



**PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA
SECRETARIA DE ASSUNTOS ESTRATÉGICOS**



PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO

PROJETO BRA/06/032

ENQUADRAMENTO PNUD: R.1 P1.17

Carta de Acordo nº 25759/2014 (RC) – SAE – FCMF

Adaptação às Mudanças do Clima: Medidas de Adaptação

Infraestrutura Urbana

Produto 4 - IU

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'Wilson Cabral de Sousa Junior'.

Responsável: Wilson Cabral de Sousa Junior

Brasília, 07 de junho 2015

Sumário

1. Introdução	1
1.1. Especificidade do Produto 4	1
2. Contextualização.....	1
2.1. Simulação de hietogramas	3
2.1.1. Rio de Janeiro	4
2.1.2. São Paulo.....	6
2.2. Técnicas compensatórias	9
2.3. Detenção distribuída	12
2.3.1. Orientação de metodologia para dimensionamento de reservatórios distribuídos	15
2.4. Enchentes e alagamentos: monitoramento, alerta e alarme	17
2.5. Planejamento da drenagem urbana e gestão de águas pluviais.....	18
2.5.1. Dinâmica da expansão urbana.....	19
2.5.2. Gestão integrada de banco de dados no auxílio de tomadas de decisão.....	20
2.5.3. Portfólio de orientações dos sistemas de drenagem	22
REFERÊNCIAS.....	25



1. Introdução

O projeto “BRASIL 3 TEMPOS” BRA/06/032, executado pela Secretaria de Assuntos Estratégicos da Presidência da República (SAE/PR), tem como objetivo desenvolver estratégias e ações nacionais que subsidiem o governo na formulação e implementação de políticas públicas de longo prazo que promovam o crescimento econômico do país, acompanhado de inclusão social. Essas ações estão sendo realizadas por meio de estudos, produtos e eventos sobre temas de importância para o planejamento estratégico brasileiro, tendo como eixos temáticos: a infraestrutura urbana, a infraestrutura costeira, o setor energético, a disponibilidade hídrica, a agricultura e os transportes cotejados com a dimensão climática.

1.1. Especificidade do Produto 4

Conforme estabelecido no cronograma de projeto, anseia-se neste produto pela:

“Elaboração de um portfólio de orientações gerais para os setores de drenagem urbana e infraestrutura costeira, em especial, no primeiro caso, para os municípios constantes no Plano Nacional de Gestão de Risco e Resposta a Desastres, conforme elencados no Termo de Referência;”

Bem como,

“Elaboração do Relatório Final consolidado com reflexões sobre adaptação para os setores de drenagem urbana e infraestrutura costeira”

Neste produto focou-se na entrega de orientações e reflexões sobre adaptação para o setor de drenagem urbana.

2. Contextualização

Como já discutido amplamente, a urbanização mal planejada, que provoca uma impermeabilização excessiva do solo e que muitas vezes ocupa áreas inapropriadas ao uso, como várzeas e fundos de vale, é a principal causa de alagamentos e inundações



em centros urbanos.

De acordo com o Manual de Desastres (BRASIL, 2003), esses fenômenos relacionam-se com a redução da infiltração natural nos solos urbanos, a qual é provocada por: compactação e impermeabilização do solo; pavimentação de ruas e construção de calçadas, reduzindo a superfície de infiltração; construção adensada de edificações, que contribuem para reduzir o solo exposto e concentrar o escoamento das águas; desmatamento de encostas e assoreamento dos rios que se desenvolvem no espaço urbano; acumulação de detritos em galerias pluviais, canais de drenagem e cursos d'água; e insuficiência da rede de galerias pluviais.

Esse fenômeno, entretanto, tem sido em muitas localidades agravado pela intensificação de eventos extremos, que tem como causa provável as mudanças climáticas.

Conforme apresentado no Produto 3 IU, nas bacias estudadas das cidades do Rio de Janeiro e São Paulo, o hietograma de projeto apresenta-se muito próximo ao hietograma da chuva excedente, que é a parcela equivalente ao escoamento superficial. Isso significa que a maior parte da chuva precipitada gera escoamento superficial. Esta proximidade deve-se ao alto grau de impermeabilização das bacias.

No decorrer do crescimento das cidades, o emprego de sistemas clássicos de drenagem, que objetiva esgotar rapidamente a água precipitada da chuva, reduz o tempo de deslocamento da água até as áreas a jusante.

Dessa forma, o volume concentrado somado ao seu aumento, favorecido pela redução da permeabilidade das áreas ocupadas, elevam as vazões de contribuição que chegam aos sistemas de condução da macrodrenagem. Assim, quando as vazões contribuintes superam as suas vazões de capacidade, alagamentos e inundações passam a ocorrer.

Didaticamente, a Figura 1 ilustra os hidrogramas de pré e pós-urbanização. Nota-se que além do aumento da vazão de pico com a urbanização, há uma redução do tempo de pico, consequência do aumento das velocidades de escoamento, em função das superfícies impermeáveis e dos próprios sistemas de captação e condução da drenagem urbana.



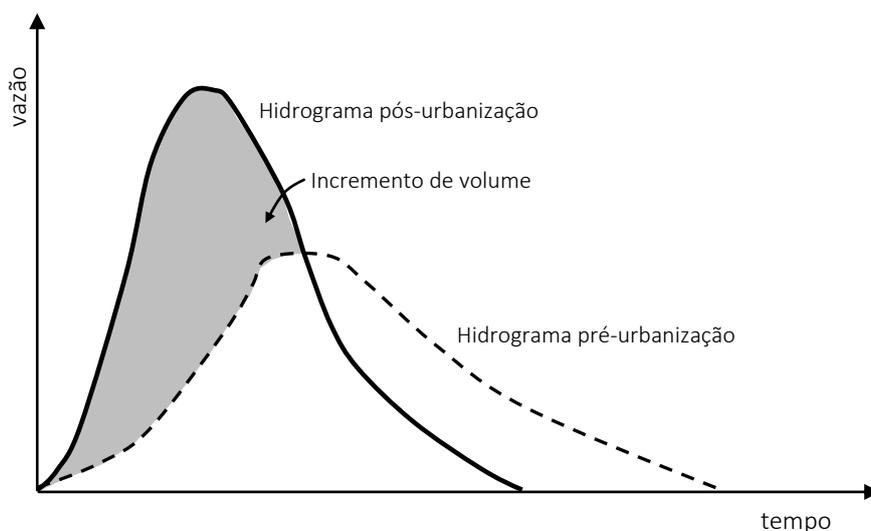


Figura 1. Hidrogramas de pré e pós-urbanização

Na macrodrenagem os problemas de inundações são ainda potencializados, pois os leitos maiores dos cursos d'água, onde ocorre o processo natural de enchente, encontram-se, em geral, ocupados.

A problemática de inundações nos centros urbanos não se resume apenas à macrodrenagem. Muitas vezes, o crescimento das cidades requer alterações do tipo de uso e ocupação do solo, assim, áreas que possuíam restrições maiores de taxa de ocupação passam a impermeabilizar mais o solo. Quando esse crescimento não é acompanhado por adequações e ampliações da infraestrutura de drenagem, as novas vazões geradas tendem a acumular a montante das estruturas de microdrenagem, como bocas de lobo e galerias de águas pluviais, e os alagamentos tornam-se mais frequentes.

3. Simulação de hietogramas

Para avaliar o comportamento das bacias estudadas no Produto 3 IU - Infraestruturas Urbana, no que se refere ao hietograma de chuva excedente, foram realizadas simulações, admitindo hipótese de redução do parâmetro CN.

Pretende-se assim, observar o comportamento dos hietogramas em cenários com mais áreas permeáveis.

Como apontado no Relatório 1 IU, o método do número de Curva (CN) estima o excesso de precipitação, o qual é responsável pela produção do escoamento superficial, fundamentando-se numa função de precipitação cumulativa, tipos de solo, categorias de uso e ocupação do solo e de considerações de umidade.

3.1. Rio de Janeiro

Para avaliar o comportamento da bacia Canal do Mangue adotou-se o parâmetro CN=77, e mantiveram-se as demais características. Assim como no Produto 3 IU - Infraestruturas Urbana, foram considerados os seguintes cenários, a saber:

- Situação atual (IDF Existente);
- Cenário climático: HADGEM2-ES 8.5;
- Cenário climático: MIROC5 8.5.

São apresentados nas Figuras 2, 3 e 4, os hietogramas para duração de 3 horas, comparando situação atual (CN = 87) com cenário simulado (CN = 77). Observa-se que os hietogramas das precipitações excedentes, referente à parcela que corresponde ao escoamento superficial, estão mais distantes dos hietogramas das precipitações de projeto. Como o cenário simulado (CN = 77) reflete um menor grau de impermeabilização, o hietograma ilustra uma redução nas taxas de escoamento superficial.

