

# PROPOSTA DE METODOLOGIA PARA ANÁLISE DOS EFEITOS DO EMPREGO DE RESERVATÓRIOS DE DETENÇÃO SOB A ÓTICA DO CONCEITO DE IMPACTO ZERO

*Liliane Lopes Costa Alves Pinto<sup>1</sup> & J. Rodolfo S. Martins<sup>2</sup>*

**RESUMO** --- Este trabalho apresenta a metodologia proposta para análise dos efeitos causados pelo emprego de reservatórios de retenção para atendimento ao conceito de “Impacto Zero” adotado na gestão da drenagem urbana sustentável. Segundo este conceito o sistema de drenagem deverá conduzir as águas da chuva sem gerar impactos superiores aqueles considerados como naturais, nem a montante e nem a jusante da bacia atingida. Para que isso seja viável o comportamento da drenagem da bacia urbanizada deve ser análogo ao existente antes da urbanização, ou seja, as vazões efluentes aos reservatórios devem ser similares às daquelas de pré-urbanização. Durante estudos realizados observou-se que a introdução de reservatórios de retenção causa alterações na bacia hidrográfica e que é imprescindível a análise dos efeitos para diferentes durações da chuva crítica. A implantação de reservatórios implica em cuidados especiais por parte de quem os projeta devido as alterações provocadas pelos mesmos no tempo de trânsito das cheias e conseqüentemente nas vazões efluentes que deverão ser conduzidas pelas estruturas convencionais. Finalmente, concluiu-se que os reservatórios são estruturas que permitem o atendimento ao conceito de “Impacto zero” e proporcionam efeitos mitigadores às bacias hidrográficas quando implantados, principalmente no tocante aos efeitos causados pela urbanização desenfreada.

**ABSTRACT** --- This paper presents the proposed methodology for analysis of the effects caused by the use of detention ponds, to attend to the concept of "Zero Impact " used in the management of sustainable urban drainage. Under this concept the drainage system to lead the rain water without generating higher impacts those considered as natural, or upstream and downstream of the basin not affected. To make this feasible the performance of the drainage of the urbanized basin should be similar to that before urbanization, ie, the effluent flows to the reservoirs should be similar to pre-urbanization. During studies it was observed that the introduction of detention ponds to cause changes in the basin and it is essential to analysis of the effects for different durations of event criticism. The deployment of reservoirs requires special care on the part of those projects due to changes caused by them in the flood travel time and therefore the effluent flows to be conducted by conventional structures. Finally, it was concluded that the detention ponds are structures that allow the service to the concept of "zero impact" and give mitigating effect when implanted over hydrological basins, especially for effects caused by rampant urbanization.

**Palavras-chave:** reservatórios de retenção, tempos de trânsito, impacto zero.

---

1)Doutoranda – Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil. e-mail: [rlap@uol.com.br](mailto:rlap@uol.com.br).

2) Professor Assistente – Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil. e-mail: [scarati@usp.br](mailto:scarati@usp.br).

## 1. INTRODUÇÃO

Hoje um dos grandes desafios na gestão da drenagem urbana é a mitigação dos impactos causados pela impermeabilização do solo urbano. É fato, que o principal fator que altera a magnitude do escoamento superficial direto (ESD) gerado em uma bacia hidrográfica, é decorrente da urbanização desenfreada que vem ocorrendo ao longo das últimas décadas no mundo e, principalmente no Brasil. O meio técnico e acadêmico vêm se esforçando no desenvolvimento de pesquisas para a descoberta de medidas que possam de alguma maneira mitigar os feitos causados pelo Homem no tocante à impermeabilização do solo. Outro fator determinante é a ocupação das várzeas, que ocorre, por vezes, em função da ausência de fiscalização, mas que afeta sobremaneira a bacia hidrográfica e a população de seu entorno, quando da ocorrência de chuvas intensas.

O conceito conhecido como LID (Low Impact Development ) introduzido no final dos anos 90 (Jones, 2001) e adotado no Brasil como “Impacto Zero”, é um dos mais importantes princípios adotados na gestão da drenagem urbana. Segundo este princípio, o melhor sistema de drenagem é aquele que conduz o escoamento superficial sem gerar impactos superiores aos supostamente naturais da bacia, tanto a montante como a jusante do ponto de interesse. Este conceito encontra, nos centros urbanos onde a ocupação se processou de forma não planejada e muitas vezes descontrolada, grandes dificuldades para sua implantação, principalmente em decorrência da falta de espaço disponível. O conceito do “Impacto Zero” traduz-se pela eliminação ou a diminuição dos impactos gerados pela urbanização sobre o sistema de drenagem existente e pelo retorno às vazões de pré-urbanização, ou seja, àquela vazão resultante da bacia hidrográfica quando esta não era ocupada. Entretanto, esta não é uma atribuição apenas do meio técnico envolvido, mas também do poder público responsável pela implantação de medidas de ordem institucionais que viabilizarão sua sustentabilidade e, da própria população, no tocante ao cumprimento das medidas, assim como, colaboração e fiscalização/monitoramento. A impermeabilização deve ser encarada como um problema a ser solucionado pela sociedade em geral, que necessita explorar a superfície da bacia hidrográfica para sua sobrevivência e manutenção, criando como consequência, além dos problemas típicos de drenagem urbana, a deterioração da qualidade das águas. É fato que os excessos de escoamento gerados a montante nas bacias hidrográficas, e que afetam os usuários situados a jusante, bem como a deterioração da qualidade das águas, ainda não são tratados fora do ambiente técnico e científico, porém não tarda a que estas situações de conflito passem a ser objeto de demandas políticas e mesmo jurídicas.

