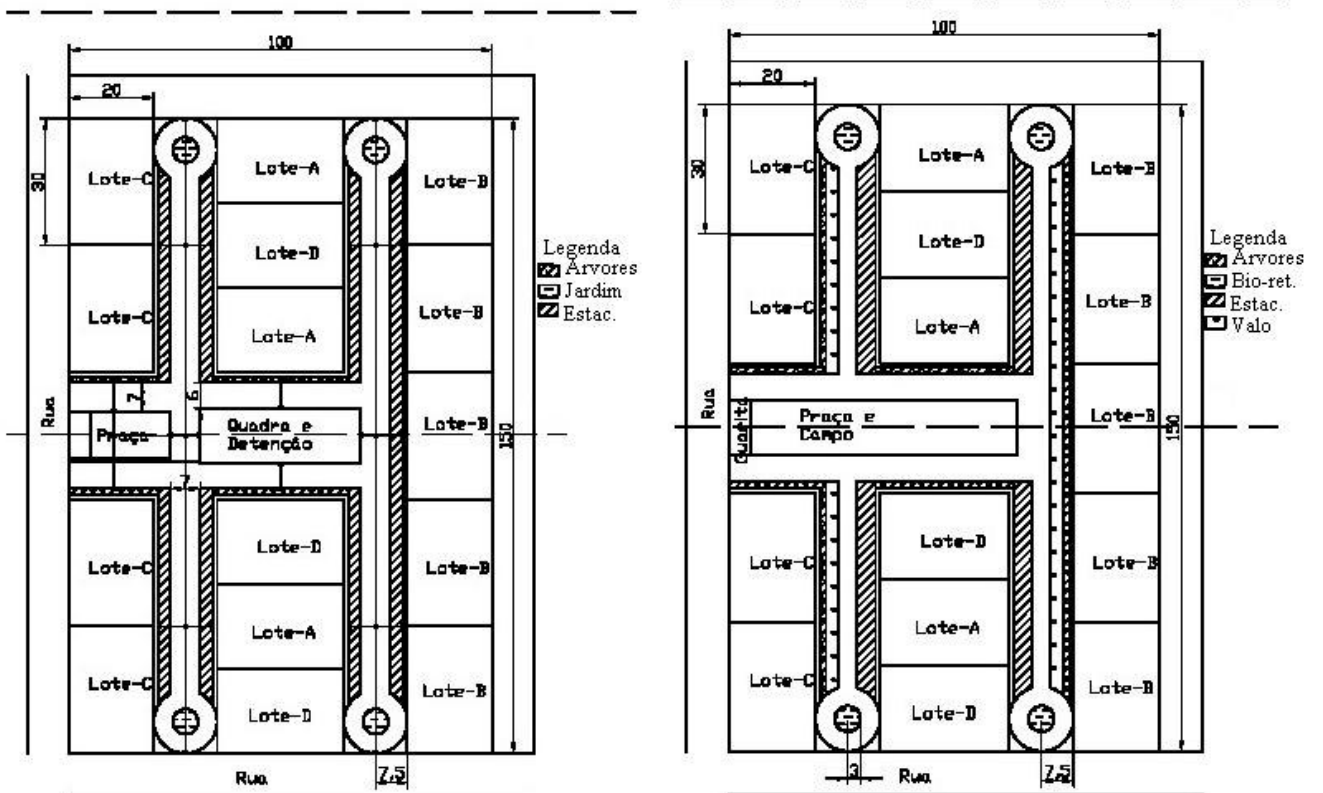
A avaliação de hidrogramas resultantes de cada condomínio foi o método selecionado para tentar determinar qual destes melhor responde aos anseios de manter as condições hidrológicas naturais. Souza (2005) avaliou o comportamento à saída de todo o empreendimento, bem como, de cada lote individualmente. O modelo hidrológico utilizado foi o IPHS1, com aplicação dos métodos do antigo SCS (atual NRCS) para separar o escoamento e propagar a vazão pelo Hidrograma Unitário Triangular (previamente citados como Método TR-20/TR-55).

O condomínio hipotético arbitrado procurou seguir a realidade dos condomínios residenciais de alto padrão, como disposto na Figura 1 (Souza, 2005). Buscou-se, para a construção dos condomínios II e III, seguir a prática convencional de planejar o controle de águas pluviais após ter sido criado o projeto arquitetônico e o estrutural da edificação, em detrimento à prática de inserção do planejamento do controle de águas pluviais ao longo destes, caminho proposto nas estratégias de LID (condomínio IV). Por esta razão, o emprego de dispositivos que necessitassem de alterações nos projetos arquitetônico e estrutural dos lotes foi evitado, como o emprego de telhados verdes.



Cobertura Natural

Sem controle



Controle por retenção

Controle por LID

Figura 1. Configuração dos condomínios (fora de escala) (Souza, 2005).

Com base nos resultados obtidos da simulação de todos os condomínios (Figura 2), para a chuva de projeto (TR de 10 anos), comprova-se que (Souza, 2005):

- O emprego de bacias de retenção apenas redistribui volumes, lançando para jusante o acréscimo de volume, como esperado;
- A ausência de controle antecipa e eleva o pico do escoamento, além de aumentar seu volume e sua duração, também esperado;
- O controle por LID atende plenamente aos critérios de duração e volume;
- O controle pleno do pico à saída do todo (condomínio), provavelmente, sofre influência da ausência de controle pleno das partes (lotes);
- O controle de qualidade, inerente ao armazenamento da primeira parcela de chuva pelas bio-retenções, é realizado apenas para o Condomínio IV (LID);
- É possível atingir efetividade zero de áreas impermeáveis¹ (Condomínio IV - LID);
- As áreas “verdes” totalizaram 15,34% no Condomínio IV, em detrimento aos 7,54% existentes para o emprego de técnicas convencionais (higienista e compensatória).

