

## Gestão da drenagem urbana: só tecnologia será suficiente?

José Rodolfo Scarati Martins

Escola Politécnica, Universidade de São Paulo

[scarati@usp.br](mailto:scarati@usp.br)

### RESUMO

Neste artigo apresenta-se uma sistematização dos conceitos de drenagem urbana e gestão da drenagem enfatizando as mudanças de paradigmas necessárias, sob os aspectos técnico e institucional, para que a meta de eficiência dos sistemas urbanos seja alcançada. São apresentadas as premissas para a gestão da drenagem urbana, na forma do modelo dos três P (planejamento, procedimento e preparo) e citados exemplos de ações em cada um dos módulos, com ênfase para o emprego de monitoramento, técnicas compensatórias e mitigadoras e planos de ações emergenciais. Por fim é feita uma descrição mais detalhada do uso dos pavimentos permeáveis reservatório como mecanismo de redução do escoamento superficial e

### INTRODUÇÃO

A pergunta que dá título a este artigo diz respeito ao descrédito que paira sobre os resultados dos esforços para redução dos riscos de inundações, notadamente nas áreas urbanas. Décadas de imagens fortes (Figura 1), atuais e antigas, mostrando interrupções no trânsito, escorregamento de encostas, veículos arrastados e residências invadidas pela água, não apenas no Brasil, criaram esta imagem, que se traduz no dia a dia por expressões como as indicadas no quadro a seguir, e dão a impressão de que os estragos causados pelas chuvas são mesmo incontroláveis.

<p><i>O rio transbordou....</i>  <i>O bueiro não foi limpo.....</i>  <i>No meu governo vamos acabar com as inundações...</i>  <i>As obras vão trazer proteção contra enchentes...</i>  <i>Vamos controlar as cheias dos rios...</i>  <i>Acabar com as enchentes.....</i>  <i>Aqui nunca inundava e a agora....</i></p>
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Mais do que emblemáticas, estas frases deixar transparecer o entendimento, ou melhor, a falta de entendimento que muitos setores da sociedade têm sobre a gestão da drenagem urbana e as formas possíveis de atacar o problema.

Neste artigo, além de apresentar o problema de forma objetiva, conectando as inundações às vulnerabilidades trazidas pela cidade a uma bacia hidrográfica, objetiva-se apresentar alguns conceitos de medidas estruturais (obras) e não estruturais (institucionais) que compõe o leque de ações chamados de *técnicas compensatórias para gestão de drenagem urbana*. Como no título do artigo, algumas destas medidas são puramente tecnológicas e podem ser discutidas no âmbito dos técnicos e especialistas no assunto. Outras devem ser tratadas pela sociedade, pois incluem compreender e praticar ações de longo prazo

como a educação ambiental e o conceito de redução de risco.



**Figura 1: Inundações antigas e modernas na cidade de São Paulo: problemas repetitivos que parecem não ter solução**

### SISTEMAS DE DRENAGEM

Toda bacia hidrográfica é composta por uma rede de elementos de drenagem constituída por rios, riachos, córregos e pântanos ou várzeas, que naturalmente se formaram e se mantem em função da dinâmica das precipitações e das características do terreno, como tipo de solo, declividades, cobertura vegetal, entre outros. Com o uso urbano intenso do solo da bacia hidrográfica, este sistema é alterado substancialmente pela introdução de elementos artificiais e pelo aumento das descargas. O sistema inicial ou micro drenagem compreende tudo o que é construído para garantir o funcionamento do sistema viário e dar acesso aos lotes e habitações. É composto pelos pavimentos das ruas, guias e sarjetas, bocas de lobo, galerias de drenagem, sistemas de retenção e infiltração nos lotes e pavimentos, trincheiras e valas e muitos outros dispositivos relacionados ao viário. Em termos de desempenho, estes elementos caracterizam-

se por admitir alto risco de falha, correspondente em termos hidrológicos, aos eventos de precipitação de período de retorno 2 10 anos. Como estes sistemas tem alcance pequeno, sua interconexão também é reduzida e suas falhas causam problemas nas ruas ou avenidas às quais servem.

Nas áreas urbanas, a macro drenagem herdou as funções da malha hídrica original da bacia na quais córregos, riachos e rios foram substituídos por canalizações, túneis, elevatórias, reservatórios de retenção e retenção, barragens e outros dispositivos. A macrodrenagem tem alta interconectividade, transferindo problemas de um subsistema para outro, motivo pelo qual se admite um baixo risco de falhas, ou seja, tempos de recorrência superiores a 25 anos.

Pode-se dizer que a micro drenagem é afeita aos sistemas viários e de acesso, sendo projetada, construída e operada para garantir o bom desempenho destes, além de servir de porta de entrada para a macrodrenagem, que recebe todo o impacto da ação urbana sobre a bacia.

### **Premissas da Questão da Drenagem Urbana**

O entendimento de que a drenagem faz parte do ambiente urbano e que a urbanização é inimiga da sustentabilidade da bacia passou a integrar a literatura sobre o assunto nos últimos 30 anos, quando os técnicos e pesquisadores compreenderam que o antigo conceito higienista não produzia o resultado esperado.

A ocupação desordenada das várzeas eliminou as naturais áreas de armazenamento e escoamento, mostrando que administrar o problema de drenagem consiste em resolver um problema de alocação de espaço (volume). A limitada disponibilidade hídrica em algumas bacias para atendimento de todas as demandas humanas também ensina que o controle da poluição faz parte do problema 'drenagem', já que esta é um vetor para a condução e dispersão de poluentes no meio hídrico.

O aperfeiçoamento dos mecanismos de gestão de recursos hídricos através da implantação dos comitês de bacias hidrográficas e suas agências executivas, assim como a institucionalização das agências reguladoras de serviços públicos ou concessionados, introduziu um ordenamento territorial e de precedência sobre os usos da água e passou a controlar os impactos sobre os mananciais, impedindo a transferência de danos para jusante ao longo das bacias bem como a ampliação destes impactos acima daqueles que naturalmente ocorreriam. Como é praticamente impossível uma intervenção urbana de algum porte sem impactos sobre o meio hídrico, aprendeu-se finalmente que as técnicas compensatórias deverão fazer parte de nova forma de se planejar e administrar as cidades.