Em cidades cuja densificação urbana atingiu quase ou a totalidade da área da bacia, uma alternativa é o emprego de elementos de retenção temporária e retardamento do escoamento, como

os reservatórios de retenção e os parques lineares, associados às estruturas tradicionais de condução de descargas. Entretanto, cabe ressaltar que o emprego destas estruturas altera o comportamento das bacias e exige a análise da resposta global da solução concebida por parte dos projetistas e planejadores. Este trabalho propõe uma metodologia para a análise dos efeitos causados pelo emprego de reservatórios de retenção para obtenção do conceito de “Impacto Zero” em uma bacia hidrográfica.

## 2. METODOLOGIA

A definição das vazões afluentes e efluentes aos reservatórios de retenção em áreas urbanas pode ser feita a partir da utilização de modelação matemática do tipo chuva-vazão, por meio de diferentes ferramentas. Dentre os aplicativos disponíveis para o meio técnico, destacam-se os modelos HEC-HMS 3.2 (USACE, 2008), CAbc (FCTH, 2003) e IPH-II (Campana e Tucci, 1999).

Esses modelos permitem a simulação do processo hidrológico de precipitação-retenção-infiltração em uma bacia hidrográfica, que resulta no escoamento superficial direto. O processo de modelação implica na adoção de fatores como as precipitações máximas de projeto e suas durações, áreas impermeáveis e diretamente conectadas ao sistema de drenagem, infiltração e todos os demais necessários para estimativa dos hidrogramas produzidos e transportados até os elementos de drenagem. São modelos de eventos, nos quais é possível simular a topologia das bacias na forma de rede de fluxo, variando-se o evento de precipitação, intensidade e duração. Uma das rotinas disponibilizadas é a de amortecimento em reservatórios, para permitir a avaliação do efeito de um determinado volume alocado para retenção e os demais fatores intervenientes como a duração da precipitação e o tempo de pico do hidrograma. Para atender ao conceito de “Impacto Zero” faz-se necessária à estimativa das vazões de pré-urbanização e da situação urbanizada (atual ou futura) da bacia, lançando-se mão de dispositivos que retardam o escoamento, como os parques lineares e os reservatórios de retenção. O conjunto destas obras altera tempo de trânsito da cheia no sistema de drenagem como um todo, ou seja, os reservatórios e os parques têm a finalidade de amortecer o pico de cheia e aumentar o tempo de trânsito.

Para estimativa das vazões de pré-urbanização é necessária a simulação da situação original da bacia, ou seja, sem ocupação. Evidentemente, esta é uma situação hipotética, na qual há que se estimar a cobertura vegetal original sem a impermeabilização causada pela urbanização. Outro fator que deve ser analisado é o tempo de escoamento superficial e as velocidades de trânsito da cheia na rede de drenagem natural antes da impermeabilização. Esta estimativa é aproximada, pois mesmo que se admita a totalidade da área como permeável (taxa de impermeabilização igual a zero), o efeito da cobertura vegetal original deve ainda ser considerado.

Já a modelação hidrológica da situação atual ou futura, deve ser elaborada considerando-se parâmetros como a identificação do uso do solo e sua correlação com coeficientes apropriados de impermeabilização. Pinto & Martins (2008) apresentaram uma análise da variabilidade das taxas de impermeabilização do solo urbano a partir da análise da ocupação em diferentes municípios brasileiros, considerando-se a relação dom./ha, na qual o efeito da verticalização não afeta os resultados (Figura 1). Esta análise estende e complementa aquela proposta por Campana & Tucci (1994).

O tempo de concentração, a velocidade de trânsito e a duração da precipitação crítica para a bacia em estudo devem ser estimados cuidadosamente, sendo que esta última deve ser admitida como aquela que conduz às maiores vazões em diferentes pontos da bacia. Esse procedimento se faz necessário para que se possa diagnosticar corretamente os pontos críticos com relação à capacidade de condução dos elementos de drenagem existentes.

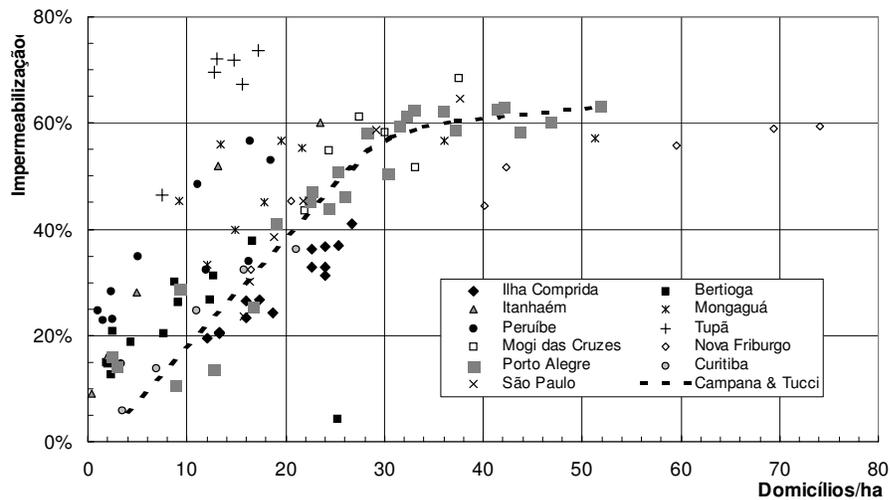


Figura 1 - Relação Área Impermeável e Densidade de Domicílios (Pinto & Martins, 2008)

Uma vez calculadas as vazões, passa-se a etapa de análise das alternativas possíveis que possibilitem o retorno às vazões de pré-urbanização, dentro da meta de impacto zero. Devem ser selecionados trechos onde o escoamento pode ser retardado com a utilização de soleiras transversais de amortecimento, seções mistas naturais com área de inundação (parques lineares) etc. Deve-se definir os locais para implantação de reservatórios in line e/ou off-line e com a utilização do modelo matemático, estimar os volumes necessários ao amortecimento desejado.

