

Análise do Impacto dos Microrreservatórios de Lote nos Custos de Uma Rede de Drenagem Urbana

Rutinéia Tassi, Adolfo O. N. Villanueva

Instituto de Pesquisas Hidráulicas – Universidade Federal do Rio Grande do Sul - Porto Alegre/RS
rutineia@bol.com.br, adolfo@iph.ufrgs.br

Recebido: 04/03/04 revisado: 01/07/04 aceito: 20/08/04

RESUMO

Nos centros urbanos em processo de expansão, os sistemas de drenagem vão se tornando insuficientes à medida em que a ocupação, e portanto a impermeabilização das bacias aumenta. A consequência direta do aumento da impermeabilização é o acréscimo das vazões de pico e do volume escoado superficialmente, tornando necessárias obras de ampliação do sistema de drenagem. Muitas vezes essa ampliação torna-se impraticável dado os altos custos e limitações físicas. Os Planos Diretores de Drenagem Urbana vêm identificando os problemas e apontando para soluções integradas nas bacias urbanas, buscando resolvê-los o mais próximo possível da fonte. Uma das propostas dos planos, a exemplo de outros países, é não permitir o aumento da vazão natural na saída dos lotes, utilizando medidas de controle na fonte. A utilização deste tipo de medida tem alguns objetivos como amortecer o pico de enchente, através da melhoria das condições de infiltração e de armazenamento. No entanto, o impacto sobre a macrodrenagem, que a distribuição desses dispositivos de controle gera, e os custos envolvidos com sua implementação são questões pouco estudadas. Em geral, o tratamento dado a este tipo de alternativa tem sido a análise pontual, não considerando o planejamento à escala de bacia. Em alguns casos, a medida de controle sugerida pode ser aparentemente aceitável quando analisada isoladamente, mas técnica ou economicamente ineficiente quando a bacia é analisada de forma conjunta. Neste trabalho buscou-se quantificar os efeitos de caráter hidrológico e econômico na macrodrenagem, obtidos com a utilização do microrreservatório no lote, através de sua ação distribuída em uma bacia urbana, tentando representar os intervenientes físicos existentes em uma bacia real.

Palavras-chave: macrodrenagem; microrreservatório; controle na fonte; custos.

INTRODUÇÃO

Nos centros urbanos em processo de expansão, os sistemas de drenagem vão se tornando insuficientes à medida que a ocupação e, portanto a impermeabilização das bacias aumenta.

O resultado do aumento da impermeabilização é o acréscimo das vazões de pico e do volume escoado superficialmente, tornando necessárias obras de ampliação do sistema de drenagem. Muitas vezes essa ampliação torna-se impraticável dado os altos custos e limitações físicas. E, embora nem sempre seja possível, o planejamento e controle são mais baratos.

Os Planos Diretores de Drenagem Urbana vêm identificando os problemas e apontando para soluções integradas nas bacias urbanas, buscando resolvê-los o mais próximo possível da fonte. Uma das propostas dos planos, a exemplo de outros países, é não permitir o aumento da vazão natural na saída dos lotes, utilizando medidas de controle na fonte. A utilização deste tipo de medida tem objetivos como amortecer o pico de enchente, através da melhoria das condições de infiltração e de armazenamento.

Se a bacia fosse planejada, de forma que todos os lotes controlassem os aumentos de vazão provocados pela impermeabilização, com estruturas como microrreservatório (MR), trincheiras de infiltração, poços, etc., as redes de microdrenagem e macrodrenagem poderiam ser dimensionadas para menores vazões de pico.

A consequência direta deste controle parcial dos volumes nas estruturas (já que os dispositivos não controlam os excessos de volume gerados pela impermeabilização das ruas e calçadas) é uma economia na implantação das redes de drenagem. Partindo desta consideração, e utilizando os MRs como estruturas de controle na fonte, foram realizadas análises econômicas para implantação das redes de micro e macrodrenagem para diferentes combinações de tempo de retorno de projeto, considerando também a eficiência dos MRs na redução das vazões de pico.

A obrigatoriedade da utilização de MRs nos lotes, no entanto, transfere ao proprietário um custo de implantação das estruturas. Portanto, uma análise econômica considerando este custo também foi realizada.

Finalmente, foram analisados, para a bacia em conjunto, os custos envolvidos com obras de drenagem e

de MRs, confrontando os resultados com o grau de abatimento das vazões de pico.

METODOLOGIA

Para representar a situação de planejamento encontrada em um contexto real, onde devem ser resolvidos os problemas relativos à drenagem de forma integrada, na unidade bacia hidrográfica, optou-se pela montagem e simulação numérica de uma bacia hipotética, na qual foram contemplados diversos segmentos de micro e macrodrenagem, além da representação detalhada dos possíveis planos de escoamento.

Assim, foram montadas duas bacias hipotéticas (uma com lotes padrão de 300 m² e outra, com lotes padrão de 600 m²), utilizando uma representação detalhada das superfícies da bacia (telhados, calçadas, jardins, passeios públicos e ruas), incluindo a distribuição das redes de drenagem.

Foram utilizados os dois tamanhos de lote com o intuito de verificar possíveis efeitos, relacionados, por exemplo, com o tempo de pico dos hidrogramas devido aos diferentes tamanhos dos planos de escoamento.

Para definir as características da bacia hipotética, utilizou-se uma bacia urbana da cidade de Porto Alegre, da qual foram mantidas a área, topografia, configuração da rede de macrodrenagem e a forma. Procurando obedecer a topografia e a configuração da rede de macrodrenagem da bacia real, os lotes foram distribuídos de maneira a cobrirem a superfície da bacia a ser simulada, resultando em uma área de 977 ha.

A bacia simulada tem 11 sub-bacias, com áreas variando entre 15 ha e 194 ha, com declividades entre 0,04% nas partes mais baixas da bacia, até 6% nas regiões de cabeceira. O número de lotes distribuídos na bacia foi de 13.800 lotes com 600 m², e de 27.600 lotes com 300 m². Na figura 1 é apresentado o esquema da montagem da bacia hipotética de simulação.