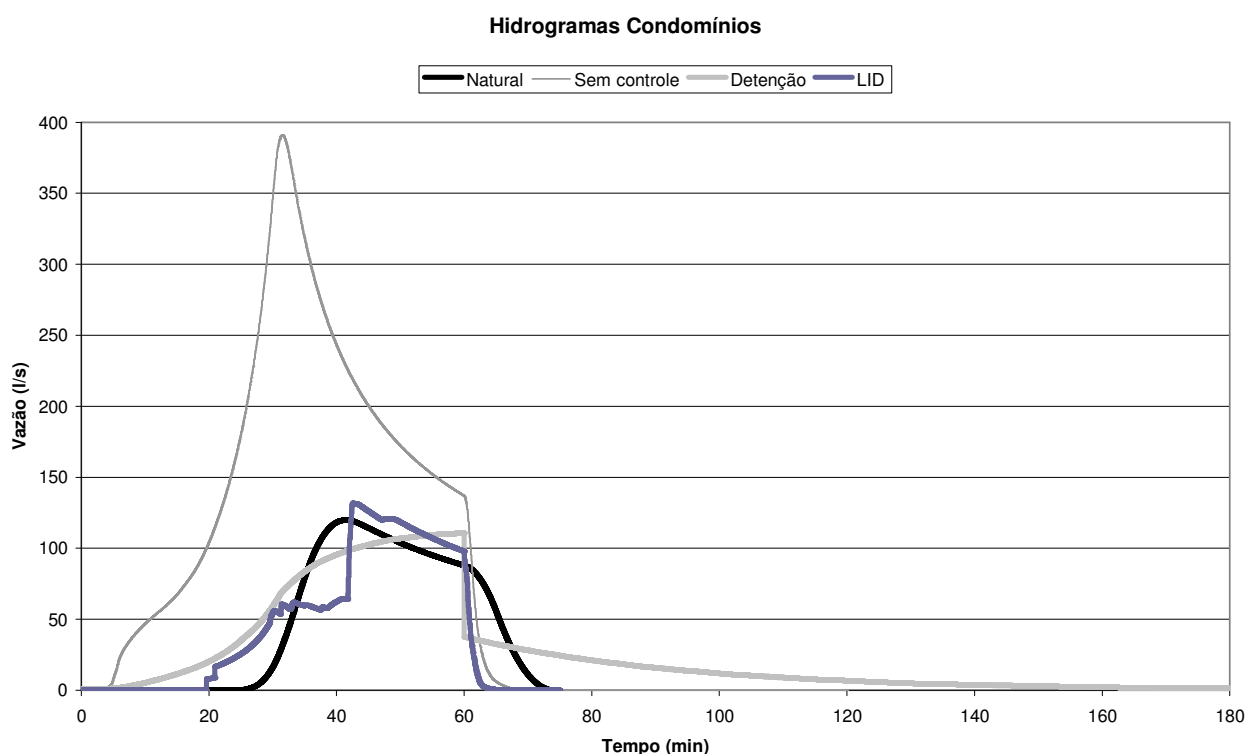


Figura 2. Respostas dos condomínios à chuva de projeto (Souza, 2005).

Souza (2005) enfatiza que além do benefício paisagístico direto da preservação de áreas verdes, existem benefícios hidrológicos e financeiros indiretos, como potencial melhoria de qualidade de vida e elevação do valor de mercado do empreendimento, em virtude do apelo à preservação ambiental. O autor também realizou avaliações financeiras, apresentando LID

¹ Efetividade zero de áreas impermeáveis é o controle total do escoamento gerado nestas áreas.

vantagens tanto para instalação (redução de custos de 23% e 30,5% em comparação com a ausência de controle no condomínio e o emprego de reservatório de detenção, respectivamente) como para manutenção e operação (redução de 65% dos custos). Contudo, o autor argumenta que estes dados seriam apenas indícios dos possíveis resultados do emprego desta tecnologia, por não ter sido levados em conta o emprego de telhados-verdes, a manutenção de alguns dispositivos de condução de águas pluviais para os casos sem controle no condomínio e com controle por reservatórios de detenção.

3 – COBRANÇA NA DRENAGEM URBANA

Após a Constituição de 1988, foi criada a Lei Federal nº 9.433/1997, denominada Lei das Águas. Esta lei regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, instituindo a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH). Para atingir os objetivos da PNRH, a lei criou cinco instrumentos de gestão que devem ser aplicados a todos usuários dos recursos hídricos: enquadramento dos corpos d'água em classes de uso; outorga de direitos de uso; cobrança pelo uso da água; plano de bacia hidrográfica; e sistema de informações sobre recursos hídricos.

Utilizada como um instrumento de gestão, a cobrança deve arrecadar recursos para dar suporte financeiro ao sistema de gestão de recursos hídricos e às ações definidas pelos planos de bacia hidrográfica, incluindo-se o planejamento da drenagem urbana. Além disso, a cobrança deve indicar para a sociedade que a água é um bem escasso e que possui um valor, com a finalidade de que este recurso seja utilizado de forma racional e que o seu uso atenda aos princípios do desenvolvimento sustentável.

3.1 – Objetivos da cobrança aplicada à drenagem

A cobrança pelo uso da água aplicada à drenagem urbana encontra respaldo nos artigos 12 e 20 da Lei das Águas, uma vez que a drenagem afeta o regime, a qualidade e a quantidade da água. Contudo, não se trata diretamente da cobrança pelo uso da água e sim a cobrança pelo serviço da drenagem.