Cada alternativa proposta deve ser analisada para diferentes durações da precipitação, pois com a alteração dos tempos de escoamento haverá também alteração das vazões resultantes efluentes em função da duração da precipitação. Cabe ressaltar que, tanto as obras de

detenção/retenção/retardamento como as canalizações que ainda serão necessárias devem considerar a situação mais crítica para seu dimensionamento.

A metodologia proposta envolve várias etapas a serem desenvolvidas de maneira cronológica.

### 1.1 Etapa 1 – Definição da precipitação de projeto para diversos Períodos de Retorno

Para definição da precipitação de projeto devem ser elaborados estudos estatísticos de máximos pluviométricos a partir de dados de séries históricas dos postos existentes na região estudada. Essas séries podem ser obtidas, por exemplo em sites como o SIGRH (Sistema de Gerenciamento de Recursos Hídricos) no estado de São Paulo e o HIDROWEB, da Agência Nacional de Águas. Devem ser selecionados postos com o maior período de observação disponível. Dependendo da região do país são adotados Períodos de Retorno específicos, entretanto, propõe-se que para projetos de reservatórios de detenção sejam adotados períodos não inferiores a TR=50 anos e TR=100 anos. Os dados hidrológicos apresentam variações sazonais que podem ser irregulares e onde ocorrem extremos e diferentes seqüências de valores que caracterizam as variáveis como aleatórias. As variáveis hidrológicas estarão sempre associadas a uma probabilidade de ocorrência e técnicas estatísticas deverão ser aplicadas para avaliar a ocorrência de fenômenos hidrológicos com determinada magnitude.

Não se trata, portanto, de previsão de valores, e sim de **estimativa de risco** ou ainda, de **probabilidade de ocorrência**.

Uma distribuição de probabilidade é definida a partir da frequência relativa de uma variável acumulada sobre esta variável. Para obtenção dos valores extremos deve-se partir da precipitação observada e de distribuições probabilísticas como apresentado na Tabela 1 e na Figura 2 .

Tabela 1 - Distribuições Probabilísticas

Tr	Precipitação observada (mm)	Normal	Gumbel	LogNormal	Pearson III
1,01	45,0	26,0	42,3	40,71	
1,02	46,0	32,4	45,2	43,87	
1,05	51,0	41,7	49,9	48,96	
1,1	51,5	49,5	54,3	53,74	
1,5	70,1	70,9	68,7	69,17	
2	79,0	81,1	77,2	78,01	76,9
5	97,7	100,	98,1	98,67	98,1
10	111,2	111,	111,	111,5	112,
25		122,	129,	127,1	130,
50	160,2	129,	142,	138,4	144,
100	45,0	136,	155,	149,3	158,
500	46,0	149,	184,	174,2	
1000	51,0	154,	197,	184,8	208,
5000	51,5	164,	227,	209,5	
1000	70,1	168,	240,	220,3	

