

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE RESERVATÓRIOS DE DETENÇÃO NO CONTROLE DAS CHEIAS EM ÁREAS URBANAS

Jussanã Milograna¹; Néstor Aldo Campana²

Resumo – Neste estudo foi avaliada a eficiência hidráulica de reservatórios de detenção como estrutura de controle das cheias urbanas. Esses reservatórios foram testados a nível centralizado e distribuído. Para a inserção das estruturas de controle foram analisadas três situações de ocupação: pré-urbanização, atual e futura, tendo como referência para a avaliação da eficiência hidráulica das estruturas de controle, o cenário de pré-urbanização. Os reservatórios calculados para os cenários atual e futuro buscaram vazões de saída que não superassem as vazões de pico da pré-urbanização. Os resultados obtidos numa área teste da cidade de Goiânia, são mostrados.

Abstract – In this study was evaluated the hydraulic efficiency of detention reservoirs as structure of urban flood control. Those reservoirs were tested at centralized and distributed level. To insert the control structures three occupation situations were analyzed: pre-urbanization, current and future, having as reference to evaluate the hydraulic efficiency of the control structures, the pre-urbanization scenery. The reservoirs calculated for current and future sceneries looked for exit flood discharge that don't overcome the pre-urbanization peak discharge. The results obtained in an area test of the Goiânia city, they are shown.

Palavras-Chave: drenagem urbana; controle de cheias; medidas de controle

¹ Engenheira Civil, Professora do Centro Federal de Educação Tecnológica de Goiás (CEFETGO), Rua S-4 n. 296 apto. 202 ,Setor Bela Vista, CEP.: 74823-450- Goiânia –Go; tel. (62)212-5050 Ramal 132; e-mail: jm@cefetgo.br.

² Engenheiro de Recursos Hídricos, Professor do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da Faculdade de Tecnologia da Universidade de Brasília, UnB Colina Bloco F Apto 105 CEP.: 70919-970 Brasília – DF; (61) 307-2304 Ramal 34 (UnB); e-mail:mnestor@unb.br.

INTRODUÇÃO

A urbanização é um fenômeno mundial caracterizado pela concentração cada vez mais densa da população em aglomerações urbanas. Esse processo é caracterizado por: substituição da cobertura vegetal por superfícies impermeáveis; redução da evapotranspiração, da infiltração e do nível do lençol freático; introdução de condutos; aumento na produção de sedimentos e de resíduos sólidos; e deterioração da qualidade da água. Também, dentre outras modificações no ciclo hidrológico de uma bacia hidrográfica, em função do avanço da urbanização, há aquelas que causam alterações no escoamento superficial direto. Os aumentos nas vazões de pico após a urbanização comprometem o funcionamento do sistema de drenagem principalmente nas grandes cidades.

Na tentativa de evitar que esses acréscimos de vazões extrapolem os limites aceitáveis, os municípios, por meio de suas leis de zoneamento e uso do solo, especificam a taxa de ocupação máxima para cada área.

Como a fiscalização dessas leis é deficiente, uma outra alternativa é a de não controlar a ocupação, mas exigir que o hidrograma de saída do lote ou da bacia hidrográfica não seja diferente da condição de pré-ocupação. Nesse sentido foi desenvolvido o estudo descrito a seguir no qual o objetivo foi o de avaliar, via simulação matemática, a eficiência hidráulica de reservatórios de retenção no controle das cheias em regiões urbanas.

DESCRIÇÃO E DELIMITAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Para verificar a influência da urbanização, caracterizada pelo aumento do índice de áreas impermeáveis, foi escolhida uma região intensamente urbanizada situada na cidade de Goiânia-Go. Essa região é uma sub-bacia da bacia hidrográfica do Córrego Vaca Brava.

A região selecionada para o estudo conta com aproximadamente $0,17\text{km}^2$ de área, sendo comum encontrar lotes (aproximadamente 50% destes) com 100% da sua área impermeabilizada, ocupados por edifícios residenciais e comerciais.

A existência de duas áreas públicas, a Praça T-25 e a rótula do encontro das avenidas T-63 e 85, nas quais poderiam ser construídas as estruturas de controle, pesaram significativamente na escolha da área para o estudo de caso.

