

AVALIAÇÃO DA APLICABILIDADE DE DISPOSITIVOS DE CONTROLE DE INUNDAÇÃO NO LOTE

Eng. Civil Msc. Lourenço Leme da Costa Junior¹ & Prof. Dr. Ademir Paceli Barbassa²

Resumo - Pesquisaram-se as possibilidades de aplicação de medidas de controle de inundação no lote à uma bacia urbana. As medidas adotadas foram microreservatórios e pavimentos permeáveis por se contar com estudos pilotos e simulações diversas. Escolheram-se as sub-bacias hidrográficas urbanas da Ponte Seca (SBHUPS), situadas em Jaboticabal – SP. As SBHUPS foram caracterizadas estatisticamente, sendo levantados vários parâmetros como áreas livres dos lotes permeáveis e impermeáveis, taxa de ocupação e taxa de ocupação e impermeabilização etc. Elegeram-se os principais parâmetros das duas medidas e verificaram-se quantos lotes os atenderam simultaneamente. Para microreservatórios o tipo de solo, o nível do lençol freático, a profundidade da camada impermeável e a área livre dos lotes atenderam às condições de instalação. A aceitação pelos moradores restringiu a adoção de ambas as medidas a 82,8% dos lotes ocupados. O emprego de pavimentos permeáveis foi limitada também pela área livre disponível a 80,7% dos lotes ocupados. Microreservatórios apresentaram menores custos, porem ainda considerados altos.

Abstract - This paper investigates into the possibility of on-site flood control in an urban basin. The flood control measures consisted of micro reservoirs and permeable pavements through pilot studies and various simulations. Urban hydrographic sub-basins in the city of Jaboticabal (SBHUPS) were statistically characterized surveying various parameters such as permeable and impermeable unconstructed areas, occupation ratio and occupation and impermeability ratio. The acceptable values of main parameters related both kinds of measures (soil type, topography, unconstructed areas, water table level etc.) were specified and the extent to which the urban plots attended to these specifications was studied. For micro reservoirs, specifications as regards the soil type, water table level, impermeable layer thickness and the unconstructed area of the plot, were satisfied. The lack of acceptance by the proprietors made both flood control measures in about 82,8% of the occupied

¹ Universidade Federal de São Carlos – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana – Rua José Batista Ferreira, 458 – Aparecida – Jaboticabal/SP CEP 14882-115 – Fone (16) 32032504, loueng@terra.com.br,

² Universidade Federal de São Carlos – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana – Rodovia Washington Luís (SP-310), Km 235 - São Carlos - São Paulo - CEP 13565-905 - Fone (16) 2608262, barbassa@power.ufscar.br

plots. Permeable pavements was restricted of the absence of unconstructed areas available in about 80,7% of occupied plots. Although the micro reservoir presented lesser costs, they are still considered to be high.

Palavras-chave - controle local de inundação, microreservatórios de retenção, pavimentos permeáveis

INTRODUÇÃO

Os efeitos da urbanização são as elevações das vazões de pico, aumento dos volumes de escoamento superficial direto, entre outros, são freqüentemente avaliados. As perdas humanas e materiais causadas pelas inundações são também muito divulgados no Brasil. A minimização destes efeitos e conseqüente redução dos prejuízos podem ser alcançados com o controle das inundações efetuado na bacia e no lote. O controle da inundação no local de geração do escoamento superficial, ou seja, no lote, pode ser viável e tem sido considerado atualmente. Estas medidas alternativas utilizam diferentes formas de reter e/ou deter a água como trincheiras de infiltração, microreservatórios, pavimentos permeáveis etc.

Estudos de controle no lote na Alemanha realizados por GROTEHUSMANN *et al.* (1994), mostraram através de simulações que com a combinação de medidas estruturais e não estruturais, utilizando uma combinação de trincheiras e tanques de infiltração obtiveram uma redução de 40% do escoamento superficial. Em Berlim HUHN e STECKER (1997) analisaram o uso de estruturas alternativas verificando reduções do escoamento superficial direto. Indicaram que os sistemas alternativos devem: “(i) evitar o escoamento superficial direto, minimizando a pavimentação da área, (ii) descentralizar a infiltração com a purificação das águas pluviais pela passagem no solo e (iii) descentralizar a retenção”.

AKAGAMA *et al.* (1997) descrevem o funcionamento de uma série de valas de infiltração, trincheiras de infiltração, camadas de pedregulhos com vazios (índice de vazios de 30%), para preservar a qualidade e quantidade da água de um tanque, com cinco anos de uso, na cidade de Tokyo, Japão. Concluíram que estas alternativas apresentaram alta eficiência, pois a preservação do meio ambiente foi alcançada.

Na Escócia JEFFERIES *et al.* (1999) avaliou o desempenho destas práticas alternativas de controle no lote e argumentaram que a principal característica e “*peça chave*” dessas técnicas é a manutenção ou programa de manutenção. Analisando, aproximadamente, 100 medidas de controle

implantados em diferentes escalas e aspectos construtivos, identificaram que a manutenção não foi abordada com a devida importância naquelas que não obtiveram sucesso.

MASCARÓ (1994) destaca o uso de canalizações laterais, feitas com pedras acomodadas à mão, em ruas não pavimentadas. Isto evitaria a formação de valas profundas, que dificultam o trânsito, em novos loteamentos, onde as vias não foram pavimentadas. Aponta também a possibilidade de uso de canais e tubulações para armazenamento por determinado período de tempo, podendo ser empregados para fins recreacionais e evitar a ocupação indevida.

