

# ANÁLISE DO EFEITO DOS RESERVATÓRIOS DE DETENÇÃO DOMICILIARES NO ESCOAMENTO SUPERFICIAL URBANO, COM INSERÇÃO PARCIAL DA ÁGUA PRECIPITADA, PELA ESTIMATIVA DE VAZÕES GERADAS EM UMA ÁREA URBANIZADA HIPOTÉTICA

Marcelo Martinelli Francischet<sup>1</sup>\*; José Eduardo Alamy Filho<sup>2</sup>

**Resumo** – Os reservatórios de retenção domiciliares de armazenamento temporário da água de chuva controlam o pico de vazão do escoamento superficial de um lote urbano. Porém, seu efeito em relação a uma área loteada, ou à bacia hidrográfica da qual está localizada, está vinculado às características intrínsecas da região e deve ser estudado e avaliado. Este trabalho verifica as consequências da implantação do dispositivo por meio do estudo de simulações hidrológicas desenvolvida em *Visual Basic for Applications* que abrangem a transformação chuva/vazão de uma área loteada. O dimensionamento do reservatório domiciliar foi realizado para uma chuva inicial com período de retorno de 05 anos e duração de 10 minutos, sendo testado para as chuvas de projeto de 02, 05, 10, 15, 20, 25, 50 e 100 anos de período de retorno, com duração de 30 minutos. A distribuição temporal empregada foi a maior tormenta registrada no Município de Uberlândia (MG), referente ao ano de 2006. O reservatório de retenção estudado possui volume de amortecimento de 2,0 m<sup>3</sup>, proporcionando atenuações da vazão de pico da área simulada na ordem de 17,39%, 22,70%, 25,22%, 26,69%, 27,37%, 28,08%, 29,67% e 31,22%, respectivamente, para as chuvas de projeto citadas.

**Palavras-Chave:** drenagem urbana; escoamento superficial; reservatório de retenção.

## ANALYSIS OF EFFECT OF ON-SITE STORMWATER DETENTION IN URBAN RUNOFF WITH INSET PARTIAL PRECIPITATED WATER, BY ESTIMATING FLOW GENERATED IN A HYPOTHETICAL URBANIZED AREA

**Abstract** – On-site stormwater detention (OSD) control the peak flow of runoff from an urban lot. However, its effect in relation to a subdivided area, or watershed which is located, is linked to the intrinsic characteristics of the region and should be studied and evaluated. This work reports the effects of the implantation of the device through the study of hydrological simulations developed in *Visual Basic for Applications* covering transformation rain/flow area allotted. The sizing of the reservoir was carried to a rain initial payback period of 05 years and duration of 10 minutes, being tested for the rains project for the recurrence periods of 02, 05, 10, 15, 20, 25, 50 and 100 year, lasting 30 minutes. The temporal distribution employed was the largest storm recorded in Uberlândia

<sup>1</sup> Professor Substituto da Faculdade de Engenharia Civil na Universidade Federal de Uberlândia (UFU), Av. João Naves de Ávila, 2121 – Bloco 1Y – Campus Santa Mônica, CEP: 38.400-902 - Uberlândia – Minas Gerais – Brasil. Fone: (34)-3239-4170, Fax: (34)3239-4159. E-mail: mmfrancischet@bol.com.br.

<sup>2</sup> Professor Doutor da Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Federal de Uberlândia (UFU), Av. João Naves de Ávila, 2121 – Bloco 1Y – Campus Santa Mônica, CEP: 38.400-902 - Uberlândia – Minas Gerais – Brasil. Fone: (34)-3239-4170, Fax: (34)3239-4159. E-mail: zealamy@yahoo.com.br

(MG) for the year 2006. The reservoir detention has studied damping volume of  $2.0 \text{ m}^3$ , providing attenuation of peak discharge of the simulated area of around 17.39%, 22.70%, 25.22%, 26.69%, 27.37 %, 28.08%, 29.67% and 31.22%, respectively, for the rains project.