Lanna (2001) aponta que a finalidade de um Instrumento Econômico (IE), tal como a cobrança pelo uso da água, é fazer com que o responsável por uma atividade que degrada ou utiliza os recursos hídricos sinta suas conseqüências, e as internalize no processo de tomada de decisão. Assim, a cobrança pelo uso da água na drenagem atuaria como um IE de incitação à mudança do comportamento do usuário frente as externalidades impostas por ele ao meio ambiente, induzindo a sustentabilidade na forma de planejar o seu sistema de drenagem. Esta cobrança poderia desempenhar ainda outras funções, inclusive a de contribuir para o financiamento de investimentos em infra-estrutura de drenagem pluvial e para cobrir custos de operação e manutenção do sistema.

3.2 – Alternativas para a definição da cobrança sobre os serviços de drenagem

Os serviços de drenagem possuem características de bens públicos, como a não-excludência e a não-rivalidade (ou não-subtractibilidade) (Cançado *et al.*, 2006). Isto significa que não é possível excluir um agente de seu consumo: quando oferecido os serviços, todos podem ou vão obrigatoriamente consumi-los. Cançado *et al.* (2006) enfatizam que, em função da utilização “obrigatória” do sistema de drenagem, a definição de taxa para a drenagem parece ser mais adequada do ponto de vista jurídico. Todavia, ao contrário de serviços como iluminação pública, que é oferecido para uma pluralidade de pessoas, é possível identificar a magnitude do uso do sistema de drenagem em função do volume lançado na rede.

Cançado *et al.* (2006) discutem formas de precificação do serviço de drenagem urbana. Os autores argumentam que no Brasil praticamente não existem estudos suficientes para o uso de metodologias que priorizem a eficiência econômica ou maximização do bem-estar social na determinação da taxa, tais como preço igual ao custo marginal ou à regra de Ramsey. Desta forma, a solução alternativa é a definição da taxa segundo um custo médio de produção, priorizando o financiamento do sistema. Assim, os autores estabelecem uma taxa sobre os serviços de drenagem associada ao custo médio de implantação do sistema de micro e macrodrenagem e o custo de operação e manutenção deste sistema. Nascimento *et al.* (2006) realizam simulações similares para uma bacia hidrográfica hipotética no município de Belo Horizonte, Minas Gerais. A base para o rateio de custos nos dois estudos é a área impermeabilizada total dos imóveis.

Tucci (2002) também propõem a criação de uma taxa de drenagem para o rateio dos custos de operação e manutenção e os custos para implementação das obras do plano de drenagem do município de Porto Alegre. O autor determina que a cobrança para o primeiro caso considera áreas permeáveis e impermeáveis e para o segundo caso apenas áreas impermeáveis, que, segundo o autor, são as áreas que aumentam a vazão acima das condições naturais. Entretanto, diferentemente do estudo de Cançado *et al.* (2006), a taxa é baseada no volume de escoamento gerado em cada superfície, de acordo com o coeficiente de escoamento para superfícies permeáveis (0,15) e para as superfícies impermeáveis (0,95).

Tucci (2003) aponta que o princípio básico do financiamento para Planos Diretores de Drenagem Urbana brasileiros é o de distribuir os custos de acordo com a área impermeável, assim como foi proposto por Cançado *et al.* (2006) e Tucci (2002). Souza (2005), entretanto, recomenda estudos para definir a melhor forma de onerar os responsáveis pelos impactos no escoamento com base na Área Impermeável Efetiva (AIE) ou na alteração das características naturais do hidrograma, *e.g.*, volume ou vazão máxima (pico).

Com base nas propostas dos autores citados, as alternativas para distribuir os custos relacionados ao sistema de drenagem, ou seja, para definir o impacto individual dos usuários sobre

o sistema e assim definir a cobrança individual sobre os serviços podem ser separadas da seguinte forma:

- Área Impermeável Total (AIT);
- Área Impermeável Efetiva (AIE);
- Alteração do hidrograma natural (volume ou vazão máxima – pico).

Shuster *et al.* (2005) dizem que embora a AIT possa refletir bem a magnitude do desenvolvimento urbano, ela não estabelece a proximidade relativa de um elemento isolado da superfície impermeável a outros elementos ou aos canais de recepção do sistema de drenagem. A inabilidade da AIT em representar ou integrar o fenômeno hidrológico sugere a exigência da “efetividade” para adicionar qualitativamente como a impermeabilidade pode afetar os componentes do ciclo hidrológico.

Ainda não existe uma definição aceita por todos os pesquisadores da área sobre a AIE. Shuster *et al.* (2005) a definem como sendo o total de área superficial impermeável que é hidráulicamente conectada ao sistema de drenagem, ou seja, a área que efetivamente contribui para a geração do volume que utilizará o sistema de drenagem. Já para Souza (2005) a AIE é a superfície impermeável que não for controlada por áreas a jusante com objetivo de manter os processos hidrológicos (*i.e.* interceptação, infiltração, evapotranspiração e geração do escoamento superficial) a taxas naturais.

De acordo com Shuster *et al.* (2005), além de analisar a extensão ou percentual das áreas impermeáveis, deve-se verificar a sua conectividade, localização e geometria para definir seu impacto sobre o ciclo hidrológico. Church *et al.* (1999) apontam alta variabilidade do coeficiente de escoamento em estradas com taxas semelhantes de área impermeável. Os autores demonstraram que o coeficiente de escoamento varia aproximadamente 50% para sistemas de drenagem das estradas analisadas com superfícies impermeáveis variáveis.