Para simular as superfícies contempladas em detalhe na montagem da bacia, houve a necessidade da utilização de um modelo no qual fosse possível a representação dos diferentes planos de escoamento e redes de microdrenagem. Por outro lado, o modelo deveria ser capaz de representar as condições de escoamento em que as redes de macrodrenagem trabalham em uma bacia real, ou seja, com condutos sob pressão e sujeitos a efeitos de remanso, entre outros.

Definiram-se então duas escalas de trabalho a serem simuladas, e selecionaram-se dois diferentes modelos:

- microdrenagem: o escoamento gerado nos lotes, passeios públicos, ruas e redes de microdrenagem, foi simulado com um modelo de onda cinemática (modelo Schaake, 1971). Além da simulação da microdrenagem, a utilização

do modelo Schaake permitiu a representação de ruas e passeios públicos, além das diferentes situações de escoamento dentro do lote, tais como: telhado, áreas gramadas, calçadas e o MR;

- macrodrenagem: os hidrogramas gerados na saída das redes de microdrenagem e a água que escoou pelas ruas, resultantes da simulação com a onda cinemática, foram introduzidos nas redes de macrodrenagem, através de condições de contorno de montante e como vazão lateral de um modelo hidrodinâmico (Villanueva, 1990; Villanueva e Tucci, 1996).

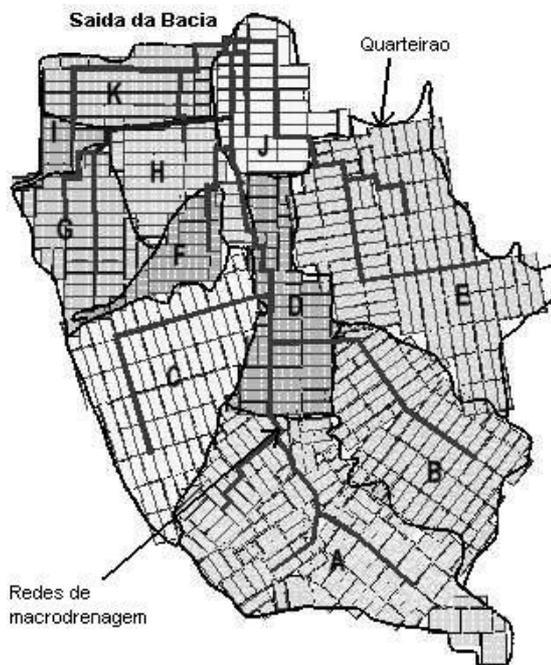


Figura 1 – Bacia hipotética simulada

Com a finalidade de verificar a eficiência dos MRs no abatimento das vazões de pico, a simulação da bacia foi feita sob diferentes condições de impermeabilização do solo, desde a bacia “permeável” (estágio anterior à ocupação) até a impermeabilização dos lotes, ruas e calçadas.

Para quantificar o impacto na redução das vazões de pico, obtido com os MRs, utilizou-se o parâmetro denominado “eficiência” (e’). Este parâmetro foi definido, neste trabalho, como uma relação entre as vazões escoadas para as situações da bacia em estado “permeável” e “urbanizado” com e sem MR, dada pela seguinte equação:

$$e' = \frac{Q_{MR} - Q_{sMR}}{Q_{nat} - Q_{sMR}} \cdot 100 \tag{1}$$

onde:
e’: eficiência (%);

Q_{MR} : vazão de pico no trecho com MRs nos lotes;
 Q_{SMR} : vazão de pico no trecho para a bacia sem MRs;
 Q_{nat} : vazão de pico no trecho obtida para a bacia permeável.

Analisando os termos da equação, percebe-se que a eficiência só é de 100% se Q_{MR} é igual a Q_{nat} , ou seja, a eficiência máxima seria possível se os MRs fossem capazes de controlar também as vazões geradas nas ruas e calçadas, devolvendo à bacia as vazões de pico existentes na situação anterior à ocupação.

Dimensionamento dos microrreservatórios

Para o dimensionamento dos MRs foi utilizado o algoritmo de Puls, com uma representação detalhada das estruturas de descarga do reservatório (descarregador de fundo e vertedor). Os MRs de lote foram dimensionados para manterem a vazão a valores inferiores ou iguais aos existentes antes da ocupação; para complementar o trabalho, foram realizados dimensionamentos considerando outras vazões de restrição, múltiplas da vazão de pré-urbanização:

- 2x $Q_{pré-urb.}$ (dobro);
- 3x $Q_{pré-urb.}$ (triplo);
- 5x $Q_{pré-urb.}$ (quíntuplo).

A verificação para outras vazões de restrição foi realizada após dimensionamento preliminar dos MRs, onde constatou-se que o critério de manutenção da vazão de pré-urbanização estava resultando em estruturas de funcionamento questionável em situações reais, devido principalmente aos pequenos descarregadores de fundo (diâmetros da ordem de 1 a 1,5 cm). Esta hipótese foi sustentada pelo trabalho experimental de Agra (2001), que apontou os descarregadores de fundo de pequenas dimensões como um dos maiores causadores de falha no funcionamento dos MRs.

O dimensionamento dos MRs para as novas vazões de restrição foi feito segundo o critério preferencial de aumento do diâmetro do descarregador de fundo (segundo o escalonamento de diâmetros comerciais), para contornar o problema mencionado no parágrafo anterior. Com relação ao dimensionamento do MR para a vazão de pré-urbanização, muitas vezes ao aumentar o diâmetro do descarregador de fundo para o comercial superior, a vazão de descarga do MR superava o limite imposto, por exemplo, 2x $Q_{pré-urb.}$ Assim, como a vazão de saída no descarregador de fundo é função da carga hidráulica sobre o orifício (quanto maior a altura de água sobre o descarregador, menor deve ser seu diâmetro para a mesma vazão de restrição), a solução adotada para adequar a vazão de saída dos MRs e não reduzir os diâmetros dos descarregadores

de fundo, que já eram pequenos, foi em alguns casos a redução da altura das estruturas.