Para delimitação da bacia hidrográfica do Córrego Vaca Brava e da área foram utilizados os arquivos do Mapa Urbano Básico Digital de Goiânia (MUBDG) versão 1 de 1996 fornecido pela COMDATA (Companhia de Processamento de Dados do Município de Goiânia), órgão da Prefeitura Municipal de Goiânia. Dele foram importados os arquivos referentes às curvas de nível (mestras e intermediárias), hidrografia (localização e identificação de cursos d'água), pontos

cotados, delimitação de bairros, quadras e lotes, textos relativos a bairros, quadras, lotes e ruas. Esses elementos podem ser vistos na figura 7.

A figura 1 apresenta uma vista aérea da região com destaque para a área de estudo.



Figura 1 – Fotografia aérea, sem escala, com destaque da área de estudo

CENÁRIOS ANALISADOS

Para quantificar o aumento das vazões decorrentes das modificações na cobertura do solo pelo processo de urbanização, foram escolhidas três situações para análise: pré-urbanização, atual e futura. Uma delas, a situação de pré-urbanização, será a referência para a validação deste estudo.

Cenário de pré-urbanização

Nesse cenário, os lotes foram considerados sem ocupação e gramados, ou seja, com 100% de sua área permeável. Somente as vias foram consideradas pavimentadas. A fração de áreas impermeáveis determinada para esse cenário ficou em torno de 30%.

Cenário atual

O cenário atual foi elaborado utilizando os dados constantes no MUBDG e uma fotografia aérea (figura 1) tirada em julho de 1999 com escala de negativo aproximada de 1/16000 obtida de um vôo não métrico e que faz parte do recobrimento aéreo fotográfico da cidade de Goiânia realizado pelo Zoom Photocenter.

A delimitação de áreas impermeáveis desse cenário foi feita pela conjugação dos dados do MUBDG com a fotografia aérea, utilizada como pano de fundo para a digitalização. Essa etapa foi

executada no software SPRING versão 3.4 do Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE). A porcentagem de áreas impermeáveis para esse cenário ficou em torno de 79%.

Cenário futuro

O cenário futuro foi elaborado com o intuito de retratar a ocupação prevista para a região a partir da legislação aprovada no ano de 1994. Na elaboração desse cenário foram utilizadas as informações constantes no Plano Diretor Integrado de Goiânia (1992) (PDIG) e na Lei de Zoneamento e Uso do Solo (1994) para Goiânia. Tomando como base essa legislação, para os lotes contíguos à Av. T-63, a porcentagem de áreas permeáveis adotada foi de 15%. Para os demais lotes foi adotado um índice de 10% de áreas permeáveis.

O índice de áreas impermeáveis para esse cenário, tomando como base os índices dos lotes e das vias pavimentadas, totalizou aproximadamente 88%.

SIMULAÇÃO DO ESCOAMENTO

Devido ao grande número de lotes a serem simulados e à possibilidade de ocorrência de erros nas dimensões quando da conversão analógico/digital do MUBDG foi feita uma simplificação dessa etapa agrupando os lotes da área de estudo em intervalos de 50 m². As áreas dos lotes considerados variaram de 325 a 825m² para os lotes agrupados e de 573 a 4587m² para os lotes que tiveram sua dimensões mantidas.

Para a definição da chuva de projeto foi utilizada a curva i.d.f. para Goiânia determinada por Costa (1999) (equação1) válida para tempos de retorno entre 1 e 8 anos.

$$i = \frac{56,7928 * (T^{0,14710 + \frac{0,22}{T^{0,09}}})^{0,62740}}{(t + 24,8)^{0,974711}} \quad (1)$$

onde: i = intensidade de precipitação em mm/h; T = tempo de retorno em anos; t = duração em minutos.

Para ocupação residencial e comercial, como é o caso da área de estudo, o tempo de retorno recomendado é de 5 (cinco) anos, tendo sido, portanto, o adotado.

A duração mínima adotada para este estudo foi de 15 (quinze) minutos, o que representa uma precipitação de intensidade máxima de 132 mm/h, segundo a curva i.d.f. dada pela equação 1.

