

Manejo de Águas Urbanas e sua Relação com o Desenvolvimento Urbano em Bases Sustentáveis Integradas – Estudo de Caso dos Rios Pilar-Calombé, em Duque de Caxias/RJ

Oswaldo Moura Rezende*, Marcelo Gomes Miguez*, Aline Pires Veról*
om.rezende@hidro.ufrj.br; marcelomiguez@poli.ufrj.br; alineverol@coc.ufrj.br

Recebido: 14/12/11 - revisado: 17/02/12 - aceito: 13/02/13

RESUMO

O problema das cheias urbanas, agravado pelo próprio processo de urbanização, é um dos principais desafios das grandes cidades na atualidade. Seus prejuízos são inúmeros, interferindo com os setores de habitação, transporte, saneamento e saúde pública. A visão tradicional do projeto de drenagem vem sendo modificada, ao longo das últimas décadas, por conceitos que buscam soluções sistêmicas para a bacia, com intervenções distribuídas, procurando resgatar padrões de escoamento similares aos de pré-urbanização. Busca-se, como alternativa, uma abordagem integrada de manejo sustentável das águas pluviais e planejamento do espaço urbano. Além disso, surge também a possibilidade da requalificação fluvial, em um sentido mais amplo, como instrumento para auxiliar no controle de cheias e garantir ambientes mais naturais e mais saudáveis. Essas mudanças apontam para uma abordagem sistêmica, onde toda a bacia deve ser considerada de forma integrada. Aspectos espaciais e temporais associados aos escoamentos superficiais, dentro ou fora da rede de drenagem, devem ser considerados em conjunto na solução do problema. Neste sentido, este trabalho visa conjugar essas novas abordagens, utilizando medidas associadas ao conceito de drenagem urbana sustentável, com atuações distribuídas na bacia hidrográfica, relacionadas à infiltração e armazenagem e avaliar como a falta de controle sobre o desenvolvimento urbano e o uso do solo pode afetar as soluções de drenagem. Foi proposto um caso de estudo na bacia dos rios Pilar-Calombé, em Duque de Caxias, região metropolitana do Rio de Janeiro. Os testes terão o suporte do modelo matemático MODCEL, desenvolvido na Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Palavras Chave: drenagem urbana sustentável, soluções sistêmicas, controle de uso do solo, MODCEL.

INTRODUÇÃO

O problema das cheias urbanas é um dos principais desafios da atualidade, especialmente em grandes cidades de países em desenvolvimento, onde, entre outras coisas, os recursos são escassos, a pressão social é maior e a industrialização rápida e tardia nem sempre foi acompanhada pela infraestrutura que seria necessária para este desenvolvimento.

As cheias urbanas são, portanto, um dos maiores problemas que precisam ser enfrentados pelas cidades. Seus prejuízos são inúmeros, afetando diversas facetas da vida urbana, interferindo com os setores de habitação, transporte, saneamento, saúde pública, entre outros. A urbanização, por sua vez, é um elemento agravante de enchentes, o que realimenta este processo. Nesse contexto, torna-se fundamental a busca por soluções integradas, multidisciplinares e sustentáveis em longo prazo.

*Programa de Engenharia Civil – PEC/COPPE/UFRJ

Estatísticas mostram que as cheias são o fenômeno natural que mais causa danos e perdas ao redor do mundo. De acordo com Freeman (1999), 60% das perdas de vidas humanas e 30% das perdas econômicas causadas por desastres naturais são devidos a enchentes. O número de grandes inundações vem aumentando exponencialmente ao longo dos últimos séculos. Esta tendência acompanha o aumento da população mundial e, mais especificamente, o da população urbana. O ambiente construído leva à concentração de pessoas e de bens, enquanto favorece o agravamento das enchentes. Cada vez mais pessoas e atividades econômicas estão se expondo a riscos.

A compreensão de como a urbanização afeta o processo de enchentes é um ponto crucial para o adequado planejamento e projeto da drenagem e controle de inundações nas cidades. A urbanização de uma bacia tende a agravar as cheias, uma vez que promove a remoção da vegetação original, tende a ocupar áreas ribeirinhas e planícies de inundação, aumenta a impermeabilidade e canaliza cursos d'água. Assim, há um maior volume de água dispo-

nível para escoar mais rapidamente e acumular em áreas baixas, muitas vezes já ocupadas.

Quando a urbanização não é adequadamente planejada nem controlada, conseqüências mais graves levam a perdas materiais e problemas sociais de magnitudes variadas. Esses problemas precisam ser tratados de forma adequada e soluções técnicas devem evoluir para enfrentá-los. Engenharia, Arquitetura e Urbanismo, Ciências Ambientais e Sociais devem ser consideradas em uma abordagem multidisciplinar, a fim de se definir padrões sustentáveis para o desenvolvimento urbano.

As novas concepções dos projetos de drenagem visam uma integração com os planos de desenvolvimento urbano e a gestão da ocupação e uso do solo, assim como o uso de técnicas preservacionistas. Essa visão propicia uma melhor abrangência temporal e espacial de ação dos projetos de controle de enchentes, uma vez que busca intervir não na conseqüência das grandes chuvas, mas nas causas das inundações.

A mudança para uma visão sustentável das soluções em drenagem urbana exige um compromisso com as conseqüências futuras das decisões tomadas no presente; portanto, as soluções devem ser flexíveis o bastante para permitir possíveis modificações e adaptações no decorrer do desenvolvimento urbano (CANHOLI, 2005).

Sob esta nova ótica, os projetos de drenagem urbana, em tese e sempre que possível, devem neutralizar os efeitos da urbanização, restabelecendo as condições hidrológicas da pré-urbanização, trazendo benefícios para a qualidade de vida da população e visando a preservação ambiental.

Neste sentido, este trabalho visa conjugar novas abordagens, utilizando medidas associadas ao conceito de drenagem urbana sustentável, com atuações distribuídas na bacia hidrográfica, relacionadas à infiltração e armazenagem. Essa concepção será comparada com a concepção tradicional e, posteriormente, ambas serão avaliadas face a diferentes cenários de crescimento urbano. Foi proposto um caso de estudo na bacia dos rios Pilar-Calombé (REZENDE, 2010), em Duque de Caxias, região metropolitana do Rio de Janeiro. A avaliação prospectiva de cenários será feita com o uso de modelagem matemática. Dentro desse contexto, dois pontos principais se caracterizam como contribuição deste estudo para as pesquisas que vêm sendo desenvolvidas neste tema: (1) mostrar, quantitativamente, com a aplicação de ferramentas de modelagem matemática, que a concepção de projeto tradicional é capaz de resolver o problema de drenagem de forma pontual, mas é insustentável ao longo do tempo, mesmo em condições de crescimento urba-

no controlado, além de transferir alagamentos para jusante; (2) mostrar que o controle de uso do solo é fundamental como ação complementar para soluções de drenagem. Esse último ponto traz uma hipótese que será verificada ao longo do trabalho: mesmo que a solução proposta para o sistema de drenagem seja feita em moldes sustentáveis, a solução perde eficiência com o passar do tempo, caso o próprio crescimento urbano não se faça, ele também, em moldes sustentáveis, com controle de uso e ocupação do solo e limitação da impermeabilização da bacia.

A ÁGUA E A CIDADE: HISTÓRICO DO DESENVOLVIMENTO DA DRENAGEM

As cheias são fenômenos naturais e sazonais, que desempenham um importante papel ambiental. As cidades, por sua vez, sempre tiveram relação próxima com a água, que foi um fator fundamental para o crescimento destas. Desde a Antiguidade, grandes civilizações desenvolveram-se junto a rios.

O abastecimento de água para consumo nas cidades, a veiculação e diluição de esgotos, a irrigação, a possibilidade de transporte, bem como o oferecimento de uma barreira de defesa natural, são alguns dos múltiplos possíveis usos que sempre fizeram da água um recurso de grande importância. Há um paradoxo, porém, na relação entre as grandes cidades e as águas: a urbanização nem sempre foi acompanhada de planejamento adequado, nem do provimento da infraestrutura necessária, o que, com frequência, leva a problemas de degradação ambiental dos ecossistemas fluviais, afetando a oferta dos recursos hídricos e deteriorando também o ambiente urbano construído.