Eventos extremos como os grandes desastres de New Orleans (USA) em 2005 e no Rio de Janeiro em 2011 mostraram que dificilmente o emprego do

termo '*combater cheias*' ou '*acabar com as inundações*' poderá continuar sendo empregado, devendo ser substituídos pelo conceito de redução dos riscos para padrões aceitáveis.

Em conclusão, as falhas dos sistemas de drenagem nas bacias urbanas, manifestadas pela falta de espaço para escoamento das águas no período de cheias e todas as suas decorrências, não podem ser imputadas à mãe natureza e sim ao uso do solo e ao desrespeito aos princípios da dinâmica fluvial que rege o comportamento dos cursos d'água naturais.

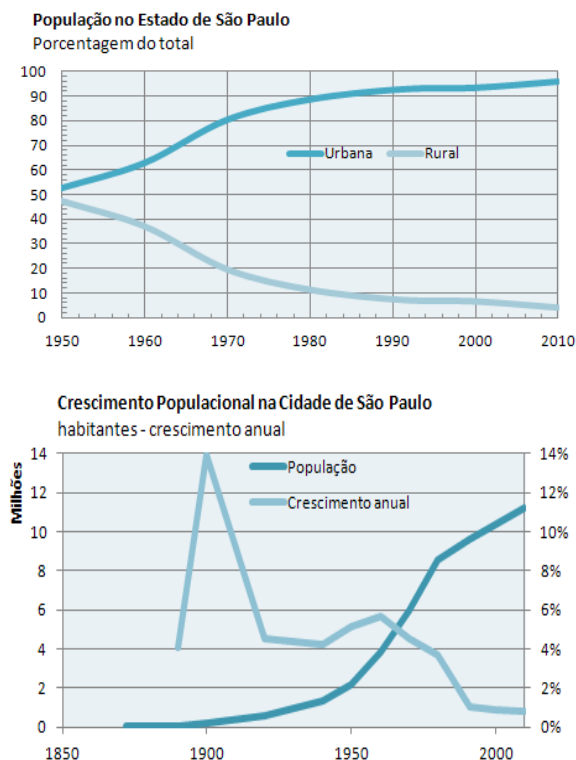
Deve-se considerar também que não existe formação técnica específica para capacitação de gestor urbano em drenagem e, mesmo naqueles currículos mais ligados ao tema, a engenharia civil e ambiental, a discussão formativa é ainda incipiente e restrita aos aperfeiçoamentos e especializações, o que limita muito sua institucionalização prática.

Também do lado legal e administrativo o paradigma é a ausência de fontes de investimento e custeio para a gestão da drenagem, tanto no âmbito dos municípios como das unidades da federação, além da falta de conectividade entre os organismos de regulação de uso do solo, operacionalização dos sistemas de saneamento e transportes.

### **A vulnerabilidade das cidades**

No estado de São Paulo, mais de 95% dos habitantes vivem nas cidades, configurando um retrato demográfico que sofreu uma alteração drástica nos anos 1960 e atualmente mostra certa estabilidade, com taxas de crescimento moderadas e baixas (Figura 2). A tendência, entretanto, é de que as cidades se consolidem como 'a parada definitiva' da população do futuro, tornando-se também o grande vilão ambiental, por concentrarem grandes demandas sobre o solo, o ar e os recursos hídricos.

Nas cidades as cargas de poluição pontuais podem ser razoavelmente controladas, entretanto as fontes difusas, que são aquelas geradoras de constituintes poluentes transportados para os corpos hídricos por ocasião das precipitações, são ainda um grande desafio para os gestores e deverão merecer atenção imediata da mesma forma que a questão da inundação de bens e vias de tráfego. Desta forma, a gestão dos resíduos sólidos é também um problema de drenagem e precisa ser considerado em sua gestão.



**Figura 2: População e crescimento populacional no Estado de São Paulo (IBGE, 2011)**

As várzeas são áreas com terrenos economicamente desvalorizados tanto pelo risco naturalmente maior de inundações como pela pior qualidade dos solos em termos de fundações para edificações. A ocupação destas por edificações e sistema viário reduz a capacidade de armazenamento, da mesma forma que a ocupação das encostas aumenta a produção de sedimentos em função da alta declividade dos terrenos, levando ao assoreamento dos cursos d'água e consequente diminuição de sua capacidade natural.

Em sentido contrário, as intervenções para aumento da condutividade hidráulica alteram o equilíbrio geomorfológico natural uma vez que o aumento das velocidades de escoamento acarreta erosão e desbarrancamento das margens, aumento das irregularidades do leito e novamente a perda da capacidade de condução.

Ocupação das várzeas, ocupação das encostas, mau controle dos resíduos sólidos, intervenções desvinculadas do equilíbrio dinâmico dos corpos hídricos são práticas de gestão inadequada do espaço hídrico e que produzirão resultados pífios ou nulos no longo prazo, para redução dos riscos de inundação e perdas devido às enchentes.

Pode-se verificar que muito do que se chama de *progresso* e *conforto* conquistados com o ambiente urbano, tem potencial para aumentar a vulnerabilidade destes ambientes aos efeitos das enchentes: impermeabilização, pavimentação, sistemas de entrada

e canalização de cursos d'água, dificuldades culturais e institucionais locais, alterações microclimáticas, pressão imobiliária, alta concentração de fontes poluidoras.



**Figura 3: Obstrução, ocupação de várzeas, resíduos sólidos aumentam a vulnerabilidade do ambiente urbano aos efeitos das cheias** (fotos J Rodolfo S Martins & Mario Thadeu L Barros)

Deve-se acrescentar a este panorama, a fragilidade institucional do setor de drenagem urbana, tanto nos municípios como nos demais entes federativos. Embora a Lei 11.445/2007 tenha introduzido a drenagem urbana como um dos componentes do sistema de saneamento, ele ainda é considerado problema menos nobre do que abastecimento de água e coleta de esgotos.

A já mencionada inadequação da formação de equipes técnicas, constatando-se a que não existem especialistas em drenagem nos quadros profissionais da maioria dos municípios, o que limita a ação destes profissionais às práticas corriqueiras, leva a leitura equivocada e interpretação errônea das técnicas de desenvolvimento de baixo impacto e até mesmo sua não utilização, por ser considerada mais cara e difícil de ser operada.