O cálculo da AIE pode ser realizado, por exemplo, utilizando o decreto n° 15.371/2006 do município de Porto Alegre, que regulamenta o controle da drenagem urbana por meio de um reservatório de detenção. A formulação para a determinação do volume do reservatório tem como base a AIE contribuinte a este que é a soma das áreas impermeáveis e um percentual² das áreas impermeáveis que conduzem o escoamento para dispositivos de infiltração. A redução das áreas impermeáveis é calculada da seguinte forma:

- Aplicação de pavimentos permeáveis (blocos vazados com preenchimento de areia ou grama, asfalto poroso, concreto poroso) – reduzir em 50% a área que utiliza estes pavimentos;
- Desconexão das calhas de telhado para superfícies permeáveis com drenagem – reduzir em 40% a área de telhado drenada;

² Os percentuais refletem a eficiência média de controle dos dispositivos empregados.

- Desconexão das calhas de telhado para superfícies permeáveis sem drenagem – reduzir em 80% a área de telhado drenada;

- Aplicação de trincheiras de infiltração – reduzir em 80% as áreas drenadas para as trincheiras.

3.3 – Experiências de cobrança pelo serviço de drenagem

Nos Estados Unidos, a cobrança pelo serviço de drenagem já está consolidada. Para demonstrar um exemplo foi selecionado o caso do município de Rocky Mount, Estado da Carolina do Norte. No Brasil, a experiência pioneira é o município de Santo André, São Paulo, que cobra desde o ano de 1998.

3.3.1 - Rocky Mount, Carolina do Norte/Estados Unidos

O Condado da Cidade de Rocky Mount aprovou a implementação da taxa de drenagem pluvial em 01 de Julho de 2003. As taxas pela utilização são baseadas na área impermeável de cada construção ou parque e são pagas para cobrir os gastos com a operação, a manutenção e o capital investido no Sistema de Drenagem da Cidade (Rocky Mount, 2007).

A definição da taxa para o controle da drenagem foi motivada por um regulamento federal que adicionou ao Sistema Nacional de Eliminação da Descarga de Poluição (*National Pollution Discharge Elimination System*, NPDES) os municípios entre 10.000 a 100.000 habitantes. O NPDES foi criado em 1987 para municípios com mais de 100.000 habitantes. O sistema determina exigências para o controle e a gestão da qualidade e quantidade da água da chuva nos municípios dos Estados Unidos.

A área impermeável média para uma residência unifamiliar em Rocky Mount é de 232,5 m² (2.519 ft²), determinada pela análise de fotografia aérea. Para cada 232,5 m² de área impermeável são cobrados uma taxa de R\$ 6,5 por mês (US\$ 3,25 para US\$ 1,00 = R\$ 2,00, cotação de junho de 2007). Assim, a taxa é de R\$ 0,028/m². Para residências multi-familiares e todas as propriedades não residenciais a taxa é determinada da mesma forma que para as residências unifamiliares, mas o valor é diferenciado.

3.3.2 - Santo André, São Paulo/Brasil

A cobrança pelos serviços de drenagem urbana em Santo André foi instituída pela Lei Municipal 7.606 de 23 de Dezembro de 1997. A lei define que:

Artigo 2 - A taxa de drenagem é devida em razão da utilização efetiva ou da possibilidade de utilização, pelo usuário, dos serviços públicos de drenagem de águas pluviais, decorrentes da operação e manutenção dos sistemas de micro e macrodrenagem existentes no Município.

:

Artigo 4 - O custo decorrente da prestação dos serviços de operação e manutenção dos sistemas de micro e macrodrenagem será dividido proporcionalmente entre cada usuário, segundo a contribuição volumétrica das águas advindas de seu respectivo imóvel, lançadas ao sistema de drenagem urbana.

Parágrafo único - O cálculo da contribuição volumétrica de águas ao sistema de drenagem terá por base o índice pluviométrico médio mensal do Município que, associado à área coberta de cada imóvel (impermeabilização), definirá o volume efetivamente lançado ao sistema.

A taxa de drenagem é cobrada na conta mensal de Saneamento Ambiental de todos os imóveis e os valores cobrados são (SNSA, 2005):

- valor mínimo: R\$ 0,56 por metro cúbico ao mês;
- valores médios: R\$ 2,00 a R\$ 3,00 por metro cúbico ao mês.

De acordo com SNSA (2005), com a cobrança da drenagem, o Serviço Municipal de Saneamento Ambiental de Santo André (Semasa) arrecada cerca de R\$ 6 milhões por ano, o que é suficiente para cobrir 50% dos gastos de manutenção da rede (limpeza de bocas-de-lobo, galerias, limpeza e desassoreamento de córregos, manutenção dos piscinões existentes na cidade, etc.). É importante deixar claro que os recursos provenientes da taxa de drenagem não são usados para obras, o dinheiro é destinado apenas para manutenção, conforme prevê a Lei.

Com a instituição da taxa foi possível fazer serviços que há muito tempo não eram feitos, como o desassoreamento do rio Tamanduateí, Ribeirão dos Meninos e Córrego Oratório (Semasa, 2007). O Tamanduateí, desassoreado em 1998, não era limpo havia 8 anos, causando grandes transtornos à cidade.

4 – METODOLOGIA

O propósito do trabalho consiste em analisar o efeito da definição da taxa de drenagem sobre empreendimentos dimensionados segundo diferentes sistemas de drenagem pluvial. Para tanto foram utilizados dados do estudo de Souza (2005), conforme apresentado no item 2.1, e do estudo de Cruz (2004), que estimou custos para solucionar os problemas de inundação no município de Porto Alegre, e foram estabelecidos diferentes cenários para o rateio destes custos associados aos condomínios devido ao uso do sistema municipal de drenagem.