No Brasil alguns autores avaliaram por meio de simulações e instalações piloto aspectos hidrológicos e hidráulicos e de custos envolvidos na implantação destas medidas. Estes estudos serão abordados na seqüência deste artigo, pois deles se obterão os parâmetros necessários ao estudo de sua implantação. Os lotes de uma bacia urbana foram então caracterizados de modo a se poder avaliar o atendimento das exigências de projeto das medidas.

A escolha para estudos de microreservatório de retenção e de pavimento permeável deveram-se também aos materiais e mão-de-obra que são facilmente encontradas nos mercados, além de atender às limitações de tempo e recursos financeiros na pesquisa.

MICRORESERVATÓRIO DE DETENÇÃO

Estes dispositivos têm como funções principais: *o aumento do tempo de armazenamento das águas pluviais, controle distribuído do escoamento na bacia hidrográfica, minimização dos efeitos da impermeabilização do solo urbano, recuperação da capacidade de amortecimento da bacia e elevação do tempo de concentração.*

Os locais preferenciais para implantação desses dispositivos são jardins, praças, quintais, estacionamentos e parques. A água armazenada nesses dispositivos pode ser utilizada para diversos fins, tais como: abastecimento de água (após tratamento), irrigação de grama e lavagem de superfícies ou automóveis, ou simplesmente, retidos para posterior descarga no sistema de microdrenagem urbana.

Segundo SUGIO et. al. (1995) *apud* CRUZ (1998) em simulações desenvolvidas com modelo próprio no Japão utilizando-se reservatórios residenciais para armazenamento de águas pluviais captadas nos telhados, de uma área residencial e comercial de 3,54 Km² da cidade de Miyazaki, concluíram que o uso de reservatórios duplos em cada residência, com volume variando de 12 a 20 m³, resultaria em reduções de vazão de pico de 60% na bacia em questão, aproximadamente.

GENS (1994) *apud* BARBOSA (1996) simulou o uso de microreservatórios em lotes hipotéticos de 360,0 m² com taxa de ocupação de 55% e analisou duas situações de locação dos dispositivos. A primeira composta por dois microreservatórios nas saídas dos sistemas coletores dos

telhados (duas águas) e a segunda situação por um microreservatório implantado na saída do lote. Os resultados obtidos descrevem uma situação extrema de taxa de ocupação, 100% de área impermeabilizada. A primeira situação possibilitou a recuperação da vazão de pico referente a ocupação original (55%) e a segunda, resultou na redução de 80% da vazão de pico do lote.

CRUZ (1998) desenvolveu estudos através de simulações com microreservatórios estabelecendo relações entre volume escoado e vazão de pico com taxa de impermeabilização para períodos de retornos de 2 e 5 anos, volumes de microreservatórios para diferentes taxas de impermeabilização e períodos de retorno e custos de instalação para vários volumes deste dispositivo. Estas relações são utilizadas na determinação de volumes e cálculo de custos nos itens seguintes.

PAVIMENTOS PERMEÁVEIS

Os pavimentos permeáveis são superfícies de blocos de concreto perfurados, preenchidos com areia e pedregulhos. As suas principais aplicações podem ser: áreas de aeroporto com pequena movimentação de veículos, estacionamentos em áreas residenciais, calçadas residenciais, pistas e estradas em manutenção e pistas de acesso de veículos de emergência ou de incêndio em áreas de apartamentos ou de escritórios, segundo o URBAN DRAINAGE AND FLOOD CONTROL DISTRICT (2002), da cidade de Denver – EUA.

Quanto aos seus sistemas de infiltração os pavimentos permeáveis são classificados em três categorias básicas descritas a seguir, segundo ARAUJO (1999), Sistema de infiltração total (SIT), Sistema de infiltração parcial (SIP) e Sistema de infiltração para controle da qualidade de água (SIC).

Para URBONAS e STAHR (1993) *apud* ARAUJO (1999) não existem limitações para a utilização dos pavimentos permeáveis. Quanto houver alto nível da camada impermeável do solo ou baixa permeabilidade do solo ou lençol freático com o nível elevado, este dispositivo poderá ser usado como um reservatório de detenção, devendo-se prever a instalação de uma superfície impermeável entre o solo e o reservatório de pedras e um sistema de drenagem com tubos perfurados.

Segundo FUJITA (1984) *apud* BARBOSA (1996) o pavimento permeável foi utilizado em um sistema experimental localizado em uma área densamente urbanizada de Tóquio, Japão e mostrou-se eficaz em calçadas, ruas estreitas e estacionamentos, em áreas de pouco tráfego. Em áreas movimentadas, este dispositivo teve os seus poros obstruídos rapidamente e sua função original alterada.

Em Yokohama, Japão foram instalados em uma área residencial, os pavimentos permeáveis em conjunção com tubos de infiltração, obtendo-se uma redução de 15 a 20% do escoamento de pico. Observou-se também neste experimento que o pavimento permeável apresentou maior durabilidade do que o impermeável, segundo WATANABE (1995) *apud* BARBOSA (1996).

CARACTERIZAÇÃO DAS SUB-BACIAS DA PONTE SECA EM JABOTICABAL/SP

Escolheram-se como áreas de estudo as Sub-bacias Hidrográficas Urbanas da Ponte Seca (SBHUPS), na região oeste da cidade, por apresentarem sérios problemas com inundações. As SBHUPS são compostas por 83 quadras e 1.777 lotes de tamanhos variados. Os dados relativos ao uso e ocupação dos lotes foram feitos a partir de coleta de dados de aerofotogrametria, do cadastro técnico da Prefeitura Municipal de Jaboticabal e de levantamento de campo. Para esses levantamentos, adotou-se a metodologia usada por FONTES (2000). A figura 2 apresenta em destaque a SBHUPS.