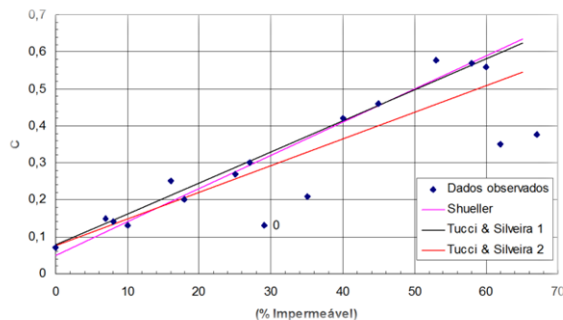
Como outros aspectos preocupantes do atual panorama da gestão da drenagem urbana no Brasil são a fragmentação das atividades, a descontinuidade administrativa e a ausência de planejamento de longo prazo. Os três aspectos mencionados nascem do mesmo conceito de que programas e planos são muitas vezes considerados obras de uma administração e não como ações de governo. No caso da drenagem urbana, é comum a divisão de tarefas e orçamentos entre diversos órgãos, sob diferentes esferas administrativas, o que leva, como exemplo, um município a implantar uma intervenção de drenagem em um curso d'água completamente em desacordo com o plano de drenagem da bacia maior, desenvolvido pela autoridade

estadual ou federal. Já os planos, feitos para horizontes de 20 ou 30 anos, passíveis de revisões periódicas são, com alguma frequência, abandonados pelas alternâncias da gestão administrativa ou política.

### A questão da impermeabilização

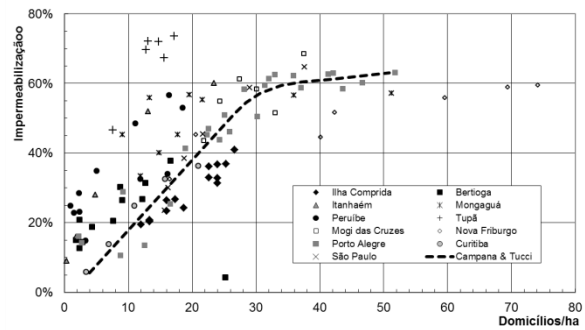
A impermeabilização é responsável direta pelo aumento do escoamento superficial das bacias urbanas e pela redução do chamado tempo de concentração, aquele necessário para que toda uma determinada área sob precipitação venha a contribuir para um determinado ponto, resultando no conhecido efeito de aumento dos picos e redução da base dos hidrogramas (Figura 4).

Campana et al. (1994) mostraram a partir de imagens de satélite, em trabalho pioneiro para o Brasil, que a densidade populacional guarda uma boa correlação com a impermeabilização dos terrenos, que tendia a uma saturação ao redor de 65% a partir de 100 habitantes/hectare, quando então a verticalização manifesta-se mais fortemente.



**Figura 4: Relação entre a impermeabilização e o run off a partir de diferentes pesquisadores (Tucci, 2007)**

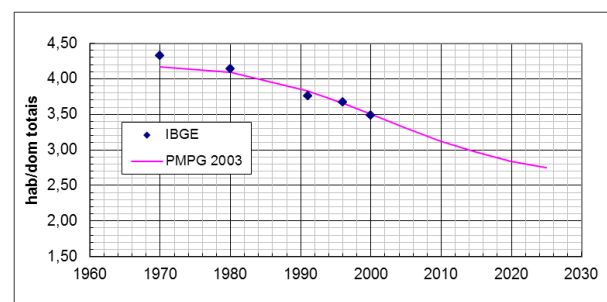
Entretanto, como destaca Okumo (apud PINTO, 2011) a dinâmica do uso do solo urbano evolui constantemente, não apenas em função do crescimento populacional, mas também com a mudança de hábitos, situação econômica e cultural e efeito das políticas públicas de controle e incentivo. Estudos mostrados em PINTO et al (2008) já indicavam uma variabilidade maior nesta correlação, principalmente quando se tomava em conta a variável densidade de domicílios, que reflete diretamente a demanda por espaço e é na verdade a causadora da impermeabilização (Figura 5). Taxas de impermeabilização de até 70% foram registradas a partir de fotografias aéreas em regiões com densidade igual a 15 domicílios/hectare.



**Figura 5: Relação entre a densidade de domicílios e a impermeabilização dos terrenos em diferentes cidades comparadas com o estudo de Campana et al (Pinto et al, 2008)**

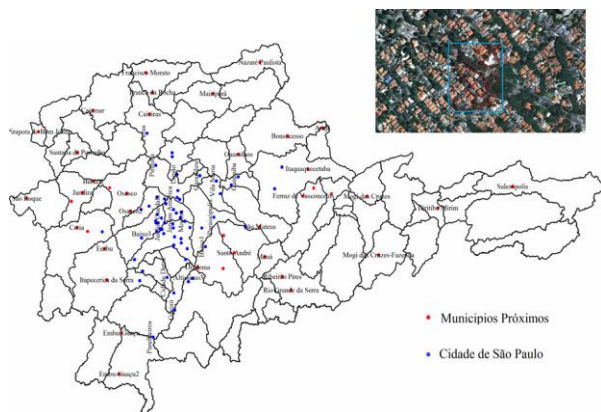
Projeções da década de 2000 já indicavam uma forte tendência de redução na ocupação média dos domicílios, refletida pela relação habitantes por domicílio, que passaria de cerca de 4 em 1970 para valores inferiores a 3 em 2020, (Figura 6) fazendo com que a tendência de impermeabilização se dê mesmo com populações menores. Estudos recentes, desenvolvidos para o PDMAT3 - Plano Diretor de Macro Drenagem da Bacia do Alto Tietê - Etapa 3 (DAEE, 2012), a partir de fotografias aéreas de alta resolução da área da grande São Paulo (Figura 7) e das informações dos setores censitários do censo IBGE 2010, indicaram taxas de impermeabilização muito mais altas, da ordem de 90% para densidades de 30 domicílios por hectare (Figura 8).