4.1 – Custo unitário anual do sistema de drenagem municipal de Porto Alegre

Cruz (2004) analisou a situação atual do sistema de drenagem de Porto Alegre e determinou soluções otimizadas (mínimo custo) para os problemas de alagamentos. As soluções adotadas pelo autor foram a ampliação da micro e macrodrenagem e a construção de reservatórios de

amortecimento, seguindo o planejamento de acordo com as técnicas compensatórias ou de BMPs. O custo total para as vinte e sete bacias hidrográficas do município foi de R\$ 1.418.934.329,60.

Admitiu-se que foi realizado um empréstimo hipotético por parte da Prefeitura de Porto Alegre com as características dos financiamentos via Banco Nacional de Desenvolvimento Social – BNDES, como apresentado em Nascimento *et al.* (2006). Utilizou-se como taxa de juros a TJLP (Taxa de Juros de Longo Prazo) de junho de 2007 (6,50% ao ano), *spread* básico de 1,00% ao ano e *spread* de risco de 1,50% ao ano (valores de junho de 2007). O valor de aproximadamente 1,4 bilhões de reais foi amortizado³ em 30 anos, de acordo com a Equação 1 (Forgiarini, 2006), que corresponde a vida útil média das obras de macrodrenagem.

$$\text{Parcela} = \frac{\text{Investimento Total} * i * (1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad (1)$$

Sendo:

n = número de anos de amortização (30 anos);

i = taxa de juros (9,00%).

Para o cálculo da parcela anual a ser arrecadada por meio da cobrança pelo serviço da drenagem urbana de águas pluviais em Porto Alegre (assim que o sistema estiver construído) foi adicionado o custo de operação e manutenção do sistema. Segundo Cruz (2004), este custo corresponde a 5% do valor investido, correspondendo a R\$ 70.946.716,48. O custo unitário foi determinado dividindo a parcela anual pela soma das áreas das bacias do município (aproximadamente 430.000.000 m²; Cruz, 2004).

4.2 – Cenários de análise para a cobrança pelo serviço de Drenagem

Considerou-se para simulação a avaliação dos ônus correspondente à implantação de 3 condomínios, cada um projetado sob os diferentes tipos de sistema, com base na simulação de Souza (2005). O valor unitário anual do sistema de drenagem municipal de Porto Alegre foi multiplicado pela soma das áreas dos três condomínios (45.000,00 m²) para determinar o valor a ser rateado entre eles. Os cenários estabelecidos para ratear este valor consideraram os seguintes critérios:

- Cenário I (AIT): cobrança com base na área impermeável total;

- Cenário II (AIE – PoA): cobrança com base na área impermeável efetiva, de acordo com Decreto Municipal n° 15.371/2006 de Porto Alegre;

³ Amortização é um processo de extinção de uma dívida através de pagamentos periódicos, que são realizados em função de um planejamento, de modo que cada prestação corresponde à soma do reembolso do Capital ou do pagamento dos juros do saldo devedor. O sistema adotado foi o Sistema Price ou Francês (PRICE), onde os pagamentos (prestações) são iguais.

- Cenário III (AIE – Shuster): cobrança com base na área impermeável efetiva, de acordo com Shuster (2005), ou seja, toda área que drena para uma superfície permeável é admitida como sendo área permeável;

- Cenário VI (Volume): cobrança por alteração no volume de escoamento natural (entende-se natural como sendo o volume de pré-ocupação);

- Cenário V (Vazão máxima - pico): cobrança por alteração na vazão máxima de escoamento natural.

Para obtenção das taxas, foram determinadas as áreas impermeáveis totais, as áreas impermeáveis efetivas (PoA e Shuster), as alterações no volume e pico de vazão produzidos com relação à condição natural. A partir destes foi determinado o valor a ser pago por cada condomínio.

5 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

A parcela anual a ser arrecadada, por meio da cobrança pelo serviço da drenagem urbana, para financiar, operar e manter o sistema que solucionaria os problemas atuais de inundação em Porto Alegre é de R\$ 209.060.606,99, representando um custo unitário de R\$ 0,49/m². Assim, o valor a ser pago pelos três condomínios em função das suas áreas é de R\$ 21.864,71. As tabelas a seguir (Tabela 2, Tabela 3 e Tabela 4) apresentam os resultados das totalizações, dos valores unitários de cobrança e as cobranças para os condomínios segundo os cenários adotados para o rateio.

Tabela 2. Totalizações dos cenários de cobrança.

Condomínio	AIT (m ²)	AIE - PoA (m ²)	AIE - Shuster (m ²)	Volumes (m ³)	Pico (m ³ /s)
Natural	0,00	0,00	0,00	204,30	0,1198
Sem controle	13.869,00	12.139,00	8.320,50	589,48	0,3910
Detenção	13.869,00	12.139,00	8.320,50	589,48	0,1107
LID	12.699,00	9.983,00	0,00	189,65	0,1316

Tabela 3. Valores unitários de cobrança de acordo com os cenários estabelecidos.

TIA	EIA - PoA	EIA - Shuster	Variação no Volume	Variação no Pico
R\$ 0,54	R\$ 0,64	R\$ 1,31	R\$ 28,38	R\$ 77.278,42

Os resultados referentes às arrecadações para cada condomínio segundo os cenários estabelecidos são mostrados a seguir (Figura 3). A figura utiliza os dados das colunas em cinza da Tabela 4.

Tabela 4. Cobranças para os condomínios segundo os cenários adotados para o rateio.