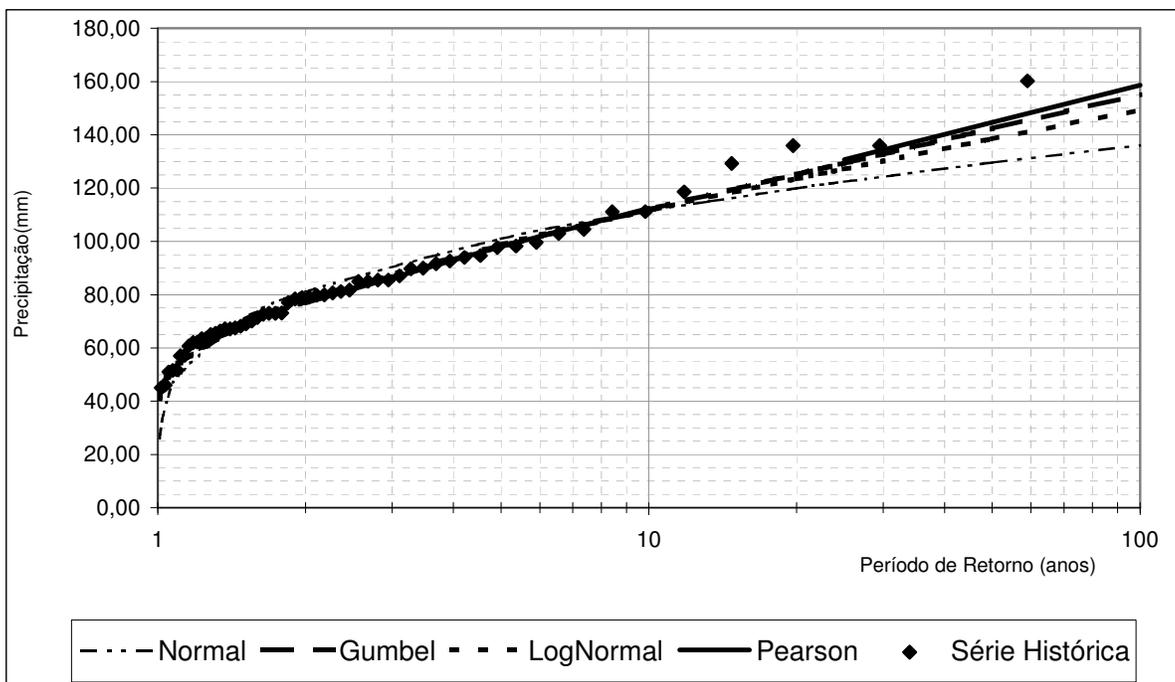


Figura 2 - Distribuições Probabilísticas

## 1.2 Etapa 2 - Definição da duração crítica

Para definição da duração crítica a ser considerada no estudo, as chuvas críticas devem ser ajustadas para diversas durações, como por exemplo: 1h, 2h, 3h, 6h, 12h, e 24h. Estas deverão ser desagregadas por exemplo, a partir da distribuição de HUF (2º Quartil) de acordo com a metodologia proposta por Porto (PMSP, 1998). Para a determinação dos hidrogramas afluentes aos diferentes pontos de análise deve ser empregado um modelo do tipo chuva-vazão, como o modelo matemático Cabc (FCTH, 2003). Estes modelos permitem a simulação do processo hidrológico de precipitação-retenção-infiltração em uma bacia hidrográfica, que resulta no escoamento superficial direto, como ilustra a Figura 9. O modelo permite o cálculo dos hidrogramas afluentes à uma rede de fluxo representativa das sub-bacias componentes do sistema hídrico com a técnica do hidrograma unitário do U.S. Soil Conservation Service, largamente conhecida.

É importante fazer a análise em diversos pontos da bacia. Deve-se selecionar pontos a montante, intermediários e a jusante para percepção de qual duração corresponde a maior criticidade para definição da duração a ser considerada no estudo. Eventualmente, pode-se concluir da necessidade de durações variadas para diferentes trechos das bacias estudadas. Na Figura 3 e na Figura 4 pode-se perceber que as durações críticas resultaram diferentes, no nó 7 (Figura 3) a duração crítica resultante foi correspondente a 3 horas, enquanto no nó 9 (Figura 4), a duração crítica resultou igual a 2 horas.

A figura 5 ilustra o esquema de cálculo gerado a partir do modelo chuva – vazão Cabc (FCTH, 2003)