As características destes elementos como áreas, quantidades, usos e distribuição no espaço, foram relacionadas entre si, produzindo os seguintes parâmetros: (a) **Área do lote**: área total do lote (m^2); (b) **Área de projeção das construções**: corresponde às áreas edificadas nos lotes em projeção horizontal (m^2); (c) **Área livre**: correspondente à área do lote sem edificações (permeável e impermeabilizada) (m^2); (d) **Área permeável livre**: área livre do lote não impermeabilizada (m^2); (e) **Área impermeabilizada livre**: área livre do lote que foi impermeabilizada (m^2); (f) **Área impermeabilizada total**: somatória da área livre do lote que foi impermeabilizada (m^2) e da área de projeção das edificações (m^2); (g) **Taxa de ocupação (TO)**: relação entre a área construída em projeção horizontal e a área do lote (percentagem) e (h) **Taxa de ocupação e impermeabilização (TOI)**: relação entre a área construída em projeção horizontal acrescida da área impermeabilizada e a área do lote (percentagem).

As variáveis (a), (b) e (g) foram obtidas do levantamento cadastral e restituição aerofotogramétrica de 1995 fornecidos pela Prefeitura Municipal de Jaboticabal e os dados referentes às variáveis (c), (d), (e), (f) e (h) são referentes ao levantamento de campo realizado em 2002.

Dado o número de lotes (1777) da SBHUPS foi impossível realizar visitas a todos, por isso as coletas de campo foram baseadas em estudo estatístico dos lotes, descrito a seguir.

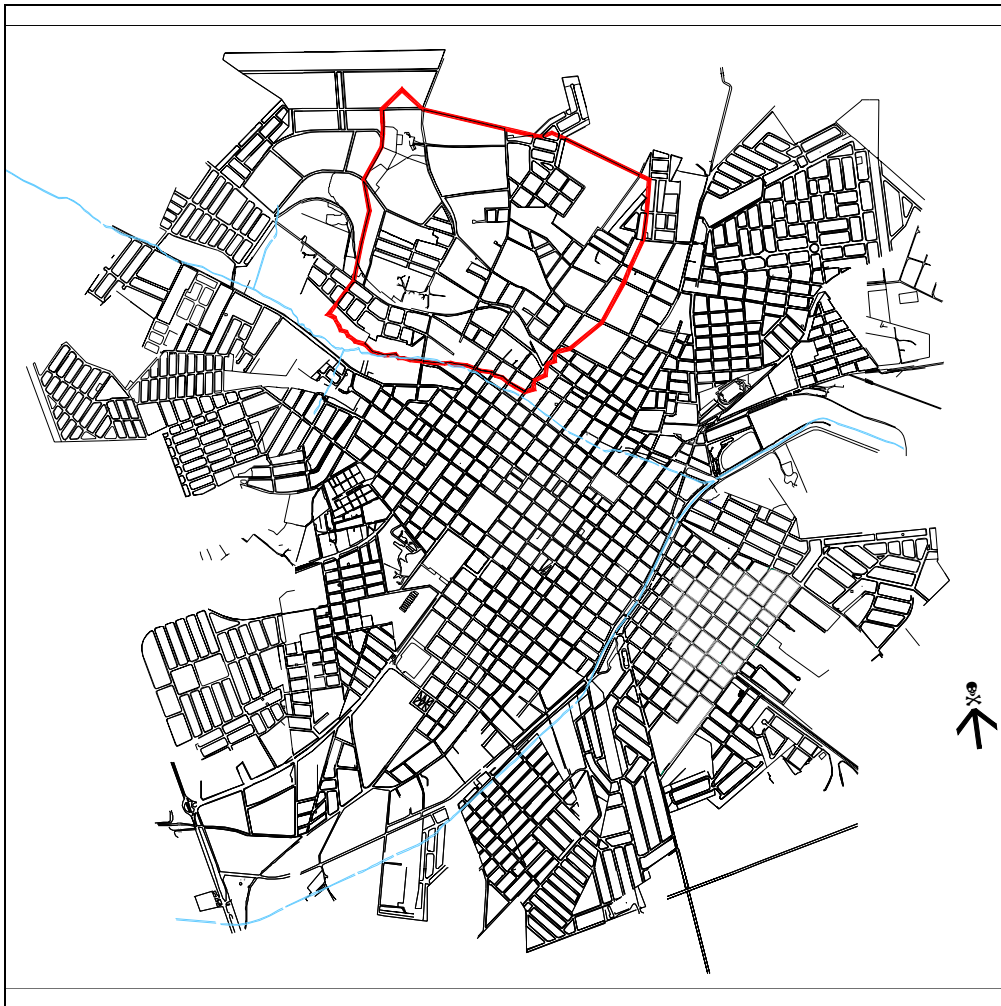


FIGURA 1 – Jaboticabal, destacando as Sub bacias Hidrográficas Urbanas da Ponte Seca

PLANEJAMENTO AMOSTRAL

O procedimento estatístico aplicado para as coletas de campo foi a amostragem estratificada aleatória proporcional (A.E.A.P.). Definiu-se o lote como elemento morfológico a ser amostrado, por ele estar presente em toda a área de estudo. A variável principal adotada para determinar o tamanho da amostra foi a Taxa de Ocupação (TO), por ela estar relacionada com as demais variáveis de interesse como área construída, área do lote, áreas livres etc.

Para determinar o tamanho da A.E.A.P. (n), com o número de lotes a serem visitados, foi usada a equação (1).

$$n = \frac{N * \sigma^2}{\sigma^2 + (N - 1) * \left(\frac{E}{z}\right)^2} \quad (1)$$

onde

σ^2 : variância da variável principal – Taxa de Ocupação do lote;

N: tamanho da população – número total de lotes;

E: erro máximo admitido na estimativa da média;

Z: quantil da distribuição normal correspondente a 95% de confiabilidade na estimativa da média.