Condomínio	AIT (m ²)	Cobrança (R\$)	AIE - PoA (m ²)	Cobrança (R\$)	AIE - Shuster (m ²)	Cobrança (R\$)	Variação no Volume (m ³)	Cobrança (R\$)	Variação no Pico (m ³ /s)	Cobrança (R\$)
Higienista - sem controle	13.869,00	7.499,11	12139	7.746,87	8320,5	10.932,35	385,179	10.932,35	0,2712	21.864,71
Compensatório – Detenção	13.869,00	7.499,11	12139	7.746,87	8320,5	10.932,35	385,179	10.932,35	0,0000	0,00
LID	12.699,00	6.866,48	9983	6.370,96	0	0,00	0	0,00	0,0118	909,81
Total	40.437,00	21.864,71	34261	21.864,71	16641	21.864,71	770,358	21.864,71	0,2829	21.864,71

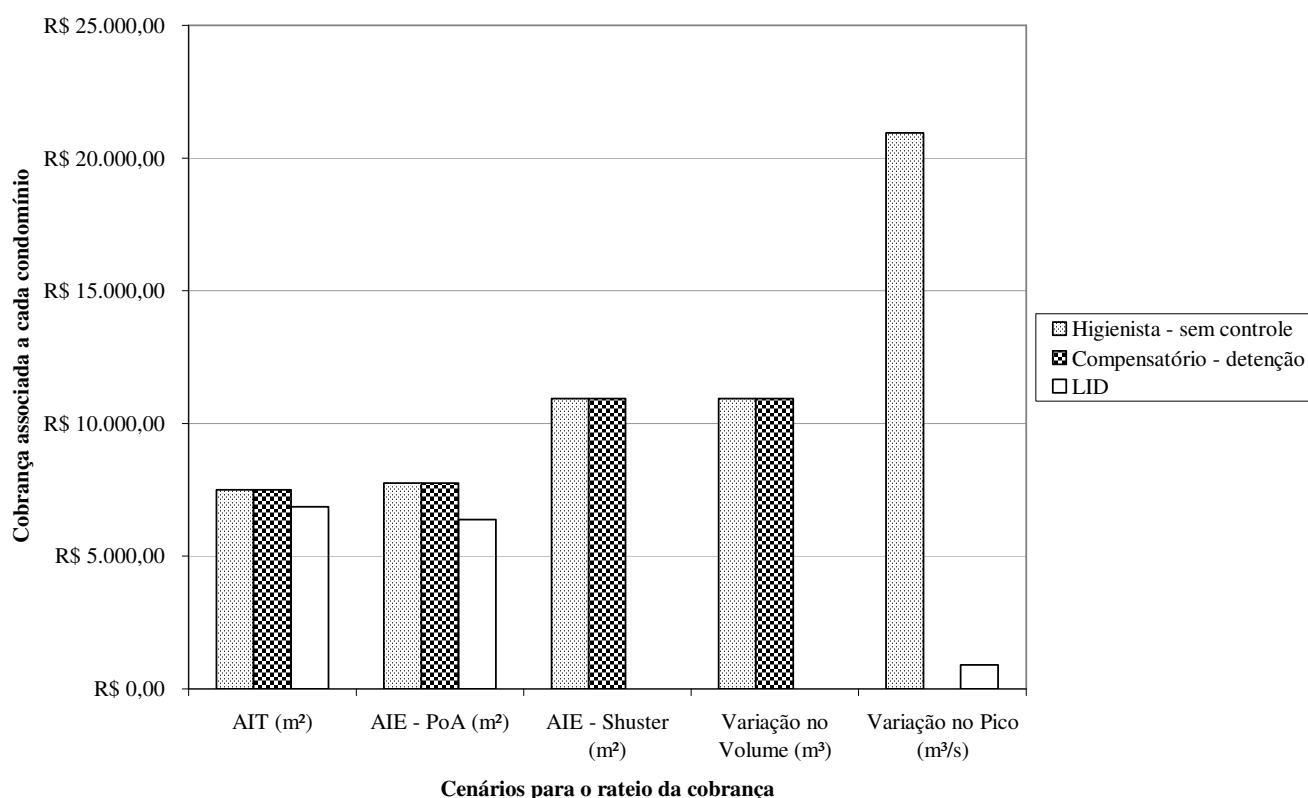


Figura 3. Arrecadações para cada condomínio segundo os Cenários adotados.

A cobrança de acordo com a AIT não incentiva a adoção de mecanismos ou técnicas de amortecimento da vazão, pois cobra praticamente igual para todos os condomínios e não o que cada condomínio realmente produz de alteração nas características naturais de escoamento. Mesmo os condomínios dimensionados de acordo com as abordagens compensatória e LID pagariam aproximadamente o mesmo valor que o condomínio dimensionado com a abordagem higienista. A AIT do condomínio dimensionado por LID apresentou uma pequena redução devido ao privilégio da utilização de áreas verdes em comparação com os outros condomínios.

O cálculo da AIE, segundo o Decreto nº 15.371/2006 de Porto Alegre, não representou muitas variações entre os condomínios, pois o dispositivo utilizado (bio-retenção) na simulação para LID

não é contemplado diretamente no referido decreto. Assim, áreas impermeáveis que direcionam o escoamento para este tipo de dispositivo não foram reduzidas para o cálculo da AIE. Isto se deve ainda pelo provável desconhecimento do uso e funcionamento destas alternativas por parte de quem elaborou o decreto.

Em compensação, a determinação da AIE segundo Shuster *et al.* (2005) proporciona uma cobrança igual a zero para o condomínio de LID. Os autores admitem que toda área impermeável que drena para um dispositivo que permite a infiltração é uma área permeável (para um evento de precipitação adotado para o dimensionamento deste dispositivo). Estes resultados apontam as diferenças na definição e forma de determinar a AIE. O ideal seria compreender e estimar a redução no escoamento devido ao uso dos dispositivos que recebem o fluxo das áreas impermeáveis.