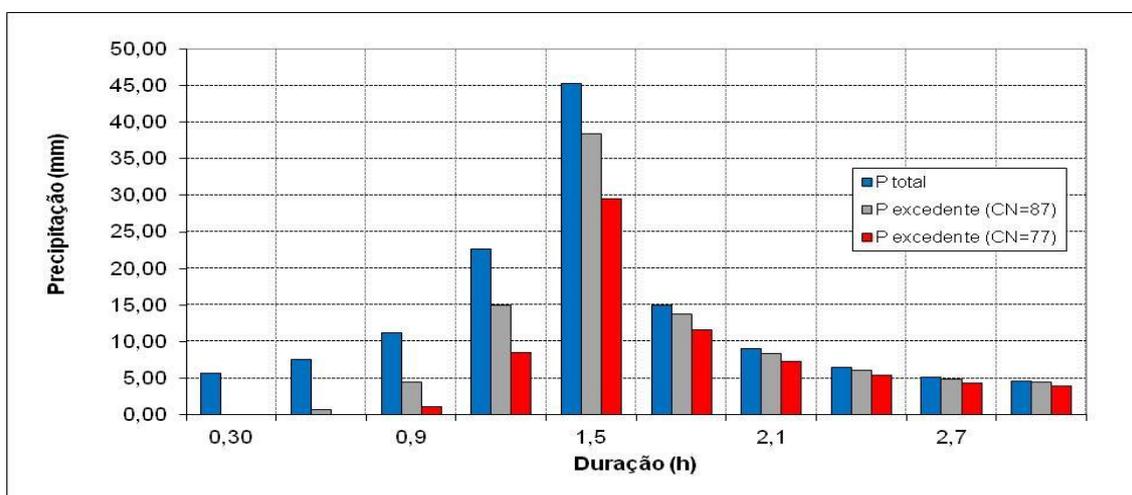


Figura 2. Hietograma para Tr = 50 anos, duração 3 horas (situação atual), Rio de Janeiro.

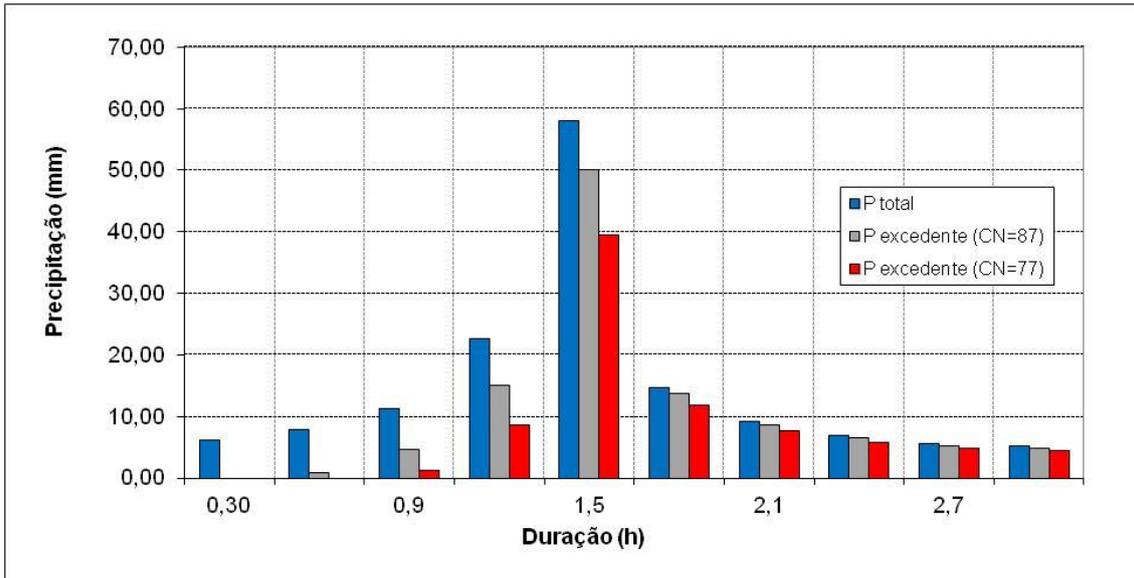


Figura 3. Hietograma para $Tr = 50$ anos, duração 3 horas (Modelo HADGEM2-ES - Cenário 8.5), Rio de Janeiro.

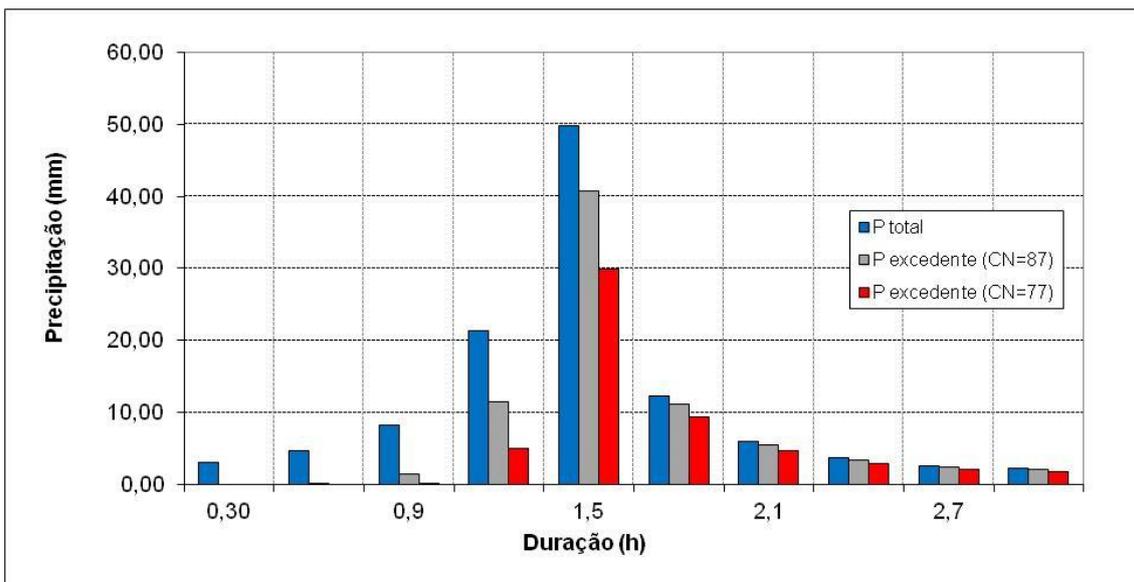


Figura 4. Hietograma para $Tr = 50$ anos, duração 3 horas (Modelo MIROC5 - Cenário 8.5), Rio de Janeiro.

Considerando esses resultados, observamos que as condições de uso e ocupação do solo, impostas pelo cenário simulado (CN = 77), proporcionam maiores taxas de infiltração e conseqüente redução da parcela do escoamento superficial gerado na bacia, tanto para a situação atual, quanto para as simulações do modelo MIROC5 e HADGEM2-ES, cenário 8.5. E dentre os principais efeitos, destaca-se a redução do pico de vazão no exutório da bacia. Para a simulação com o modelo MIROC5, por exemplo,

para uma precipitação total de aproximadamente 50 mm, com um CN = 87 produz-se uma precipitação excedente de pouco mais de 40 mm, enquanto que para um CN = 77, a precipitação excedente, que se traduz em escoamento superficial, é reduzida para aproximadamente 30 mm.

3.2. São Paulo

A mesma sequência de etapas adotadas na determinação do hietograma da bacia estudada para o Rio de Janeiro foi adotada para a cidade de São Paulo.

Para avaliar o comportamento da bacia do Córrego Anhangabaú, adotou-se o parâmetro CN=78, e mantiveram-se as demais características. Também como adotado para o Rio de Janeiro, foram considerados os mesmos cenários climáticos.

Os hietogramas obtidos para duração de 1,5 horas estão apresentados nas Figuras 5, 6 e 7, comparando situação atual (CN=88) com cenário simulado (CN=78). Como nas simulações para o Rio de Janeiro, observa-se que os hietogramas das precipitações excedentes também estão mais distantes dos hietogramas das precipitações de projeto, refletindo o menor grau de impermeabilização da bacia, e consequente redução nas taxas de escoamento superficial.