A variância da TO para a área de estudo foi estimada a partir de dados cadastrais da Prefeitura de Jaboticabal do ano de 1995 ($\sigma^2 = (27,42)^2$). Adotou-se 4 % para o erro máximo admitido na estimativa da média, por limitação de tempo e recursos humanos para a pesquisa, além de estar dentro da faixa costumeiramente aceita menor que 5%.

Para associar o tamanho do lote às suas características de ocupação, a amostra foi estratificada a partir do tamanho do lote. O estrato é entendido como um subconjunto dos lotes da SBHUPS, onde o valor da área total está compreendido entre um intervalo de valores determinados.

Para amostragem proporcional dos lotes para cada um dos oito estratos utilizou-se a equação 02. Definido o número de lotes a serem amostrados por estrato, estes foram aleatoriamente sorteados para cada estrato. A tabela 1 apresenta a quantidade de lotes amostrados percentualmente e em valores absolutos nas colunas 3 e 4.

$$n_{estrato} = \frac{N_{estrato}}{N_{bhups}} * n \quad (2)$$

onde:

$n_{estrato}$: número de lotes por estrato para coleta de campo;

$N_{estrato}$: número total de lotes por estrato;

N_{bhups} : número total de lotes na SBHUPS (1777);

n: número de amostras para coleta de campo.

Os lotes sem edificações (“vazios”) na época do cadastramento urbano de 1995 correspondiam a 438 lotes do total de lotes da SBHUPS foram separados em um estrato específico (*estrato 08*), independente da área, pois sua Taxa de Ocupação (TO) era igual a zero. Notou-se, durante o levantamento de campo, que alguns desses lotes estavam “ocupados” por edificações, totalizando quatorze lotes. Durante as análises, estes lotes “ocupados”, foram incorporados em outros estratos. Dos quatorze lotes, seis lotes apresentavam as áreas variando entre 161 m² e 300 m² e foram incorporados no estrato 02, oito lotes apresentavam as áreas variando entre 301 m² e 600 m² e foram incorporados no estrato 03. As colunas 5 e 6 da tabela 1 mostram o número de lotes amostrados após a incorporação referida, notando-se que os lotes vagos reduziram de 24,39% para 15,85 % do total de lotes amostrados.

TABELA 1 - Quantidade de lotes amostrados por estratos para levantamento de campo

Estrato	Intervalo das áreas dos lotes	Amostragem inicial		Amostragem após redistribuição	
		Número de lotes	Porcentagem	Número de lotes	Porcentagem
01	Área menor que 160 m ²	9	5,48	9	5,48
02	Área entre 161 m ² e 300 m ²	62	37,80	68	41,46
03	Área entre 301 m ² e 600 m ²	40	24,39	48	29,27
04	Área entre 601 m ² e 900 m ²	5	3,05	5	3,05
05 e 06	Área entre 901 m ² e 1500 m ²	4	2,44	4	2,44
07	Maior que 1501 m ²	4	2,44	4	2,44
08	TO igual a zero	40	24,39	26	15,85
-	Total	164	100,0	164	100,0

AVALIAÇÃO DAS POSSIBILIDADES DE IMPLANTAÇÃO DAS MEDIDAS

Os usos de microreservatórios de retenção e de pavimentos permeáveis dependem, inicialmente, de fatores técnicos que permitam sua instalação, bem como da aceitação por parte dos moradores das SBHUPS. Os parâmetros considerados relevantes foram:

- Tipo de solo;
- Nível de água do lençol freático
- Profundidade da camada impermeável;
- Aceitação pelos moradores;
- Área livre dos lotes;
- Topografia;
- Custos.

Inicialmente os parâmetros *tipo de solo, nível de água do lençol freático e profundidade da camada impermeável e aceitação de implantação pelos moradores* foram analisados em conjunto os dois dispositivos. Na sequência foram analisados os parâmetros *área livre, topografia e custos*, para cada um deles. O lote será considerado *apto* para instalação das medidas de controle, caso atenda, simultaneamente, a todas variáveis listadas, exceto custos. Os custos podem ser impeditivos ou não, dependendo das formas de financiamento, grau de prioridade etc. As análises foram desenvolvidas, considerando a instalação dos dispositivos em lotes “ocupados”, correspondendo aos estratos 01 a 07.

ANÁLISE DO NÍVEL DO LENÇOL FREÁTICO E PROFUNDIDADE DA CAMADA IMPERMEÁVEL

Para analisar os parâmetros nível do lençol freático e tipo do solo seriam necessárias as execuções de trabalhos de sondagem na área de estudo, fato que não foi possível devido à ausência de tempo e recursos financeiros. Como alternativa procuraram-se trabalhos de sondagens realizados na área de estudo ou na região do município.

Segundo o Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Jaboticabal (1990), durante a execução do projeto do aterro sanitário em 1990, foram executadas sondagens para definição do nível do lençol freático. A tabela 2 apresenta os valores do nível do lençol freático e da profundidade da camada impermeável.

TABELA 2: Valores do nível do lençol freático e da camada impermeável para a área do aterro sanitário de Jaboticabal

Ponto de sondagem	Nível do lençol freático (m) (*)	Camada impermeável (m)
1	N.F.E	18,0
2	16,4	27,0
3	N.F.E	17,0
4	N.F.E	20,0
5	N.F.E	18,0
6	23,0	25,0
7	N.F.E	22,0
8	N.F.E	17,0

(*)N.F.E – Não Foi Encontrado. Fonte: SAEJ de Jaboticabal (1990)

Os valores encontrados do nível do lençol freático variaram entre 16,40 e 23,00 metros de profundidade. A profundidade da camada impenetrável variou entre 17 e 27 metros. Devido à distância entre a BHUPS e os pontos de sondagem, aproximadamente dez quilômetros, esta informação é vista com muita reserva. Entretanto, segundo depoimentos de técnicos de empresas de fundações e sondagens do município, o nível do lençol freático da região da BHUPS, varia entre 5 e 8 metros e da camada impermeável, entre 10 e 15 metros. Com base nestas informações, admite-se que os níveis do lençol freáticos e da camada impermeáveis, não foram fatores restritivos para as medidas de controle estudadas neste trabalho.