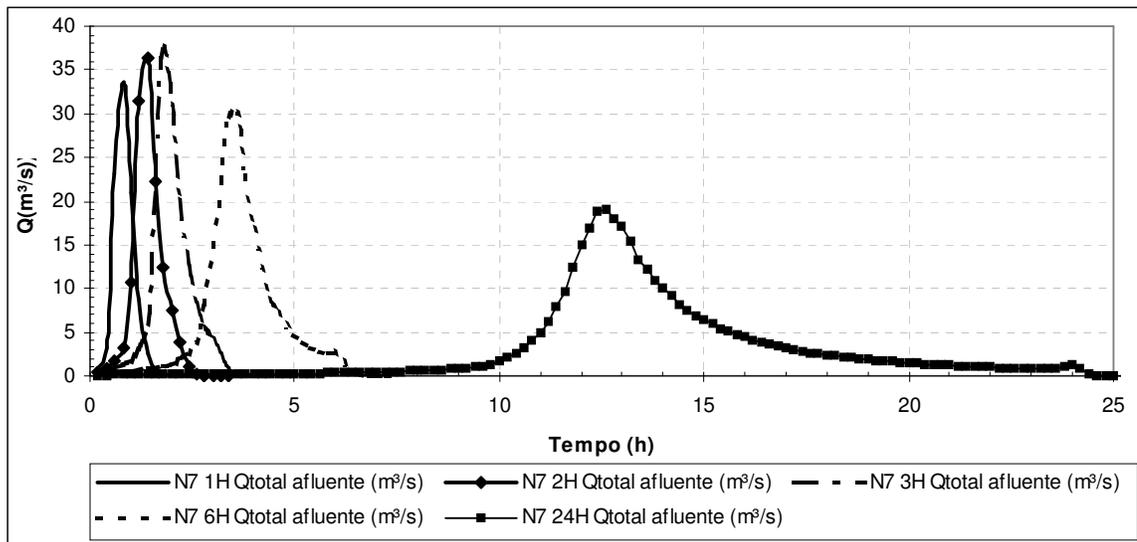


Figura 3: Hidrogramas resultantes nó 7 para várias durações

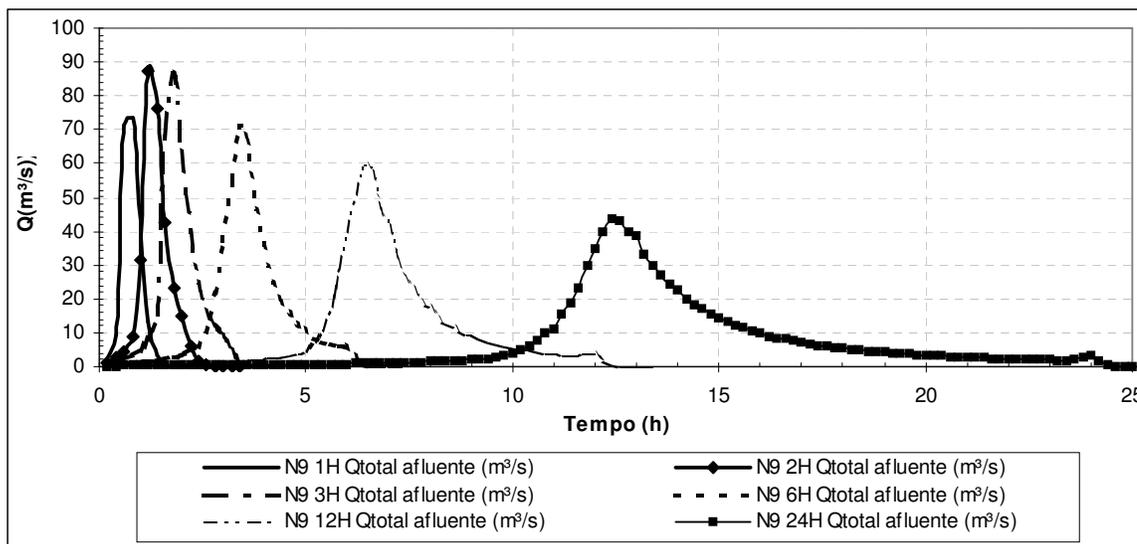


Figura 4: Hidrogramas resultantes nó 9 para várias durações

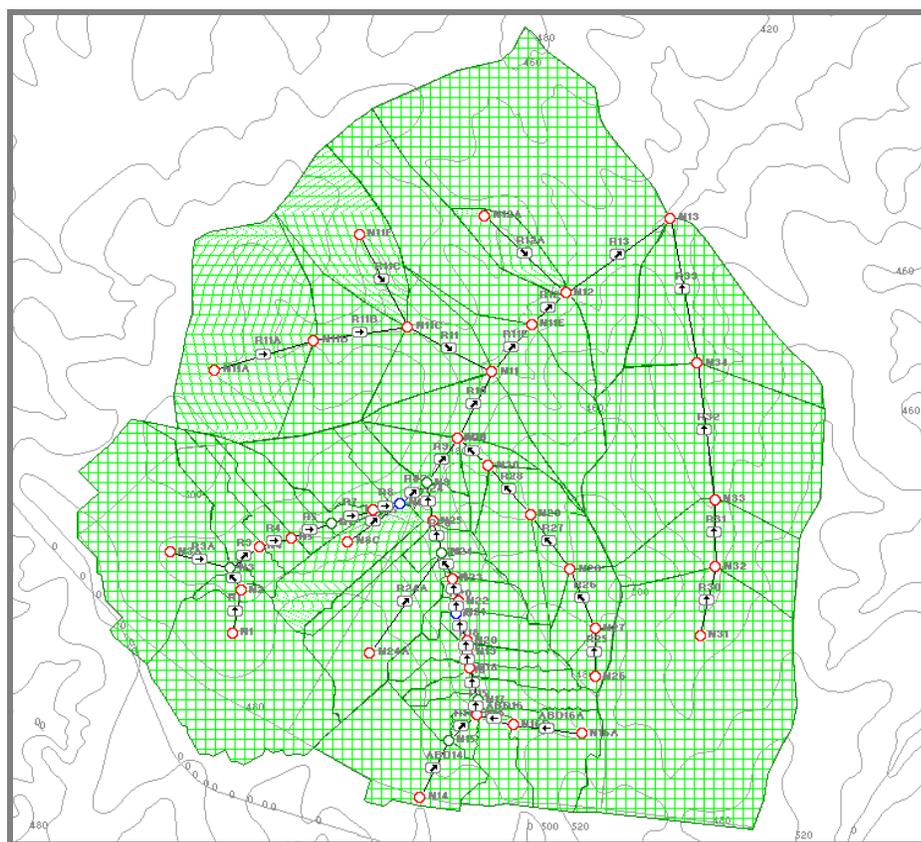


Figura 5 - Esquema de cálculo do modelo Cabc (FCTH,2003).

### 1.3 ETAPA 3 – Definição dos cenários hidrológicos a serem simulados

A próxima etapa compreende a definição dos cenários a serem simulados. Para verificação e obtenção de valores que resultem na obtenção do conceito de “Impacto Zero” devem ser estudados pelo menos três cenários: o cenário de pré-urbanização, o cenário atual, e o cenário futuro, para o horizonte de projeto considerado, que deve ser da ordem de no mínimo de vinte anos. Propõe-se que as vazões sejam calculadas para períodos de retorno 25, 50 e 100 anos. Obviamente, esses parâmetros são sugeridos podendo variar de região para região do país, em função do risco a ser assumido. Portanto, as simulações para obtenção das vazões afluentes, diagnóstico da situação atual e prognóstico da situação futura deverão ser elaboradas para duração de maior criticidade e para vários períodos de retorno. A Tabela 2, a Tabela 3 e a Tabela 4 ilustram alguns resultados obtidos em estudos hidrológicos realizados pelos autores referentes às principais seções indicadas em alguns nós da bacia hidrográfica apresentada na Figura 9. As vazões para o horizonte futuro não variam muito em virtude da bacia estudada já apresentar taxas elevadas de impermeabilização do solo.

Tabela 2 –Vazões de pré-urbanização

Trecho	Nó Inicial	Nó Final	Extensão (km)	TR 100 anos		
				Aacum	Qmax Inicial	Qmax Final
				Final (km <sup>2</sup> )	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)
ABD-14	N15	N16	0,51	0,87	3,41	3,63
ABD-20	N21	N22	0,10	2,83	11,97	12,16
ABD-23	N24	N25	0,32	3,99	15,57	16,09

Tabela 3 - Vazões para situação atual (2005)

Trecho	Nó Inicial	Nó Final	Extensão (km)	TR 25 anos		TR 50 anos		TR 100 anos		
				Aacum Final	Qmax Inicial	Qmax Final	Qmax Inicial	Qmax Final	Qmax Inicial	Qmax Final
				(km <sup>2</sup> )	(m <sup>3</sup> /s)					
ABD-14	N15	N16	0.51	0.87	7.87	8.75	9.59	10.66	11.45	12.72
ABD-20	N21	N22	0.10	2.83	30.03	30.72	36.70	37.53	43.84	44.83
ABD-23	N24	N25	0.32	3.99	41.53	42.68	50.63	52.09	60.39	62.17