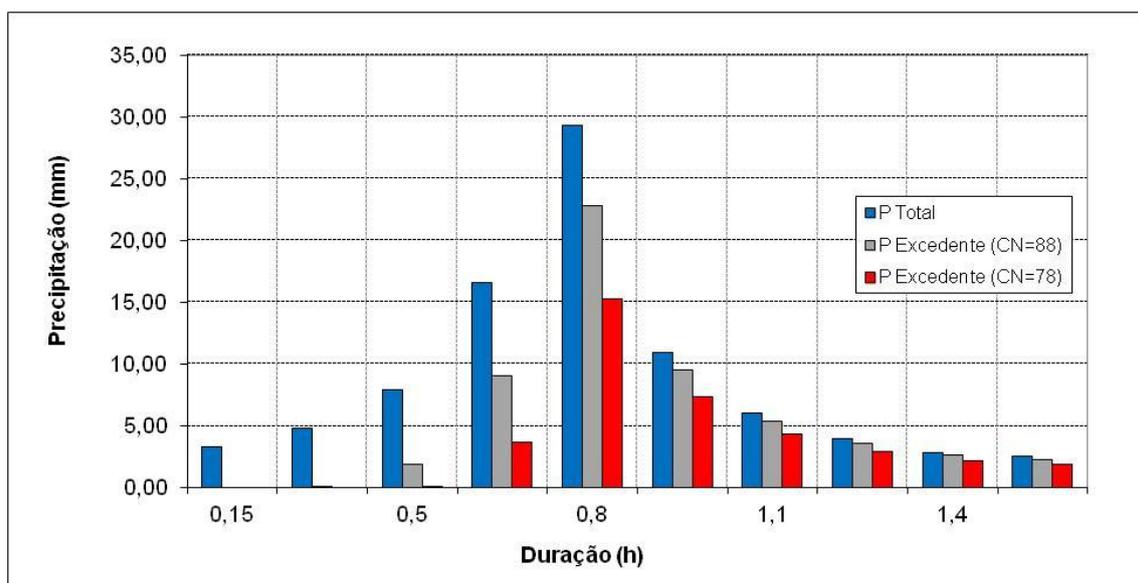


Figura 5. Hietograma para Tr = 50 anos, duração 1,5 horas (situação atual), São Paulo.

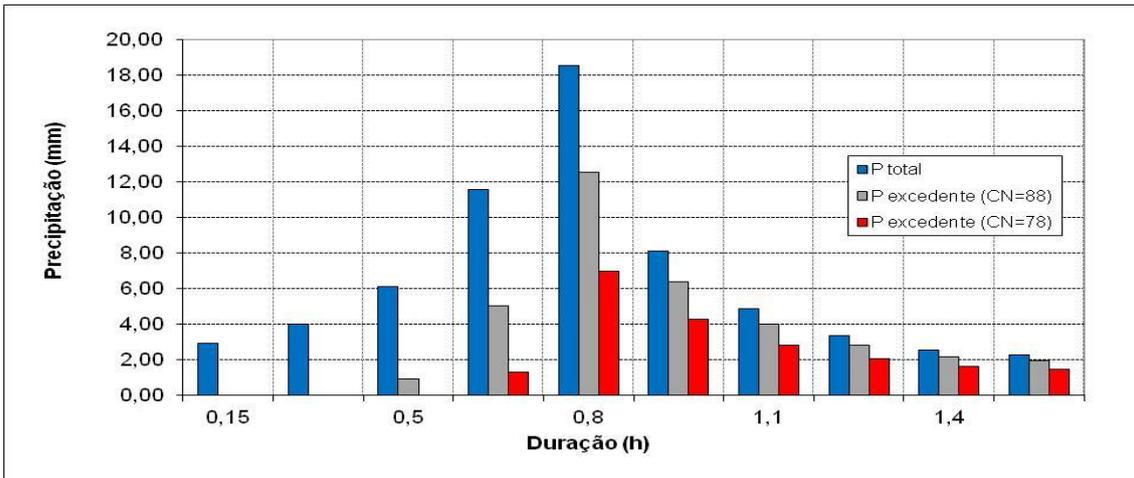


Figura 6. Hietograma para $Tr = 50$ anos, duração 1,5 horas (Modelo HADGEM2-ES - Cenário 8.5), São Paulo.

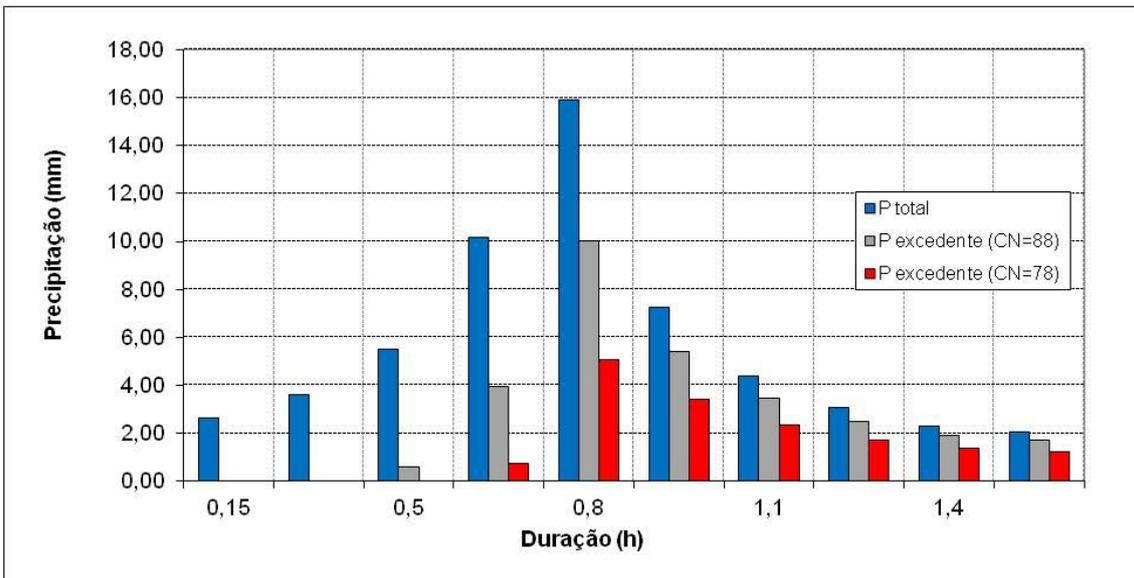


Figura 7. Hietograma para $Tr = 50$ anos, duração 1,5 horas (Modelo MIROC5 - Cenário 8.5), São Paulo.

Diante desses resultados, observamos que houve uma redução expressiva da parcela do escoamento superficial, consequência das condições de uso e ocupação do solo impostas pelo cenário simulado (CN = 78), proporcionando menores precipitações excedente, ou seja, maiores taxas de infiltração. Isso ocorreu tanto para a situação atual, quanto para os cenários 8.5 simulados pelos modelos MIROC5 e HADGEM2-ES. A redução da precipitação excedente leva à redução do pico de vazão no exutório da bacia.

4. Medidas adaptativas em sistemas de drenagem urbana

Diferente da mitigação, onde o objetivo é reverter ou eliminar, se possível por completo, os impactos causados por determinado evento deflagrador, a adaptação pressupõe medidas imediatas que permitam conviver com os impactos causados por determinado evento ou situações em que tais eventos tenham sua frequência ampliada. Em certa medida, os impactos também serão reduzidos porque seus efeitos deverão ser minimizados, mas o evento continuará a existir (IPCC, 2001; NOBRE, 2011).

Para enfrentamento dos efeitos das mudanças climáticas, é fundamental o planejamento de ações que diminuam os danos ao clima do planeta e possam minimizar os impactos das alterações climáticas. E dentre as prioridades, criar indicadores de impacto e monitoramento, com avaliação de riscos e de custos e um planejamento permanente (OBSERVATÓRIO DO CLIMA, 2009).

Nobre (2011), destaca como aspecto fundamental, reconhecer que a adaptação é construída por indivíduos, grupos e governos.

O aumento da resiliência pode ser alcançado através de medidas mais gerais relativas à melhoria da qualidade de vida, aumento do acesso a recursos e seguro de vida; mas também inclui medidas mais específicas que permitam que a população se recupere das perdas ou, ainda, se previna delas. Em geral, esforços para melhorar a capacidade de recuperação da população (em relação às perdas) são mais frequentemente adotados através de políticas públicas com intervenções que envolvem a esfera nacional (SMIT *et al.*, 2006 *apud* NOBRE, 2011)

Diferentes modalidades de uso e ocupação do solo urbano têm um papel essencial na promoção de políticas de mitigação e adaptação das mudanças climáticas. Assim, no que se refere ao estabelecimento dessas políticas, é preciso evitar conflitos de competência entre governos locais, estaduais e nacionais (OBSERVATÓRIO DO CLIMA, 2009).