A cobrança no cenário de alteração na vazão máxima (pico) incentiva tanto o planejamento pela técnica compensatória quanto por LID. Um aspecto importante ao se considerar a vazão máxima está relacionado na redução dos custos da rede devido a utilização de tubulações de menor diâmetro. O planejamento do lote pela técnica de LID proporciona uma cobrança inferior em todos os cenários, e especialmente quando o critério ou parâmetro de cobrança é o Volume. Demonstrando que se trata de uma técnica de planejamento que apresenta maiores benefícios hidrológicos, além de ter uma menor custo que as técnicas higienista e compensatória (Souza, 2005).

Estes resultados apontam necessidade de analisar a efetiva produção do escoamento pelas propriedades e ratificam os resultados obtidos por Freni e Olivieri (2005). Os autores analisaram ações para a minimização da inundação (desconexão de áreas impermeáveis, estruturas de retenção, estruturas de detenção e estruturas de infiltração) e concluíram que a desconexão de áreas impermeáveis, ou seja, encaminhar o escoamento das áreas impermeáveis para estruturas permeáveis, é a medida mais eficaz para a redução da inundação na bacia de Mondello, na Itália. Assim, duas áreas que apresentem a mesma extensão ou percentual de área impermeável, mas com uma com desconexão desta área irá produzir um menor volume de escoamento superficial, a mesma situação obtida no presente estudo.

As propostas de Tucci (2002) e Cançado *et al.* (2006) ao utilizar a AIT como critério de rateio para a cobrança não consideram a desconexão das áreas impermeáveis tampouco dispositivos para a manutenção do hidrograma de pré-desenvolvimento, como por exemplo, dispositivos das técnicas de BMPs ou LID. Para Rocky Mount (2007) o mais equitativo método de pagamento do uso do serviço de drenagem é aquele que estima o impacto relativo de cada propriedade sobre o sistema de drenagem. Mesmo assim, Rocky Mount (2007) defende que um dos melhores indicadores deste impacto é o total de área impermeável na propriedade, a qual indica a quantidade do escoamento de água da chuva gerada. Contudo, pode-se perceber que este critério não proporciona equidade, pois

onera o condomínio de LID independente da sua redução no volume lançado no sistema de drenagem.

6 – CONCLUSÕES

É possível que a cobrança específica pelo uso dos sistemas de drenagem leve ao uso mais racional do solo urbano, ou uma maior consciência do impacto daquela propriedade (e da forma como foi construída) nos custos envolvidos no sistema de drenagem para o município. A busca de soluções técnicas viáveis por meio do planejamento por LID, para novos e antigos empreendimentos, objetiva minimizar o impacto da urbanização sobre o ciclo hidrológico e, ainda, reduzir os custos de implantação do sistema de drenagem. Neste trabalho são realizadas simulações identificando quais os critérios que conferem ônus financeiro aos projetos que apresentam maior ônus hidráulico.

Este artigo estabeleceu cenários para o rateio da arrecadação referente ao uso do sistema de drenagem do município de Porto Alegre, por parte de três condomínios dimensionados segundo a abordagem higienista, compensatória e LID. Conclui-se que ao invés de se analisar a extensão das áreas impermeáveis deve-se considerar a efetiva produção de escoamento. A cobrança utilizando o critério volume ou área efetiva incentiva a adoção de técnicas sustentáveis, mesmo que a definição e determinação da AIE ainda não esteja consolidada.

O controle na fonte, financiado pelo proprietário, reduz a necessidade de investimentos por sua parte e por parte do Poder Público (município), uma vez que o sistema de drenagem irá funcionar com uma vazão afluente reduzida. A cobrança aplicada incentivando a adoção de medidas para mitigar os efeitos negativos da urbanização sobre o ciclo hidrológico (LID) atua como um instrumento de gestão e não apenas como um instrumento arrecadatário.

Deve-se considerar a dificuldade operacional de ter como critério o volume, uma vez que é difícil monitorar ou estimar com precisão o volume gerado pelas propriedades. Neste sentido, ressalta-se a formulação de cobrança de Santo André, que procura avaliar o volume gerado em cada propriedade. Além disso, cita-se a exigência do Decreto nº 15.713 da comprovação da manutenção das condições de pré-ocupação no lote ou no parcelamento do solo por parte do proprietário. Estas definições por parte das prefeituras vão de encontro com a necessidade de se estabelecer análises precisas quanto ao método e à aquisição de dados (avaliação da efetividade de áreas impermeáveis) para fiscalização, cobrança e monitoramento.

BIBLIOGRAFIA

BAPTISTA M. B.; NASCIMENTO, N. O. (2002). *Aspectos institucionais e de financiamento dos Sistemas de Drenagem Urbana*. RBRH: Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, v.7,

n.1, p.29-49.

BAPTISTA, M., NASCIMENTO N., BARRAUD, S. (2005). *Técnicas compensatórias em Drenagem Urbana*. Porto Alegre: ABRH, 266 p.

CANÇADO, V., NASCIMENTO, N. de O., CABRAL, J. R. (2006). *Cobrança pela Drenagem Urbana de águas pluviais: bases conceituais e princípios microeconômicos*. RBRH: Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, v.11, n.2, p.15-25.

CHURCH, P. E., GRANATO, G. E., OWENS, D. W. (1999). *Basic requirements for collecting, documenting and reporting precipitation and stormwaterflow measurements*. Open-file report: 99-255, USGS National Highway Runoff Data and Methodology Synthesis.