Um interessante registro histórico que ilustra como problemas de enchentes fazem parte da vida urbana e formam um ciclo que se realimenta, se refere ao trabalho de Giovanni Fontana, arquiteto do século XVI, que fez investigações sobre a cheia do rio Tibre, ocorrida em Roma, durante o Natal de 1598, resultando na publicação de um tratado em 1599 (BISWAS, 1970). Existiam, na época, numerosas controvérsias sobre esta grande cheia que, de acordo com Fontana, teve graves efeitos negativos em virtude da falta de informação das pessoas que se estabeleceram junto aos locais onde diferentes rios e canais aportavam no Tibre, em áreas de risco, bem como à falta de conhecimento sobre os resultados produzidos pelas chuvas fortes, que se fizeram presentes na época de ocorrência da cheia estudada.

É interessante notar como essa observação de Fontana permanece atual. Muitas vezes, os efeitos das cheias são agravados, ainda hoje, por falta de conhecimento da população ribeirinha e pela ocupação de áreas inapropriadas. A principal conclusão de Fontana indicava que era necessário melhorar as condições gerais do leito do rio, ampliando-o para eliminar os efeitos das enchentes em Roma – uma visão clássica de conduzir rapidamente os escoamentos para longe do local que se deseja proteger.

Um importante marco no processo de urbanização foi a Revolução Industrial. Até esta época, durante séculos, a maioria da população concentrou-se nos campos, em áreas rurais, e as cidades tinham menor importância (BENEVOLO, 2001). A rapidez no processo de mudança do perfil de distribuição da população trouxe vários problemas de ocupação do solo urbano. A cidade industrial mostrava inúmeros problemas: o núcleo original das cidades não comportava a necessidade de aumento de moradias, as ruas eram demasiado estreitas, formou-se um tecido urbano compacto, carente de infraestrutura e extremamente deficiente em termos de saneamento. A consequência se refletiu em graves problemas de saúde pública e epidemias. Como resposta às questões críticas de saneamento originadas nesta época, a drenagem rápida das águas de chuva e servidas aparecem como alternativa, marcando o período higienista.

Nesse ponto da discussão, convém diferenciar as inundações ribeirinhas, como a relatada por Fontana, no caso da cheia do rio Tibre, e os alagamentos urbanos, geralmente associados diretamente aos processos de escoamento superficial, e agravados fortemente pelo rápido crescimento urbano que se deu após a Revolução Industrial. Muitas vezes ambos os processos se somam, com inundações ribeirinhas afogando e afetando o funcionamento das redes de drenagem que descarregam no rio, o que provoca alagamentos urbanos por falha na captação das águas superficiais.

A abordagem tradicional de canalização das águas pluviais começa a mudar a partir da década de 1970, em função dos problemas crescentes enfrentados pelas cidades, que já não podiam mais tratar de seus problemas de inundações pelo simples aumento da condutância. Uma abordagem sustentável para os sistemas de drenagem se tornou um importante desafio. A infraestrutura existente estava sobrecarregada e o foco deveria sair da rede de canais, onde aportava a consequência do processo de urbanização, ou seja, o aumento da geração do escoamento. O controle na fonte, atuando nas causas das cheias e focando em medidas de reservação e infiltração, surgiu como uma nova

opção no final dos anos de 1970 (ANDOH & IWUGO, 2002).

A partir daí, várias concepções diferentes para o projeto de um sistema de drenagem integrado com o desenvolvimento da cidade, buscando reduzir impactos sobre o ciclo hidrológico, atuando nos processos de infiltração e permitindo a detenção em reservatórios urbanos artificiais, juntando as preocupações, restrições e sinergias da Engenharia Hidráulica e do Urbanismo, foram propostas, com algumas pequenas diferenças entre elas. Todas, entretanto, tendem a considerar o problema de forma integrada, tentando resgatar as características naturais do ciclo hidrológico, enquanto agregando valor à própria cidade.

Coffman *et al.* (1998) propuseram um conceito de projeto de Desenvolvimento de Baixo Impacto (*Low Impact Development*, ou, simplesmente LID). O LID adota um conjunto de procedimentos que tentam compreender e reproduzir o comportamento hidrológico anterior à urbanização. Neste contexto, o uso de paisagens multifuncionais aparece como elemento útil na malha urbana, de modo a permitir a recuperação das características de infiltração e detenção da bacia natural, procurando imitar suas funções hidrológicas, envolvendo volume, vazão, recarga de aquíferos e tempos de concentração.

De uma forma similar, outra tendência na evolução dos projetos de sistemas de drenagem envolveu o uso das *Best Management Practices* (BMP), cuja origem está relacionada com o controle da poluição na área de efluentes industriais, nos Estados Unidos. Mais tarde, foram também consideradas como possibilidade de controle da poluição difusa e, depois, associado ao gerenciamento de águas pluviais de forma distribuída na bacia, integrando o controle da quantidade e da qualidade de água, com custos otimizados (USEPA, 2004). As técnicas LID e BMP são frequentemente usadas em conjunto e uma pode complementar a outra.

Baptista *et al.* (2005), no Brasil, consolidaram os conceitos de Técnicas Compensatórias em Drenagem Urbana, o que significou a introdução de diferentes medidas focando na capacidade de infiltração e armazenamento, com o objetivo de compensar os impactos da urbanização no ciclo hidrológico.

Outra abordagem para as soluções de drenagem urbana está relacionada ao conceito de Sistema de Drenagem Urbana Sustentável, cujo termo em inglês é *Sustainable Urban Drainage System*, ou, simplesmente, SUDS. Neste caso, os ideais de desenvolvimento sustentável são incluídos no processo de concepção do sistema de drenagem, ou seja, os im-

pactos das soluções de drenagem não devem ser transferidos no espaço ou no tempo. Além de contribuir para o desenvolvimento sustentável, os sistemas de drenagem podem ser desenvolvidos para melhorar o desenho urbano, gerenciando os riscos ambientais e melhorando o ambiente construído. O SUDS visa tanto a redução dos problemas de qualidade e quantidade, quanto a maximização das oportunidades de revitalização do espaço urbano e incremento da biodiversidade (CIRIA, 2007).

A evolução contínua de todos esses conceitos e a procura por novas soluções para os sistemas de drenagem urbana levaram também ao conceito cujo termo em inglês é *Water Sensitive Urban Design*, ou, simplesmente, WSUD, inicialmente desenvolvido na Austrália. Wong (2006) afirma que o WSUD tenta integrar as ciências sociais e físicas em uma proposição de gerenciamento holístico para águas urbanas, considerando conjuntamente a oferta de água potável, os esgotos e a drenagem das águas pluviais, desde a escala do lote até a escala da bacia, envolvendo o desenho de edificações e da própria paisagem, alinhando medidas estruturais e não-estruturais.

Mais recentemente, as ações de revitalização em rios urbanos também surgem como uma nova possibilidade de minimização de cheias. A revitalização de rios geralmente inclui soluções para o ambiente construído, reconectando os rios à cidade, mas não necessariamente recupera as suas características naturais. O conceito de reabilitação ou requalificação de um rio, no entanto, tenta integrar hidrologia, morfologia, riscos hidráulicos, qualidade das águas e do estado ecológico do rio, o que é uma proposta bastante complexa em ambientes urbanos. Gusmaroli *et al.* (2011), porém, propõem a adoção de uma abordagem ecossistêmica, a fim de aproveitar a oportunidade de introduzir o conceito de reabilitação do rio a partir do ponto de vista de uma melhoria ambiental, olhando a cidade como um organismo em constante transformação e, portanto, capaz de modelar-se e adaptar-se (mesmo que apenas em parte) às demandas de recuperação dos cursos d'água. Neste sentido, é um desafio encontrar formas de recuperar os rios de maneira mais natural e repensar o crescimento da cidade como consequência.

NOVAS TENDÊNCIAS NOS PROJETOS DE DRENAGEM URBANA: SISTEMAS DE DRENAGEM URBANA SUSTENTÁVEL

Em drenagem urbana, sustentabilidade implica que as inundações urbanas não podem ser transferidas no espaço ou no tempo. Sistemas de

drenagem urbana têm que ser planejados de forma integrada com o crescimento urbano e soluções de drenagem devem ser integradas com a paisagem urbana (MIGUEZ *et al.*, 2007). Neste contexto, tanto o processo de urbanização quanto o controle do uso do solo urbano devem ser pensados de forma a minimizar os impactos sobre o ciclo hidrológico natural.