**Keywords:** urban drainage; runoff; On-site stormwater detention (OSD).

## 1 INTRODUÇÃO

Conforme Canholi (2005) a drenagem urbana no Brasil sempre “foi abordada de maneira acessória” no planejamento urbano territorial, sendo que o mesmo vem sofrendo alterações em relação às magnitudes de vazões, de volumes excedentes e de velocidades do escoamento pelo processo de urbanização, cuja taxa vem crescendo nas últimas décadas. Para que se possa reverter este processo, ou atenuá-lo, trazendo-o aos moldes da bacia sem ocupação, o reservatório de detenção domiciliar, é uma medida estrutural que pode ser viável, devido ao seu baixo custo e considerável eficiência de atenuação.

O presente trabalho estabeleceu os hidrogramas gerados pelo lote padrão urbanizado, utilizando-se o método Santa Bárbara, e pelo reservatório de detenção, utilizando-se os métodos de Baker para o seu dimensionamento e o de propagação de cheia “*routing*”, ou método modificado de Pulz, para a sua verificação, proporcionando um volume de amortecimento específico adotado, prosseguindo pela programação em *Visual Basic for Applications* para a simulação hidrológica do escoamento superficial em uma área urbanizada hipotética.

Os objetivos deste estudo referem-se ao estabelecimento das vazões provocadas pelo lote padrão urbanizado e a devida atenuação das mesmas pela utilização do reservatório de detenção domiciliar, para verificação da eficiência do dispositivo. A inserção parcial no reservatório das águas precipitadas, por meio da utilização da caixa servidora, também foi utilizada visando à viabilidade de redução dos volumes requeridos pelo dispositivo.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

A célula inicial da transformação chuva/vazão foi o lote padrão da Figura 1, cuja obtenção de suas vazões de saída (vazões de entrada do reservatório), foi realizada pelo método Santa Bárbara, sendo adotadas as seguintes características físicas: área do lote de  $300 \text{ m}^2$  ( $10 \times 30 \text{ m}$ ), com 70% de área de telhado, 20% de área gramada e o restante, 10%, de piso pavimentado, conforme Figura 1.

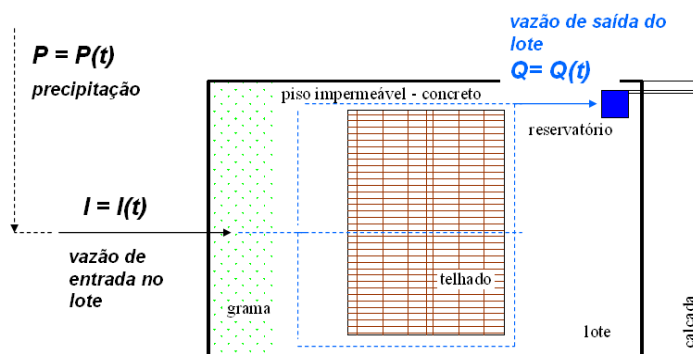


Figura 1 – Lote padrão urbanizado

O lote responde com uma vazão de entrada  $I$  induzida por uma precipitação  $P$ , que gera a vazão de saída do lote, ou a vazão afluyente ao dispositivo de detenção, equivalente aos termos  $Q$  da Equação (1) do método Santa Bárbara, conforme Tomaz (2002).

$$Q_j = Q_{j-1} + K_r \cdot (I_{j-1} + I_j - 2 \cdot Q_{j-1}) \quad (1)$$

Na Equação (1),  $Q_j$  é a vazão de saída do reservatório no tempo ( $j$ ), em  $m^3/s$ ;  $Q_{j-1}$  é a vazão de saída do reservatório no tempo ( $j-1$ ), em  $m^3/s$ ;  $I_j$  é a vazão de entrada para o reservatório no tempo ( $j$ ), em  $m^3/s$ ;  $I_{j-1}$  é a vazão de entrada para o reservatório no tempo anterior ( $j-1$ ), em  $m^3/s$ ;  $K_r$  é o coeficiente de retardo, sendo  $= \Delta t / (2 \cdot t_c + \Delta t)$ , adimensional.