Nesse contexto, para área de infraestrutura urbana, Canholi (2011) destaca que gerenciamento do sistema de drenagem para o controle de inundações deve seguir alguns princípios e diretrizes, à luz dos conceitos aplicados na moderna drenagem



urbana. Assim, a unidade de gerenciamento deve sempre ser a bacia hidrográfica, e todos os esforços devem ser empenhados junto ao poder público local, quando a bacia em questão envolver mais de uma unidade política de gestão.

Os objetivos do gerenciamento da drenagem urbana são: o controle da quantidade, o controle da qualidade, a restauração dos rios urbanos e a recarga dos aquíferos (CANHOLI, 2005).

Desse modo, o gerenciamento da drenagem requer o tratamento integrado, em nível de bacia hidrográfica, considerando a natureza das cheias e as características físicas e sócio-econômicas de cada região (CANHOLI, 2011).

Preferencialmente, a gestão das águas da chuva deve buscar soluções através das técnicas compensatórias do tipo não-estruturais, pois elas necessitam de menores investimentos e promovem a disciplina e conscientização da população na ocupação do território (Canholi, 2005).

4.1. Técnicas compensatórias

A gestão de águas pluviais em áreas não se resume a aplicação de apenas uma técnica como solução dos problemas de enchentes e inundações, mas a combinações de diversas medidas não-estruturais e estruturais.

Para a gestão de enchentes, inundações e alagamentos em centros urbanos são propostos sistemas alternativos, conhecidos como técnicas compensatórias, que objetivam retratar e simular cenários da bacia primitiva, ou seja, a bacia sem a ocupação, compensando os efeitos da urbanização. Em termos dos hidrogramas apresentados na Figura 1, as técnicas compensatórias buscam, mesmo após a urbanização, aproximar-se do hidrograma de pré-ocupação.

Essas técnicas de compensação podem ser observadas na Figura 8, a qual resume o esquema geral dos sistemas de drenagem. Nota-se que, ao contrário dos sistemas clássicos, as técnicas compensatórias baseiam-se em soluções que reduzem o escoamento e o detém, desacelerando e reduzindo as vazões de pico que chegam aos sistemas da macrodrenagem.



O plano diretor das cidades deve apresentar um zoneamento que contemple áreas permeáveis, preferencialmente em cada lote. Áreas de várzeas e leitos maiores dos rios devem ser preservados. Para garantir a não ocupação dessas áreas, deve-se promover a integração das mesmas à dinâmica urbana, através da implantação de parques e/ou áreas de lazer. A fiscalização deve ser efetiva para que construções irregulares não venham a comprometer o sistema como um todo.

Sistema clássico	Microdrenagem	Sarjeta, boca de lobo e condutos		
	Macrodrenagem	Canais abertos ou condutos fechados de porte significativo		
Sistema alternativo	Técnicas compensatórias não-estruturais	Legislação Racionalização do uso do solo urbano Educação ambiental Alertas e seguros contra inundações		
		Medidas extensivas	Controle da cobertura do solo Controle de erosão Recuperação e preservação da mata ciliar	
	Técnicas compensatórias estruturais	Medidas intensivas	Controle na macrodrenagem	Canalização Diques Reservatórios urbanos
			Controle na microdrenagem	Tanques Lagos Pequenos reservatórios
		Controle na fonte ou controle distribuído	Pavimentos permeáveis Trincheiras filtrantes Microrreservatórios	

Figura 8. Esquema geral dos sistemas de drenagem (Barros, no prelo).

A educação ambiental deve ser um processo contínuo e ininterrupto. Deve-se conscientizar a população dos impactos decorrentes da impermeabilização do solo, promover o incentivo para que áreas verdes sejam mantidas e ampliadas, além da preocupação em não jogar lixo nas ruas, os quais causam entupimentos na rede de drenagem e consequentes alagamentos.

Para as áreas de risco mais elevado, deve-se prover sistemas de alerta efetivos, os quais permitam a evacuação em uma situação de alerta e/ou emergência, e com isso vidas humanas sejam preservadas.

No entanto, dificilmente a aplicação de técnicas não-estruturais é suficiente para solucionar os problemas de enchentes e inundações, principalmente em áreas de

intensa urbanização (Baptista *et al.*, 2005). Portanto, as técnicas compensatórias do tipo estruturais passam a ter um importante papel no controle de escoamento da água da chuva.

As medidas estruturais extensivas agem não somente sobre as áreas específicas da cidade, mas sobre a bacia hidrográfica como um todo. Deve-se promover o controle da cobertura do solo, permitindo com isso a infiltração e reduzindo o processo erosivo, o qual provoca o assoreamento em rios e canais, diminuindo a capacidade de vazão. Permitir a infiltração é essencial para recarga dos aquíferos, os quais atuam como reservatórios subterrâneos e em época de baixas precipitações mantêm os níveis de rios e represas, gerando também uma externalidade positiva sobre os sistemas de abastecimento urbano.

Uma forma bastante efetiva de se reduzir alagamentos e inundações é a aplicação de medidas estruturais intensivas distribuídas na bacia, como pavimentos porosos e calçadas permeáveis, valas de infiltração, lagos e pequenos reservatórios, que reduzem os volumes e picos de vazões que chegam às estruturas de condução da macrodrenagem. Essas intervenções tendem a diminuir a demanda por grandes obras de contenção na macrodrenagem.

Dentre as medidas intensivas de controle em nível da macrodrenagem está a implantação de reservatórios urbanos (macrodrenagem) que possuem algumas desvantagens, a começar com a dificuldade de achar lugares adequados, tanto pela combinação do sistema de drenagem e a topografia favorecida para sua construção, quanto pelo elevado custo de desapropriação e aquisição dessas áreas.

Os grandes reservatórios requerem manutenções constantes, uma vez que estão sujeitos a um grande carregamento de resíduos e conseqüente poluição e assoreamento nos seus interiores. Outra desvantagem é a oposição por parte da população pela retenção de resíduos e esgotos, oriundos de ligações clandestinas no sistema de drenagem pluvial. No entanto, obras na macrodrenagem muitas vezes são indispensáveis, pois muitas cidades surgiram da ocupação de áreas de várzeas, onde ocorrem enchentes naturais sazonais de cursos d'água.



4.2. Detenção distribuída

Na gestão das inundações, soluções de controle em nível da microdrenagem tornam-se muito atraentes, por estarem distribuídos pela cidade e necessitarem de espaços menores.

Atualmente, o controle distribuído em lotes e em pequenas áreas urbanas vem sendo implantado em legislações de diversas cidades brasileiras. Assim como os demais tipos de controle, a detenção na fonte possui suas vantagens e desvantagens.

A utilização de microrreservatórios de detenção dificulta o controle, pois esses se encontram dentro de áreas particulares, em que a manutenção dependerá da iniciativa privada.

Dessa forma, a adoção dessa técnica requer investimentos no corpo técnico municipal de análise de projetos e fiscalização de obras, adoção de técnicas que diminuam e facilitem a manutenção das estruturas de controle e desenvolvimento de programas de educação e incentivos da política pública.

Como ferramenta da gestão de enchentes urbanas, o controle na fonte além de proporcionar reduções nos picos de vazões, auxilia a conscientização da população em relação às inundações e refere-se à adoção de técnicas de redução do escoamento como emprego de telhados verdes, pavimentos permeáveis e ampliação das áreas verdes.

Os sistemas de detenção na fonte devem ser aplicados a áreas e bacias urbanizadas de difícil implantação e intervenção por outras medidas intensivas de controle, pois essa medida não consegue e nem deve retratar os cenários naturais de escoamento dos terrenos. O dimensionamento destes sistemas de forma que a vazão de pico de escoamento do terreno pós-edificado retornasse à vazão de pico do terreno natural, exigiria volumes muito altos e conseqüentemente demandaria espaços nem sempre disponíveis nas construções e áreas de terrenos existentes.

Uma solução alternativa, conforme apresentada por Barros (no prelo), envolveria relacionar o coeficiente de escoamento do terreno pós-edificado com os problemas de



drenagem de cada região ou bacia hidrográfica da cidade.

Na maioria das legislações brasileiras são contempladas apenas exigências quanto ao volume de retenção. No entanto, as inundações urbanas essencialmente se devem à combinação do volume e o seu tempo de descarga a jusante. Se o volume gerado em uma bacia chega rapidamente a jusante, os sistemas de drenagem dessa região podem não ser suficientes para conduzi-lo e, então, a inundação ocorre. Portanto, para que o objetivo seja alcançado, as legislações devem contemplar restrições de vazões máximas a serem despejadas no sistema de drenagem municipal, ou seja, vazões de controle.