Tabela 4 - Vazões para o horizonte de projeto (2025)

Trecho	Nó Inicial	Nó Final	Extensão (km)	TR 25 anos		TR 50 anos		TR 100 anos		
				Aacum Final	Qmax Inicial	Qmax Final	Qmax Inicial	Qmax Final	Qmax Inicial	Qmax Final
				(km <sup>2</sup> )	(m <sup>3</sup> /s)					
ABD-14	N15	N16	0.51	0.87	7,933	8,832	9,672	10,758	11,548	12,831
ABD-20	N21	N22	0.10	2.83	30,481	31,166	37,192	38,025	44,38	45,372
ABD-23	N24	N25	0.32	3.99	42,07	43,231	51,231	52,697	61,049	62,845

#### 1.4 ETAPA 4 – Diagnóstico da situação atual e propostas de soluções para atendimento a meta de projeto correspondente ao conceito de “Impacto Zero”

Após a definição das vazões afluentes deve-se proceder ao diagnóstico da situação atual onde geralmente, é detectada a necessidade de implantação de novos elementos de macrodrenagem em algumas áreas da bacia para atendimento da meta de projeto correspondente ao “Impacto Zero”. Para os trechos em canal a céu aberto em seção natural propõe-se a análise da possibilidade de adoção de “Parques Lineares” (Figura 10), mantendo-se o conceito de privilegiar a infiltração com baixas velocidades ao longo do canal. Esse tipo de medida vem de encontro à tentativa de retorno às

vazões de pré-urbanização. Para acomodação das vazões futuras à situação de pré-urbanização, propõe-se a adoção de reservatórios de detenção convenientemente posicionados em locais disponíveis ou que reduzam a necessidade de relocação de pessoas.

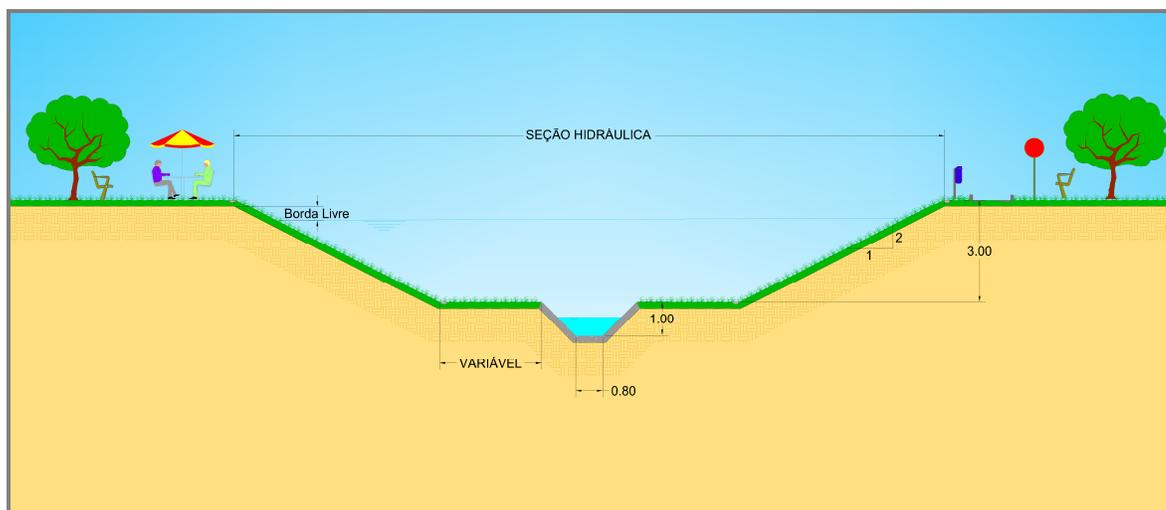


Figura 6 – Parque Linear

## 1.5 ETAPA 5 – Definição dos critérios de dimensionamento das estruturas propostas

Propõe-se que o critério de dimensionamento das estruturas propostas seja o de atendimento às vazões correspondentes ao horizonte de 20 anos, isto é, situação de ocupação em 20 anos e “impacto zero”. Deve-se considerar as vazões obtidas com o modelo matemático de simulação chuva-vazão anteriormente descrito, tomando-se a precipitação com período de retorno de 100 anos (equivalente à probabilidade excedente de 1%) e durações variadas para os eventos. Desta forma, as estruturas propostas (travessias, galerias, dissipadores etc.) e os parques lineares e reservatórios serão verificadas considerando-se a situação mais desfavorável em termos de duração, ou seja, para a maior vazão. A Tabela 5 a seguir ilustra os resultados obtidos das simulações hidrológicas para os diferentes cenários, com e sem a utilização das estruturas mitigadoras. Na Tabela 6 são apresentadas as vazões utilizadas para dimensionamento das estruturas complementares.

**Pode-se observar (Tabela 7) que as vazões resultantes aumentam ou diminuem, em virtude dos efeitos de amortecimento causados pelos reservatórios e, conseqüentemente pela alteração dos tempos de translação da cheia. Por esse motivo, em alguns casos, para chuvas com durações maiores, ou seja, menos intensas, porém mais prolongadas, o efeito de amortecimento dos reservatórios diminui e a vazão efluente resultante aumenta.**

Como se vê na Tabela 5, a vazão no nó N25, obtida na situação de pré-urbanização foi de 16,091m³/s, passando em 2025 para 62,85 m³/s. Com a implantação do reservatório de detenção no nó N24, a vazão do nó N25 passou para 13,21 m³/s, valor este inferior ao estimado na situação de pré-urbanização.