A distribuição temporal adotada foi o hietograma da chuva crítica para o município de Uberlândia (Figura 2), referente à precipitação máxima diária anual de 2006.

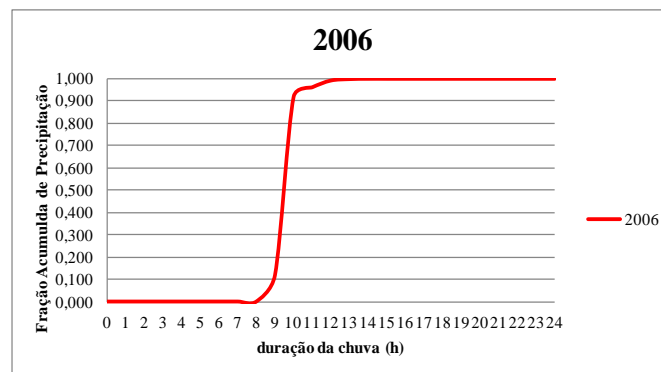


Figura 2 – Hietograma da chuva crítica utilizado no estudo

O tempo de concentração do lote padrão foi calculado conforme Tucci, Porto e Barros (1995), conforme a Equação (2), onde  $t_i$  é decorrido até atingir a rede de drenagem, usualmente a primeira boca-de-lobo, e  $t_t$  é decorrido na translação na rede de drenagem.

$$t_c = t_i + t_t \quad (2)$$

Na Equação (2),  $t_i$  é o tempo inicial decorrido até atingir a rede de drenagem;  $t_t$  é um tempo de translação na rede de drenagem.

As alturas pluviométricas para a chuva inicial e máxima para dimensionamento e verificação, foram calculadas pela Equação (3), referente a equação de chuva do município de Uberlândia.

$$i = \frac{35,576 \times T_r^{0,179}}{(t + 16,0)^{0,879}} \quad (3)$$

Na Equação (3),  $i$  é a intensidade de chuva, em  $mm/min$ ;  $T_r$  é o período de retorno, em anos; e  $t$  é a duração da chuva, em  $min$ .

O dimensionamento preliminar do reservatório foi feito por meio do método de Baker, que utiliza a Equação (4).

$$\frac{V_s}{V_{depois}} = 1 - \alpha \quad (4)$$

Na Equação (4),  $V_s$  é o volume do reservatório de detenção ( $m^3$ );  $V_{depois}$  é o volume do *runoff* do escoamento ( $m^3$ );  $\alpha = Q_{antes} / Q_{depois}$ , sendo  $Q_{antes}$  a vazão de pico do lote natural e  $Q_{depois}$  a vazão de pico do lote ocupado, em ( $m^3/s$ ).

Para a verificação do funcionamento do reservatório domiciliar, foi utilizado o processo de propagação *routing*, o método modificado de *Pulz* elaborado em 1928, Equação (5), que não dimensiona o reservatório, apenas verifica o seu funcionamento, em função de suas características adotadas preliminarmente pelo método de *Baker*.

$$\frac{dS}{dt} = I - Q \quad (5)$$

Na Equação (5),  $S$  é o armazenamento;  $t$  é o tempo;  $I$  é a vazão de entrada do reservatório;  $Q$  é a vazão de saída do reservatório.

O dimensionamento do reservatório de detenção domiciliar foi realizado com a chuva inicial de projeto com o período de retorno de 05 anos e duração de 10 min e verificado com a chuva máxima de 100 anos e duração de 30 min, como recomenda o DAEE/CETESB (1980) para um sistema de drenagem urbana que deve ser dimensionado “tanto para a chuva inicial de projeto, como para a chuva máxima de projeto”.