No entanto, Barros (no prelo) demonstra que se a vazão de deságue for muito pequena ou, como abordado por algumas legislações, houver restrições de tempos mínimos de retenção da água, os reservatórios poderão exceder suas capacidades antes ou durante a passagem das vazões de pico.

Para ilustrar esses conceitos, toma-se como exemplo a aplicação da Lei Estadual Paulista nº 12.526, 2007 (lei das “piscininhas”). Trata-se de uma extensão para todo o estado da Lei Municipal de São Paulo nº 13.276, a qual tornou obrigatória a implantação de sistema para a captação e retenção de águas pluviais, coletadas por telhados, coberturas, terraços e pavimentos descobertos que possuam áreas impermeabilizadas superiores a 500 m². Conforme o texto legal, para a determinação do volume de retenção é proposta a Equação 1.

$$V = 0,15 \cdot AI \cdot IP \cdot t_d , \quad (1)$$

em que V é o volume de retenção, em m³, AI é a área impermeável, em m², IP corresponde ao índice pluviométrico, previamente fornecido de 0,06 m/h e t_d é igual ao tempo de duração da chuva, também fornecido de 1 h.

Constam nessa lei, em seu artigo 1º, três incisos que expõem os objetivos de aplicação, a saber:

- I- reduzir a velocidade de escoamento de águas pluviais para as bacias hidrográficas em áreas urbanas com alto coeficiente de impermeabilização do



solo e dificuldade de drenagem;

- II- controlar a ocorrência de inundações, amortecer e minimizar os problemas das vazões de cheia e, conseqüentemente, a extensão dos prejuízos;
- III- contribuir para a redução do consumo e o uso adequado da água potável tratada.

No artigo 2º estão apresentadas as formas de destinação da água retida:

- I- infiltrar-se no solo, preferencialmente;
- II- ser despejada na rede pública de drenagem, após uma hora de chuva;
- III- ser utilizada em finalidades não potáveis, caso as edificações tenham reservatório específico para esta finalidade.

Para um lote de 1.000 m² na cidade de São Paulo, com 75% de área impermeabilizada, tempo de concentração (t_c) de 5 minutos e tempo de duração da chuva (t_d) de 60 minutos, um orifício de fundo para descarga de 75 mm de diâmetro, o hidrograma resultante é apresentado pela Figura 9.

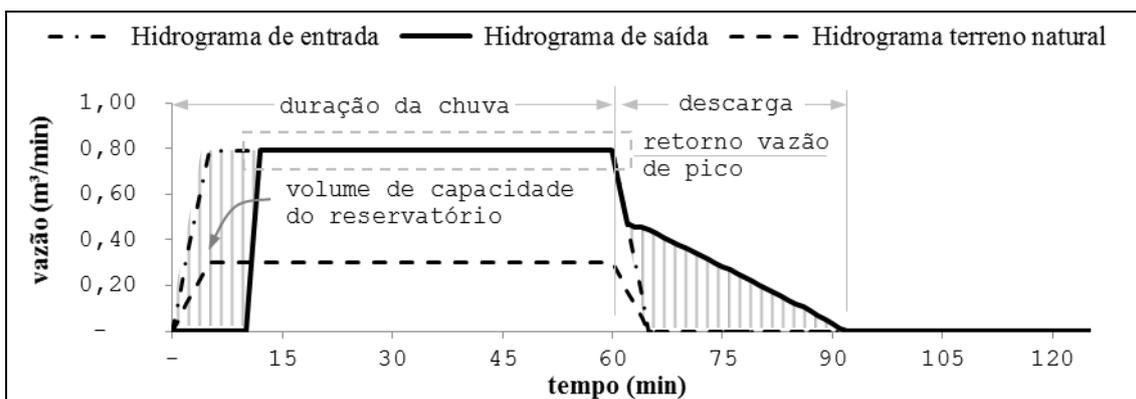


Figura 9. Hidrograma de entrada e saída de um reservatório dimensionado pela Lei Estadual Paulista nº 12.526, 2007, para um lote de 1.000 m² com 75% de área impermeabilizada, $t_c = 5$ e $t_d = 60$ minutos. Fonte: adaptado de (Barros, no prelo).

De acordo com a Figura 9, após 11 minutos de precipitação, a capacidade de retenção, calculada pela Equação 1, já estaria esgotada, começando então a funcionar o sistema de extravasamento, que a partir dos 12 minutos, tem a mesma vazão de entrada,

próxima aos $0,80 \text{ m}^3/\text{min}$. Ou seja, com as vazões de pico passando pelas estruturas extravasoras dos reservatórios, não há uma redução do pico de vazão e os alagamentos continuariam a acontecer. Para o caso de aplicação de uma bomba para a descarga, o hidrograma é bastante semelhante, modificando apenas após 60 minutos, que é o tempo determinado pela Lei para se iniciar a descarga.

Nota-se pelo exemplo exposto que o tipo de descarga do reservatório é fundamental na eficácia do sistema. Permitir que o orifício atue desde o início da precipitação e alterar seu diâmetro, pode permitir uma redução efetiva da vazão de pico. É preciso oferecer uma solução que contemple não somente o volume de detenção necessário, mas também o tipo de descarga que o reservatório deve ter.

Um alerta importante deve ser feito em relação à destinação da água armazenada. De acordo com o parágrafo 2º da Lei, deve-se permitir que a água preferencialmente infiltre no solo. Entretanto, para solos com baixas taxas de infiltração, após um evento de precipitação, o reservatório permaneceria com grande volume de água no seu interior, e na possível passagem de uma segunda tormenta, não atuaria no amortecimento dos picos de vazão e no combate a enchentes. O mesmo aconteceria caso a água fosse armazenada no próprio reservatório para outras finalidades não potáveis (inciso III). Ou seja, são sistemas com finalidades diferentes e que trabalham de formas diferentes, embora possam ser integrados em soluções com maior adicionalidade.

4.2.1. Orientação de metodologia para dimensionamento de reservatórios distribuídos

Orientamos para fins de dimensionamento de reservatórios de detenção a metodologia de Chow *et al.* (1988), que propõe calcular de forma simplificada o volume de detenção, necessário para a vazão do cenário pós-desenvolvido retornar à vazão pré-desenvolvida, utilizando o Método Racional Modificado (MRM), que considera o tempo de concentração e a duração da chuva, conforme apresentado na Figura 10.



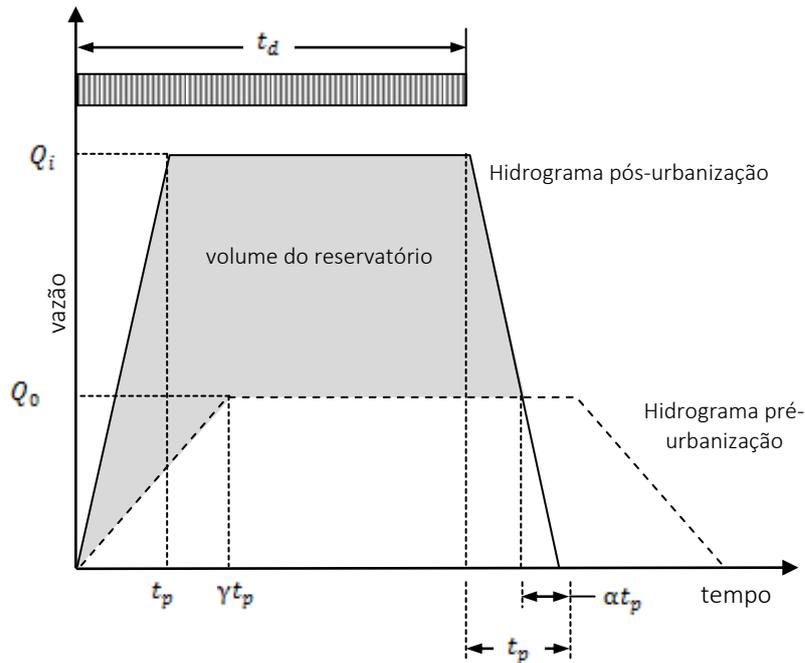


Figura 10. Relação entre vazões de pré e pós-desenvolvimento, pelo Método Racional Modificado (Adaptado de CHOW *et al.*, 1988).

Propõe-se entretanto, que o dimensionamento dos reservatórios de detenção seja feito não com base em uma vazão de pré-urbanização (Q_0), mas com base em uma vazão de controle (Q_c), igual à vazão da capacidade do sistema de drenagem municipal. A proposta de estabelecimento de uma vazão de controle fornece suporte para que a gestão municipal repasse à sociedade a responsabilidade de uma parcela do aumento da impermeabilização do solo urbano que não foi contemplado no dimensionamento do sistema de drenagem implantado.