CRUZ, M. A. S. (2004). *Otimização do Controle da Drenagem em Macro-bacias Urbanas*. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. Porto Alegre. BR-RS, 217 p.

CRUZ, M. A. S., ARAÚJO, P. R., AGRA, S. G., SOUZA, V. C. B. de, COLLISCHONN W. (2001). *Valorização da água no meio urbano: um desafio possível*. Revista Brasileira de Recursos Hídricos.

CRUZ, M.A.S.; SOUZA, C.F. & TUCCI, C.E.M (2007). *Controle da drenagem urbana no Brasil: avanços e mecanismos para sua sustentabilidade*. In: Anais XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. São Paulo/SP. CD-ROM.

FRENI, G., OLIVERI, E. (2005). *Mitigation of urban flooding: a simplified approach for distributed stormwater management practices selection and planning*. Urban Water Journal, vol. 2, n° 4, 215-226.

FORGIARINI, F. R. (2006). *Modelagem da cobrança pelo uso da água bruta para aplicação em escala real na bacia do rio Santa Maria*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Maria/RS.

GOLDENFUM J. A., SOUZA V. C. B. (2001). *Infiltration trenches in urban runoff control: an experimental study*. In: NOVATECH 2001: Fourth International Conference on Innovative Technologies in Urban Storm Drainage. Lyon: v2, pp. 1039-1046.

GOMES, C. A. B. (2005). *Drenagem Urbana: análise e proposição de modelos de gestão e forma de financiamento*. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Minas Gerais.

LANNA, A. E. (2001). *Instrumentos Econômicos de Gestão das Águas: Aplicações no Brasil*. Relatório de Consultoria Contratada pelo Ministério do Meio Ambiente.

LID Center (2005). *Low impact development for big box retailers*. Prepared By: The Low Impact Development Center, Inc. Disponível em: <www.lowimpactdevelopment.org>. Acesso em 27/01/2007.

- MARSALEK, J. (2005). *The current state of sustainable urban stormwater management: an international perspective*. Japan and Taiwan International Workshop on Urban Regeneration 2005 - Air and Water Disponível em: <http://www.env.t.u-tokyo.ac.jp/furumailab/crest/workshop05/june9pm_1.pdf>. Acesso em 05/02/2007.
- NASCIMENTO, N. de O., CANÇADO, V., CABRAL, J. R. (2006). *Estudo da cobrança pela Drenagem Urbana por meio de uma taxa de drenagem*. RBRH: Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, v.11, n.2, p.135-147.
- NATURAL RESOURCES DEFENSE COUNCIL [NRDC] (2004). *Stormwater Community responses to runoff pollution*. 2004. Disponível em <<http://www.nrdc.org>> Acesso em 30 jun. 2004.
- POMPÊO, C.A. (2000). *Drenagem Urbana Sustentável*. RBRH: Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, v.5, n.1, p.15-23.
- PORTLAND BUREAU OF ENVIRONMENTAL SERVICES (2002). *Stormwater Management Manual*. 2.ed. Portland. Disponível em: <<http://www.cleanrivers-pdx.org>>. Acesso em 28/01/2007.
- PRINCE GEORGE'S COUNTY (1999). *Department of Environmental Resources. Low-Impact Development Design Strategies: An Integrated Design Approach*. Maryland. 150p. Disponível em <<ftp://lowimpactdevelopment.org/pub>>. Acesso em 28/01/2007.
- PUGET SOUND ACTION TEAM & WASHINGTON STATE UNIVERSITY [PSAT & WSU] (2005). *Low Impact Development: Technical Guidance Manual for Puget Sound*. Disponível em: <http://www.psat.wa.gov/Publications/LID_tech_manual05/lid_index.htm>. Acesso em: 09/02/2007.
- ROCKY MOUNT (2007). *Public Works – Stormwater Management*. Disponível em: <<http://www.rockymountnc.gov/publicworks/stormwater.html>>. Acesso em 05/06/2007.
- SARASOTA COUNTY (2004). *Department of Planning. Transfer of Development Rights Ordinance. Florida*. In: Stormwater Management Resource's Center. (site) 2004. Disponível em <<http://www.stormwatercenter.net>> Acesso em 28/01/2007.
- SEMASA (2007). *Taxa de manutenção do sistema de drenagem – Semasa/Santo André*. Disponível em: <<http://www.semasa.sp.gov.br/scripts/display.asp?idnot=197>>. Acesso em 05/06/2007.
- SNSA (2005). *Gestão do território e manejo integrado das águas urbanas: Cooperação Brasil-Itália em Saneamento Ambiental*. Programa de Modernização do Setor de Saneamento – Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental – Brasília: Ministério das Cidades, 270 p.
- SHUSTER, W. D., BONTA, J., THURSTON, H., WARNEMUENDE, E., SMITH, D. R. (2005). *Impacts of impervious surface on watershed hydrology: a review*. Urban Water Journal, vol. 2, n° 4, 263-275.
- SOUZA, C. F. (2005). *Mecanismos técnico-institucionais para a sustentabilidade da Drenagem*

Urbana. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. Porto Alegre. BR-RS, 193 p.

TUCCI C. E. M. (2002). *Gerenciamento da Drenagem Urbana*. RBRH: Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, v.7, n.1, p.5-27.

TUCCI, C.E.M. (2003). *Inundações e Drenagem Urbana*. in: TUCCI, C.E.M.; BERTONI, J.C. Inundações urbanas na América do Sul. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos. p.45-150.

UNITED STATES. Environmental Protection Agency. [USEPA] (1999). *Preliminary Data Summary of Urban Storm Water Best Management Practices*. Washington, DC.