Cálculo de custos

Para a análise dos custos com a implantação das redes de drenagem e MRs, foram adotadas as seguintes combinações de tempos de retorno:

- TR 5 anos para microdrenagem e MRs; e TR 10 anos para macrodrenagem (Combinação I);
- TR 10 anos para microdrenagem, macrodrenagem e MRs (Combinação II).

Embora em alguns casos sejam utilizados tempos de retorno superiores a 10 anos para o dimensionamento da macrodrenagem, neste estudo não foram realizadas simulações para outras combinações de tempos de retorno de dimensionamento. Esta decisão foi decorrente do resultado obtido, conforme é apresentado no item correspondente, onde a combinação I mostrou-se mais econômica e eficiente que a combinação II. Uma vez que não se costuma dimensionar as redes de microdrenagem para períodos de retorno superiores a 10 anos, a capacidade das mesmas limitam as vazões de pico. Assim, a utilização de tempos de retorno de projeto maiores que 10 anos na macrodrenagem implicaria em aumento de custos, sem ganho de eficiência. As redes de drenagem foram estimadas a partir de uma curva que relaciona custos x condutividade hidráulica (K), conforme figura 2 (Allasia, 2002). Os dados para a elaboração da curva foram obtidos junto ao Departamento de Esgotos Pluviais de Porto Alegre – DEP/POA, que mantém atualizada uma tabela de custos para condutos circulares e retangulares. Nestes custos estão incluídos todos os insumos (aquisição, escavação, poços-de-visita, bocas-de-lobo, mão-de-obra, etc.) para implantação da rede de drenagem.

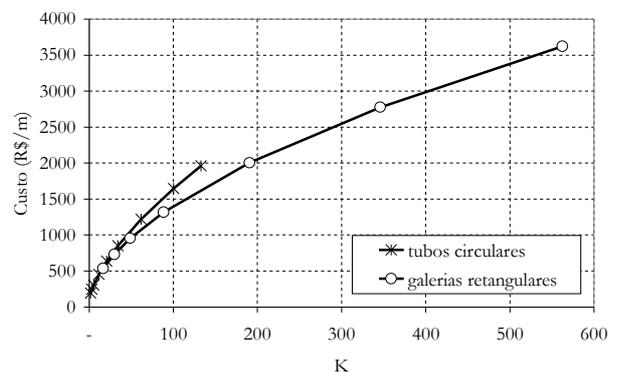


Figura 2 – Curva de custos para as redes de drenagem

A variável k é um valor próprio da seção do conduto, independentemente da topografia, obtida a partir da equação de Manning

$$K = \frac{A}{n} \cdot R^{2/3} \quad (2)$$

onde:

A : área transversal do conduto;

n : coeficiente de rugosidade de Manning;

R : raio hidráulico da seção (relação entre área e perímetro molhado).

A análise econômica foi realizada comparando os custos necessários para implantação de redes de micro e macrodrenagem, com capacidade suficiente para escoar as vazões geradas na bacia sem o controle distribuído, e as vazões escoadas com o controle para cada vazão de restrição na saída do lote selecionada.

Como na rede de microdrenagem não são utilizados diâmetros inferiores a 30 cm, esse foi o limite inferior da curva, portanto podem ocorrer pontos da rede em que o conduto esteja trabalhando com excesso de capacidade.

Os custos de implantação dos MRs foram estimados através do material e mão-de-obra necessários para construção das estruturas. Foram contempladas duas possibilidades de execução do microrreservatório: concreto armado ou alvenaria.

Como o MR no lote pode estar localizado em um jardim, sob a laje de alguma dependência, ou até mesmo sob o acesso de veículos, a critério do proprietário, considerou-se que os MRs seriam executados enterrados, facilitando a adaptação da estrutura dentro do lote. Tal consideração implica a necessidade de uma laje de cobertura. Portanto, para contemplar a pior situação possível em termos estruturais, considerou-se uma laje de cobertura de 12 cm (item 6.1.1.1 da NBR 6118 - espessura mínima da laje destinada à passagem de veículos) para os dois tipos de MRs. Caso o critério utilizado para o dimensionamento dos MRs, ou o material utilizado fosse outro, poderiam ser projetadas estruturas com custo menor (Tassi, 2002).

O MR executado em concreto deve ter paredes armadas com capacidade de suporte das cargas da laje de cobertura, e para que haja distribuição uniforme das cargas no solo deve estar assentado sobre uma base armada. As paredes e base armadas foram dimensionadas com 6 cm de espessura.

Para o MR em alvenaria, consideraram-se paredes de 15 cm, sem revestimento, executada com tijolos maciços (autoportantes) com capacidade de suporte das cargas da laje de cobertura, e base armada de 6 cm de espessura.

O custo dos materiais e mão-de-obra para execução dos MRs foram obtidos a partir de tabelas de preços praticados pelo DAER/RS e recomendados para orçamento na Regional Sul do mês Fevereiro de 2002.

Com a finalidade de estabelecer um valor de referência para a atualização dos valores, são apresentados na tabela 1 alguns indicadores econômicos, que vigoravam da data em que o estudo foi realizado.

Conforme mencionado anteriormente, o critério de dimensionamento do MR priorizando o aumento do descarregador de fundo, fez com que, em alguns casos, fosse necessário reduzir a altura e aumentar a área em planta; este aumento implicou em maior custo da estrutura, visto que as partes mais onerosas do reservatório foram as lajes de cobertura e inferior.