Para sistemas de detenção, a duração da chuva crítica deve ser estudada e estipulada para cada municipalidade e/ou bacia de interesse. De acordo com Chow *et al.* (1988), o tempo de duração da chuva crítica corresponde àquele em que se obtém o maior volume de escoamento.

Através do hidrograma do MRM, fixada uma vazão de controle, pode-se determinar a chuva crítica, conforme demonstrado na Figura 11.

[Handwritten signature]

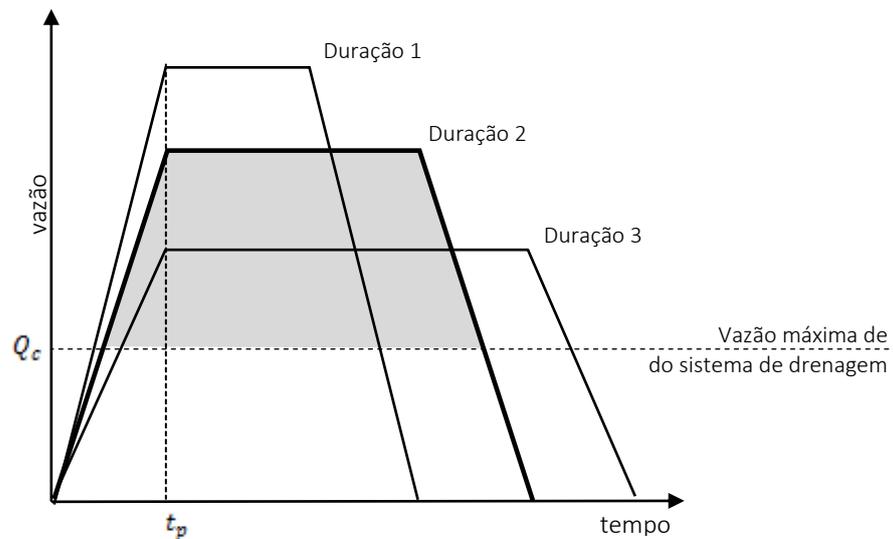


Figura 11. Hidrograma do MRM para definição da chuva crítica.

Segundo Barros (no prelo), a variação das condições do sistema de drenagem e parâmetros hidrológicos de cada região dentro de uma cidade são fatores condicionantes para que resultados positivos de redução das inundações e alagamentos sejam atingidos.

Portanto, para a aplicação dessa técnica, não se deve restringir apenas a uma equação simplificada, conforme apresentam as legislações brasileiras, para a cidade ou todo o estado. Recomenda-se que se desenvolvam equações específicas para cada região e/ou bacia hidrográfica.

4.3. Enchentes e alagamentos: monitoramento, alerta e alarme

O monitoramento hidrometeorológico no Brasil remonta o século XIX. Desde então, o número de estações hidrometeorológicas tem aumentado, tornando possível a ampliação do conhecimento hidrológico do País (BRASIL, 2013).

Radares meteorológicos permitem previsões sobre a magnitude das precipitações futuras, através do estudo das nuvens causadoras de chuvas (BRASIL, 2003).

Em São Paulo, com o auxílio do SAISP - Sistema de Alerta de Inundação de São Paulo, o

monitoramento em tempo real propicia uma avaliação permanente da condição do sistema ou dos equipamentos do sistema de drenagem urbana. Este monitoramento constitui-se do estabelecimento de uma rede de transmissão de dados pluviométricos e fluviométricos às centrais de processamento e informação (SÃO PAULO, 2012).

De forma complementar, a organização de mapas de risco facilita o planejamento urbano e o desenvolvimento de planos diretores, em harmonia com as forças ambientais.

É importante motivar a comunidade para participação no planejamento de medidas preventivas não-estruturais e estruturais. E finalmente, o planejamento deve ser integrado, multidisciplinar e de longo prazo. O consenso é importante e a filosofia dos projetos comunitários é semelhante à que orienta os projetos comunitários de manejo integrado de bacias, devidamente adaptada ao espaço urbano (BRASIL, 2003).

4.4. Planejamento da drenagem urbana e gestão de águas pluviais

Considerando principalmente experiências estrangeiras e algumas nacionais, atualmente existe a convicção de que a forma mais racional, econômica e sustentável de equacionar questões relativas às inundações em bacias urbanas é através de Planos de Drenagem Urbana (SÃO PAULO, 2012).

O sistema de drenagem urbana deve ser considerado em conjunto com o planejamento urbano. Do contrário, corre-se o risco de serem projetadas alternativas de alto custo, ou mesmo ineficientes.

Dentro do universo do planejamento público, o planejamento de drenagem urbana deve ser considerado de forma integrada com demais planos setoriais, tais como: sistemas de abastecimento de águas, esgotos sanitários, pavimentação urbana, zoneamento urbano, áreas de lazer e outros.

De acordo com Canholi (2011), estudos de alternativas para o gerenciamento da drenagem começa com a completa compreensão da natureza do processo de formação de cheias na bacia, considerando os componentes naturais e antrópicos que



provocam as inundações.

Devem-se analisar estudos, projetos e planos associados à área em referência, propondo-se medidas de integração com as instituições responsáveis pelo seu desenvolvimento.

No contexto das limitações dos estudos hidrológicos apresentados no Produto 3 IU - Infraestruturas Urbana, para a RMSP, são necessários equipamentos meteorológicos, elaboração de modelos hidrológicos, realização de medições contínuas para obtenção de séries históricas, entre outras ações, uma vez que as escalas dos modelos climáticos não são compatíveis com as escalas urbanas e as aproximações ainda não possibilitam precisar o número de eventos futuros.

De forma complementar, agora no universo do município do Rio de Janeiro, recomenda ainda medidas de manutenção de intervenções implantadas no sistema, de modo a garantir o funcionamento previsto. Além dessas, medidas de monitoramento do sistema são recomendadas, de maneira integrada com o centro de operações do município, a fim de possibilitar a operação em tempo real.

4.4.1. Dinâmica da expansão urbana

Historicamente a proximidade dos corpos d'água e aglomerações urbanas, de início, era considerado fator de desenvolvimento. Benefícios como água para abastecimento, desenvolvimento do comércio e transporte, compensavam os custos eventuais representados pelas inundações.

Segundo Batista e Nascimento (2002), até meados do século XIX o risco de inundações periódicas era relativamente bem aceito, considerando “um preço a pagar” pela disponibilidade da água junto à cidade. A partir do século XIX, o aumento das aglomerações trouxe dificuldades e desconforto resultantes da deficiência da infraestrutura de controle da presença de águas nas cidades.

Nesse contexto, o crescimento acelerado da população urbana brasileira nas últimas décadas gerou um quadro de expansão urbana desordenada com infraestrutura



precária e degradação ambiental, principalmente na periferia das grandes cidades. De acordo com Silveira *et al.* (2003), isto acontece em razão de dificuldades sócioeconômicas, desencadeando uma expansão irregular da periferia, com pouca ou nenhuma obediência à regulamentação urbana, presente em normas específicas de ocupação do solo, incluindo frequentemente a ocupação de áreas públicas por populações de baixa renda.

Considerando as simulações hidrológicas realizadas para as cidades de São Paulo e Rio de Janeiro, apresentadas no Produto 3 IU - Infraestruturas Urbana, para esse cenário de expansão urbana, destaca-se que o enfrentamento exige abordagens diferenciadas e busca de soluções e/ou instrumentos de gestão adequados ao atendimento da sociedade.

É necessário que se utilize de instrumentos existentes, como por exemplo os Planos Diretores e Zoneamento Urbano, entronizando nestes a questão da drenagem urbana e, em especial, as áreas contingenciais em casos de eventos extremos. No entanto, é importante que a governança seja analisada e aprimorada sob o aspecto da eficácia dos instrumentos de planejamento, ainda que para isso se demande um esforço institucional sem precedentes. Há que se aprimorar o controle para que o zoneamento oriundo deste esforço seja, de fato, cumprido. Uma atenção especial deve ser despendida às áreas de risco de inundações, adequando o uso e ocupação das mesmas. Parques e áreas de lazer apresentam-se como uma solução bastante interessante de uso dessas áreas.

4.4.2. Gestão integrada de banco de dados no auxílio de tomadas de decisão

Na infraestrutura de drenagem urbana, em função do próprio porte das intervenções, associadas a volumes e vazões elevadas em relação a outros sistemas hidráulicos urbanos, a implantação e a gestão dos sistemas implica, geralmente, na mobilização de significativos recursos financeiros, originados principalmente dos orçamentos municipais, e eventualmente complementados sob demanda específica, por financiamentos pontuais dos governos federal ou estadual ou ainda por empréstimos



de bancos ou organismos de desenvolvimento, nacionais e internacionais (BATISTA e NASCIMENTO, 2002).