Simulação do escoamento nos lotes

Para simulação do escoamento nos lotes dos três cenários elaborados foi utilizado o modelo computacional chuva-vazão desenvolvido por Genz (1994), que simula o escoamento superficial pelo método da onda cinemática em três planos de escoamento (telhado, grama e recuo) constantes do *lay-out* básico mostrado na figura 2.

A separação do escoamento superficial nas áreas gramadas laterais e no recuo é feita pelo cálculo da chuva efetiva, que é o resultado da diferença entre a chuva precipitada total menos a infiltração calculada pela equação de Phillip (2).

$$f(t) = \frac{1}{2}st^{-\frac{1}{2}} + k \quad (2)$$

onde: s é um parâmetro de absorção do solo e k a sua condutividade hidráulica.

A declividade para o telhado foi de 27% e as declividades dos demais elementos foi de 4%. O coeficiente de rugosidade de Manning utilizado para a determinação do escoamento nas superfícies impermeabilizadas foi $\eta=0,015$ e para as áreas permeáveis consideradas gramadas, foi $\eta=0,2$.

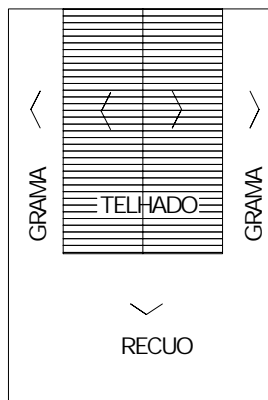


Figura 2 - *Lay-out* básico do lote urbano (Genz,1994)

Genz (1994), também, determinou experimentalmente, os valores dos parâmetros da equação de Phillip para alguns tipos de superfícies. Assim, para as áreas permeáveis (assumidas como sendo gramadas) foram adotados os valores 7 e 16, respectivamente, para os parâmetros k e s .

Propagação do escoamento nas ruas e nas galerias pluviais

A propagação do escoamento nas ruas e nas galerias foi feito pelo método da onda cinemática. Os perfis das ruas foram obtidos por levantamento topográfico e as declividades necessárias foram extraídas do nível pontos cotados constante no MUBDG.

MEDIDAS DE CONTROLE ADOTADAS

Neste estudo foram utilizados dois tipos de medidas de controle: a primeira é uma medida de controle centralizado composta por dois reservatórios de detenção instalados em áreas públicas. A segunda é uma medida de controle distribuído, constando de um reservatório de detenção inserido no interior de cada lote da área de estudo.

As dimensões finais dos reservatórios de detenção para ambas as alternativas de medidas de controle, foram determinadas pela propagação do escoamento nos reservatórios. Para a execução dessa etapa da simulação foi utilizado o método de Pulz.

Inserção das medidas de controle centralizado

O controle centralizado, composto por dois reservatórios de detenção inseridos em áreas públicas da área de estudo, Praça T-25 e rótula do encontro das avenidas 85 e T-63, foram considerados abertos e aproveitarão os contornos já existentes nas referidas praças para definir suas geometrias.