Estes valores, de certa forma assustadores, refletem a percepção geral de que o adensamento nas grandes cidades é capaz de resultar na impermeabilização quase total da área da bacia, e indicam claramente a necessidade de utilização de medidas compensatórias para recuperação da capacidade de armazenamento natural (Baptista et al. 2005) e que devem ser implantadas de forma agressiva através de políticas de incentivo, pagamento de serviços ambientais e a longo prazo, a obrigatoriedade.

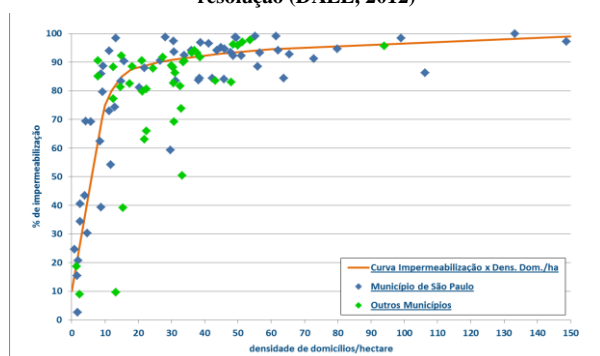


**Figura 6: Relação habitantes/domicílio no município de Praia Grande/São Paulo e projeção com dados até o Censo 2000**





**Figura 7: Amostragem da taxa de impermeabilização na região da Grande São Paulo, a partir de fotografias aéreas de alta resolução (DAEE, 2012)**



**Figura 8: Relação entre a densidade de domicílios e a impermeabilização na Grande São Paulo (DAEE, 2012)**

## GESTÃO DA DRENAGEM URBANA

A gestão de drenagem urbana compreende um conjunto de técnicas e ações que pode ser resumido no conceito dos 3P: *Planejamento, Procedimento e Preparo*. Dos três grupos, o Planejamento é o mais fácil de ser explicado e entendido no âmbito técnico, mas o que encontra as maiores dificuldades com relação à sua observância ao longo do tempo. O Planejamento inclui atividades como a elaboração dos planos diretores, projeto e implantação de sistemas de redução de risco e exige o uso maciço de todo o elenco de medidas, estruturais e não estruturais.

Os planos diretores compreendem tanto os específicos para drenagem urbana, como os planos municipais de saneamento e os projetos integrados aos planos existentes. Os modernos planos devem destacar as conexões entre as ações estruturais e não estruturais dentro de um horizonte de planejamento claramente definido. Os planos devem ser elaborados de forma a caracterizar as ações como iniciativas de governo e não do governante, de forma a perdurar ao longo do horizonte de projeto.

Na gestão da drenagem urbana pode-se contar com um elenco bem documentado (Tabela 1) de medidas sob a forma de ações diretas estruturais, isto é,

obras, construções e intervenções de pequeno, médio e grande porte; ações indiretas estruturais, na forma de mecanismos de controle na fonte e técnicas compensatórias, e também de ações não estruturais, como as medidas institucionais, legislação, fiscalização, previsão, securitização e outras (ASCE, 1992) (Baptista et al, 2005) (Buttler, 2004) (Pompêo, 2000). Atualmente, diversos empreendimentos de pesquisa e desenvolvimento testam e adaptam diferentes técnicas compensatórias aos padrões e características brasileiras (Righetto, 2009).

**Tabela 1: Elenco de Medidas para Gestão de Drenagem Urbana (adaptado de Righetto, 2009 e DAEE, 2010)**

MEDIDAS ESTRUTURAIS	MEDIDAS NÃO ESTRUTURAIS
Ampliação, modificação, retificação, revestimento, canalização dos cursos d'água naturais ou execução de galerias	Reserva de área para lazer e atividades compatíveis para os espaços abertos, margens e entorno de lagos e rios
Armazenamento ou desvio das águas a montante da região sujeita a inundações	Controle do uso do solo fora da área de inundação
Diques, muros e floodwalls	Securitização da área de risco de inundação
Alterações em pontes e travessias	Estruturas a prova de inundação e restrições de aproveitamento
Bacias de retenção, detenção e amortecimento	Sistema de Previsão, antecipação e alerta
Bacias de sedimentação, retenção de detritos e lixo	Tratamento das populações em encostas e áreas baixas
Wetlands e áreas de depuração in situ	Programa de manutenção e inspeção do sistema de drenagem
Parques lineares	Programa de ação emergencial
Repermeabilização e permeabilização artificial do solo	Manual de Drenagem e de gestão da drenagem
Relocação e demolição de estruturas	Educação Ambiental
Detenção em lotes, quadras, empreendimentos, jardins de chuva, telhado verde...	Institucionalização da drenagem urbana como serviço do estado

### O Planejamento

A Bacia do Alto Tietê, que compreende a Região Metropolitana de São Paulo é um excelente exemplo a ser analisado com relação ao Planejamento. Desde a elaboração de seu plano de drenagem, em 1998, muito se fez em termos de duas das mencionadas ações, a implantação das bacias de detenção, com cerca de 9 hm<sup>3</sup> de reservatórios construídos até 2009 (Tabela 2) e o monitoramento, com a ampliação da rede automática de coleta de dados (Figura 9) e seu uso para aperfeiçoamento das técnicas de previsão dos eventos críticos, fundamental para as ações de emergência e os novos estudos de planejamento. De fato, estas ações eram claramente recomendadas quando da elaboração do plano em 1998, e foram observadas ao longo de 10 anos seguintes, pelo menos parcialmente, de acordo a revisão desenvolvida em 2009 (DAEE, 2010). Ainda com relação a esta revisão,

o acompanhamento da eficácia das ações levou à introdução de novas medidas como o uso de dispositivos para incremento de infiltração e aproveitamento das estruturas de retenção existentes para retenção de detritos e possível melhoria da qualidade das águas (Tabela 3).