Tabela 5 - Vazões de pré-urbanização, atuais e futuras – com e sem estruturas mitigadoras

BRAÇO DIREITO	Simulações Hidrológicas		TR=100 anos		2005 - TR=100 anos		2025 - TR=100 anos		Proposições com reservatórios					
			Pré-Urbanização		Sem Reservatórios		Sem Reservatórios		horizonte 2025 - TR=100 anos					
									Duração - 2H					
	Nó Inicial	Nó Final	Qmax Inicial (m³/s)	Qmax Final (m³/s)	Qmax Inicial (m³/s)	Qmax Final (m³/s)	Qmax Inicial (m³/s)	Qmax Final (m³/s)	Nó Inicial	Nó Final	Qmax Inicial (m³/s)	Qsaída max (m³/s)	Qmax Final (m³/s)	NA Max (m)
N15	N16	3,41	3,63	11,45	12,72	11,55	12,83	N15	N16	11,55	5,77	7,06	1,75	8,74
N21	N22	11,97	12,16	43,84	44,83	44,38	45,37	N21	N22	27,85	6,05	6,15	2,57	38,49
N24	N25	15,57	16,09	60,39	62,17	61,05	62,85	N24	N25	19,02	11,41	13,21	1,81	25,28

Tabela 6 - Vazões Críticas Utilizadas no Dimensionamento das Estruturas

BRAÇO DIREITO	Simulações Hidrológicas		TR=100 anos		2005 - TR=100 anos		2025 - TR=100 anos		Proposições com reservatórios							
			Pré-urbanização		Sem Reservatórios		Sem Reservatórios		2025 - TR=100 anos							
	Nó Inicial	Nó Final	Qmax Inicial (m³/s)	Qmax Final (m³/s)	Qmax Inicial (m³/s)	Qmax Final (m³/s)	Qmax Inicial (m³/s)	Qmax Final (m³/s)	Nó Inicial	Nó Final	Qmax Inicial (m³/s)	Qsaída max (m³/s)	Qmax Final (m³/s)	NA max (m)	Vol max (10³m³)	Durações
N15	N16	3,41	3,63	11,45	12,72	11,55	12,83	N15	N16	11,55	5,77	7,06	1,75	8,74	2 horas	
N21	N22	11,97	12,16	43,84	44,83	44,38	45,37	N21	N22	14,89	11,41	11,64	3,43	51,42	24 horas	
N24	N25	15,57	16,09	60,39	62,17	61,05	62,85	N24	N25	16,88	16,63	17,14	2,14	29,92	24 horas	

Tabela 7 - Resumo de simulações hidrológicas para 2025 - Tr=100 anos e duração de 2h e 24h.

COM RESERVATÓRIOS - TR=100 anos											
		DURAÇÃO 2 H					DURAÇÃO 24 H				
Nó Inicial	Nó Final	Qmax Inicial (m³/s)	Qsaída max (m³/s)	Qmax Final (m³/s)	NA max (m)	Vol max (10³m³)	Qmax Inicial (m³/s)	Qsaída max (m³/s)	Qmax Final (m³/s)	NA Max (m)	Vol max (10³m³)
N15	N16	11,55	5,77	7,06	1,75	8,74	5,10	3,29	3,76	1,62	8,10
N21	N22	27,85	6,05	6,15	2,57	38,49	14,89	11,41	11,64	3,43	51,42
N24	N25	19,02	11,41	13,21	1,81	25,28	16,88	16,63	17,14	2,14	29,92

A Tabela 8 apresenta um quadro resumo com as características dos reservatórios apresentados neste trabalho. Foram estudados três reservatórios, sendo dois do tipo off-line e um do tipo in line. O volume total retido nos reservatórios foi de 78.000 m³.

Tabela 8 - Quadro de Resumo de Características dos Reservatórios de Detenção Proposto

Seqüência	Reservatório	Localização	Tipo	Estrutura Projetada	Área (m <sup>2</sup> )	Volume (m <sup>3</sup> )	Amortecimento Tr=100 anos	
							Qafluente (m <sup>3</sup> /s)	Qefluente (m <sup>3</sup> /s)
1	BD-15	Afonso XIII –	Off line	Escavado, revestido	5.000	10.000	11,55	5,77
2	BD-21	Braço Direito Afonso XIII –	In line	concreto projetado Escavado, revestido	15.000	40.000	27,85	6,05
3	BD-24	Braço Direito Afonso XIII –	Off line	concreto projetado Escavado, revestido	14.000	28.000	19,02	11,41
<b>Volume Total (m<sup>3</sup>)</b>						78.000		

A Figura 7 , a seguir, ilustra o comportamento dos hidrogramas calculados para o nó N24, no qual se observa particularmente a situação futura (2025) com o efeito dos reservatórios de amortecimento e a situação de pré-urbanização. O volume total alocado, da ordem de 78.000 m<sup>3</sup> corresponde a, aproximadamente 23% do volume total precipitado sobre a área estudada (86 mm x 3,00 km<sup>2</sup> = 343.000 m<sup>3</sup> ).