Esta discussão leva a um ponto importante: a compreensão de como a urbanização interfere com os padrões de escoamento é necessária para desenvolver, por um lado, estratégias para a gestão de águas pluviais e controle das inundações urbanas e, por outro, estabelecer padrões de desenvolvimento urbano. O planejamento da drenagem urbana deve considerar um amplo conjunto de aspectos e deve ser integrado com a política de uso do solo, o ordenamento da cidade, a construção de códigos e legislações.

Pompêo (2000) enfatiza o valor do planejamento aplicado aos projetos de controle das inundações, destacando a necessidade de se pensar preventivamente as atividades relacionadas à atenuação das inundações. Neste contexto se insere a abordagem ecossistêmica, que representa a evolução do pensamento reativo do Plano Diretor de Drenagem convencional para um pensamento proativo e avançado, na forma de gestão do ambiente natural e construído, considerando-os como componentes interdependentes e integrados. Esta nova visão tem sido baseada no conceito de Desenvolvimento Sustentável, definido no Relatório Brundtland (WCED, 1987), como sendo o “desenvolvimento que satisfaz as necessidades do presente sem comprometer a capacidade das futuras gerações em satisfazer suas próprias necessidades”. A partir desse conceito é que foram desenvolvidas as novas abordagens no campo da drenagem urbana, como SUDS, BMPs, LID, WSUD e Técnicas Compensatórias, citadas no item anterior.

O sucesso da implementação de um sistema sustentável de drenagem depende da cooperação entre os diferentes departamentos técnicos responsáveis pelo planejamento urbano e a participação ativa da população. Nesta linha, deve-se garantir a compatibilidade entre os Planos: Diretor Urbano, de Esgotamento Sanitário, de Resíduos Sólidos e de Drenagem Urbana; visando o planejamento integrado da cidade. O conceito de Engenharia Urbana, com foco na integração dos diversos sistemas urbanos, aparece como ferramenta.

Atualmente, a concepção do manejo de águas pluviais urbanas apresenta, segundo Righetto *et al.* (2009), a “agregação de um conjunto de ações e soluções de caráter estrutural e não estrutural, en-

volvendo execuções de grandes e pequenas obras e de planejamento e gestão de ocupação do espaço urbano”. O Plano de Manejo das Águas Pluviais do município deve, necessariamente, atender aos princípios de manejo sustentável das águas pluviais urbanas, e deverá buscar os seguintes objetivos (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2010):

- Reduzir os prejuízos decorrentes das inundações.
- Melhorar as condições de saúde da população e do meio ambiente urbano, dentro de princípios econômicos, sociais e ambientais.
- Planejar os mecanismos de gestão urbana para o manejo sustentável das águas pluviais e da rede hidrográfica do município.
- Planejar a distribuição da água pluvial no tempo e no espaço, com base na tendência de evolução da ocupação urbana.
- Ordenar a ocupação das áreas de risco de inundação através de regulamentação.
- Restituir parcialmente o ciclo hidrológico natural, reduzindo ou mitigando os impactos da urbanização.
- Formatar um programa de investimento de curto, médio e longo prazo.

Os projetos de drenagem propostos pelo plano deverão apresentar a melhor relação custo-benefício, abrangendo aspectos sociais e econômicos, além de estar integrados às diretrizes do Comitê de Bacia Hidrográfica local, se existente.

Também deverá ser contemplado pelo plano um trabalho socioambiental, através da elaboração de um projeto que contemple a mobilização social, a comunicação, a formação de educadores/agentes na área de saneamento ambiental e outras ações de educação ambiental, visando a busca da sustentabilidade socioeconômica e ambiental, incluindo a participação comunitária nas fases de elaboração, implementação, avaliação e uso das obras e serviços propostos.

As premissas a serem consideradas na elaboração do Plano de Manejo de Águas Pluviais (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2010) são:

- Abordagem interdisciplinar no diagnóstico e na solução dos problemas de inundação.
- Plano de Águas Pluviais é um componente do plano de desenvolvimento urbano da cidade. A drenagem faz parte da infraestrutura urbana, portanto, deve ser planejada em conjunto com os outros sistemas que compõem essa infraestrutura.

- O escoamento pluvial não pode ser ampliado pela ocupação da bacia.
- O plano tem como unidade de planejamento cada bacia hidrográfica do município.
- O sistema de águas pluviais deve ser integrado ao sistema de saneamento ambiental, propondo, no plano, medidas para o controle de material sólido e a redução da carga poluidora das águas pluviais.
- O plano deve regulamentar a ocupação do território através do controle das áreas de expansão e da limitação do adensamento das áreas ocupadas.
- Essa regulamentação deve ser feita para cada bacia como um todo.
- O controle de inundações é um processo permanente, não devendo ser limitado a regulamentação, a legislação e a construção de obras de proteção. É necessário um plano de fiscalização das medidas propostas.

É importante escalonar as ações do Plano de Manejo de Águas Pluviais no tempo, reconhecendo ações de curto, médio e longo prazo, de forma a garantir soluções perenes para a drenagem. Medidas de curto prazo visam corrigir ou mitigar problemas imediatos da rede de macrodrenagem, promovendo a remoção de singularidades, o desassoreamento e a manutenção das características originais do sistema.

A construção de um modelo matemático de cheias deve também estar entre as atividades iniciais, de modo a prover uma ferramenta de avaliação sistêmica. Ainda entre as atividades de curto prazo, é necessário fazer um diagnóstico de cheias para a bacia. Passada essa etapa inicial, no curto/médio prazo, devem ser projetadas medidas para o controle do escoamento na fonte e para a recuperação das características do ciclo hidrológico natural.

Essas medidas devem ser hierarquizadas, para implantação ao longo do tempo. Mapas com manchas de inundação devem ser providos para avaliação dos cenários propostos e, também, permitir definir interações com o uso do solo pelo zoneamento das inundações. A partir das experiências desenvolvidas, pode-se produzir um manual prático de drenagem, no médio/longo prazo, congregando recomendações para todos os desenvolvimentos e projetos futuros. As ações de longo prazo devem permitir a continuidade do funcionamento da rede de drenagem através de ações de manutenção e monitoramento. Campanhas de educação ambiental e o engajamento das comunidades ajudam na sustentação das soluções

PROPOSTA DE CENÁRIOS DE PROJETO E DESENVOLVIMENTO URBANO PARA A BACIA DOS RIOS PILAR-CALOMBÉ

A bacia hidrográfica dos rios Pilar-Calombé está localizada na Baixada Fluminense, no centro do território municipal de Duque de Caxias, a oeste da rodovia Washington Luiz (BR-040). A Figura 1 mostra sua localização em relação à bacia hidrográfica do rio Iguaçú-Sarapuá, de grande importância para a região. O rio Pilar, com aproximadamente 11,3 km, é responsável por drenar uma área de 10,8 km², e o rio Calombé, com extensão aproximada de 9,3 km, drena 15,0 km². Ambos drenam as águas no sentido Norte-Sul. A bacia desses dois rios é afluente do rio Iguaçú pela sua margem esquerda.

Em relação ao nível de ocupação, a bacia possui poucas áreas com alta densidade, sendo as mais densas localizadas na parte oriental, entre o rio Calombé e a rodovia Washington Luiz (BR-040), em zona industrial. Assim, a ocupação urbana e a cobertura vegetal foram divididas em três classes de densidade, cada uma, como exposto na Tabela 1.

Um diagnóstico da capacidade atual do sistema de macrodrenagem foi realizado com o auxílio de modelagem matemática, para simulação das condições de alagamento e observação da bacia de forma integral. O modelo MODCEL (MIGUEZ, 2001; MASCARENHAS & MIGUEZ, 2002; MIGUEZ *et al.*, 2011) foi utilizado para esta tarefa. Esse modelo trabalha com o conceito de células de escoamento, que pressupõe que toda a superfície da bacia, incluindo a própria rede de drenagem, pode ser dividida em compartimentos articulados. A integração destes compartimentos, então, é responsável pela representação física da bacia e dos elementos da paisagem urbana que se articulam com a rede de drenagem, para a definição de uma rede de escoamentos, que, por sua vez, simula a iteração entre as células através de diferentes leis hidráulicas, que podem representar desde as equações completas de Saint-Venant, até simples equações de vertedouros e orifícios clássicos.