A configuração proposta para o reservatório de detenção domiciliar deste estudo tem dois orifícios de fundo e vertedor de emergência apenas para as chuvas com período de retorno de 200 anos, cuja largura é de 26 cm e pode ser verificada na Figura 3.

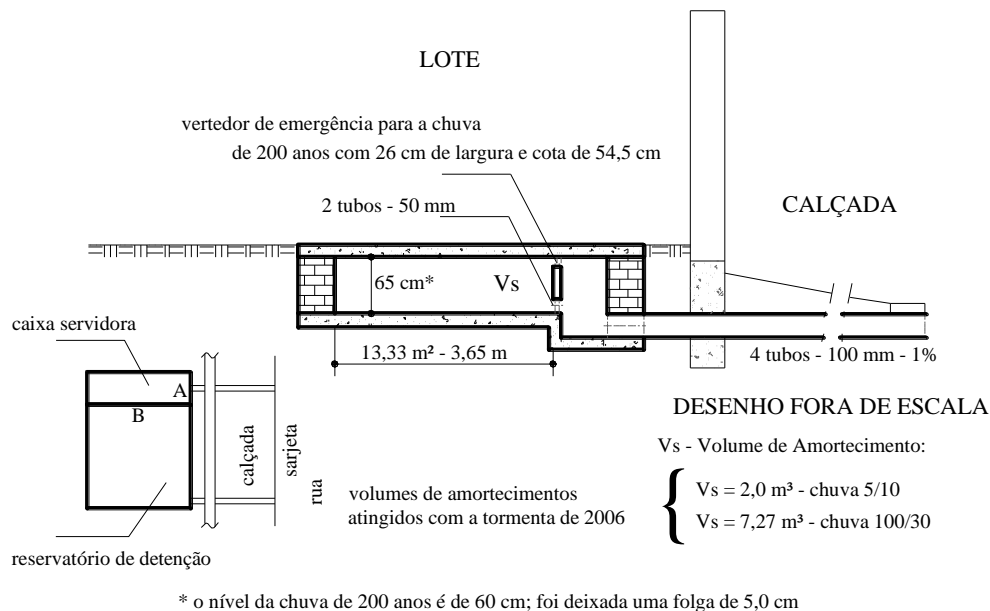


Figura 3 – Esquema de reservatório de detenção domiciliar proposto

Desta forma, a simulação hidrológica foi desenvolvida em *Visual Basic for Applications*, utilizando-se da área indicada da Figura 4, cujo valor é de  $2,77 km^2$ , onde foi desenvolvida uma urbanização hipotética, pois a ocupação do bairro Shopping Park, na cidade de Uberlândia, ainda se encontra em condição rural, que se situa a montante do anel viário existente, cuja infraestrutura possui aterro que divide a bacia hidrográfica do Córrego da Lagoinha e impede a transposição das águas para jusante, tendo como único caminho o curso de água natural.