Diante desse cenário associado aos elevados custos de implantação e manutenção de sistemas de drenagem urbana, torna-se necessário avaliar a reestruturação do modelo atual de financiamento e gestão integrada do sistema, sobretudo no contexto atual da dinâmica de expansão urbana.

Assim, **para subsidiar o processo de tomada de decisão e elaboração de um Planejamento da Drenagem Urbana e Gestão de Águas Pluviais, recomenda-se a formação de um banco de dados integrando municípios, estados e União.** Entre as informações básicas a serem levantadas e disponibilizadas, destacam-se:

- Uso e Ocupação do Solo Atual (elementos que permitam caracterizar o grau de impermeabilização da bacia e a ocupação das áreas marginais aos corpos de água principais);
- Geologia e geotecnia;
- Caracterização de uso e ocupação do solo atual e passado;
- Cadastros atualizados das obras hidráulicas (micro e da macrodrenagem);
- População atual e previsão de seu crescimento;
- Dados pluviométricos e dados fluviométricos (níveis d'água e descargas) - integração com programas de monitoramento das bacias;
- Acesso aos estudos hidrológicos e hidráulicos das obras executadas e das previstas;
- Curvas de descarga das estruturas ("as built") hidráulicas existentes;
- Mapeamento dos pontos de alagamento e de inundação observados para os eventos selecionados;
- Base de dados com projetos mais recentes relativos ao setor habitacional, ao setor viário e de transporte e aos serviços de abastecimento de água e de coleta e tratamento de esgotos;



- Dados de monitoramento hidrológico, hidráulico e da qualidade da água.

Tratam-se de informações básicas para propiciar diagnósticos hidrológico e hidráulico (com monitoramento de bacia), programas de controle de cheias, e despoluição de corpos d'água.

Dessa forma, alcançar eficiência no controle da quantidade e qualidade, na restauração dos rios urbanos e a recarga dos aquíferos.

Os critérios para o sucesso da ação devem se basear em questões de eficácia (capacidade de se colocar em prática e tornar efetivo) e eficiência (capacidade de fazer operar/funcionar de acordo com as especificações), examinando-se antes a equidade e legitimidade das ações de adaptação (SMIT *et al.*, 2006 *apud* NOBRE, 2011).

Finalmente, recomenda-se elaboração de um plano de contingências visando descrever as medidas a serem tomadas pelos municípios com a finalidade de obter uma gestão mais eficiente, deixando mais integradas as ações necessárias para o controle de eventos extremos até que as condições normais sejam reestabelecidas.

5. Portfólio de orientações e recomendações sobre os sistemas de drenagem

Para determinação dos níveis de interesse na avaliação das medidas adaptativas propostas, adotamos os critérios apresentados na Figura 12, estabelecidos em SAE (2015). Na Tabela 1, destacam-se em escala micro, os aspectos relacionados às estruturas existentes. Enquanto em escala macro, o planejamento de políticas e sistemas.

Muito embora as medidas adaptativas apresentadas na Tabela 1 tenham tido o foco nas cidades do Rio de Janeiro e São Paulo, elas são aplicáveis e recomendáveis para grande parte dos centros urbanos.



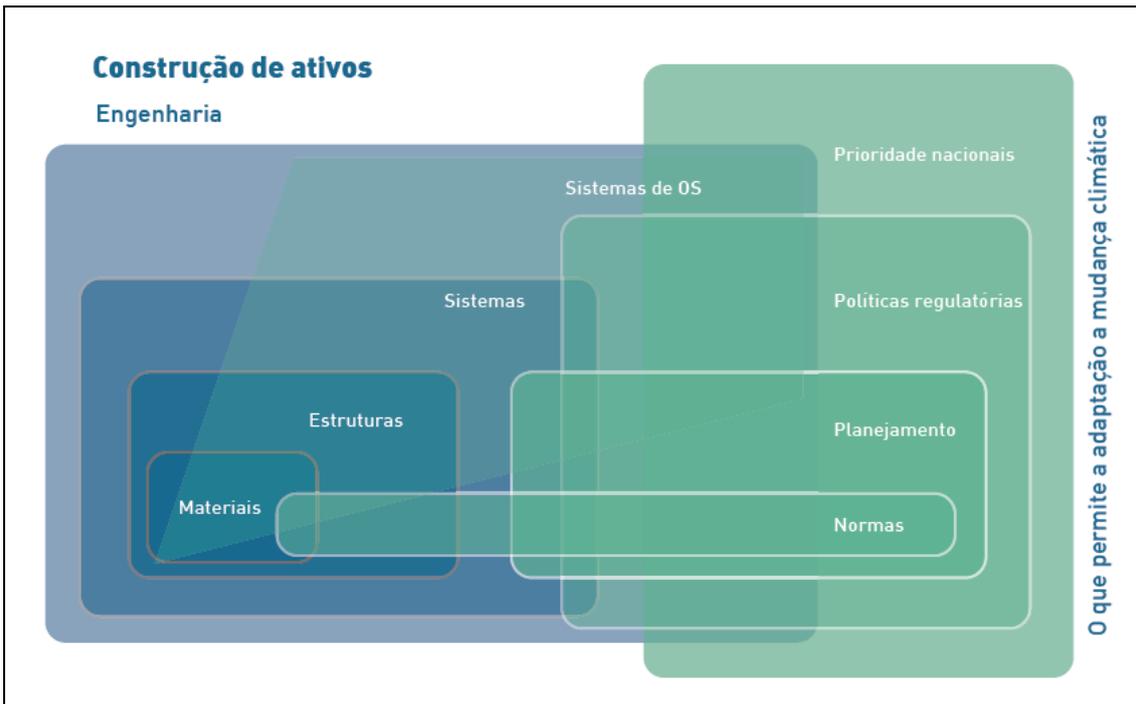


Figura 12. Abordagem multiescalar sobre mudanças climáticas e as infraestruturas.
(Fonte: WANG e SMITH, 2014 *apud* SAE, 2015)

Tabela 1. Portfólio de orientações dos sistemas de drenagem

ESCALA	PORTFÓLIO DE ORIENTAÇÕES DOS SISTEMAS DE DRENAGEM		
	RIO DE JANEIRO E SÃO PAULO		
	ABORDAGEM	CENÁRIO ATUAL	MEDIDAS ADAPTATIVAS
MICRO: MATERIAIS E ESTRUTURAS	SISTEMA CLÁSSICO DE MICRO E MACRODRENAGEM	- DISPOSITIVOS DE CAPTAÇÃO E GALERIAS - CANAIS	- CADASTRO GEORREFERENCIADO - AUMENTO DE ÁREAS PERMEÁVEIS - CONTROLE DA QUALIDADE: restauração dos rios urbanos - GERENCIAMENTO DE OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO DE MICRO E MACRODRENAGEM
MACRO: PLANEJAMENTO DE POLÍTICAS E SISTEMAS	MEDIDAS ESTRUTURAIS	- RESERVATÓRIOS URBANOS	- MICRORRESERVATÓRIOS DE DETENÇÃO - TRINCHEIRA DE INFILTRAÇÃO - CONTROLE NA FONTE
	MEDIDAS NÃO-ESTRUTURAIS	- LEGISLAÇÃO (LEIS E DIRETRIZES)	- LEGISLAÇÃO MAIS EFICIENTE - FISCALIZAÇÃO E CUMPRIMENTO DAS LEIS - PLANOS DIRETORES E ZONEAMENTO URBANO QUE INCORPOREM AS QUESTÕES DA DRENAGEM URBANA
		- SISTEMA DE ALERTA (LOCAL)	- AMPLIAÇÃO DE REDE HIDROMETEOROLÓGICA - GERENCIAMENTO DE CONTINGÊNCIAS: MONITORAMENTO, ALERTA E ALARME INTEGRADOS EM TEMPO REAL
			- EDUCAÇÃO AMBIENTAL: processo contínuo
			- RACIONALIZAÇÃO DO USO DO SOLO URBANO: controle da dinâmica de expansão urbana - CRIAÇÃO DE PARQUES E ÁREAS DE LAZER EM ZONAS DE INUNDAÇÃO
			- GESTÃO DE BANCO DE DADOS INTEGRADO ENTRE MUNICÍPIOS, ESTADOS E UNIÃO
	- CONTROLE DE EROSIÃO E ÁREAS DE RISCO		

Ainda que o presente estudo, por razões já discutidas em relatórios anteriores, tenha se caracterizado como uma pesquisa de escopo local, as recomendações apresentadas a seguir estão apoiadas em elementos passíveis de extensão para demais municípios brasileiros. Há que se atentar ainda para os diferentes níveis de implantação de políticas pré-existentes, seja em nível federal, seja em nível estadual, aplicáveis ao sistema de infraestrutura de drenagem urbana em suas interfaces com a adaptação às mudanças climáticas.