Sob o ponto de vista de modelagem, pode-se dizer que este é um modelo quasi-bidimensional, por construção, mas que representa esquematicamente uma realidade tridimensional, pois articula, verticalmente, através da representação da captação das redes de drenagem, um plano superficial de escoamentos, onde se localizam as superfícies urbanizadas e os canais abertos, com um plano subterrâneo, onde se localizam as galerias de drenagem. Todas as ligações entre células, por sua vez, são re-

presentadas por equações unidimensionais. Adicionalmente, cada célula realiza também uma modelagem hidrológica simples, para computar a contribuição da transformação da chuva em vazão.

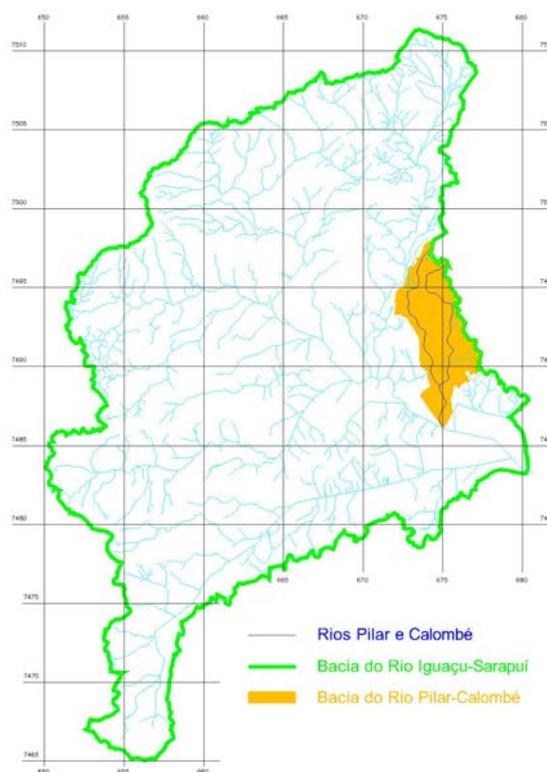


Figura 1 - Localização da bacia hidrográfica dos rios Pilar / Calombé em relação à bacia dos rios Iguaçú-Sarapuá (LABHID, 1996).

Tabela 1 - Coeficientes de *runoff* adotados.

Tipo	Classe	Runoff
Ocupação Urbana	Denso	0,70
	Médio	0,60
	Rarefeito	0,50
Cobertura Vegetal	Capocira	0,20
	Campo antrópico	0,30
	Solo exposto	0,40

O mapeamento das condições atuais da bacia foi realizado com base em levantamentos de campo e aerofotogramétricos disponíveis, e observação de imagens de satélite. O ajuste do modelo tomou por base uma mancha de alagamentos conhecida para a bacia. Foram simulados diversos eventos

de precipitação com Tempos de Recorrência (TR) de 10, 20 e 50 anos, no intuito de se avaliar a capacidade de resposta do sistema de macrodrenagem aos eventos pré-estabelecidos. Neste trabalho serão apresentados apenas os resultados para TR 20 anos, que era o recomendado para dimensionamento da macrodrenagem pela Prefeitura Municipal do Rio de Janeiro, na época do desenvolvimento deste estudo.

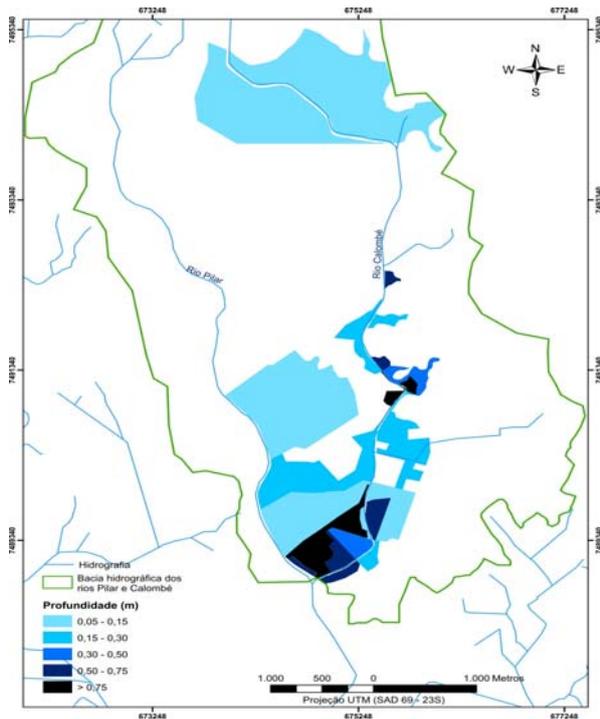


Figura 2 - Mapa de Inundação para um evento com TR 20 anos nas condições atuais de uso do solo e macrodrenagem

Foi verificado que, para todos os eventos de chuva simulados, principalmente nas áreas próximas à confluência dos rios Pilar e Calombé, a situação de alagamentos é grave. Em algumas regiões, os alagamentos são superiores a 1,0m de profundidade, como mostrado no mapa de alagamentos da Figura 2, adotado como referência para os projetos a serem propostos para a bacia. Deve-se destacar que esses mapas de alagamentos foram obtidos pela representação da lâmina de alagamento média calculada para cada célula adotada na representação do espaço da bacia. Portanto, em vez de uma superfície de alagamentos, é mostrada uma representação discreta de alagamentos médios por célula de escoamento modelada.

O impacto dessa inundação sobre a ocupação urbana na bacia pode ser observado na Figura 3, onde é apresentado o contorno da mancha de inundação sobreposto a uma imagem de satélite. Na região mais a montante do rio Calombé, ocorre um extravasamento da calha principal do rio para todos os eventos de precipitação, inundando as planícies vizinhas, em uma mancha destacada das áreas inundadas de jusante. Isso ocorre em consequência de um estrangulamento na seção transversal do rio no trecho logo a jusante desse extravasamento.

Para mitigar os efeitos das inundações observadas, dois projetos de diferentes concepções foram desenvolvidos. A primeira concepção considera a intervenção tradicional no sistema de drenagem, aplicando um projeto de canalização nos rios Pilar-Calombé. A outra concepção considera o contexto do manejo sustentável da drenagem, com medidas compensatórias distribuídas por toda a bacia. Uma descrição mais detalhada destas concepções é apresentada no próximo item.

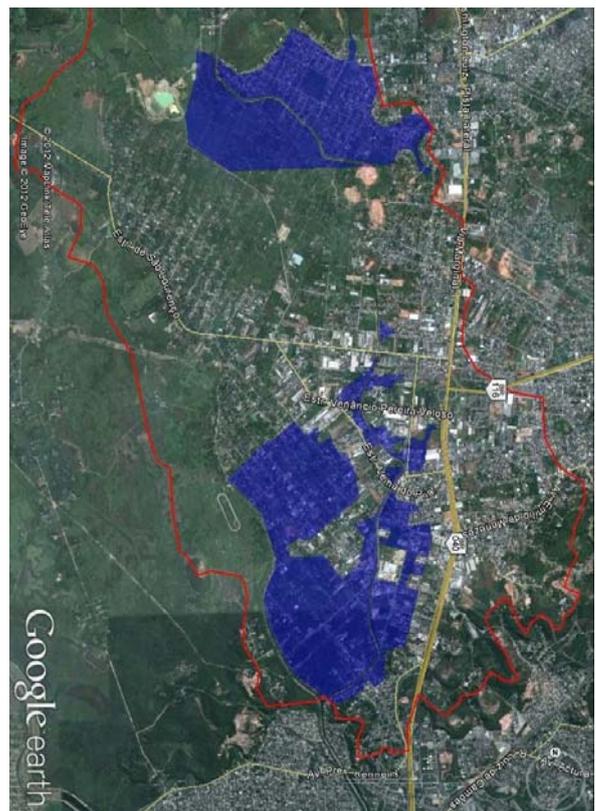


Figura 3 - Mancha de Inundação sobreposta à imagem de satélite do software Google Earth.