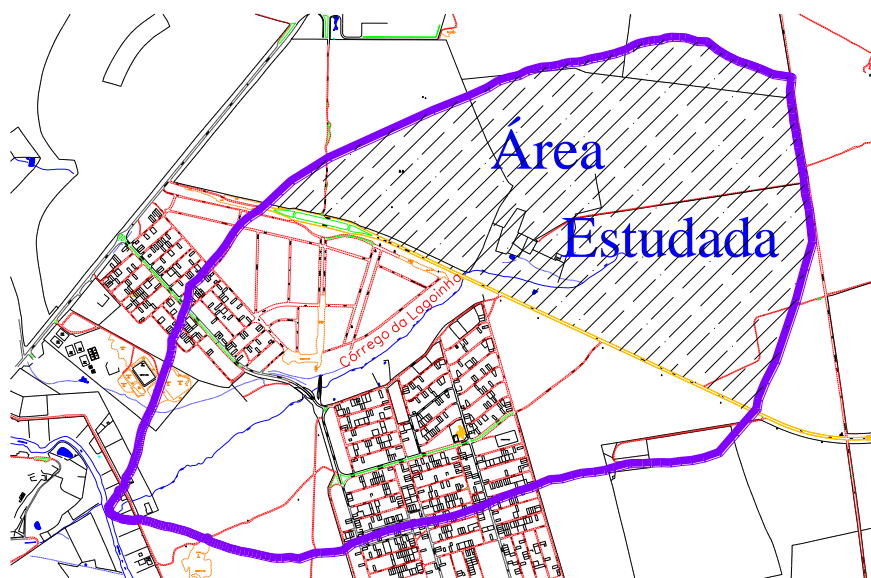


Figura 4 – Área a ser urbanizada hipoteticamente

O número de curva  $CN$  da bacia em estudo, utilizado no dimensionamento do reservatório de detenção e na simulação hidrológica, tanto urbanizado como em condições de floresta, foi determinado pela média ponderada dos valores de  $CN$ , cujos valores são 80 e 68, respectivamente.

Para a determinação do tempo de concentração  $t_c$  da bacia em estudo foi utilizado o método da velocidade ou método cinemático, cujo valor aproximado é de 30 min.

A simulação hidrológica estima o escoamento dos 17 trechos de galerias desenvolvidos de microdrenagem para o local, onde os hidrogramas das áreas contribuintes foram elaborados com o método  $SCS$  que utiliza o hidrograma unitário e o processo de convolução.

Assim, a programação simulou o escoamento superficial da área com lotes urbanizados sem o reservatório de detenção domiciliar e, com lotes urbanizados utilizando-se do dispositivo de acumulação. Os resultados destas vazões encontradas foram comparadas entre si para a obtenção da eficiência deste dispositivo quanto à atenuação proporcionada à vazão de cheia.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A configuração deste reservatório seguiu a ideia da inserção parcial da água precipitada no lote por meio da caixa servidora ligada diretamente à sarjeta por tubos, abastecidos por orifícios, mantendo um valor fixo de vazão ( $0,0139 \text{ m}^3/\text{s}$ , para o caso) e vertedor, que serve o reservatório com a vazão excedente, evitando a armazenagem de volumes e vazões insignificantes, reduzindo a área de fundo e o volume necessários ao seu desempenho.

As eficiências relativas ao reservatório de  $2,0 \text{ m}^3$ , para as chuvas com períodos de retorno de 2, 5, 10, 15, 20, 25, 50 e 100 anos, com durações de 30 min, com inserção parcial da chuva no reservatório de detenção, estão relacionadas na Tabela 1, onde as mesmas aumentam com o crescimento dos períodos de retorno, pois, a água excedente encaminhada ao reservatório é maior devido à altura pluviométrica daquele período de retorno ser maior e sobrar mais água escoada advinda do lote na caixa servidora, onde se conclui então, que “quanto maior a chuva, maior é a diferença entre vazão do lote e o valor fixado, ou seja, maior é o volume a ser amortecido”.

Tabela 1 – Eficiências do reservatório com volume de 2,0 m<sup>3</sup> - inserção parcial

chuvas PARCIAIS	eficiência Reservatório	eficiência Reservatório + Lote	Qpico da Simulação sem Reservatório (m <sup>3</sup> /s)	Qpico da Simulação com Reservatório (m <sup>3</sup> /s)	eficiência Simulação
1	2	3	4	5	6
Tr 2 - 2,0 m <sup>3</sup> - 30 min	88,51%	33,63%	8,007	6,614	17,39%
Tr 5 - 2,0 m <sup>3</sup> - 30 min	85,99%	43,95%	14,305	11,058	22,70%
Tr 10 - 2,0 m <sup>3</sup> - 30 min	85,22%	48,90%	19,044	14,240	25,22%
Tr 15 - 2,0 m <sup>3</sup> - 30 min	85,02%	51,32%	21,908	16,061	26,69%
Tr 20 - 2,0 m <sup>3</sup> - 30 min	84,96%	52,88%	23,899	17,358	27,37%
Tr 25 - 2,0 m <sup>3</sup> - 30 min	84,93%	54,00%	25,573	18,391	28,08%
Tr 50 - 2,0 m <sup>3</sup> - 30 min	84,91%	57,07%	30,642	21,550	29,67%
Tr 100 - 2,0 m <sup>3</sup> - 30 min	84,94%	59,63%	35,859	24,666	31,22%