Tabela 1 – Indicadores econômicos (Fev/2002)

Indicador	Valor (R\$)
Salário mínimo	180,00
CUB (mão-de-obra + material)	572,59
Dólar	2,40

RESULTADOS

Eficiência na redução das vazões de pico

Em termos de redução das vazões de pico, os MRs dimensionados para uma chuva com 5 anos de TR foram mais eficazes. Por exemplo: para um tempo de retorno de 5 anos, se a vazão na saída do lote for mantida em até $3xQ_{pré-urb}$, é possível uma redução de mais de 50% nas vazões de pico na saída da bacia, com relação às vazões de pico obtidas sem o controle nos lotes. Para um tempo de retorno de 10 anos, a restrição de até $3xQ_{pré-urb}$ no lote não gerou o mesmo efeito obtido para 5 anos de TR, sendo da ordem de 45%. Caso o pretendido fosse manter a redução de 50% nas vazões de pico dimensionando os MRs para um TR de 10 anos, seria necessário manter a vazão de saída dos lotes no máximo até $2xQ_{pré-urb}$.

Os resultados relacionados à eficiência dos MRs são apresentados somente para a bacia formada por lotes com 300 m², pois verificou-se que com relação aos lotes de 600m² o resultado foi praticamente o mesmo. Na figura 3 é mostrada a eficiência obtida à escala de bacia para 5 e 10 anos de TR.

Outro procedimento foi utilizado para calcular os abatimentos das vazões de pico (TR 5anos), utilizando unicamente a relação entre a vazão de pico que estaria acontecendo nas redes com a utilização de MRs e a vazão de pico sem a utilização de MRs. Os valores obtidos estão apresentados na tabela 2.

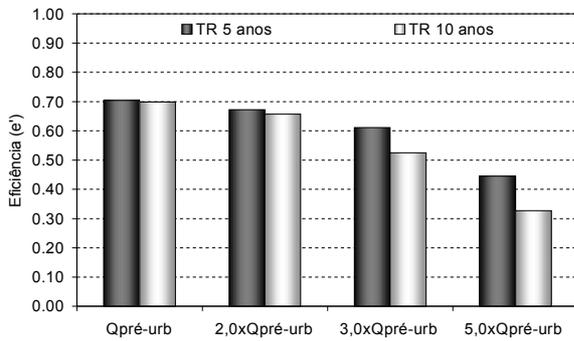


Figura 3 – Efeito dos MRs no controle das vazões TR 5 e 10 anos

Tabela 2 – Relação Q_{MR}/Q_{SMR} (TR 5 anos)

Vazão de Restrição	Redução vazão de pico (%)
Qpré-urb	64,1
2.0xQpré-urb	61,1
3.0xQpré-urb	55,5
5.0xQpré-urb	40,0

A análise à escala de sub-bacia leva à mesma observação feita para a bacia, ou seja, os MRs dimensionados para 5 anos de TR tiveram um impacto ligeiramente superior no controle das vazões àqueles dimensionados para 10 anos de TR. O mesmo efeito foi observado nas microbacias formadoras das sub-bacias.

Como análise global do sistema de drenagem, pode-se dizer que, ao dimensionar os MRs para uma chuva com 5 anos de TR, e fixando a vazão de restrição em 2xQpré-urb foram obtidos resultados muito próximos aos resultados para o controle da vazão de pré-urbanização. E mesmo com a utilização de 3xQpré-urb os resultados foram satisfatórios sob o ponto de vista de controle.

A adoção de uma vazão de restrição maior na saída do lote representa um menor custo de implantação do MR, uma vez que é possível trabalhar com volumes menores. Além do aspecto econômico, o tempo de esvaziamento e o descarregador de fundo dos MRs dimensionados para vazões maiores fazem com que os dispositivos sejam operacionalmente mais eficientes. No entanto, a adoção de tal critério faz com que aumente o custo de implantação das redes de drenagem.

No item “Custo de Implantação das redes de drenagem” são apresentados os resultados obtidos para a bacia hipotética formada por lotes com 300m², já que se verificou que os custos resultantes do dimensionamento das redes de microdrenagem e de macrodrenagem não apresentaram diferenças significativas para as bacias simu-

ladas com os dois tamanhos de lote. Já o custo estimado para construção dos MRs variou muito em função do tamanho do lote simulado, portanto esta análise é apresentada separadamente no item a seguir.

Custo de implantação dos microrreservatórios

Os custos estimados para implantação dos MRs com os dois tipos de materiais propostos na metodologia (concreto armado e alvenaria) produziram consideráveis diferenças nos custos finais das estruturas, conforme as figuras 4 e 5.

Os MRs executados em concreto armado resultaram em média 43% mais caros que os executados em alvenaria para os lotes de 300 m². Já para os lotes de 600 m² esta diferença foi mais significativa, chegando a 52%. Considerando que o proprietário do lote buscaria implementar a estrutura com o mínimo custo financeiro, a seqüência da análise concentrou-se nos MRs executados em alvenaria.

Conforme citado anteriormente, os custos dos MRs dependeram principalmente da área em planta da estrutura. A laje armada para cobrir o MR teve grande influência nos custos finais. Assim, os MRs com grande área em planta foram os mais caros. Isso aconteceu com os MRs dimensionados para 5 anos de TR no lote de 300 m² controlando 3xQpré-urb, que resultou em custo maior que o obtido para controlar 2xQpré-urb.