TIPO DE SOLO

A SBHUPS apresenta na sua parte alta, a predominância do latossolo vermelho escuro – fase arenosa e na parte baixa, o latossolo roxo. Segundo OLIVEIRA (1992), o latossolo vermelho escuro “*são solos bem acentuadamente drenados, ocorrendo, porém, drenagem moderada e mesmo drenagem tendendo a imperfeita*”, com características habituais de grande espessura, bom para lavoura, drenagem interna e bastante poroso, sendo comum porosidade total da ordem de 50%. O latossolo roxo, segundo OLIVEIRA (1992), é encontrado “*em relevo normalmente suave ondulado, com declividade que raramente ultrapassa 7%, são profundos, porosos, bem permeáveis mesmo quando muito argilosos*”.

Os aspectos dos solos da SBHUPS favorecem a utilização de dispositivos que potencializam a infiltração, tais como pavimentos permeáveis e microreservatórios de detenção. Estas características dos solos da área de estudo, portanto, não são restritivas para o uso das medidas de controle citadas.

ANÁLISE DA ACEITAÇÃO PELOS MORADORES

A instalação das medidas de controle do escoamento nos lotes deve levar em consideração a disponibilidade do morador em aceitar sua construção no interior do lote. Para quantificar este parâmetro, foi perguntado ao morador se “*para reduzir as enchentes no bairro, estaria disposto a instalar no seu lote, um dispositivo para conter a água de chuva*”. Não foram explicados ao morador o custo envolvido na construção da medida, a forma de funcionamento, a operação e a manutenção. Por isso, esse parâmetro é analisado com reserva. Mas, com a sua utilização, pode-se avaliar a sensibilidade dos moradores da BHUPS, em relação a alternativas de solução para os problemas decorrentes das inundações. A tabela 3 mostra o percentual de aceitação dos moradores da SBHUPS por estrato. A Aceitação média da SBHUPS é 82,8 %

A seguir foram feitas as análises da área livre, da topografia e dos custos, inicialmente para os microreservatórios de detenção e na seqüência, para os pavimentos permeáveis.

TABELA 3 - Porcentagem de aceitação pelos moradores da instalação de medidas de controle do escoamento no lote

Estrato	Aceitação pelos moradores da instalação de medidas de controle (%)
Área menor que 160 m ²	88,9
Área entre 161 m ² e 300 m ²	82,3
Área entre 301 m ² e 600 m ²	85,1
Área entre 601 m ² e 900 m ²	60,0
Área entre 901 m ² e 1500 m ²	60,0
Maior que 1501 m ²	100,0

MICRORESERVATÓRIOS DE DETENÇÃO

A utilização de microreservatórios de retenção deve observar algumas características físicas do local de implantação para garantir o seu adequado funcionamento. A seguir apresenta-se a análise dos parâmetros área levantados em campo.

Análise da **ÁREA LIVRE** dos lotes

A área necessária para instalação dos microreservatórios depende do seu volume. CRUZ (1998) quantificou os volumes para lotes com áreas variando entre 301 m² e 600 m². Admitiu-se, neste trabalho, a extrapolação destas estimativas para lotes menores que 300 m² e maiores que 600 m². Vê-se com reserva, a extrapolação para lotes maiores que 900 m². A porcentagem destes, entretanto, é pequena em relação ao total de lotes da SBHUPS.

A tabela 4 apresenta na coluna 02, a taxa de impermeabilização usada por CRUZ (1998), na coluna 03, a TOI média dos lotes amostrados na SBHUPS, na coluna 04, a área média dos lotes amostrados e na última coluna, os volumes de retenção estimados para os lotes amostrados, tendo como base de cálculo o valor da área média.

Para avaliar as possibilidades de instalação dos microreservatórios de retenção, adotou-se sua profundidade de 40 centímetros, ampliando assim, o número de lotes aptos. A tabela 5 apresenta os valores de área livre necessária para instalar esse dispositivo. Foi calculada pela divisão entre o volume de retenção estimado e a profundidade adotada. Nas colunas 04 e 05 são apresentadas, as porcentagens de lotes que possuem áreas permeáveis livres e áreas impermeabilizadas livres suficientes para a instalação do microreservatório de retenção.

A análise da tabela 5 mostra que o parâmetro *área livre* não é um quesito restritivo para a instalação de microreservatórios de retenção nos lotes amostrados. Porém, em grande parte deles,

as áreas impermeabilizadas deverão ser usadas, obrigando a quebra de pisos existentes, maiores custos e transtornos ao proprietário do imóvel.