DESCRIÇÃO DOS PROJETOS PROPOSTOS

Condição 1 – Solução Convencional de Canalização

Neste cenário, as intervenções de controle das inundações constituem-se em adequar o leito do rio às vazões de cheia através da canalização dos rios Pilar e Calombé, em concreto, complementado pela implantação de avenidas canal em ambas as margens.

Esse panorama de canalização caracteriza bem a concepção tradicionalmente adotada nos projetos de controle de inundações, com ações localizadas e preferência pelas intervenções que resultem na aceleração dos escoamentos.

O custo final da canalização mais a construção de avenidas canais em ambas as margens dos rios, em uma extensão total de 15,6 km, foi estimado em **R\$50.953.188,86** (baseado em EMOP, setembro de 2009).

Condição 2 – Solução Sustentável com Medidas Distribuídas na Bacia

O projeto desenvolvido para esta condição foi baseado nos conceitos de manejo sustentável das águas pluviais, apresentados e discutidos anteriormente.

As medidas de intervenção previstas para o controle de inundações na bacia foram:

- limpeza, desassoreamento e implantação de seção trapezoidal em solo natural nos rios Pilar e Calombé como medida inicial para recuperação das condições de escoamento nestes rios, hoje bastante comprometidos pela falta de manutenção;
- implantação de reservatórios em praças urbanas;
- reabilitação de áreas de alagamento naturais da bacia (várzeas) e implantação de Parque Fluvial inundável ao longo da margem direita do rio Pilar e em alguns trechos do rio Calombé;
- recomposição da cobertura vegetal em áreas estratégicas da bacia, como encostas e cotas mais altas de topos de morro.

A área utilizada para implantação de reservatórios de amortecimento representa uma parcela de 2,23% da área total da bacia dos rios Pilar-Calombé. Esse valor se aproxima muito da área requerida para amortecimento em bacias de detenção, da ordem de 2,0% da área total da bacia considerada, segundo o UDFCD (2008).

Neste projeto foi considerada a reabilitação das várzeas, que são áreas marginais aos rios com alta frequência de inundações. Desta forma, foi prevista a recomposição de uma calha secundária ao longo de toda a extensão dos rios Pilar-Calombé, aumentando a capacidade de armazenamento em calha desses rios e assegurando a recomposição e preservação da mata ciliar. Também foi prevista a recuperação de áreas de alagamento naturais da bacia, em sua parte mais baixa, assegurando um importante meio de amortecimento dos escoamentos fluviais.

Para assegurar a preservação dessas áreas, uma boa medida é a previsão de usos públicos como parques, áreas de lazer e de prática de esportes, evitando que haja a invasão e ocupação da região de interesse ao controle de inundações e garantindo o uso social do espaço urbano.

A estimativa orçamentária para previsão dos custos para a implantação das medidas de controle distribuídas na bacia resultou em um investimento total de **R\$ 53.289.204,20** (Baseado em EMOP, setembro de 2009). É importante frisar que, neste orçamento, também estão computados os custos de urbanização das praças e parques a serem implantados. Essa consideração aproximou o custo das duas soluções consideradas. As Tabelas 2 e 3 mostram os orçamentos relativos à condição 1 e à condição 2 descritas.

SITUAÇÃO ATUAL APÓS INTERVENÇÕES

Ambas as configurações de projeto propostas tiveram por premissa sanar completamente os alagamentos na bacia do rio Pilar-Calombé, resultantes da chuva com TR 20 anos. Essa premissa foi adotada, tendo como ponto de partida a solução do problema atual, para avaliar a evolução do comportamento do sistema de drenagem face às diferentes possíveis evoluções da urbanização ao longo do tempo. Nas condições de um projeto real, o cenário de dimensionamento deveria tomar por referência a previsão de ocupação futura, já que este é o procedimento esperado no desenvolvimento de Planos de Manejo de Águas Pluviais. Entretanto, optou-se, aqui, por uma lógica de evolução linear no tempo, para balizar as discussões relativas ao controle do uso e ocupação do solo como necessidade de um projeto realmente sustentável.

As Figuras 4 e 5 mostram dois detalhes que merecem destaque, relativos às manchas de alagamento na situação de ocupação atual da bacia, toma-

Tabela 2 - Orçamento para Condição 1 – Solução Convencional de Canalização.

ITEM	CÓDIGO	DISCRIMINAÇÃO	UNID	QUANT.	Preços Unit. (R\$)	Preço Total (R\$)
2		SERVIÇOS ESPECÍFICOS - MACRODRENAGEM				
	03.036.210-0	Escavação em leito de rio, em material mole, até 4,50m de profundidade , utilização Clam-Shell.	m³	62.911	7,17	451.074,34
	04.010.045-0	Carga e descarga mecânica utilizando caminhão basculante	m³	62.911	0,58	36.488,58
	04.005.126-0	Transporte de qualquer natureza com velocidade média de 15km/h em caminhão basculante com capacidade útil de 8t.	t x km	1.132.404	1,21	1.370.209,09
	11.003.003-1	Concreto para peças armadas inclusive material, confecção e transporte horizontal e vertical.	m³	15.675	267,90	4.199.332,50
	11.009.013-0	Barra de aço CA-50b, com saliência, diâmetro de 6,3 mm, destinada a armadura de concreto armado.	kg	1.724.250	4,33	7.466.002,50
	11.011.029-0	Corte, dobração, montagem e colocação de ferragem na forma, aço CA-50b ou CA-50a, em barra redonda com Ø de 6,3mm.	kg	1.724.250	2,08	3.586.440,00
	11.004.020-1	Forma de madeira para moldagem de peças de concreto armado	m²	62.700	23,72	1.487.244,00
						18.596.791,02
TOTAL GERAL PARA IMPLANTAÇÃO DO PROJETO						18.596.791,02

Custo da Avenida Canal Projeto PROSADUQUE (4 km) = **8.256.816,04**
 Custo da Avenida Canal por km = **2.064.204,01**

Custo da Avenida Canal para os rios Pilar e Calombé (15,68 km) = **32.356.397,8**

Total Geral considerando custos de implantação de avenida canal mais canalização 50.953.188,86

Tabela 3 - Orçamento para Condição 1 – Solução com Medidas Distribuídas na Bacia

ITEM	CÓDIGO	DISCRIMINAÇÃO	UNID	QUANT.	Preços Unit. (R\$)	Preço Total (R\$)
2		SERVIÇOS ESPECÍFICOS - MACRODRENAGEM				
	03.036.210-0	Escavação em leito de rio, em material mole, até 4,50m de profundidade , utilização Clam-Shell.	m³	485.960	7,17	3.484.333,86
	04.010.045-0	Carga e descarga mecânica utilizando caminhão basculante	m³	485.960	0,58	281.856,85
	04.005.126-0	Transporte de qualquer natureza com velocidade média de 15km/h em caminhão basculante com capacidade útil de 8t.	t x km	8.747.282	1,21	10.584.210,79
						14.350.401,50
2		SERVIÇOS ESPECÍFICOS - MOVIMENTO DE TERRA - PRAÇAS				
	03.025.005-0	Escavação mecânica , com trator de lâmina, em material de 1° categoria, com transporte entre 50 e 100 metros.	m³	349.311	5,70	1.991.073,70
	04.010.045-0	Carga e descarga mecânica utilizando caminhão basculante	m³	349.311	0,58	202.600,48
	04.005.126-0	Transporte de qualquer natureza com velocidade média de 15km/h em caminhão basculante com capacidade útil de 8t.	t x km	6.287.601	1,21	7.607.997,41
						9.801.671,60
TOTAL PARCIAL PARA IMPLANTAÇÃO DO PROJETO						24.152.073,10
				(R\$ / m²)		
Custo de Urbanização dos parques implantados em praças (594.484 m²)				29,01		17.245.980,84
Custo de Urbanização do parque fluvial do Pilar (135.424 m²)				29,01		3.928.669,58
Custo de Urbanização dos parques fluviais do Calombé (180.890 m²)				29,01		5.247.618,90
Custo de reflorestamento das áreas estratégicas (2.946.229 m²)				0,92		2.714.861,78
Total Geral para implantação do Projeto 2 (Sustentável)						53.289.204,20

da então como referência de comparação, depois de implantadas as duas concepções de projeto consideradas. A Figura 4 mostra a transferência de alagamentos para a bacia do rio Iguaçu, a jusante da bacia dos rios Pilar e Calombé, embora todos os alagamentos tenham sido sanados na própria bacia dos rios Pilar e Calombé, a montante. A Figura 5 mostra a posição das áreas de armazenamento controlado na bacia, na concepção de drenagem sustentável, uma vez que a mancha mostrada nesta figura corresponde exatamente às áreas destinadas ao amortecimento dos escoamentos. Não há, neste cenário, nenhum alagamento não previsto na bacia.