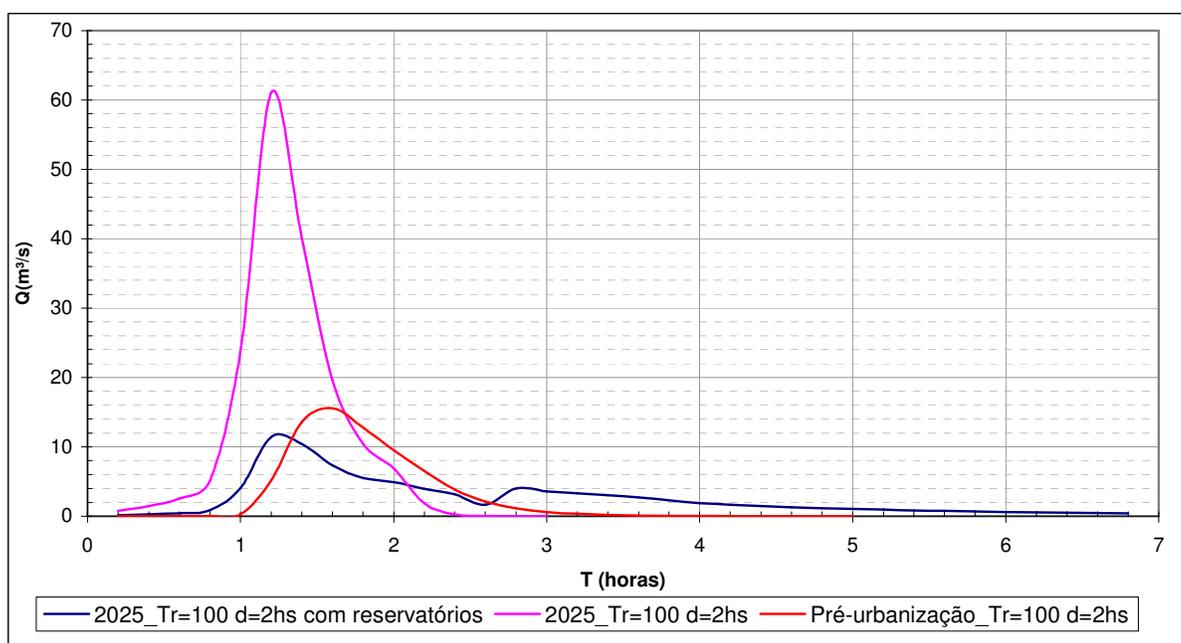


Figura 7 - Hidrogramas resultantes para as situações estudadas no nó 24 com a propsta de reservatório off-line

### 3. CONCLUSÃO

Este artigo teve como premissa apresentar uma metodologia já empregada pelos autores em estudos anteriores e que vêm de encontro as atuais tendências em projetos de drenagem urbana com a aplicação dos conceitos de “Impacto Zero”. O impacto causado pela urbanização das bacias

hidrográficas, caracterizado pelo grande aumento das vazões e deterioração da qualidade da água é um dos entraves para a gestão sustentável dos recursos hídricos. A mitigação destes impactos até sua anulação, no denominado conceito do “Impacto Zero”, pode ser alcançada com o emprego combinado de técnicas de atenuação e retenção do excesso do escoamento superficial, em relação ao original da bacia, denominado de ‘situação de pré-urbanização’.

O emprego de dispositivos de retenção, ou de retardamento do escoamento, como os parques lineares, permite a redução dos picos bem como das vazões veiculadas para jusante. Estas soluções por sua vez, alteram os tempos de trânsito da cheia na bacia, exigindo por parte do projetista a análise do comportamento global para diferentes durações da chuva crítica.

A adoção de reservatórios de retenção sem a análise apurada para diferentes durações de precipitação pode levar a resultados insatisfatórios do ponto de vista hidráulico. É imprescindível que o planejamento seja elaborado considerando-se a bacia como um todo.

Cabe ainda ressaltar, que a alteração dos tempos de trânsito introduzida pelas novas estruturas deve ser analisada na medida em que os resultados obtidos após sua implantação podem não corresponder ao esperado.

#### **4. BIBLIOGRAFIA**

Campana, N.; Tucci, C.E.M. (1994). “*Estimativa de áreas impermeáveis de macro-bacias urbanas*”. RBE – Caderno de Recursos Hídricos, vl. 2, n.2, pp. 79-94.

Campana, N.; Tucci, C.E.M. (1999). “*Previsão da Vazão em Macrobacias Urbanas: Arroio Dilúvio em Porto Alegre*”. RBRH vl. 4, n.1, pp. 19-33.

FCTH – Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica (2008). “*Estudos de Macrodrenagem Urbana da Estância Turística de Tupã*”. V.2.114p.

FCTH – Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica (2003). “*CABc – Simulador Hidrológico de Bacias Complexas*”, Manual do Usuário.. São Paulo SP, 68p.

Jones, Jonathan E., (2001) - “*Bmp Performance and Receiving Water Impacts*”; in Water Resources Impact, Vol. 3, #6, November, 2001.

Pinto, L. L. A., Martins, J.R.S. (2008) – “*Variabilidade da taxa de impermeabilização do solo urbano*”: XXIII Congresso Latinoamericano de Hidráulica - Cartagena de Indias Colombia, Septiembre 2008.

Pinto, L.L.C.; Fadiga Jr., F. M.; Martins, J.R.S. (2006)– “*Definição das Taxas de Impermeabilização para o Plano Diretor de Macrodrenagem do município de Ilha Comprida*”. Anais do I Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos do sul Sudeste.

PMSP – Prefeitura do Município de São Paulo, (1998) “*Diretrizes para projetos de drenagem urbana no Município de São Paulo*”; Ramos, C. L. (org), FCTH, São Paulo, 280p.

Porto, R. M. - *Análise de desempenho de bacias de retenção* (1998) - “Drenagem Urbana: gerenciamento, simulação, controle”, org por Benedito Braga, Carlos Tucci e Marco Tozzi, Porto Alegre: Editora UFRGS/ABRH, (ABRH Publicações, no 3), pag 177-187, 1998.

USACE – United States Army - Corps of Engineers – Hydrologic Modelling System (2008) HEC-HMS 3.2 – Users Manual.