TABELA 4 : Volumes de detenção estimados para lotes amostrados

Estrato	Area impermeabilizada do lote (%) (Cruz, 1998)	TOI Média dos lotes (%)	Área média Lotes (m ²)	Volume de detenção estimado (m ³)
Área menor que 160 m ²	100	97,8	141	0,59
Área entre 161 m ² e 300 m ²	80	83,0	245	1,02
Área entre 301 m ² e 600 m ²	75	75,7	382	1,25
Área entre 601 m ² e 900 m ²	75	73,6	684	1,95
Área entre 901 m ² e 1500 m ²	75	43,8	1.237	3,52
Maior que 1501 m ²	75	25,8	3.063	8,72

TABELA 5 – Porcentagem de lotes amostrados com área interna livre para a instalação do microreservatório de detenção

Estrato	Área livre necessária (m ²)	Percentual de lotes com <u>áreas livres impermeabilizadas</u> suficientes (%)	Percentual de lotes com <u>áreas livres permeáveis</u> suficientes (%)
Área menor que 160 m ²	1,47	67,0	33,0
Área entre 161 m ² e 300 m ²	2,55	51,5	48,5
Área entre 301 m ² e 600 m ²	3,12	39,6	60,4
Área entre 601 m ² e 900 m ²	4,87	0,0	100,0
Área entre 901 m ² e 1500 m ²	8,80	25,0	75,0
Maior que 1500 m ²	21,80	0,0	100,0

Análise da TOPOGRAFIA dos lotes

Esta variável não é restritiva à implantação de microreservatórios na SBHUPS, pois o solo apresenta condições favoráveis à infiltração. Os volumes armazenados não necessitarão ser escoados por gravidade para a rede de drenagem do arruamento, portanto os fundos dos reservatórios podem estar abaixo do ponto de descarga das águas pluviais na rede de drenagem do arruamento. A topografia também não seria restritiva se o volume fosse bombeado, porém este arranjo elevaria os custos.

Apesar disto é interessante avaliar a restrição topográfica na hipótese de o solo não apresentar boa infiltração. Na pesquisa de campo consideraram-se lotes com condições topográficas favoráveis à implantação aqueles com “*nível acima da rua*”. Os lotes no “*nível da rua e abaixo do nível da*

rua” teriam condições desfavoráveis para o uso de microreservatórios. A tabela 6 mostra os percentuais de lotes por estrato que têm condições favoráveis. Verifica-se que bem menos da metade dos lotes até 600 m² e um percentual ainda menor para os outros estratos possibilitariam a implantação de microreservatórios, significando uma restrição severa.

TABELA 6 - Lotes amostrados com condição topográfica favorável (cota) para instalação de microreservatórios

Estrato	Condição topográfica favorável (%)
Área menor que 160 m ²	67,0
Área entre 161 m ² e 300 m ²	52,9
Área entre 301 m ² e 600 m ²	51,1
Área entre 601 m ² e 900 m ²	40,0
Área entre 901 m ² e 1500 m ²	25,0
Maior que 1501 m ²	20,0

Análise de CUSTOS

Estimou-se o custo envolvido na implantação dos microreservatórios nos lotes que atenderam, simultaneamente, os parâmetros: tipo de solo, nível de água do lençol freático, profundidade da camada impermeável, aceitação pelos moradores, área livre. Note-se que a topografia deixou de ser restritiva porque o solo possui boa capacidade de infiltração. Assim a única limitação deveu-se à aceitação de instalação pelos moradores, cujo percentual foi apresentado na tabela 3. A tabela 7 mostra os lotes aptos para a instalação dos microreservatórios de retenção por estrato, representando 82,9% dos lotes ocupados (1239 aptos em 1495 lotes ocupados).

TABELA 7 - Lotes aptos para instalação de microreservatórios por estrato e na BHUPS

Estrato	Lotes aptos para instalação de microreservatórios	
	(%)	(no. lotes)
Área menor que 160 m ²	88,9	87
Área entre 161 m ² e 300 m ²	82,9	606
Área entre 301 m ² e 600 m ²	85,1	433
Área entre 601 m ² e 900 m ²	60,0	33
Área entre 901 m ² e 1500 m ²	60,0	26
Maior que 1501 m ²	100,0	54
Total	-	1239

Os custos apresentados para microreservatórios de detenção com volumes de até 3,0 m³ são baseados nos estudos de CRUZ (1998) e para volumes acima desse valor, os custos foram estimados.

A tabela 8 apresenta uma estimativa dos custos unitários e totais da implantação dos microreservatórios em 1239 dos lotes da SBHUPS (74,3% dos ocupados ou 62,5% do total). Observe-se que pode-se atender mais da metade dos lotes aptos com microreservatórios de 1 m³, e que os lotes menores que 600 m², perfazendo 91,1 %, podem ser atendidos com reservatórios de até 1,5 m³ reduzindo os custos total a R\$1.353.596,44.

TABELA 8 - Custos unitários e totais dos microreservatórios para a BHUPS

Estrato	Estimativa do volume de detenção (m ³) Tr 5 anos	Número de lotes (n)	Custo por lote (US\$)	Custo por lotes (R\$) (*)	Custo total (US\$)	Custo total (R\$) (*)
Área menor que 160 m ²	1	87	314,9	1.039,1	27.296,45	90.078,30
Área entre 161 m ² e 300 m ²	1	606	314,9	1.039,1	190.952,34	630.142,73
Área entre 301 m ² e 600 m ²	1,5	433	442,8	1.461,4	191.931,94	633.375,41
Área entre 601 m ² e 900 m ²	2	33	531,3	1.753,2	22.486,42	56.992,62
Área entre 901 m ² e 1500 m ²	4	26	864,7	2.853,5	92.013,93	74.205,18
Maior que 1501	9	54	1.698,4	5.604,7	73.031,20	303.645,96
Total		1239			541.951,57	1.788.440,19

(*) cotação do dólar R\$ 3,30 (10/01/2003).