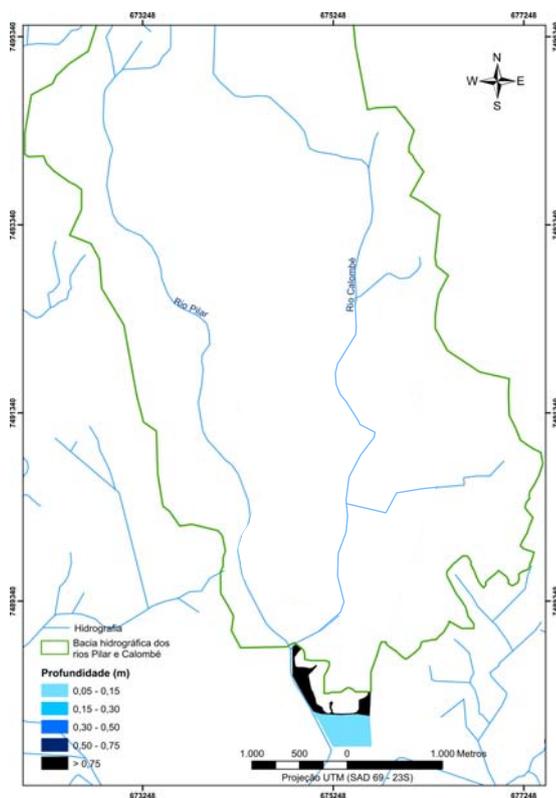


Figura 4 - Fim dos alagamentos na bacia, contrastando com alagamento a jusante, após canalização. TR 20 anos

Com o objetivo de verificar as respostas destas duas concepções de projeto face às diferentes possibilidades de desenvolvimento urbano, foram propostos também cenários futuros de simulação computacional. Os desenvolvimentos considerados englobam: o crescimento urbano espontâneo, não planejado e não controlado, levando a uma condição de saturação urbanística; o desenvolvimento planejado, conforme Plano Diretor Urbano (PDU); e o desenvolvimento planejado, também com cono-

tações sustentáveis, introduzindo controles de uso do solo com vistas a reduzir os níveis de impermeabilização. Vale destacar que estes controles não estão presentes no PDU de Duque de Caxias.

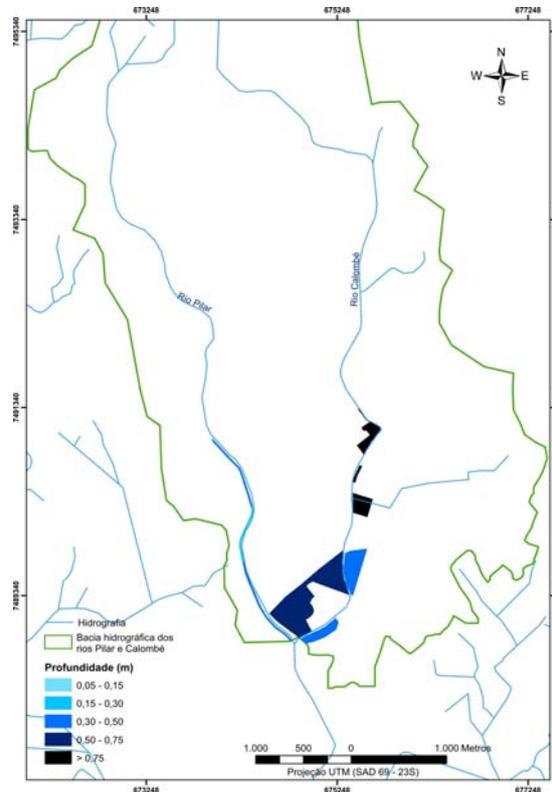


Figura 5 - Alagamentos associados às medidas de armazenamento do projeto de drenagem sustentável. TR 20 anos

SIMULAÇÃO DE CENÁRIOS FUTUROS

Condição 1 – Solução Convencional de Canalização

Para os cenários futuros considerados, a margem esquerda do rio Pilar, a jusante da confluência com o rio Calombé, passou a sofrer alagamentos em todos os eventos hidrológicos simulados.

Para o cenário com adensamento urbano máximo, houve um aumento nos picos de vazão dos hidrogramas de cheia, mostrados na Tabela 4.

Esse aumento resultou em novos extravasamentos de água da calha do rio, invalidando a própria solução prevista para proteção contra eventos de TR 20 anos, como mostrado no mapa de inundações da Figura 6. Destaca-se que o acréscimo de vazões é maior na bacia do rio Pilar, que hoje é mais vegetada que o Calombé, este já bastante adensado.

Na situação de crescimento segundo o PDU de Duque de Caxias, bem como na situação de desenvolvimento sustentável, em que são introduzidos controles de uso do solo voltam a ocorrer alagamentos importantes, com cheias em várias partes da bacia.

Tabela 4 - Variação da vazão de pico do hidrograma de cheia após adensamento.

TR	Corpo d'água	Vazão de pico de cheia (m ³ /s)		
		Crescimento Urbano		
		Atual Canalizado	Saturação	Variação
TR10	Pilar	32,61	42,51	30%
	Calombé	59,46	65,60	10%
TR20	Pilar	35,26	43,77	24%
	Calombé	64,51	67,68	5%
TR50	Pilar	37,16	44,81	21%
	Calombé	67,35	69,46	3%

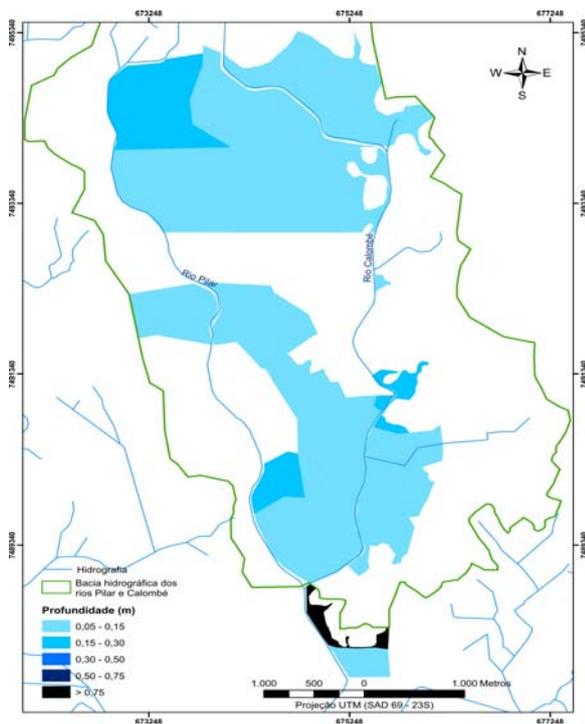


Figura 6 - Inundação para evento com TR 20, adensamento de saturação e canalização da macrodrenagem

A Figura 7 mostra a resposta da solução tradicional de drenagem para a situação de desenvolvimento sustentável. A mancha para o caso de alagamento no cenário do PDU é omitida por uma questão de economia de espaço.