**Tabela 2: Volumes de Detenção Preconizados e Construídos na Bacia do Alto Tietê (DAEE, 2010)**

Bacia	Área (Km <sup>2</sup> )	Volume Requerido (hm <sup>3</sup> )	Volume Construído (hm <sup>3</sup> )	Reservatórios Necessários	Em Operação ou em Construção
Tamanduaí	330	7,7	4,2	43	22
Pirajuçara	72	2,1	1,1	14	6
Aricanduva	100	2,2	1,6	11	8
Médio Juqueri	263	3,1		26	
Baquirivu Guaçu	136	3,5		31	
Canal de Circunv.	33	3,5		3	
Ribeirão Vermelho	34	0,6	0,4	3	3
Outras Bacias		1,1	1,1	4	4
Total Estimado		22,7	8,4	137	43



**Figura 9: Estações automáticas da rede de monitoramento do SAISP – Sistema de Alerta de Inundações em São Paulo em 1995 e 2011 (fonte: www.saisp.br)**

**Tabela 3: Medidas Preconizadas pela Revisão 2009 PDMAT (DAEE, 2010)**

<b>Controle da Quantidade</b>	<p>Atualização das Bases Cadastrais</p> <p>Consolidação/cadastro do sistema em operação X planejado;</p> <p>Avaliação do desempenho atual;</p> <p>Obras a implantar (PDMAT-1): disponibilidade de áreas.</p> <p>Introdução da recorrência de TR=100 anos</p> <p>Aproveitamento das várzeas remanescentes.</p> <p>Alternativa às canalizações convencionais “rápidas”;</p> <p>Amortecimento dos picos de cheias através da ampliação do leito maior, sempre que possível;</p> <p>Redução de velocidades através da implantação de degraus e soleiras;</p> <p>Parques lineares e tratamento paisagístico, estabelecendo usos de lazer e esportes.</p>
<b>Controle da Qualidade</b>	<p>Indicação de usos múltiplos para os reservatórios;</p> <p>Identificação dos trechos para restauração dos córregos/ parques lineares</p> <p>Dispositivos para incremento da infiltração (BMP's)</p> <p>Aproveitamento das bacias de retenção existentes como estruturas para melhoria da qualidade d'água (extensão dos tempos de residência);</p> <p>Possibilidade de tratamento da poluição difusa das águas pluviais;</p> <p>Utilizável nos períodos de estiagem (maior concentração de poluentes);</p> <p>Aumento das áreas e pavimentos permeáveis</p>

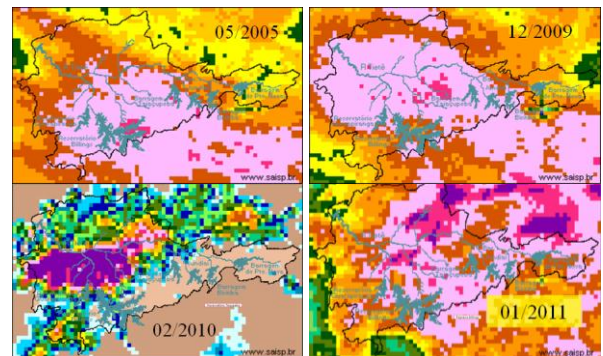
## Procedimento

Na Gestão da Drenagem Urbana, os procedimentos compreendem a operação e manutenção dos sistemas estruturais implantados, a execução do monitoramento, previsão de eventos e antecipação de extremos (10) e a adoção de medidas de sustentação, como campanhas de conscientização, capacitação e fortalecimento da máquina institucional encarregada do setor. Políticas de implantação de técnicas compensatórias que favoreçam a permeabilidade, a retenção e a depuração são exemplos de procedimentos sustentáveis a serem executados de forma permanente.

A observação através da rede hidrométrica automatizada integrada ao radar meteorológico permitiu mapear a distribuição espacial e temporal dos principais eventos críticos ocorridos na Bacia do Alto Tietê desde 2005 (Figura 11), quando foram concluídas as grandes obras de ampliação de sua capacidade. A interpretação deste mapeamento permite esboçar as correlações locais entre a chuva efetiva na bacia e a chuva pontual registrada na estação utilizada como referência para o risco adotado no planejamento das soluções estruturais (Figura 12). Estes padrões de tormenta observados podem então ser utilizados para o teste de futuras alternativas de intervenção, através de modelagem matemática.



**10: Remoção de detritos, limpeza dos reservatórios, monitoramento e desassoreamento são alguns dos procedimentos recomendados para gestão da drenagem urbana (Fotos/J Rodolfo S Martins Imagem do Radar/SAISP)**

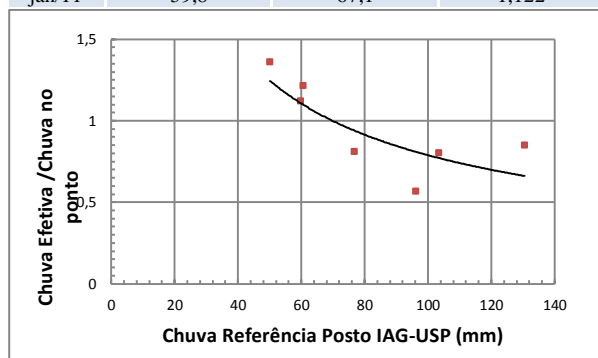


**Figura 11: Imagens representando a chuva acumulada nos 4 principais eventos críticos dos últimos 7 anos na Bacia do Alto Tietê** (fonte: www.saisp.br)

**Tabela 4: Precipitação acumulada em 24 horas na Bacia do Alto Tietê dos eventos críticos desde 2005 que trouxeram algum tipo de problema ao sistema de macrodrenagem**

(fonte www.saisp.br)

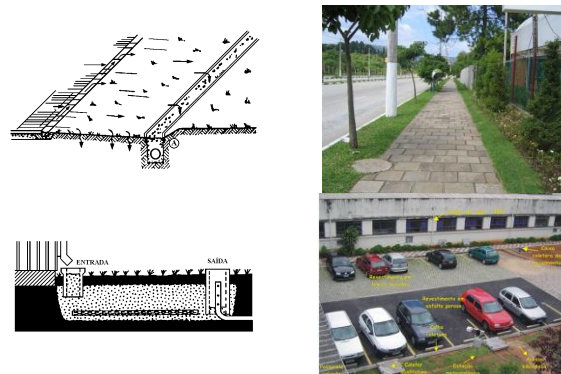
Data do Evento	Chuva no Posto de Referência (IAG-USP) (mm)	Chuva Efetiva na Bacia (mm)	Relação entre chuva no ponto e chuva na área
mai/05	130,5	110,9	0,850
fev/07	50,1	68,3	1,363
dez/07	76,8	62,4	0,813
set/09	103,4	83,1	0,804
dez/09	60,6	73,7	1,216
jan/10	96,2	54,8	0,570
jan/11	59,8	67,1	1,122



**Figura 12: Esboço de correlação entre chuva efetiva e chuva no ponto para a BAT (24 horas) (DAEE, 2012)**

Ainda no campo dos procedimentos, as ações no sentido de incentivar o uso de técnicas compensatórias através de políticas de incentivo, treinamento e educação ambiental são muito importantes. Isto se dá por que mudanças de conceito, por exemplo, substituir o revestimento de quintais e pátios por outros permeáveis ou a restauração do costume de se manter jardins domésticos leva muitos anos para ser implementada, e esbarra no próprio desconhecimento, por parte dos munícipes, de seus efeitos benéficos para a cidade.