PAVIMENTOS PERMEÁVEIS

Optou-se pelos blocos de concreto industrializados e vazados do tipo “S”. Para análise do uso do pavimento permeável, admitiu-se a extrapolação das seguintes condições e resultados do experimento de ARAUJO (1999) :

- (a) declividade de 2%;
- (b) taxa de infiltração do local superior a 7 mm/h;
- (c) tempo de concentração de 10 minutos;
- (d) período de retorno de 2 anos;
- (e) intensidade máxima de projeto de 94,83 mm/h;
- (f) pavimento permeável com sistema de infiltração total;
- (g) volume do reservatório de pedras igual a 0,03 m³ por metro quadrado de pavimento permeável.

Apresenta-se a seguir, a análise dos parâmetros área livre, topografia e custos para pavimentos permeáveis, considerando que os outros parâmetros foram analisados e atendidos.

Análise da ÁREA LIVRE dos Lotes

A tabela 9 apresenta a estimativa da área de pavimento permeável necessário por estrato, considerando, as áreas médias dos lotes amostrados na BHUPS. A área média de pavimento permeável por lote foi calculada dividindo o volume necessário do reservatório de pedras pela profundidade adotada de 0,15 metros.

TABELA 9 - Estimativa da área de pavimento permeável média por estrato

Estrato	Área média do lote (m ²)	Volume do reservatório de pedras necessário (0,03 m ³ /m ²)(*)	Área de pavimento permeável (m ²)
Área menor que 160 m ²	141	4,2	28,2
Área entre 161m ² e 300 m ²	245	7,3	49,0
Área entre 301m ² e 600 m ²	382	11,5	76,4
Área entre 601m ² e 900 m ²	684	20,5	136,8
Área entre 901m ² e 1500 m ²	1.237	37,1	247,4
Maior que 1501	3.063	91,9	612,6

(*) ARAÚJO (1999)

A tabela 10 apresenta na coluna 02, a área média necessária de pavimento permeável por estrato e nas colunas 03 e 04, o percentual de lotes com área livre suficiente e área livre insuficiente, respectivamente. A coluna 05 apresenta o percentual de lotes aptos, segundo o parâmetro área livre. Os estratos 01, 02 e 03 possuem uma pequena quantidade de lotes com área livre insuficiente e nos estratos 05, 06 e 07 a área não é um quesito restritivo.

Verifica-se da tabela 10 que é possível assentar pavimentos permeáveis em grande percentual de lotes (em 1419 dos 1495 lotes ocupados), ou 79,8% lotes na SBHUPS possuem área livre para a instalação de pavimentos permeáveis.

TABELA 10 - Porcentagem de lotes amostrados com área interna suficiente para a instalação de pavimentos permeáveis

Estratos	Área necessária (m ²)	Lotes com área livre impermeabilizada. (%)	Lotes com área livre permeável (%)	Lotes com área livre permeável ou impermeabilizada (%)
Área menor que 160 m ²	28,2	88,9	0,0	88,9
Área entre 161m ² e 300 m ²	49,0	73,5	17,6	91,1
Área entre 301m ² e 600 m ²	76,4	46,8	53,2	100,0
Área entre 601m ² e 900 m ²	136,8	100,0	0	100,0
Área entre 901m ² e 1500 m ²	247,4	100,0	0	100,0
Maior que 1501m ²	612,6	100,0	0	100,0

Análise da TOPOGRAFIA dos Lotes

A topografia dos lotes não necessitou ser analisada para este dispositivo de controle, pois admitiu-se que o volume foi retido, portanto infiltrado. Um solo com boas características de infiltração seria suficiente.

Avaliação de CUSTO

Estimou-se o custo envolvido na implantação dos pavimentos permeáveis nos lotes que atenderam, simultaneamente, os parâmetros: tipo de solo, nível de água do lençol freático, profundidade da camada impermeável, aceitação pelos moradores, área livre, sendo a topografia não restritiva a este dispositivo. A tabela 11 mostra os lotes aptos para a instalação dos pavimentos permeáveis. O número de lotes *aptos* é 1.207, representando 80,7% do total de lotes ocupados.

Avaliaram-se os custos para os 1.207 lotes que atenderam a todos os parâmetros. Os parâmetros restritivos foram a área livre e a aceitação pelos moradores. A tabela 12 apresenta os custos de implantação do pavimento permeável, calculado a partir da área média por lote. Adotou-se o custo por metro quadrado igual a US\$ 10,1, segundo ARAUJO (1999). A tabela 12 na coluna 03 apresenta a quantidade de lotes aptos, nas colunas 04 e 05 os custos por lote e nas colunas 06 e 07, os custos globais para a BHUPS. A implantação da medida nos lotes menores que 600 m², representando 1094 lotes (90,6% dos lotes aptos), respondem por 59,2% dos custos, enquanto lotes acima 600 m² demandam 40,8 %.

TABELA 11 - Lotes aptos para instalação de pavimentos permeáveis por estrato e na BHUPS

Estrato	Lotes <i>aptos</i> para instalação de pavimentos permeáveis	
	(%)	(n)
Área menor que 160 m ²	77,7	76
Área entre 161 m ² e 300 m ²	79,4	585
Área entre 301 m ² e 600 m ²	85,1	433
Área entre 601 m ² e 900 m ²	60,0	33
Área entre 901 m ² e 1500 m ²	60,0	26
Maior que 1501 m ²	100,0	54
Total		1207

TABELA 12 - Custos de instalação dos pavimentos permeáveis na BHUPS

Estrato	Área necessária (m ²)	Número de lotes (n)	Custo por lote (US\$)	Custo por lote (R\$)	Custo total na BHUPS (US\$)	Custo total na BHUPS (R\$)
Área menor que 160 m ²	28,2	76	284,8	939,9	21.646,3	71.432,8
Área entre 161 m ² e 300 m ²	49,0	585	494,9	1.633,2	289.516,5	955.404,4
Área entre 301 m ² e 600 m ²	76,4	433	771,6	2.546,4	334.120,1	1.102.596,4
Área entre 601 m ² e 900 m ²	136,8	33	1.381,6	4.559,5	45.595,4	150.464,9
Área entre 901 m ² e 1500 m ²	247,4	26	2.498,7	8.245,8	64.967,2	214.391,8
Maior que 1501 m ²	612,6	54	6.187,2	20.417,9	334.112,0	1.102.569,7
Total		1.207			1.089.957,6	3.596.860,3

(*) Cotação do dólar R\$ 3,30 (10/01/2003).