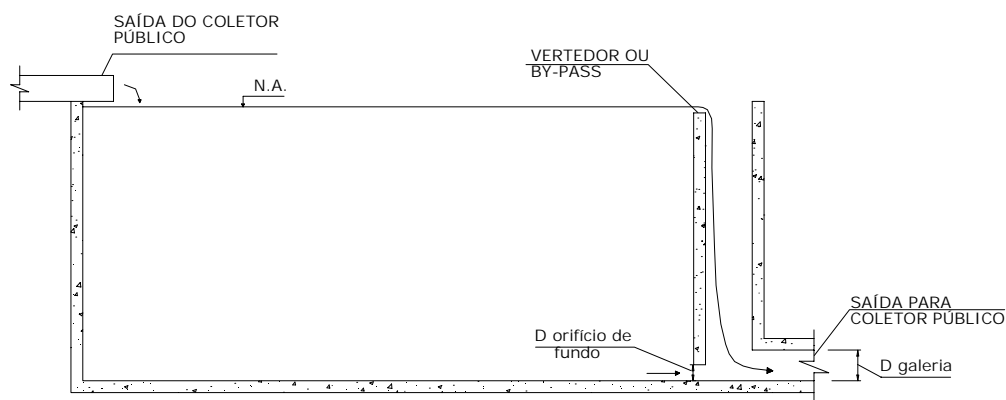


Figura 3 – Esquema dos reservatórios em áreas públicas

Ambos os reservatórios foram dimensionados considerando a pior situação, no caso, as vazões de entrada utilizadas foram as do cenário futuro. Com as dimensões dos reservatórios determinadas para essa situação foram propagadas as vazões do cenário atual. Por se tratar de

reservatórios em áreas públicas, a altura limite considerada para o vertedor ou *by-pass* foi de 1m. O esquema desses reservatórios pode ser visto na figura 3.

Inserção das medidas de controle distribuído ou na fonte

A segunda medida de controle adotada foi o reservatório inserido na saída de cada lote, no lugar da caixa de inspeção. Primeiramente os reservatórios para cada tipo de lote foram dimensionados considerando o lote com a ocupação prevista para o cenário futuro. Esses reservatórios foram utilizados para a simulação dos lotes do cenário atual com área impermeabilizada igual ou inferior à prevista para o cenário futuro. Para os lotes com áreas impermeáveis superiores a esses valores foram calculados novos reservatórios, sendo estes, dimensionados com as vazões correspondentes aos lotes totalmente impermeabilizados. Em ambos os casos, os orifícios de fundo foram adotados buscando as vazões da pré-urbanização.

Os diâmetros dos orifícios de fundo adotados foram os diâmetros de tubos de PVC comerciais para esgoto. A altura limite da estrutura extravasora (*by-pass* ou vertedor) adotada foi 0,95m para todos os reservatórios.

O *lay-out* desses reservatórios pode ser visto na figura 4.

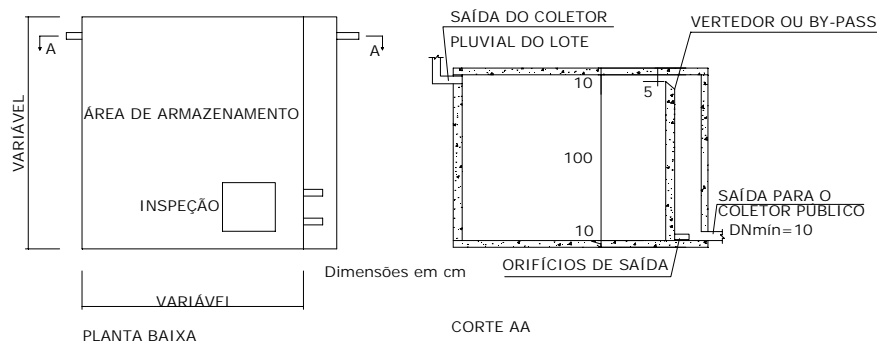


Figura 4 – Esquema de reservatório no lote (adaptado de Cruz *et al.*, 2000)

RESULTADOS

A tabela 1 mostra o resumo dos resultados obtidos na primeira etapa da simulação, com a área sem a inserção das estruturas de controle, na qual foram encontrados aumentos de 60,36% sobre a vazão de pico do cenário de pré-urbanização para o cenário atual e 75,58% para o cenário futuro. Os hidrogramas resultantes das simulações dos três cenários podem ser vistos na figura 5.

Tabela 1 – Resultado das simulações dos cenários sem as estruturas de controle

Cenário	Vazão de Pico	%
Pré-	2724,89	*****
Atual	4369,52	60,36
Futuro	4784,35	75,58

Com o aumento nas vazões, para os cenários atual e futuro seria necessário reposicionar algumas bocas de lobo da rede de drenagem existente aproximando-as, já que as vazões geradas ultrapassaram a capacidade de escoamento principalmente das ruas T-36, T-62 e no trecho inferior da rua S-2. No que diz respeito à galeria pluvial, em alguns trechos seria necessário aumentar o diâmetro dos mesmos.