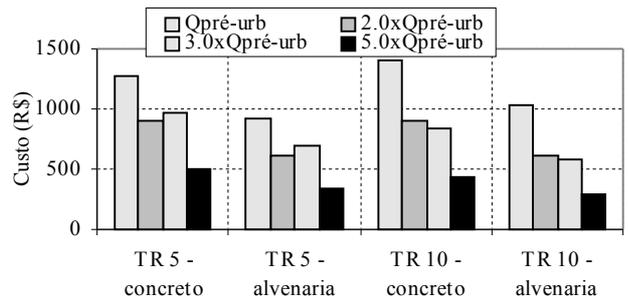


Figura 4 – Custos dos MRs para lotes com 300 m²

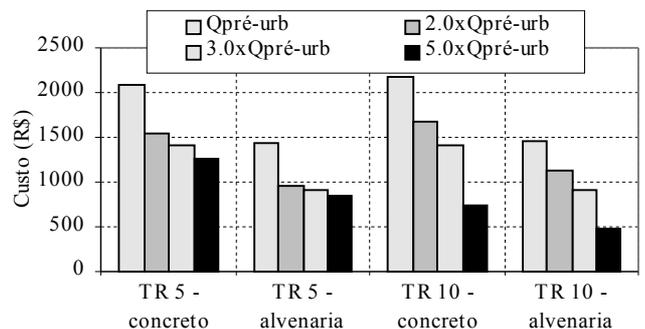


Figura 5 – Custos dos MRs para lotes com 600 m²

Para os MRs em alvenaria, o custo médio do m³ de armazenamento nos lotes de 300 m² foi de R\$ 175 para 5 anos e 10 anos de TR; para os lotes com 600 m², este custo foi de aproximadamente R\$ 145. Os MRs dos lotes maiores têm um maior volume de armazenamento com relação aos lotes menores; no entanto, as partes mais onerosas da estrutura (base e laje de cobertura) são praticamente as mesmas. Este fato está relacionado com a maior vazão de descarga permissível nos lotes maiores, portanto é possível dimensionar MRs para operarem com cargas hidráulicas maiores.

Embora, na maioria dos casos, o custo do MR dimensionado para o lote de 300 m² seja menor que o custo do MR dimensionado para o lote de 600 m², o custo total de implantação de 27.600 MRs (lotes com 300 m²) na bacia apresentou um maior valor que a implantação de 13.800 MRs (lotes com 600 m²). Mesmo que o volume necessário para armazenamento nos MRs dos lotes de 600 m² tenha sido praticamente o dobro, não houve a mesma proporcionalidade com relação aos custos, sendo particularmente influenciado pela área em planta da estrutura. Por exemplo, para um TR de 5 anos, o custo médio do MR dimensionado para o lote de 300 m² representou aproximadamente 61% do custo do MR dimensionado para o lote de 600 m²; para 10 anos de TR, este percentual foi de aproximadamente 63%.

Para ambos os tamanhos de lote, os MRs dimensionados para 5 anos de TR, de forma a manter a vazão na saída do lote até 5xQ_{pré-urb}, resultaram mais caros que os dimensionados para 10 anos de TR. A aparente inversão nos custos foi resultado do critério utilizado durante o dimensionamento, ou seja, foi necessário aumentar a área em planta dos MRs dimensionados para 5 anos de TR para compensar a vazão de saída pelo descarregador de fundo com diâmetro maior. Dessa forma, os MRs dimensionados para 5 anos de TR resultaram em estruturas com maior área em planta que os dimensionados para 10 anos de TR, elevando o custo.

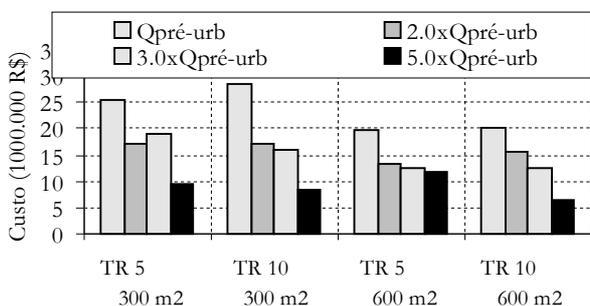


Figura 6 – Custo total de implantação dos MRs na bacia

Na figura 6 são apresentados os custos totais de implantação dos MRs nas bacias (13.800 para a bacia com

lotes de 600 m², e 27.600 para a bacia com lotes de 300 m²), para as diferentes vazões de restrição.

Custo de implantação das redes de drenagem

Os trechos de microdrenagem simulados totalizaram cerca de 70 km de redes, e os trechos da rede de macrodrenagem, aproximadamente 19 km.

Na figura 7 são apresentados separadamente os custos para a implantação das redes de macro e microdrenagem respectivamente, dimensionadas para os tempos de retorno propostos nas Combinações I e II, para as diferentes vazões controladas nos lotes e para a bacia sem controle (sem MR).

Pode-se verificar na figura 7 que os custos da opção sem MR são iguais para as Combinações I e II. Este fato ocorreu, pois em ambas combinações o TR (10 anos) de dimensionamento das redes de macrodrenagem é o mesmo, visto que foi seguido o critério tradicionalmente utilizado.

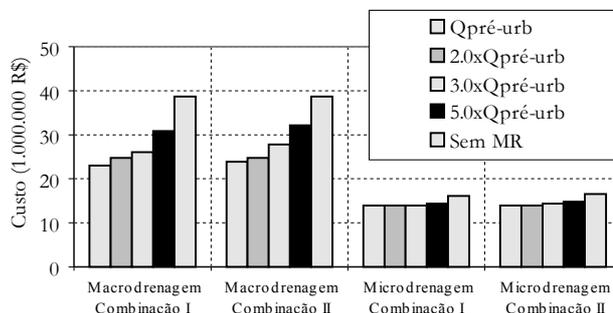


Figura 7 – Custos de implantação das redes de drenagem

Em ambas combinações o custo das redes de microdrenagem esteve muito próximo, sendo que a combinação II foi em média 2% mais cara. A proximidade dos custos deveu-se principalmente à utilização do diâmetro mínimo de 30 cm nos tubos das redes. Após uma verificação dos resultados, foi possível identificar que na combinação II mais de 58% do total de redes de microdrenagem poderiam ser implantados com diâmetros inferiores a 30 cm. Na combinação I cerca de 68% da rede poderia ser implantada com diâmetros menores que 30 cm; isso significa que existem muitos trechos na rede de microdrenagem com excesso de capacidade, para ambas as combinações, principalmente ao restringir menores vazões na saída do lote. Este excesso de capacidade ocorreu de forma mais acentuada onde as declividades são maiores, portanto os condutos têm maior capacidade de escoamento.