O uso dos planos de infiltração, valas ou trincheiras de infiltração, bacias de Percolação e os mais populares dispositivos hidráulicos permeáveis como jardins de chuva e pavimentos permeáveis (Figura 13) precisam ter seu uso incentivado de forma ativa, antes por intermédio de medidas afirmativas e no segundo momento, através da obrigatoriedade.



**Figura 13: Exemplo de técnicas compensatórias usuais (a) (b) trincheiras de infiltração (c) plano de infiltração (d) passeios permeáveis (e) reservatórios subterrâneos (de Baptista et al, 2005) (f) pavimentação permeável (Acioli, 2004 apud Pinto, 2011)**

Ainda como medidas de sustentação, a serem adotadas como procedimento rotineiro e contínuo no processo de gestão da drenagem urbana, destaca-se a necessidade de atuação conjunta de todos os municípios da bacia para regulação e controle do uso do solo, adoção de práticas de limitação da impermeabilização e a securitização das áreas sujeitas a sinistros de inundação, como forma de prevenir maiores encargos para a sociedade.

## O Preparo

Último dos P's, o preparo compreende a organização para resposta às emergências relacionadas ao sistema de drenagem urbana. Este conceito passou a ser discutido juntamente com o de planejamento após o evento do furacão Katrina, que atingiu a cidade de Nova Orleães em 2005 e dos escorregamentos que vitimaram quase mil pessoas no Estado do Rio de Janeiro, durante o evento crítico de janeiro de 2011.

A resposta a emergências exige, antecipação e treinamento apropriado em diversos setores. Os planos de ação emergencial já são exigidos atualmente para os grandes empreendimentos, como barragens, usinas nucleares e grandes indústrias que tem potencial de causar danos a áreas e populações, e devem integrar em breve os instrumentos de gestão da drenagem.

A elaboração de um PAE deve considerar os sistemas de previsão e alerta como forma de antecipar os impactos, um mapeamento prévio destes impactos e o dimensionamento dos recursos necessários para eliminar as perdas fatais e minimizar os danos materiais. O PAE deve indicar ainda com precisão e confiabilidade a cadeia de comunicação e decisão a ser seguida quando do estabelecimento de uma emergência, e a forma como esta comunicação deverá ser feita, levando-se em conta os diversos órgãos intervenientes nestes processos, como a Defesa Civil, as agências reguladoras, hospitais e etc.

Dentre os principais componentes do PAE (Figura 14) destaca-se o módulo de previsão e alerta (hidrológico) que deverá encarregar-se da antecipação



dos eventos e seus potenciais impactos (Figura 15), e utiliza-se das ferramentas de monitoramento. Um módulo geotécnico terá como função a avaliação dos potenciais de escorregamentos e deslizamentos de terreno e por fim, o módulo logístico destina-se à quantificação dos recursos necessários e organização da resposta às emergências, planos de resgate e remoção e a distribuição das ações para os encarregados da gestão da emergência propriamente dita.

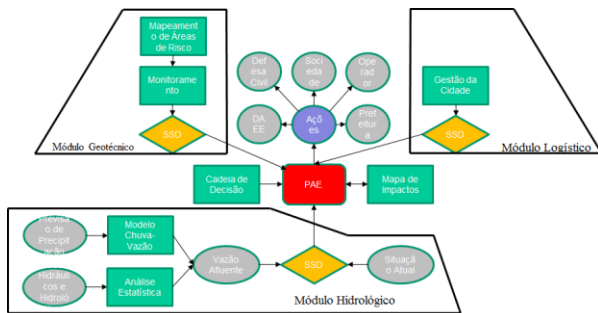


Figura 14: Esquema dos componentes do PAE – Plano de Ações Emergenciais ser empregado em empreendimentos com potencial gerador de danos significativo.



Figura 15: Mapeamento de impactos de inundações hipotéticas como forma de antecipar as ações de emergência (a) Cidade de Nova Orleans – USA (fonte: USACE, ERDC, 2012) e Cubatão-SP (fonte: FCTH, 2012)

## PAVIMENTOS-RESERVATÓRIO

Incluídos entre os dispositivos considerados como compensatórios dos impactos da urbanização, o uso dos pavimentos permeáveis reservatórios merecem destaque por ser grande potencial de aplicação, aliando um desejo corrente nas cidades, que é o da pavimentação das ruas e pátios para garantia de acesso, estacionamento de veículos, transbordo de carga e etc, com a necessidade de se criarem novos espaços para as águas durante o período de cheias e reduzir o escoamento superficial.

A técnica traz benefícios adicionais aos pavimentos permeáveis simples, cuja capacidade de absorção limita-se a permeabilidade e saturação do solo da bacia, por permitir a detenção de volumes na camada de base do pavimento, que é dimensionada em termos geomecânicos para uma capacidade de tráfego (carga x frequência) e construída com material granular com elevada porosidade (superior a 35%). A base da pavimentação tem, portanto, a função de reservatório de armazenamento temporário, e deverá ser dimensionada para tal.

A técnica é empregada pelo menos desde o início dos anos 1990, com registros anteriores a este, e consiste na construção de um pavimento regular, dimensionado geometricamente geomecanicamente de forma convencional (Figura 17) para o tipo de tráfego previsto e condições do sub leito locais. A diferença desta para o pavimento convencional fica apenas na camada de revestimento, que deve ser muito porosa de modo a garantir taxas de permeabilidade superiores a  $20 \times 10^{-2}$  cm/s. Diversos materiais para revestimento tendem a esta especificação, como a grama natural, os pedriscos e areias, os blocos de concreto assentados (intertravados ou hexagonais) e a camada porosa de asfalto (Figura 16).