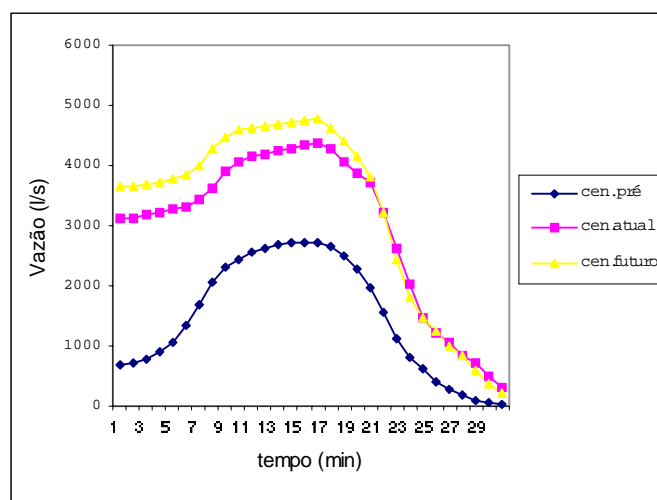


Figura 5- Efeito da impermeabilização sobre a vazão de pico

Efeito Da Utilização Das Estruturas De Controle Sobre O Escoamento

As simulações do escoamento considerando a inserção dos reservatórios nas áreas públicas apresentou um resultado satisfatório no que diz respeito à redução e retardo dos picos dos hidrogramas nos cenários atual e futuro.

O reservatório da rótula da Av. 85 com a T-63 foi dimensionado considerando as áreas onde hoje está instalada uma fonte. Essas áreas podem vir a ser adaptadas ou transformadas em reservatórios de detenção. Para essa finalidade seriam utilizados 800 m² para a instalação do primeiro reservatório de detenção.

O segundo reservatório teve sua geometria baseada nos contornos existentes na Praça T-25. Para reduzir as vazões aos níveis da pré-urbanização, nesse caso, é necessário um reservatório com uma área de 1950m².

A altura do *by-pass* ou vertedor para ambos os reservatórios foi definida com o intuito de não

permitir que a profundidade máxima do reservatório excedesse a 1m por se tratarem de obras instaladas em locais públicos. A posição das áreas públicas e seus respectivos reservatórios está mostrada na figura 7.

As características dos dois reservatórios constam da tabela 2.

Tabela 2 – Características dos reservatórios nas áreas públicas

Reservatório	Área (m ²)	Descarregador de fundo	Cenário	Profundidade máxima (m)	Vazão de saída (m ³ /s)	Volume de armazenamento (m ³)
Rótula	800	4Ø300mm	Atual	0,85	0,68	679
			Futuro	0,93	0,71	740
Praça T-25	1950	8Ø400mm	Atual	0,89	2,46	1730
			Futuro	1,00	2,61	1944

A tabela 3 apresenta o resultado da simulação considerando os dois reservatórios de detenção descritos.

Tabela 3 – Resultado da simulação considerando dois reservatórios de detenção

Cenário	Vazão de	Tempo ao	%
Pré-	2724,89	15	**
Atual	2456,80	21	9,8
Futuro	2606,90	21	4,3

As estruturas de controle inseridas nos lotes também apresentaram resultados satisfatórios, mas apenas no amortecimento do pico dos hidrogramas para os cenários atual e futuro, já que conseguiram reduzir a vazão de pico a níveis inferiores aos da pré-urbanização. Conforme os resultados mostrados na tabela 4, a redução foi de 6,78% para o cenário atual e de 9,50% para o cenário futuro.

As dimensões dos reservatórios calculados e utilizados para amortecer o pico dos hidrogramas nos cenários atual e futuro variaram de 7,04 a 32,97 m³ para os lotes com ocupação prevista para o cenário futuro, e de 7,27 a 33,88m³ para os lotes 100% impermeabilizados.

A figura 6 relaciona as vazões obtidas das simulações considerando as estruturas de controle nos cenários atual e futuro com as vazões do cenário de pré-urbanização e a tabela 4, o resultado da simulação considerando o controle distribuído.