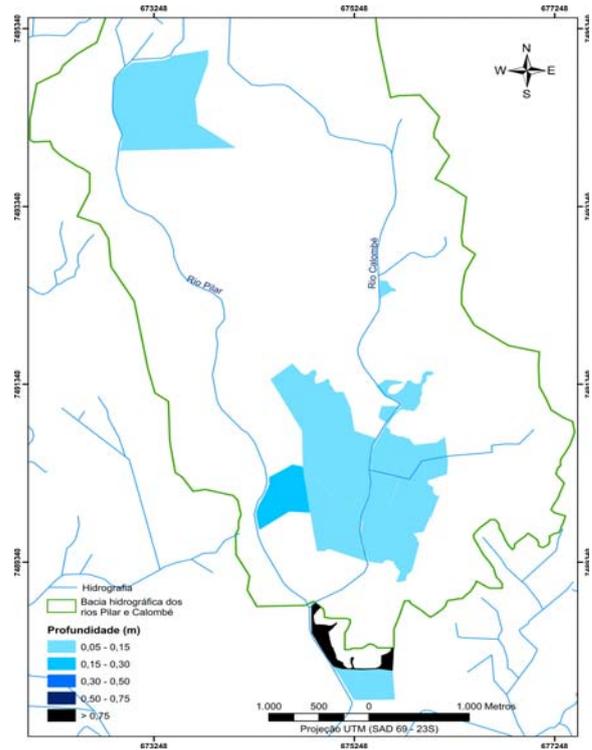


Figura 7 - Inundação para evento com TR 20, adensamento controlado e canalização da macrodrenagem

Condição 2 – Projeto Sustentável com uso de Medidas Distribuídas na Bacia

As áreas reservadas para alagamentos, no projeto sustentável, sempre aparecem como áreas inundadas nos mapas de inundação deste cenário (o que era de se esperar, pelo próprio funcionamento dos reservatórios). Essas áreas, porém, estarão alagadas somente durante os eventos de cheia e, além da função hidráulica, também podem servir para preservação ambiental, favorecendo a manutenção da cobertura vegetal, podem funcionar como áreas de lazer compatíveis com inundações esporádicas, podem assumir funções paisagísticas, dentre outras possibilidades.

No cenário de urbanização descontrolada, mesmo as medidas adotadas em um contexto de drenagem sustentável falham. O resultado nesta situação, como pode ser visto na Figura 8, é melhor do que o obtido pela solução de canalização, mas não se sustenta. O controle exercido sobre o processo de urbanização através da imposição de limites para o percentual de impermeabilização nos lotes, por sua vez, simulado no cenário futuro com *adensamento urbano controlado* (sob o ponto de vista de impermeabilização), obteve ótimos resultados na

redução de futuros problemas de inundações gerados pelo crescimento urbano, como pode ser visto na Figura 9. Ao se considerar o controle sobre a impermeabilização, a urbanização futura resultou em um único ponto de alagamento, em área de cota mais baixa que demandaria apenas uma intervenção localizada para solucioná-lo. O cenário considerando o crescimento urbano conforme PDU praticamente repete os resultados do crescimento com controle de impermeabilização do solo urbano, mas com alagamentos um pouco maiores, no mesmo ponto de falha do sistema. Apesar do PDU do município de Duque de Caxias definir usos do solo e níveis de adensamento urbano, este não conta, como já destacado antes, com dispositivos específicos de controle de impermeabilização, o que representa uma diferença prática no resultado final. Novamente, a macha para o cenário de crescimento conforme PDU é omitida, para economia de espaço.

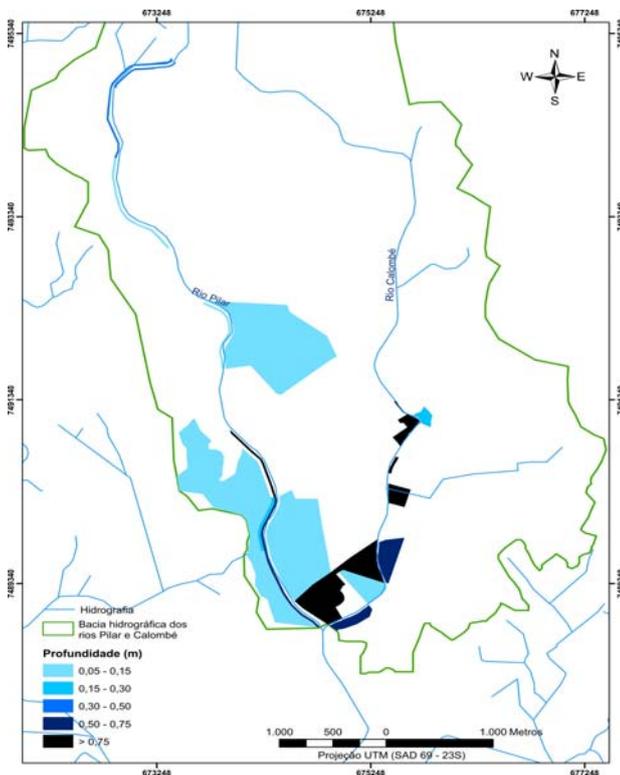


Figura 8 - Inundação para: adensamento de saturação e medidas de controle distribuídas na bacia. TR 20 anos

Análise Comparativa dos Resultados

Uma grande vantagem da implantação de medidas distribuídas na bacia em detrimento da canalização da rede de macrodrenagem é o abati-

mento nas vazões de pico dos hidrogramas de cheia, mesmo quando considerados os cenários futuros de desenvolvimento urbano.

Para o rio Calombé, a vazão de pico do projeto com medidas de controle distribuídas na bacia chega a ser 65% menor que quando considerado um projeto de canalização, enquanto que para o rio Pilar esse valor chega a 51%.

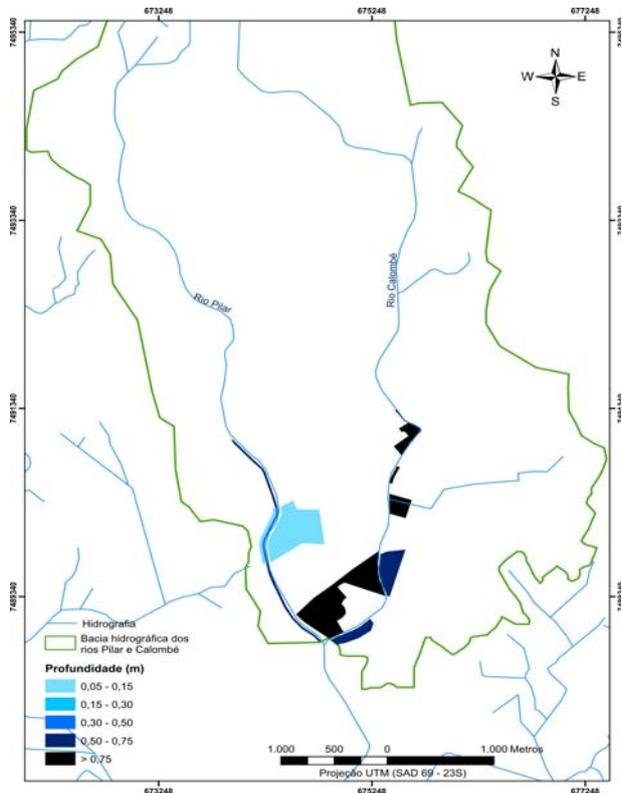


Figura 9 - Inundação para: adensamento controlado e medidas de controle distribuídas na bacia. TR 20 anos

A observação dos resultados permitiu confirmar que a canalização da macrodrenagem tem um grande impacto na transferência das inundações para jusante do local de intervenção, como foi observado nos mapas de inundação resultantes do projeto de canalização, para o qual foi observado um extravasamento para todos os cenários simulados. Já para o projeto com medidas distribuídas, esse efeito não ocorreu, uma vez que a estratégia de controle passou a ser a detenção das águas, através de reservatórios e restauração de áreas naturais de inundação.

Para os cenários futuros de desenvolvimento urbano com *adensamento de saturação*, ambos os projetos mostraram-se insuficientes para controlar as inundações resultantes do acréscimo de vazões ge-

rado pelo aumento descontrolado da impermeabilização, o que mostra a criticidade do problema e a necessidade de integrar soluções de drenagem com medidas de controle de uso do solo.

Quando considerado o planejamento da ocupação prevista no PDU de Duque de Caxias, o projeto convencional de canalização tornou-se obsoleto, apresentando extravasamentos da calha em diversos pontos. Porém, quando considerado o projeto sustentável com medidas distribuídas na bacia, os problemas de inundações apresentaram muito menor gravidade, demandando, talvez, uma pequena nova intervenção para adequar um único trecho com problemas.