Para a combinação I foi possível um dimensionamento mais econômico das redes, tanto de micro como macrodrenagem. Os MRs dimensionados para 5 anos permitem menores vazões na saída dos lotes, além de

conseguirem amortecer o pico de uma chuva com 10 anos de TR. Uma análise detalhada mostrou que embora os MRs tenham sido dimensionados para um TR de 5anos, eles foram capazes de absorver o volume gerado pela chuva com TR 10 anos, e o extravasamento ocorreu já no período de recessão do hidrograma. Assim, as vazões de pico nas redes de drenagem são menores e os excessos provenientes do extravasamento ocorrem quando há pouca água nos condutos, não comprometendo a eficiência.

Na figura 8 encontra-se o custo total para a implantação das redes de drenagem das combinações I e II, e a economia percentual no dimensionamento da rede de drenagem, para as diferentes vazões de restrição adotadas nos lotes. O valor de referência para o cálculo da economia foi a rede dimensionada para a bacia sem MRs da combinação I (R\$ 55 milhões). A escolha desta alternativa foi baseada no fato de ser o critério normalmente adotado para o dimensionamento das redes de drenagem. A implantação da rede de drenagem para bacia sem MRs da combinação II resultou 0,7% mais cara que a rede de drenagem da combinação I.

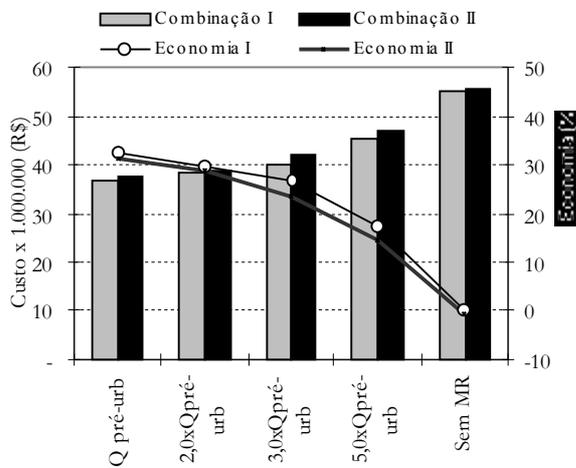


Figura 8 – Custo total de redes de drenagem e economia percentual

Custos globais - implantação das redes de drenagem e microrreservatórios

Os custos globais na bacia foram calculados agregando os custos de implantação dos MRs para as diferentes vazões de restrição aos custos de implantação da rede de drenagem. Na figura 9 são apresentados os custos globais (MRs + redes de drenagem).

Na figura 10 foi plotada a economia nos custos globais, obtida para os dois tamanhos de lote simulados, para as duas combinações propostas, e para as vazões controladas na saída dos lotes. Os valores negativos correspondem às obras com um custo de implementação

maior que o valor de referência, ou seja, os custos globais são maiores que o dimensionamento das redes de micro e macrodrenagem para uma bacia sem estruturas de controle da combinação I.

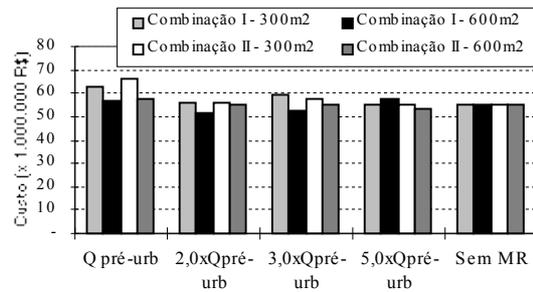


Figura 9 – Custo global de implantação das combinações I e II

Para os lotes de 300 m² os custos globais resultaram maiores que os envolvidos nas obras de drenagem da bacia sem controle, à exceção dos MRs para 5 anos de TR, dimensionados para manterem a vazão na saída do lote em 5xQpré-urb. Os custos globais chegaram a ser 21% mais altos que a implantação da rede de drenagem sem utilização de MRs na bacia. O custo unicamente de implantação dos MRs representou de 18 a 75% dos custos com obras da rede de drenagem. Para este tamanho de lote, pode ser visto como as características do MRs dimensionado para manter a vazão na saída do lote em 3xQpré-urb provocaram uma significativa redução na economia. Os resultados poderiam ter levado a uma alternativa mais econômica neste caso se, durante o dimensionamento, o descarregador de fundo tivesse sido mantido igual ao utilizado para 2xQpré-urb.

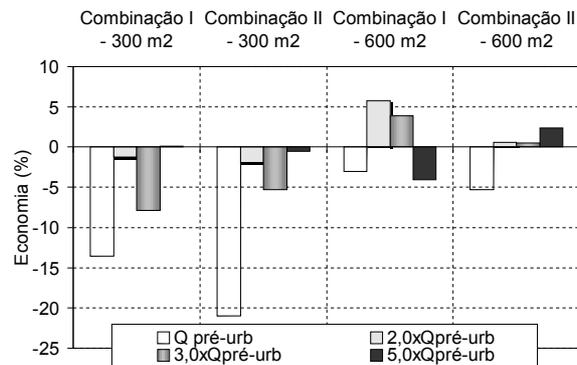


Figura 10 – Economia global

Na bacia formada pelos lotes com 600 m², para as duas combinações analisadas e para todas as vazões de restrição adotadas na saída dos lotes, os custos globais estiveram muito próximos aos custos da implantação da rede de drenagem na bacia sem controle, com uma varia-

ção percentual de mais ou menos 5% com relação ao valor de referência. Os custos de implantação dos MRs nestes lotes representaram desde 14 a 53% do custo das obras com as redes de drenagem, dependendo da vazão controlada, sendo que o percentual foi maior para as menores vazões de restrição controladas no lote.