Tabela 4 – Resultado da simulação considerando os reservatórios nos lotes

Cenário	Vazão de pico	Tempo ao pico	%
Pré-	2724,89	15	*****
Atual	2540,21	16	6,78
Futuro	2466,00	16	9,50

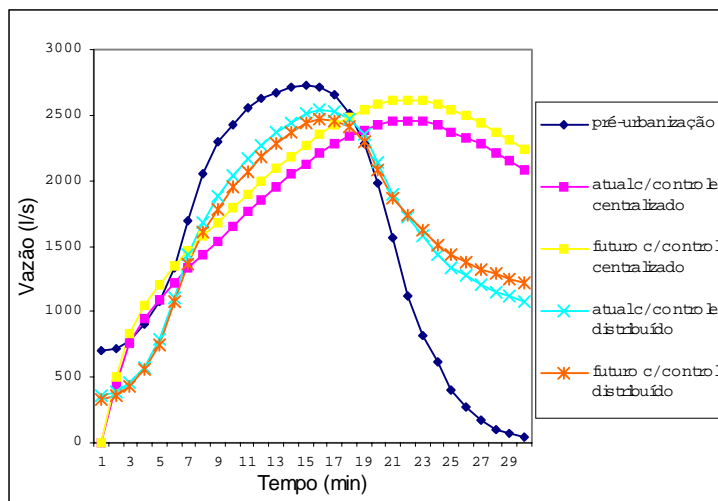


Figura 6 – Efeito das estruturas de controle sobre as vazões de pico dos cenários atual e futuro