Como a vazão de saída do reservatório é menor do que a que a vazão de entrada, a soma da vazão amortecida no reservatório com a vazão fixa da caixa servidora, provoca uma maior eficiência na comparação com a vazão gerada no lote sem a utilização do reservatório, conforme o aumento do período de recorrência.

Mesmo que o reservatório não tenha sido verificado para a chuva de 200 anos, foi notado que o dispositivo atenua a chuva em 53,60%, sendo que se o dimensionamento fosse feito para esta chuva, o reservatório teria dimensões, que talvez resultasse em uma eficiência maior.

Vale notar ainda que esta configuração privilegia as chuvas com grandes intensidades, tanto pela retirada do vertedor para as chuvas de interesse, como pela inserção parcial da água precipitada, deixando de armazenar volumes não importantes e desprezando vazões insignificantes.

A Figura 5 esboça os hidrogramas para a chuva com período de retorno de 100 anos, para as condições naturais de lote, lote urbanizado e lote urbanizado com uso do reservatório de detenção.

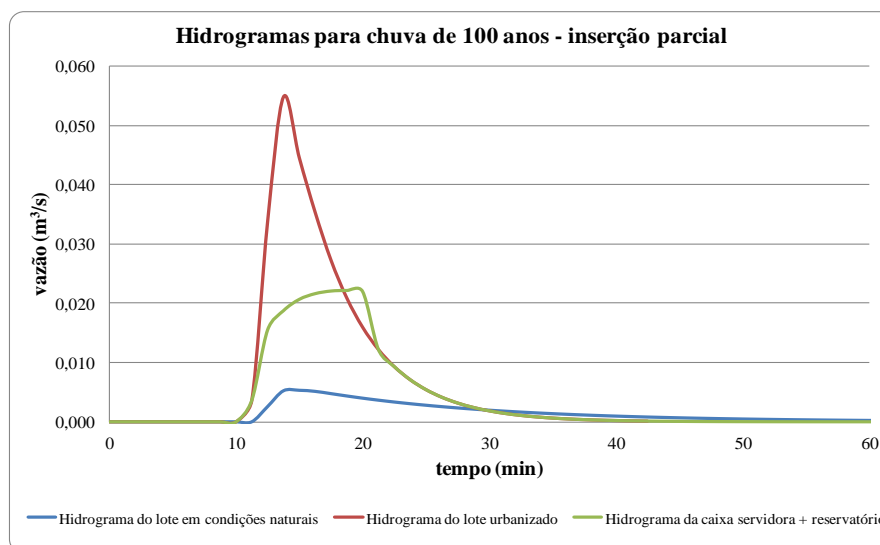


Figura 5 – Hidrograma do reservatório de detenção de 2,0 m<sup>3</sup> com chuva parcial

Na Tabela 1 verifica-se que na simulação hidrológica, o dispositivo de retenção transforma a vazão de 35,859 m<sup>3</sup>/s, ocasionada pela chuva com período de retorno de 100 anos, em uma chuva com período de retorno de aproximadamente 22 anos com vazão de 24,666 m<sup>3</sup>/s, enquanto que na Tabela 2, pode ser verificado que o reservatório em estudo consegue transformar a vazão de pico do lote de 0,0549 m<sup>3</sup>/s, ocasionada pela mesma chuva, para uma vazão de pico do lote de 0,0222 m<sup>3</sup>/s, com período de retorno de aproximadamente 1,5 anos.