O critério para adoção de uma ou outra combinação de tempos de retorno para dimensionamento pode ser estabelecido através da relação entre a economia global e a eficiência na bacia, conforme tabelas 3 e 4.

Tabela 3 – Economia x Eficiência com a implantação das combinações I e II – lote 300 m²

Vazão de Restrição	Custo global (R\$)			
	Combinação I		Combinação II	
	Econ. (%)	Efici. (%)	Econ. (%)	Efici. (%)
Qpré-urb	-13.5	0.73	-21.0	0.70
2.0xQpré-urb	-1.2	0.67	-2.0	0.66
3.0xQpré-urb	-7.9	0.59	-5.3	0.52
5.0xQpré-urb	0.1	0.39	-0.5	0.33
Sem MR			-0.7	

Tabela 4 – Economia x Eficiência com a implantação das combinações I e II – lote 600 m²

Vazão de Restrição	Custo global (R\$)			
	Combinação I		Combinação II	
	Econ. (%)	Efici. (%)	Econ. (%)	Efici. (%)
Qpré-urb	-3.0	0.73	-5.3	0.70
2.0xQpré-urb	5.8	0.67	0.6	0.66
3.0xQpré-urb	3.9	0.59	0.5	0.52
5.0xQpré-urb	-4.0	0.39	2.4	0.33
Sem MR			-0.7	

Nestas tabelas é possível identificar situações mencionadas na análise econômica de dimensionamento dos MRs, onde o critério de aumento do descarregador de fundo levou a estruturas anti-econômicas, até mesmo analisando conjuntamente com a rede de drenagem.

Os custos quantificados neste estudo referem-se às estruturas na bacia, portanto, sem o controle nos lotes, deveriam ser contemplados os custos adicionais para mitigar os impactos transmitidos para jusante.

DISCUSSÃO

Sob o ponto de vista de bacia e eficiência, a combinação I mostrou-se mais atrativa que a combinação II, principalmente ao fixar maiores vazões na saída dos lotes. Ao fixar 2xQpré-urb na saída do lote é possível trabalhar com níveis de eficiência muito próximos aos que seriam obtidos dimensionando os MRs para manter a vazão de pré-urbanização, e economizar no conjunto de obras de drenagem da bacia.

A combinação I, além de maior economia mostrou-se mais eficiente com relação à combinação II, principalmente para a bacia composta pelos lotes de 600 m². Por exemplo, na bacia formada por lote com 600 m², controlando o dobro da vazão de pré-urbanização na saída do lote e usando os critérios de dimensionamento da combinação I, é possível uma eficiência em torno de 66% no controle das vazões na saída da bacia e economizar 6% no conjunto de obras com relação aos custos globais da combinação II que produziria praticamente o mesmo impacto na bacia.

Este resultado indica que, por exemplo, em um loteamento, talvez seja economicamente mais eficiente a utilização de um reservatório controlando as vazões de uma área maior, que a distribuição de MRs em lotes; e ainda, que a distribuição de reservatórios de macroescala pode ser mais econômica à escala de bacia.

Com a finalidade de investigar a possível economia com a utilização de reservatórios de macroescala, foram simulados dois macrorreservatórios, em diferentes pontos da bacia formada por lotes com 300 m². Como são conhecidos os níveis de controle proporcionados pelos MRs em cada trecho de drenagem, o critério utilizado para dimensionar o reservatório de macroescala foi manter o mesmo nível de controle que acontecia com os MRs de lote, controlando a vazão de pré-urbanização. Foram selecionadas duas regiões na bacia, indicadas na figura 11, e na saída do trecho que drena a área correspondente foi introduzido o reservatório, e os MRs de lote foram removidos.

Na região da sub-bacia A, existem 720 lotes com MRs, totalizando um volume de armazenamento de 3.024 m³. O resultado da simulação com o reservatório de macroescala mostrou que seria necessário um volume de 1.200 m³ para manter a vazão na saída do trecho à mesma magnitude que ocorria com os MRs de lote. Na sub-bacia K, foi simulada uma região com 768 lotes, e o volume do reservatório de macroescala resultante foi de 1.320 m³, contra os 3.226 m³ que seria distribuídos nos lotes.

As informações obtidas junto ao Plano Diretor de Drenagem Urbana de Porto Alegre (IPH/DEP, 2002) indicam que o custo do m³ de armazenamento aberto em áreas públicas (praças), é de cerca de R\$ 100,00, bem inferior ao custo encontrado para os MRs de lote. Por exemplo, o custo de implantação dos MRs de lote na região da

sub-bacia A estaria em torno de R\$ 700.720, enquanto o custo do reservatório de macroescala seria de R\$ 132.000, representando uma economia de aproximadamente 430%. Caso houvesse necessidade de execução do reservatório de macrodrenagem enterrado, ou fosse necessária desapropriação de área, o custo de execução da obra pode chegar a R\$ 700,00/m³ (IPH/DEP, 2002), sendo que neste caso o macrorreservatório poderia ser aproximadamente 32% mais caro que a implantação dos MRs nos lotes.