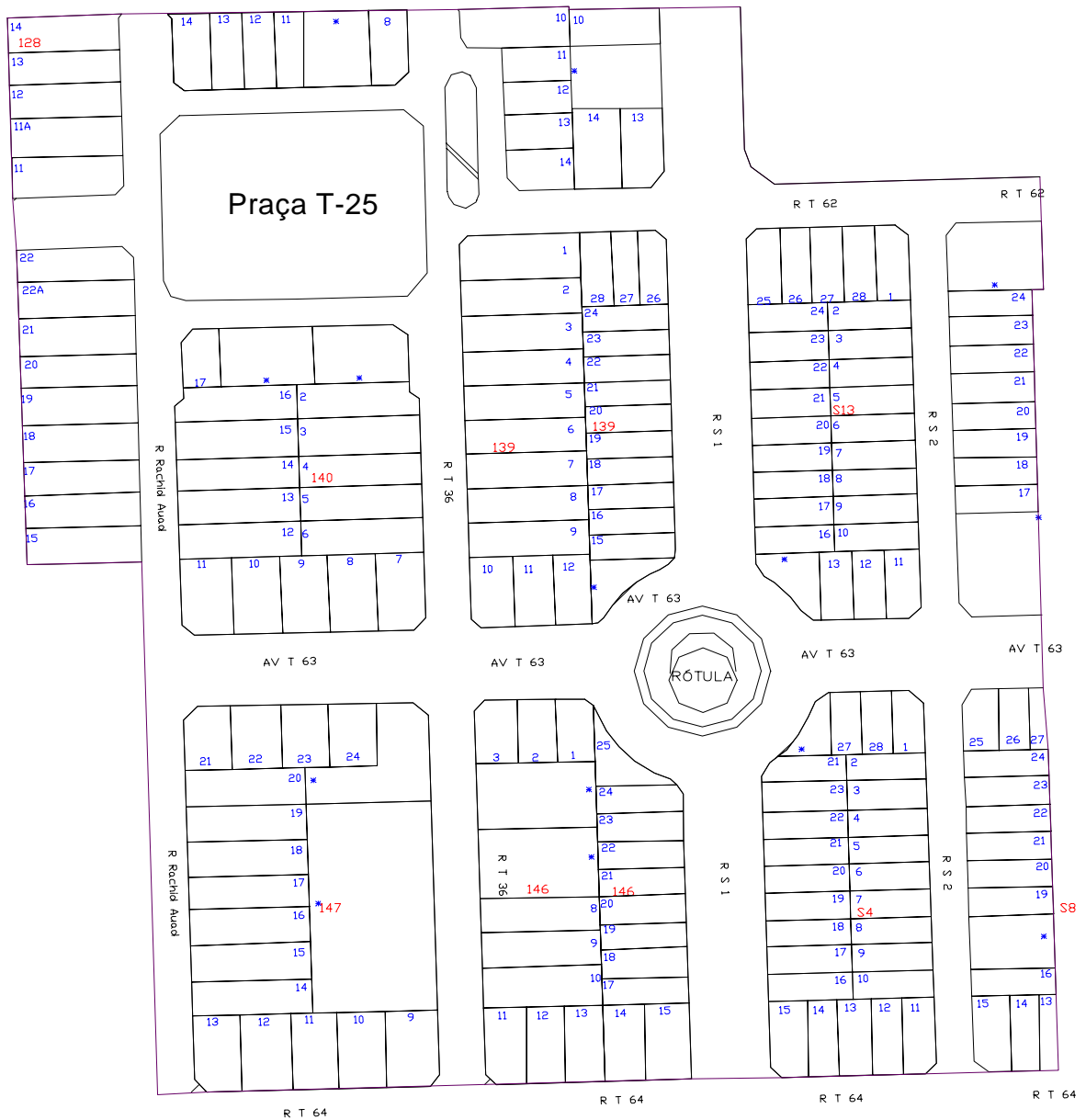


Figura 7 – Detalhe da área de estudo

CONCLUSÕES

Neste estudo procurou-se estimar os efeitos da evolução da urbanização, caracterizados pelo aumento das superfícies impermeáveis, nas transformações ocorridas no comportamento hidrológico de uma bacia hidrográfica, enfocando de forma direta, o aumento do escoamento superficial, além de avaliar a eficiência hidráulica da utilização de reservatórios de detenção no controle do escoamento superficial.

Pode-se dizer que as estruturas de controle adotadas neste estudo se mostraram eficientes no que diz respeito ao amortecimento dos picos dos hidrogramas de cheia para a área de estudo.

Em termos relativos, os dois reservatórios nas praças se mostraram mais eficientes do que os reservatórios no interior dos lotes no controle do escoamento final na área de estudo, pois além de reduzir as vazões a níveis inferiores aos da pré-urbanização, ainda possibilitaram um retardo de 6 minutos no tempo ao pico, embora os problemas localizados observados durante a simulação do escoamento nas ruas continuem a ocorrer.

Após o término do estudo podem ser apontadas três alternativas para a solução dos problemas de drenagem na área de teste:

- 1)- o redimensionamento da rede de drenagem com redução da distância entre as bocas de lobo e a substituição dos tubos com diâmetros inferiores aos necessários. O principal inconveniente da adoção dessa medida é a transferência dos acréscimos para jusante e o risco de inundações;
- 2)- adoção dos reservatórios em áreas públicas com a manutenção da galeria original, considerando que os excedentes do escoamento nas ruas continuarão a acontecer; e
- 3)- adoção dos reservatórios no interior dos lotes com a manutenção da galeria original.

A adoção de quaisquer das alternativas sugeridas está sujeita a estudo econômico e de viabilidade técnica segundo as normas para execução das redes de esgoto pluvial local, além da aceitação da população.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- COSTA, A. R. Análise das Aplicações de Duas Equações de Chuva Elaboradas para a Mesma Cidade. In: XIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos (1999: Belo Horizonte). **Anais...** Belo Horizonte, 1999.
- CRUZ, M.A.S., TUCCI, C.E.M. e SILVEIRA, A.L.L. Controle do Escoamento em Lotes Urbanos com Detenção. In: TUCCI, C.E.M. e MARQUES, D.M.L.M. **Avaliação e Controle da Drenagem Urbana**. Porto Alegre: ABRH, 2000.
- GENZ, F. **Parâmetros para Previsão e Controle de Cheias Urbanas**. Porto Alegre, 1994. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Pesquisas Hidráulicas.
- PREFEITURA MUNICIPAL DE GOIÂNIA. Plano de Desenvolvimento Integrado de Goiânia, Goiânia, 1992.
- PREFEITURA MUNICIPAL DE GOIÂNIA. Lei de Zoneamento, Lei Complementar nº 031, de 29 de dezembro de 1994, Goiânia, 1994.