CONCLUSÕES

Avaliou-se neste artigo a aplicabilidade de medidas de controle de inundação no lote as sub-bacias hidrográficas urbanas situadas no bairro Ponte Seca (SBHUPS) de Jaboticabal – SP. As SBHUPS foram escolhidas devido aos freqüentes problemas de inundações a que estão sujeitas. Como medidas de controle optou-se por microreservatórios e pavimentos permeáveis, por já se contar com vários estudos piloto e simulações diversas.

Para análise das possibilidades de instalação as sub-bacias foram caracterizadas através suas taxas de ocupação, taxa de ocupação e impermeabilização, áreas livres permeáveis e não permeáveis, tipo de solo, topografia e etc. Elegeram-se também os parâmetros principais dos

microreservatórios e pavimentos permeáveis, verificou-se o percentual de lotes que atenderam simultaneamente eles e então os custos de implantação.

Microreservatórios tiveram suas exigências quanto ao tipo de solo, nível de água do lençol freático, profundidade da camada impermeável, área livre para instalação, atendidos. Cota topográfica não foi restritiva à medida que o solo oferece condições satisfatórias à infiltração. A limitação de uso ficou definida pela aceitação dos moradores da instalação dos dispositivos, sendo que 82,9 % deles concordam com a medida. Este dado mostra a disposição da grande maioria dos moradores e, ressalte-se, não apenas daquelas que sofrem os efeitos das inundações.

Pavimentos permeáveis teve seu uso restringido pelos parâmetros área livre e aceitação pelos moradores. A aceitação da instalação pelos moradores é a mesma de microreservatórios, pois não se fez diferenças ao questioná-los. O parâmetro área livre apresentou pequeno percentual de restrições. Os lotes aptos instalação do pavimento permeável correspondem então a 80,7 %.

Notou-se que se o solo não mostrasse boas características de infiltração, a topografia seria um fator que limitaria a menos de 50% os lotes aptos à instalação dos microreservatórios e mesmo de pavimentos permeáveis, conforme mostra a tabela 6.

Os custos para instalação dos microreservatórios representam cerca da metade dos custos necessários à instalação de pavimentos permeáveis. Os valores apresentados são altos, entretanto deve-se levar em conta na sua análise, os benefícios que cada um traga, a forma de pagamento incluindo aí a participação dos moradores e do município, fatores que não puderam ser abordados neste trabalho por falta de tempo.

Forneceu-se um método para análise da aplicabilidade de medidas de controle no lote e mostrou-se que os custos de implantação são consideráveis. Espera-se que novos trabalhos introduzam outros aspectos na análise e que se estudem possibilidades de redução nos custos unitários das medidas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AKAGAWA, Y; MATSUMOTO, Y; ZAIZEN, M.(1997). The inspection of actual runoff control facilities five years after construction. Water Science Technology, vol 36, n° 8-9, pg 373-377. Ed. Elsevier Science Ltd.
- ARAÚJO, P.R. (1999). Análise experimental da eficiência dos pavimentos permeáveis na redução do escoamento superficial. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Porto Alegre. RS. 30 de junho de 1999.

- CRUZ, M. A. S. (1998). Controle do Escoamento no Lote com Detenção. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Pesquisas Hidráulicas – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental – Dissertação de Mestrado.
- FONTES, A. R. M. (2000) - Estudo Analítico da Morfologia Urbana no processo de urbanização visando o planejamento de sistema de drenagem na cidade de São Carlos – São Carlos: Universidade Federal de São Carlos – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Urbana – Dissertação de Mestrado.
- GENZ, F. (1994). Parâmetros para a previsão e controle de cheias urbanas. Porto Alegre: UFRGS - Curso de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. D180. Dissertação de Mestrado.
- GROTEHUSMANN, D.; KHELIL, A.; SIEKER, F. E UHL, M. (1994) – Alternative urban drainage concept and design. Water Science Technology, v. 29, n. 01-2, p. 277-282.
- JEFFERIES, A.; AITKEN, A.; MACDONALD, K. e MCKISSOCK, G. (1999). Assessing the performance of urban bmp's in Scotland. Water Science Technology, Vol. 39, nº 12, pg. 123-131. Ed. Elsevier Science Ltd.
- MASCARÓ, J. L. (1994). Manual de loteamentos e urbanizações. Editora SAGRA, Porto Alegre, RG.
- OLIVEIRA, J.B. (1992). Classes gerais de solos do Brasil: guia auxiliar para seu reconhecimento. Jaboticabal, FUNEP.
- OLIVEIRA, R. C. (1999) – Medidas não estruturais na prevenção e controle de enchentes em áreas urbanas, como subsídios para o planejamento de uso e ocupação do solo: estudo de caso – bacia do córrego do Gregório – São Carlos (SP). São Carlos: Universidade de São Paulo. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos. Departamento de Hidráulica e Saneamento.
- SERVIÇO AUTÔNOMO DE ÁGUA E ESGOTO DE JABOTICABAL (1990). Projeto executivo do aterro sanitário de Jaboticabal. SAAEJ. Jaboticabal/SP.
- URBONAS, B. (1994). Assessment of stormwater bmps and their technology. Water Science Technology. Vol. 29. n. 1-2, pg. 347-353.