É importante destacar que o artifício de modelagem utilizado para simular o cenário de urbanização com *adensamento segundo o PDU* foi feito a partir de uma relação entre a ocupação definida no Zoneamento Urbano e a provável taxa média de impermeabilização que cada tipo de ocupação produziria. Essa relação, apesar de coerente, pode não representar a real situação da ocupação futura da bacia, uma vez que o PDU do Município não introduz um controle específico sobre a impermeabilização dos lotes. Essa falta de controle pode levar a um alto grau de impermeabilização da bacia, dependendo do nível das habitações, o que tenderia a um cenário com um *adensamento urbano de saturação*, na situação limite.

No cenário com *adensamento urbano controlado* e controle do nível de impermeabilização, ambos os projetos tiveram melhorias significativas no quadro de inundações, quando comparado com o cenário de saturação urbana. Porém, nessa última situação, o cenário com projeto convencional implantado apresentou um panorama de inundações ainda crítico. Mas o que chama a atenção é que mesmo em um evento menos intenso, de TR de 10 anos, o quadro de inundações apresentou-se generalizado nos cenários futuros com canalização, com diversos pontos de extravasamento da macrodrenagem.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Observando os resultados das simulações desenvolvidas e resgatando toda a discussão preliminar que embasou este capítulo, torna-se possível destacar a grande importância que o planejamento do controle de uso e ocupação do solo apresenta para um projeto de controle de inundações se tornar efetivo e sustentável no tempo. A falta de controle sobre o uso do solo é capaz de inviabilizar, a

longo prazo, mesmo um projeto de drenagem com concepção sustentável, ainda que esta concepção se mostre mais adaptável a mudanças futuras da paisagem urbana, quando comparada à abordagem tradicional. Soluções sustentáveis só realmente o são quando num contexto amplo e reconhecendo as diversas interações entre as redes de infraestrutura urbana e o próprio desenho da cidade. O ponto chave para o controle de cheias é a integração das soluções de drenagem com o desenvolvimento urbano, de forma sistêmica, na escala da bacia. Em regiões metropolitanas, essa questão ultrapassa os limites do município e demanda soluções que vão além do espaço urbano administrativo, devendo focar a bacia hidrográfica como unidade de planejamento e projeto.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq, à CAPES e à FINEP, pelas bolsas de estudo e de produtividade em pesquisa concedidas e ao SERELAREFA, pelas oportunidades de intercâmbio.

REFERÊNCIAS

- ANDOH, R. Y. G. & IWUGO, K. O. (2002). *Sustainable Urban Drainage Systems: - A UK Perspective*. Proceedings of the 9th International Conference on Urban Drainage, Portland, Oregon, USA, 2002.
- BAPTISTA, M.; NASCIMENTO, N. & BARRAUD, S. (2005). *Técnicas Compensatórias em Drenagem Urbana*, ABRH, ISBN 858868615-5, Porto Alegre, RS.
- BENEVOLO, L. (2001). *História da Cidade*, Editora Perspectiva, São Paulo, SP.
- BISWAS, A.K. (1970). *History of Hydrology*, North Holland Publishing Company, Amsterdam.
- CANHOLI, A.P. (2005). *Drenagem urbana e controle de enchentes*, Oficina de Textos, ISBN 8586238430, São Paulo, Brazil.
- CIRIA (2007). *The SUDS Manual*, by Woods-Ballard, B.; Kellagher, R.; Martin, P.; Bray, R.; Shaffer, P. CIRIA C697.

- COFFMAN, L.S., CHENG, M., WEINSTEIN, N. & CLAR, M. (1998). *Low-Impact Development Hydrologic Analysis and Design*. In: Proceedings of the 25th Annual Conference on Water Resources Planning and Management, Nova York, USA, 1998.
- FREEMAN, P. *Gambling on Global Catastrophe*. Urban Age, Vol. 7, n°1, Summer, p 18-19, 1999, Washington, DC, USA.
- GUSMAROLI, G.; BIZZI, S. & LAFRATTA, R. (2011) *L'approccio della Riqualificazione Fluviale in Ambito Urbano: Esperienze e Opportunità*. In: Anais do 4° Convegno Nazionale di Idraulica Urbana, Veneza, Itália, Junho 2011.
- LABHID (1996), *Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia dos Rios Iguaçu/Sarapuá: Ênfase no Controle de Inundações*. Laboratório de Hidrologia/COPPE/UFRJ, SERLA, Rio de Janeiro, Brasil.
- MASCARENHAS, F.C.B. & MIGUEZ, M.G. (2002). Urban Flood Control Through a Mathematical Cell Model. *Water International*, Vol. 27, N° 2, (June 2002), pp. (208-218).
- MIGUEZ, M. G. (2001). *Modelo Matemático de Células de Escoamento para Bacias Urbanas*. Tese de Doutorado em Engenharia Civil, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro/RJ.
- MIGUEZ, M.G.; MASCARENHAS, F.C.B.; VERÓL, A.P. (2011) MODCEL: A Mathematical Model for Urban Flood Simulation and Integrated Flood Control Design. In: *Anais do 4° Convegno Nazionale di Idraulica Urbana*. Acqua e Città 2011. Veneza, Itália.
- MIGUEZ, M.G., MASCARENHAS, F.C.B., MAGALHÃES, L.P.C. (2007). Multifunctional Landscapes For Urban Flood Control In Developing Countries. *International Journal of Sustainable Development and Planning*, Vol. 2, N°2 (2007), pp. 153-166, ISSN 1743-7601.
- MINISTÉRIO DAS CIDADES. (2010). *Manual para apresentação de propostas – Programa-1138 – Drenagem Urbana e Controle de Erosão Marítima e Fluvial*, Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental, Brasília, Brasil, 2004.
- POMPÊO, C.A. (2000). Drenagem Urbana Sustentável. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, Vol. 5, N° 1, (January-March 2000), pp. 15-23.
- REZENDE, O. M. (2010). *Avaliação de medidas de controle de inundações em um plano de manejo sustentável de águas pluviais, aplicado à Baixada Fluminense*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- RIGHETTO, A.M., MOREIRA, L.F.F. & SALES, T.E.A. (2009). Manejo de Águas Pluviais Urbanas. In: *Manejo de Águas Pluviais Urbanas*, Projeto PROSAB, Righetto, A.M., pp. (19-73), ABES, Natal, Brazil.
- UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY – US EPA. (2004). *The Use of Best Management Practices (BMPs) in Urban Watersheds*, by Muthukrishnan, S.; Madge, B.; Selvakumar, A.; Field, R.; Sullivan, D. EPA/600/R-04/184S.
- UDFCD (2008), *Urban Storm Drainage Criteria Manual*, Vol. 3 - Best Management Practices, 1999 (Revisão), Urban Drainage and Flood Control District, Denver.
- WCED (1987). *Our Common Future*. World Commission on Environment and Development, Oxford University Press, Oxford.
- WONG, T.H.F. (2006). Water Sensitive Urban Design – the Journey Thus Far. *Australian Journal of Water Resources*, Vol. 10, No. 3, (2006), pp. 213-222.

An Integrated Sustainable Approach To Urban Water Management And Urban Development – Case Study Of The Pilar-Calombé Rivers In Duque de Caxias/RJ

ABSTRACT

The problem of urban flooding, aggravated by the urbanization process is currently a major challenge for large cities. Many losses have been reported, interfering with the housing, transportation, sanitation and public health sectors. The traditional view of drainage design has been modified over the past decades, with the introduction of concepts that seek systemic solutions for the catchment, considering distributed interventions, intending to recover flow patterns similar to the pre-urbanization condition. This alternative aimed to find an integrated approach joining sustainable stormwater management and urban planning. Besides the possibility of river rehabilitation in a broader sense it also appeared to be a possible tool to assist in flood control and ensure more natural and healthier environments. These changes point to a systemic approach, where the basin should be considered in a systemic and

integrated way. Spatial and temporal aspects conjugating superficial flows with the drainage system should be considered together to solve the problem. This paper aims to combine new approaches, using measures associated with the concept of sustainable urban drainage design, with distributed actions over the watershed related to infiltration and storage recovery. Based on different future scenarios of city growth, it will also be discussed how the lack of urban land use control may affect drainage solutions. A case study is proposed of the Pilar-Calombé River Catchment, in the city of Duque de Caxias, metropolitan region of Rio de Janeiro. The tests were supported by the mathematical model called MODCEL, developed at the Federal University of Rio de Janeiro.

Key-words: *Sustainable urban drainage, systemic solutions, land use control, MODCEL*