A verificação da espessura da base para atendimento da altura necessária para armazenamento pode ser feita de acordo com as expressões de Bettess (Eq. 1) ou Smith (Eq. 2), apud Pinto (2011) que consideram diferentes parâmetros conforme indicado a seguir:

$$\text{Eq. 1} \quad H_{\text{máx}} = \frac{DRi}{\mu}$$

$$\text{Eq. 2} \quad H_{\text{máx}} = \frac{\Delta Q_c R + P - fT_e}{\mu}$$

$H_{\text{máx}}$  = espessura total da camada reservatório (m);

$D$  = duração da chuva (h);

$R$  = relação entre a área drenada e a área de infiltração;

$\mu$  = porosidade do material granular (relação entre volume de vazios e volume total);

$i$  = intensidade pluviométrica (m/h).

$\Delta Q_c$  = precipitação excedente da área de contribuição para uma dada chuva de projeto (m);

$R$  = relação entre a área de contribuição e a área de pavimento permeável ( $A_c/A_p$ );

$A_c$  = área de contribuição ( $\text{m}^2$ )

$A_p$  = área de pavimento permeável ( $\text{m}^2$ )

$P$  = precipitação de projeto (m);

$f$  = taxa de infiltração no solo (m/hr);

$T_e$  = tempo efetivo de enchimento da camada reservatório, geralmente igual a 2 horas (horas);

A depender do tipo de tráfego, não se admite a infiltração para o sub leito para se evitar a perda de resistência do mesmo a formação das trilhas de roda características. Nesta situação torna-se necessária a selagem da camada superficial do sub leito através do uso de uma manta impermeável. A drenagem da base assim constituída pode feita através de drenos perfurados dispostos transversalmente ao sentido do tráfego (Figura 18) e ligados ao sistema de micro drenagem convencional nas caixas de coleta das bocas de lobo.





Figura 16: Camada porosa de revestimento (a) asfalto poroso CPA e (b) bloco de concreto poroso

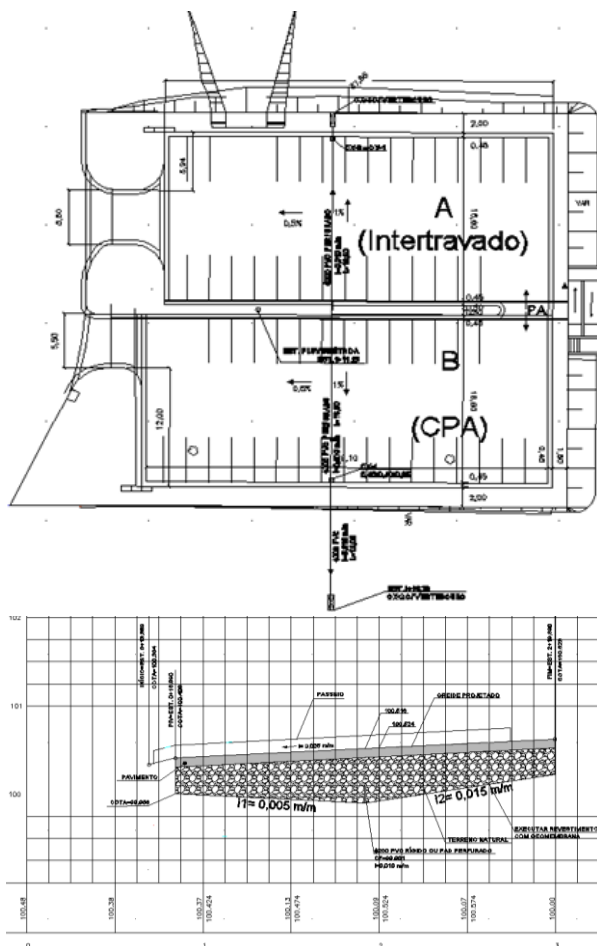


Figura 17: Projeto geométrico e geomecânico do pavimento permeável reservatório da área de estacionamento do CTH - Laboratório de Hidráulica da EPUSP/ Cidade Universitária São Paulo (Pinto, 2011)

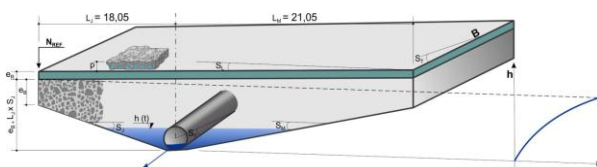


Figura 18: Detalhe do sistema de drenagem da base do pavimento permeável reservatório (Pinto, 2011)

A sequência construtiva pode ser observada no quadro a seguir, desde o preparo do subleito até a aplicação da camada de revestimento.

Quadro 1: Sequência construtiva de pavimentação permeável (Virgiliis, 2009)

Terraplenagem convencional para preparo do sub leito	
Camada de material granular de transição para acomodação da manta plástica de vedação	
Aplicação da manta plástica de vedação	
Camada de transição de área para assentamento do tubo dreno	
Lançamento da base (brita 3)	
Execução dos componentes de micro drenagem convencional (sarjetas e bocas de lobo)	
Aplicação do revestimento asfáltico poroso	
Aplicação do revestimento em blocos de concreto poroso intertravados	

O pavimento comporta-se como um reservatório de amortecimento *in-line*, reduzindo o pico da do escoamento superficial e alargando a base do hidrograma (Figura 19). Estudos de diferentes pesquisadores e projeções apoiadas em modelação matemática e observações de campo indicam que a eficiência é da ordem de 66%, isto é, para uma precipitação de 30mm o escoamento resultante equivale a uma precipitação de 13mm (Figura 20).