Tabela 2 – Eficiências do reservatório com volume de 2,0 m<sup>3</sup> - inserção parcial

	vazões em m <sup>3</sup> /s							
	Tr 02	Tr 05	Tr 10	Tr 15	Tr 20	Tr 25	Tr 50	Tr 100
sem res	0,0253	0,0331	0,0383	0,0412	0,0433	0,0449	0,0499	0,0549
com res	0,0168	0,0185	0,0196	0,0201	0,0204	0,0207	0,0214	0,0222

Os hidrogramas resultantes, referentes à simulação do trecho para o reservatório de retenção com volume de amortecimento de 2,0 m<sup>3</sup> com período de retorno de 100 anos, com inserção parcial da chuva, estão na Figura 6, onde ocorreu um amortecimento de 31,22% da chuva excedente.

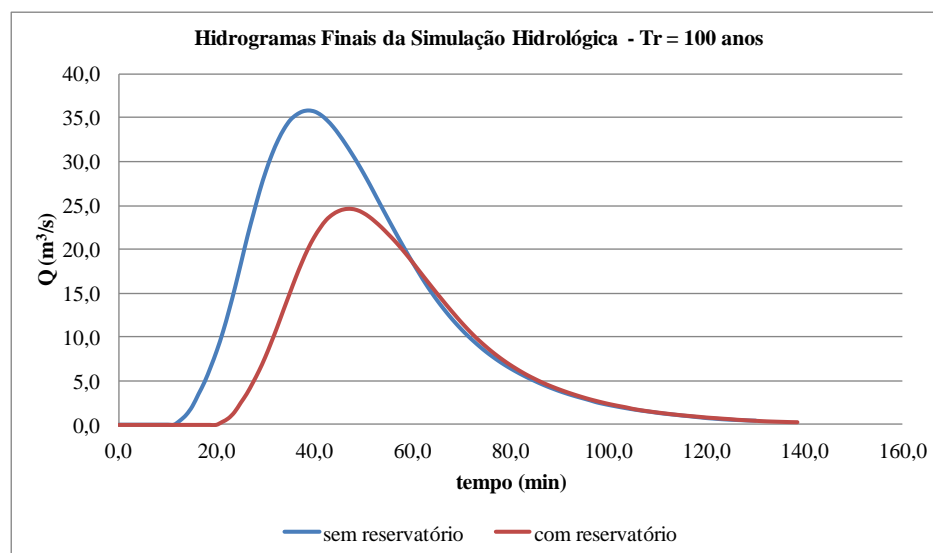


Figura 6 – Hidrogramas resultantes da simulação hidrológica para Tr = 100 anos

Para que sirva apenas de referência para análise dos resultados obtidos sem e com o uso dos reservatórios adotados, pois pode ser modificado aumentando a sua capacidade de descarga descaracterizando a análise, o bueiro construído no ponto de transposição da água pluvial de montante para jusante do anel viário, é dotado de dois dutos metálicos de 2,0 m de diâmetro cada, com inclinação em torno de 0,0061 m/m, coletada em mapa digital da Prefeitura Municipal.

Na análise da Tabela 1, foi observado que as chuvas com período de recorrência acima de 12 anos, aproximadamente, fazem o bueiro em questão trabalhar com a entrada submersa, pois sua descarga máxima para que isso não aconteça é de 20,59 m<sup>3</sup>/s. Assim, foi notado que o reservatório possibilita que o bueiro não fique submerso para as chuvas com 42 anos de período de retorno.