De um modo geral, as perspectivas futuras são de discussão e regulamentação dos instrumentos legais de gestão de recursos hídricos e melhor integração entre os níveis federal, estadual e municipal; aprofundamento dos métodos de análise e mapeamento de perigos, vulnerabilidade e riscos com abordagem probabilística; ampliação dos municípios estudados e melhoria dos inventários de alagamentos e inundações, inclusive com o georreferenciamento dos registros existentes.

Em termos de gestão, o grande desafio será promover a sinergia entre os estudos científicos e as políticas públicas de redução de risco de desastres, especificamente os relacionados com risco de inundações e alagamentos, incluindo os gestores públicos e a sociedade civil organizada.

Adotando os critérios estabelecidos por Wang e Smith (2014 apud SAE 2015), para a abordagem multiescalar sobre mudanças climáticas e as infraestruturas, apresentados na Figura 12, destacam-se;

i) Normas - Em escala micro, destacam-se a necessidade de estabelecimento de normas que direcionem medidas mais efetivas para a elaboração de banco de dados georreferenciado, apresentando elementos de interface com os sistemas de infraestrutura urbana de drenagem. Tratam-se de informações básicas para propiciar diagnósticos hidrológico e hidráulico (com monitoramento de bacia).



Essas normas devem incentivar o aumento do percentual de áreas permeáveis no perímetro urbano, promover de maneira mais eficiente programas de controle de qualidade e despoluição de corpos d'água. Dessa forma, alcançar eficiência no controle da quantidade e qualidade, na restauração dos rios urbanos e a recarga dos aquíferos.

Para a manutenção e operação desse sistema de infraestrutura urbana de drenagem, diante do cenário associado aos elevados custos desse procedimento, torna-se necessário avaliar a reestruturação do modelo atual, muito baseado na mobilidade urbana e rendido à especulação imobiliária, sobretudo no contexto atual da dinâmica de expansão urbana.

ii) Planos - No contexto de intervenções em escala macro, no universo do planejamento público, o papel a ser desempenhado pelo o planejamento de drenagem urbana deve ser considerado de forma integrada com demais planos setoriais, tais como: sistemas de abastecimento de águas, esgotos sanitários, pavimentação urbana, zoneamento urbano, mobilidade urbana, áreas de lazer e outros. O planejamento deve ser feito levando em consideração o balanço hídrico das bacias hidrográficas, investigando efeitos para jusante e de montante.

É necessário que se utilize de instrumentos existentes, como por exemplo os Planos Diretores e Zoneamento Urbano, evidenciando nestes a questão da drenagem urbana e, em especial, as áreas contingenciais em casos de eventos extremos.

iii) Políticas regulatórias - É importante que a governança seja analisada e aprimorada sob o aspecto da eficácia dos instrumentos de planejamento, ainda que para isso se demande um esforço institucional sem precedentes.

Há que se aprimorar o controle para que o zoneamento oriundo deste esforço seja, de fato, cumprido. Uma atenção especial deve ser despendida às áreas de risco de inundações, adequando o uso e ocupação das mesmas. Parques e áreas de lazer apresentam-se como uma solução bastante interessante de uso dessas áreas.



Nesse cenário, os instrumentos locais e regionais de zoneamento podem exercer importante papel no contexto da adaptação às mudanças climáticas, desde que o planejamento que os originam incorporem tal preocupação. Neste sentido, ganham relevância os colegiados locais nos quais tais instrumentos são gestados. Conseqüentemente, o aperfeiçoamento destes fóruns, no sentido de ampliar a participação da sociedade local e suas prerrogativas na tomada de decisão, é um elemento importante a se considerar.

iv) Prioridades nacionais - Legislação mais eficiente; fiscalização e cumprimento das leis, planos diretores e zoneamento urbano que incorporem as questões da drenagem urbana; ampliação da rede hidrometeorológica; o gerenciamento de contingências (monitoramento, alerta e alarme integrados em tempo real); educação ambiental; racionalização do uso do solo urbano; criação de parques e áreas de lazer em zonas de inundação; gestão de banco de dados integrado entre municípios, estados e União; controle de erosão e áreas de risco.



REFERÊNCIAS

BAPTISTA, M. B.; NASCIMENTO, N. O. Aspectos institucionais e de financiamento dos sistemas de drenagem urbana. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 7, n. 1, p. 29-49, 2002.

BAPTISTA, M. B.; NASCIMENTO, N. O.; BARRAUD, S. **Técnicas compensatórias em drenagem urbana**. 2.ed. Porto Alegre: ABRH, 2005. 318 p.

BARROS, V. D. S. **Proposta de metodologia para a determinação de equações simplificadas para dimensionamento de detenção distribuída**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Infraestrutura Aeronáutica) – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos. No prelo 2015.

BRASIL. **Manual de Desastres Naturais**, V. I. Ministério da Integração Nacional, Secretaria Nacional de Defesa Civil. Brasília-DF, 2003.

BRASIL. **Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil: 2013**. Agência Nacional das Águas (ANA). Brasília-DF, 2013.

CANHOLI, A. P. **Drenagem urbana e controle de enchentes**. São Paulo: Oficina de Textos, 2005. 302 p.

CANHOLI, A. P.; GRACIOSA, M. C. P. (2011) **Enchentes na cidade do Rio de Janeiro - Causas e soluções - Estudo de caso: Bacia do Canal do Mangue**. In: Anais XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Maceió, Brasil, ABRH.

CHOW, V. T.; MAIDMENT, D. R.; MAYS, L. W. **Applied hydrology**. New York: McGraw-Hill, 1988. 572 p.

INTERGOVERNMENTAL PANEL OF CLIMATE CHANGE, IPCC. **Climate change 2001. Synthesis report**. Cambridge University Press. 2001.

NOBRE, C. A. **Vulnerabilidades das megacidades brasileiras às mudanças climáticas: região metropolitana de São Paulo: relatório final** / Carlos A. Nobre, coordenador. – São José dos Campos, SP: INPE, 2011. 192 p.

OBSERVATÓRIO DO CLIMA. **Diretrizes para Formulação de Políticas Públicas em Mudanças Climáticas no Brasil**. Organização: Mario Monzoni, Coordenação: Rachel Biderman; Orientação Técnica e Política: Fabio Feldmann. Pesquisadoras Responsáveis: Michelle Muhringer Shayer e Luciana Betiol. 2009.

SAE. Assuntos Estratégicos / Secretaria de Assuntos Estratégicos da Presidência da República. **Mudança climática pensamento estratégico**, nº 1 (nov. 2014). Brasília: Secretaria de Assuntos Estratégicos da Presidência da República, 2015.



SÃO PAULO. Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano. **Manual de drenagem e manejo de águas pluviais: gerenciamento do sistema de drenagem urbana**. São Paulo: SMDU, 2012.

SÃO PAULO. **Lei Municipal nº 13.276, de 5 de janeiro de 2002**. Torna obrigatória a execução de reservatório para as águas coletadas por coberturas e pavimentos nos lotes, edificados ou não, que tenham área impermeabilizada superior a 500 m². São Paulo, 2002. Disponível em: <<http://www.leispaulistanas.com.br/sites/default/files/ReservatorioDeAgua/LEI%2013276.PDF>>. Acesso em: 10 nov. 2014.

SÃO PAULO (Estado). Lei Estadual nº 12.526, de 2 de Janeiro de 2007. Estabelece normas para contenção de enchentes e destinação de águas pluviais. Publicação: Secretaria da Assembleia Legislativa do Estado de São Paulo. **Diário Oficial do Poder Legislativo**, São Paulo, 03 de janeiro 2007. p. 117.

SILVEIRA, G. L. da *et al.* Balanço de cargas poluidoras pelo monitoramento quali-quantitativo dos recursos hídricos em pequena bacia hidrográfica. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 8, n. 1, p. 5-11, 2003.

URBONAS B.; STAHRÉ, P. **Stormwater best management practices and detention for water quality, drainage and CSO management**. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1993. 450 p.

WANG, X. e SMITH, S. M. A Multi-Scale Adaptation Nexus for Resilient National Built Assets to Reduce Climate Risks and Mitigate Disasters. **Adaptation Futures** 2014. Fortaleza. Brasil, 2014.



Wilson Cabral de S. Junior
Instituto Tecnológico de Aeronáutica
Professor Associado