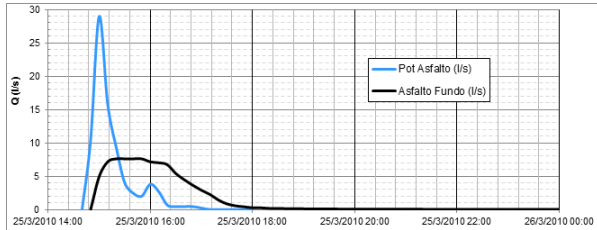


Figura 19: Comportamento do pavimento permeável em termos de deflúvio afluente e efluente (Pinto, 2011)

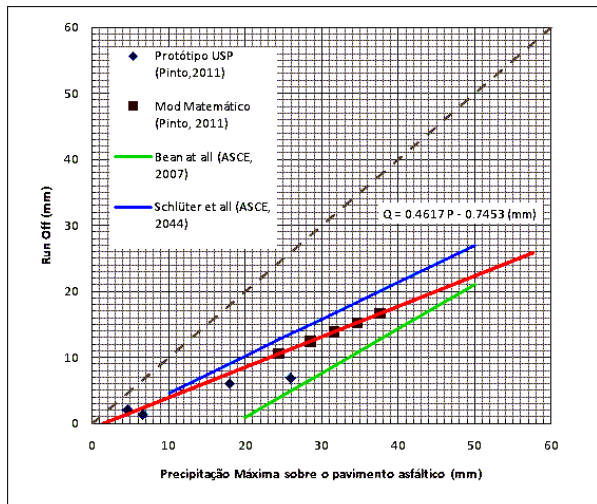


Figura 20: Comparação da eficiência dos pavimentos permeáveis asfálticos

A construção e operação deste tipo de pavimento exigem poucos cuidados adicionais em relação à pavimentação convencional. Com exceção ao assentamento da manta de impermeabilização e da tubulação de drenagem, a atividade executiva é praticamente a mesma. A camada de revestimento, embora já disponível comercialmente, ainda não é produzida na mesma escala dos revestimentos convencionais, o que pode elevar o custo final do pavimento.

O uso corrente deste tipo de pavimentação poderá ser atingido após um período de transição para disseminação da técnica entre os empreiteiros, órgãos públicos e empreendedores privados, e aplicação de políticas afirmativas para o usuário comum residencial e comercial de pequeno porte.

Ainda durante a fase de consolidação o uso pode ser compulsório para os empreendimentos de maior porte e com grande potencial de impacto sobre o sistema de drenagem e padronizado para as obras públicas. Após a consolidação, o uso deste tipo de técnica e suas variantes que certamente surgirão poderá ser compulsório e aceito como medida compensatória em loteamentos populares e habitações de interesse social que não podem cumprir as regulamentações ambientais e de parcelamento do solo.

## CONCLUSÕES

Do exposto neste artigo observa-se que a gestão da drenagem urbana conta com sólidos e coerentes fundamentos técnicos e científicos para sua efetiva implantação. O aprendizado de muitos insucessos aliado a uma maior consciência ambiental permitiu que os pesquisadores e técnicos desenvolvessem um arcabouço de medias e práticas cuja aplicação é imediata.

Como dito anteriormente, os problemas de drenagem urbana são culpa da forma de do solo e não da mãe natureza e, para que a meta de uso racional e sustentável das bacias hidrográficas pelas cidades possa ser alcançada, devem ser construídos os instrumentos institucionais que permitam aos cidadãos, entendidos como os habitantes, usuários e investidores da cidade, atingir estas metas.

A institucionalização do setor como serviço público, assim como os sistemas de água, esgotos e resíduos sólidos, a ampliação da formação técnica dos gestores urbanos para incluir a gestão da drenagem, a garantia de fontes de investimento e custeio são os desafios a serem vencidos além da tecnologia.

## REFERÊNCIAS E CITAÇÕES

IBGE, INSTITUTO BRASILEIRO de GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Demográfico e Contagem da População**. 11 de 11 de 2011. <http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/tabela/protabl.asp?c=1288&z=cd&o=3&i=P> (acesso em 11 de 11 de 2011).

DAEE, DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA. **Plano Diretor de Macro Drenagem da Bacia do Alto Tietê Revisão 2009. Relatório Síntese**. Hidrostudio Engenharia. Março de 2010. 92p.

ASCE AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS. **Design and construction of urban** 1992. 724 p.

BAPTISTA, M.; NASCIMENTO, N.; BARRAUD, S. **Técnicas compensatórias em drenagem urbana**. Porto Alegre: ABRH, 2005. 266p.

CAMPANA, N. A.; TUCCI, C. E. M. Estimativa de área impermeável de macro-bacias

urbanas. **RBE - Caderno de Recursos Hídricos**, v. 12, n. 2, p. 79-94, dez. 1994.

BUTLER, D.; DAVIES, J. W. **Urban drainage**. Londres: Spon Press, 2004. 543 p.

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

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Stormwater technology fact sheet, Porous Pavement**. Washington, D. C.: EPA, 1999. EPA 832-F-99-023.

NASCIMENTO, N. O.; HELLER, L. Ciência, Tecnologia e Inovação na Interface entre as Áreas de Recursos Hídricos e Saneamento. **Eng. sanit. ambient.**, v. 10, n. 1, p. 36-48, jan./mar. 2005.

PINTO, L. L. C.; MARTINS, J. R. S. Variabilidade da taxa de impermeabilização do solo urbano. In: CONGRESSO LATINOAMERICANO DE HIDRÁULICA, 23, 2008, Cartagena de Indias, Colômbia. **Anais**. Cartagena de Indias: IAHR, 2008. 1 CD ROM.

POMPÊO, C. A. Drenagem urbana sustentável. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 5, n. 1, p. 15-23, jan./mar. 2000.

TUCCI, C. E. M. **Inundações urbanas**. Porto Alegre: ABRH, 2007. 389 p.

TUCCI, C. E. M.; PORTO, R. L. L.; BARROS, M. T. **Drenagem urbana**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul/ABRH, 1995. 428p.

URBONAS, B.; STAHR, P. **Stormwater: best management practices and detention for water quality, drainage, and CSO management**. Englewood Cliffs, New Jersey: PTR Prentice-Hall, 1993. 449p.

PINTO, L. L. C. A. **O DESEMPENHO DE PAVIMENTOS PERMEÁVEIS COMO MEDIDA MITIGADORA DA IMPERMEABILIZAÇÃO DO SOLO URBANO** São Paulo. 2011. 385 p. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

RIGHETTO, A.M. (coord) **Manejo de Águas Pluviais Urbanas**. Rio de Janeiro: ABES, 2009. 396p.

VIRGILIIS, A. L. C. **Procedimentos de projeto e execução de pavimentos permeáveis visando retenção e amortecimento de picos de cheias**. 2009. 185 p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.