Notou-se ainda que a relação área total dos lotes de um trecho pela área total do próprio trecho é variável para cada trecho devido às características intrínsecas de cada setor e influencia mais ou menos conforme sua magnitude. Por isso, as vazões são variáveis e não possuem um padrão pré-determinado para que se pudessem estimá-las. A homogeneidade dos trechos influencia diretamente

no estabelecimento das eficiências dos reservatórios, pois o seu pequeno ou grande número em uma área será um fator determinante do amortecimento. Talvez esta análise possa ser usada como critério de estabelecimento de um loteamento, tornando-o mais homogêneo, visando uma melhor eficiência deste dispositivo para se evitar os efeitos indesejáveis de uma enchente a jusante.

#### 4 CONCLUSÕES

Conforme foi visto, o reservatório de retenção com volume de 2,0 m<sup>3</sup> e inserção parcial de chuva tem bom desempenho e permite concluir que as atenuações das vazões de pico tanto para os lotes urbanizados quanto para a simulação hidrológica de uma área também urbanizada, são perfeitamente possíveis com o uso deste dispositivo para muitas chuvas estudadas, com custo estimado na ordem de R\$ 4.700,00.

Pode-se concluir também que o projetista deverá escolher com cautela o período de retorno para a verificação do funcionamento do reservatório, pois, uma vez dimensionado para uma altura pluviométrica da região, que não for a mais crítica e que não provoque as vazões mais elevadas, o reservatório terá menor eficiência, podendo não funcionar com a exatidão esperada.

Outro ponto que se conclui é o favorecimento no funcionamento da microdrenagem pela utilização do reservatório de retenção domiciliar, pois o dispositivo atenua as vazões de pico da chuva máxima de projeto da microdrenagem, para chuvas com vazões de pico referentes às chuvas menores, podendo beneficiar a microdrenagem em pontos onde havia problemas de remanso.

Multiplicando-se pelos 4.538 lotes da área em estudo, o custo da implantação destes dispositivos fica na ordem de R\$ 21.381.603,84, o que pode ser viável se comparados ao custo de um grande reservatório de retenção (piscinão).

Assim, a utilização desses reservatórios individuais, inseridos na microdrenagem, pode ser viável se comparado ao custo de construção e manutenção de um grande reservatório de retenção (piscinão), inserido no sistema de macrodrenagem. Vale levar em consideração que o “piscinão” não retira a água em excesso das sarjetas, apenas recolhe as águas à jusante da bacia, não evitando os transtornos de águas excedentes pelas ruas e calçadas e o carregamento de lixo depositado em ruas, e ainda, necessitando de grandes áreas para sua implantação.

#### REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10844: Instalações prediais de águas pluviais. Rio de Janeiro, 1989.
- CANHOLI, A. P. Drenagem urbana e controle de enchentes. São Paulo: Oficina de Textos, 2005.
- COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. Departamento de Águas e Energia Elétrica. Drenagem urbana: manual de projeto. 2. ed. Corrigida. São Paulo, 1980.
- RIGHETTO, A. M. Hidrologia e recursos hídricos. São Carlos: Ed. EESC/USP, 1998.
- SISTEMA NACIONAL DE PESQUISA DE CUSTOS E ÍNDICES DA CONSTRUÇÃO CIVIL. Caderno de custos de composições – sintético. Disponível em: <[http://downloads.caixa.gov.br/\\_arquivos/sinapi/relat\\_serv\\_mar\\_13/Servicos\\_MG\\_MAR13.pdf](http://downloads.caixa.gov.br/_arquivos/sinapi/relat_serv_mar_13/Servicos_MG_MAR13.pdf)>. Acesso em: 20/04/2013.
- TOMAZ, P. Cálculos hidrológicos e hidráulicos para obras municipais. 1. ed. São Paulo: Editora Navegar, 2002.
- TUCCI, C. E. M.; PORTO, R. L. L.; BARROS, M. T. Drenagem urbana. 1. ed. Porto Alegre: ABRH/Editora da Universidade/UFRGS, 1995.
- VILLELA, S. M.; MATTOS, A. Hidrologia aplicada. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975.