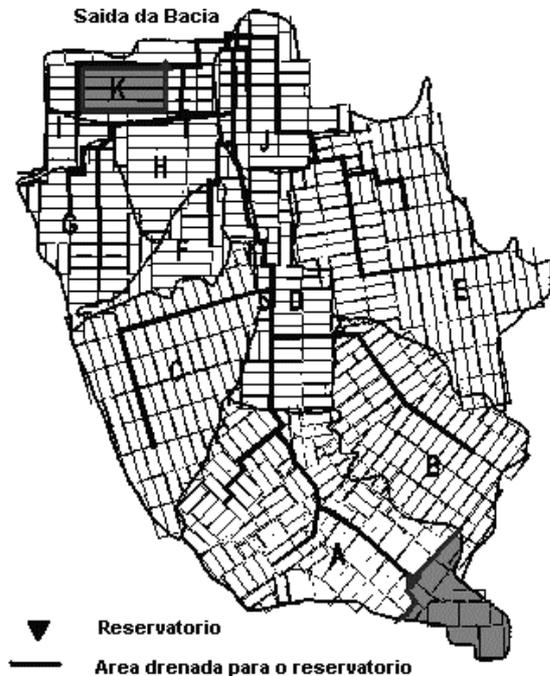


Figura 11 – Regiões simuladas com reservatório de macroescala

Embora o macrorreservatório aberto possa ser instalado com menor custo, deve-se considerar que as redes de drenagem a montante dele deverão ser dimensionadas para maiores picos de vazão, com maiores custos; e este custo não foi quantificado neste estudo. Seria interessante uma pesquisa buscando quantificar qual o número de reservatórios de macro-escala na bacia, bem como sua distribuição, que minimizassem o custo do sistema de macrodrenagem.

CONCLUSÕES

A análise econômica considerando as redes de drenagem dimensionadas em função do controle no lote, mostrou que é possível reduzir o custo de implantação das redes de macro e microdrenagem na bacia. A economia percentual com relação exclusivamente à implantação das

redes de drenagem chegou a 33% ao controlar $Q_{\text{pré-urb}}$ no lote, reduzindo para cerca de 14% ao controlar $5xQ_{\text{pré-urb}}$. Em alguns casos, a economia percentual nas redes de drenagem não foi muito significativa, mas deve-se considerar que os valores monetários representam uma grande soma de dinheiro, e uma grande economia aos cofres públicos.

Embora seja possível economizar com a implantação das redes de drenagem, o custo global das obras na bacia (redes de drenagem + MRs) foi em geral mais alto, chegando a ser 21% maior (conforme as características dos MRs utilizados), que a construção de uma rede de drenagem com capacidade suficiente para drenar as vazões geradas na bacia sem controle. No entanto, nesta análise não foram quantificados custos relacionados às obras necessárias para mitigar os impactos transferidos a jusante.

A adoção de uma vazão de restrição ou outra é função da relação custo x eficiência desejada na bacia, visto que quanto menor a vazão de restrição, maior eficiência do controle na bacia, porém maior o custo de implantação do MR. Por outro lado, a consequência do controle de vazões maiores na saída do lote é o aumento no custo das redes de drenagem. Para as vazões de controle maiores, principalmente, as redes de macrodrenagem constituíram a parte mais onerosa da implantação do conjunto de obras de rede de drenagem na bacia.

Para os parâmetros utilizados e a bacia simulada, se os MRs fossem implantados nos lotes, a combinação de tempos de retorno de dimensionamento que levaria a uma maior economia, acompanhada de eficiência considerável nas redes de macrodrenagem, seria o dimensionamento dos MRs e microdrenagem para uma chuva com TR de 5 anos, e o dimensionamento da rede de macrodrenagem para um TR de 10 anos. Tentando manter a eficiência na bacia em níveis próximos aos obtidos com o controle de $Q_{\text{pré-urb}}$, poderia ser utilizado o MR dimensionado para 5 anos de TR, e o controle de uma vazão de até $2xQ_{\text{pré-urb}}$. Com a manutenção desta vazão no lote é possível o dimensionamento de redes de drenagem aproximadamente 29% mais baratas que as necessárias na bacia sem controle, além de ser um MR de custo inferior que os dimensionados para o controle de vazões menores.

Com relação aos MRs de lote, a utilização do reservatório de macro-escala mostrou-se vantajosa nos casos onde é possível a implantação da estrutura aberta. Deve-se considerar, no entanto, que embora o macrorreservatório possa ser instalado com menor custo, as redes de macrodrenagem devem ser dimensionadas para maiores vazões de pico.

REFERÊNCIAS

AGRA, S. G., 2001. *Estudo Experimental de Microrreservatórios para o Controle do Escoamento Superficial*. Porto Ale-

- gre: 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).
- IPH/DEP, 2002. Porto Alegre. Prefeitura Municipal. Departamento de Esgotos Pluviais. *Plano Diretor de Drenagem Urbana*. Porto Alegre: UFRGS/IPH. 9V.
- SCHAAKE, J. C., 1971. Modeling Urban Runoff as a Deterministic Process. In: *Treatise Urban Water Systems*. Colorado State University, p. 343-401.
- 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).
- 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., TUCCI, C. E.M., 1996. Simulação hidrodinâmica de rede de condutos pluviais. In: *Métodos Numéricos em Recursos Hídricos*. Vol. 2. Porto Alegre: Ed. da Universidade: ARBH. p.99-154.

but technically or economically inefficient when the basin is analyzed as a whole. In this study the hydrological and economical effects of the use of micro-reservoirs for on-site detention were quantified, using mathematical modeling of a hypothetical basin, designed with the same characteristics as a basin studied in the Porto Alegre Urban Drainage Master Plan.

Key words: macrodrainage, microreservoir, control at the source, costs

Analysis of the impact of micro-reservoirs for on-site detention on the cost of a storm drainage network system

ABSTRACT

In expanding urban centers the storm drainage network becomes insufficient as occupation and imperviousness increase. As a direct consequence of this process peak and runoff volumes also increase, thus making it necessary to enlarge the storm drainage system. Sometimes, the enlargement is impracticable because of high costs and physical limitations. Urban Master Drainage Plans identify problems and define integrated solutions, trying to solve problems as close as possible to their origin. One of the ideas used, already taken from other countries' experience, is not to allow flow increase due to urbanization; one way to do this is to use on-site controls that can diminish runoff peak and volume, by improving infiltration and storage conditions. However, the impact, on the whole network due to control devices scattered throughout the basin, and the costs involved with its implementation are seldom studied. In general, studies regarding on-site control are limited to individual analysis of control devices, not considering planning at basin scale. In some cases, the control measure suggested are apparently acceptable when analyzed separately,