

SISTEMA DE SUPORTE AO GERENCIAMENTO DA ÁGUA URBANA

Mario Thadeu L. Barros¹; Monica F. A. Porto²; João Luiz B. Brandão³;

Diana S. Hamburger⁴ & Sidnei Ono⁵

Resumo - A expansão da Grande São Paulo vem ocorrendo de forma caótica e desordenada. Essa situação tem como resultado uma grave degradação do meio ambiente, onde se destaca um grande número de impactos negativos sobre os recursos hídricos da região. Os rios que atravessam a metrópole estão totalmente poluídos por esgotos domésticos e industriais. Durante a estação chuvosa a cidade sofre com inundações cada vez mais frequentes e mais severas. O sistema de abastecimento público de água já atingiu sua capacidade máxima, e durante a estação seca ocorrem racionamentos em diversas áreas. As decisões sobre projetos envolvendo as águas da cidade irão envolver aspectos de ordem social, econômica e ambiental. Visando colaborar com esse processo, está em desenvolvimento na Escola Politécnica da USP, um projeto de pesquisa sobre gerenciamento de recursos hídricos para bacias urbanas. Para estudo de caso, foi selecionada a bacia do rio Cabuçu de Baixo, que apresenta uma série de características e de problemas comuns à maioria das bacias da região. O projeto considera vários aspectos, tais como: hidrologia urbana, sistemas de macrodrenagem, poluição por fontes difusas, erosão e sedimentos, urbanização, etc. As informações e os modelos resultantes do estudo estão reunidos num Sistema de Suporte à Decisão (SSD) para gerenciamento de bacias urbanas.

Abstract - São Paulo urbanization process has been chaotic without planning and control. The population growth and the urbanization process generate many negative impacts in the watersheds: pollution, floods, erosion, water supply deficits, etc. The rivers crossing the city are complete polluted due to the domestic sewage. During the rainy season the city suffers a lot with flash floods. The water supply system is in the maximum production and the city is subject to water shortage during the dry season. Decisions in the water resources projects will involve social, economical and environmental aspects. A research study on São Paulo urban water management has been conducted by the University of São Paulo (USP), Civil Engineering School. A small urban catchment was

¹ Professor Associado EPUSP; e-mail: mtbarros@usp.br

² Professora Associada EPUSP; e-mail: mporto@usp.br

³ Doutorando EPUSP; e-mail: jlbb@uol.com.br

⁴ Pesquisadora EPUSP; e-mail: diana.hamburger@bol.com.br

⁵ Graduando EPUSP; e-mail: sidnei.ono@poli.usp.br

selected for case study, the Cabuçu de Baixo River basin, which manifests very well the present situation in São Paulo. The project aims to analyze many subjects: urban hydrology, storm drainage systems, nonpoint source pollution, erosion and sediments, urbanization indexes, housing problems, etc. The results of this study are been condensed in a Decision Support System (DSS) for urban water management.

Palavras-chave - bacias urbanas, recursos hídricos, sistema de suporte à decisão.

INTRODUÇÃO

A Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) é o maior aglomerado urbano da América do Sul e um dos maiores do mundo. Cerca de 70% dessa área está situada na parte da bacia do rio Tietê denominada de Alto Tietê, que conta com 5.755 km² de área de drenagem. A RMSP abrange 39 municípios que concentram 17 milhões de habitantes. Na figura 1, é mostrado um mapa da região, os seus municípios, a bacia do Alto Tietê e sua localização dentro do Estado de São Paulo e do Brasil.

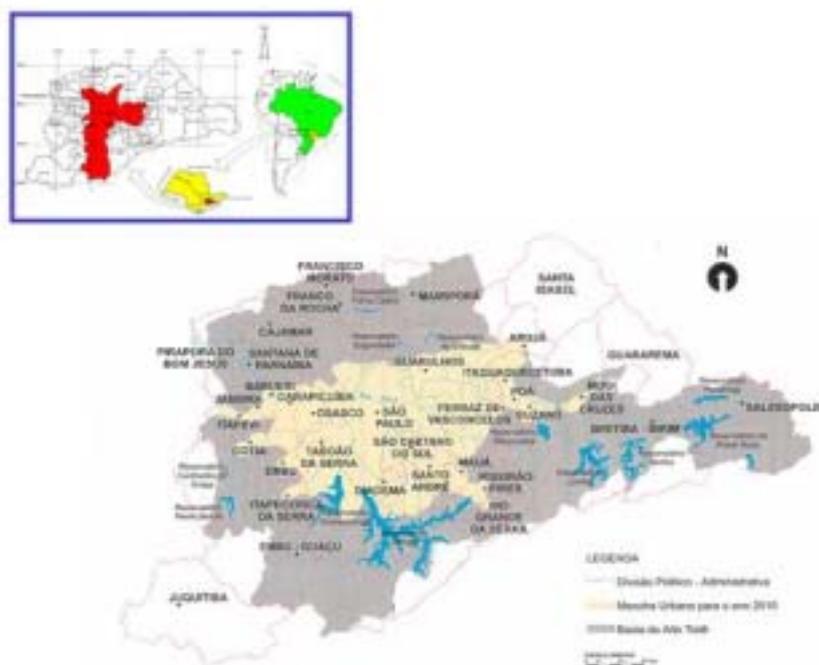


Figura 1 – Região Metropolitana de São Paulo e Bacia do Alto Tietê

O rio Tietê corre sobre um planalto cuja altitude média varia entre 700 e 300 metros, atravessando o Estado de São Paulo no sentido Leste/Oeste. A Leste, entre esse planalto e o Oceano Atlântico, situa-se a Serra do Mar, onde se localizam as cabeceiras do rio. O alto curso do Tietê, que atravessa a porção mais densamente urbanizada da RMSP, apresenta uma declividade média moderada de 15cm/km, em oposição aos seus principais tributários que contam com declividades bastante acentuadas. Dadas essas condições, o Alto Tietê é um rio de planície com grandes áreas de extravasamento lateral. A hidrologia na região apresenta sazonalidade bem definida, com a estação úmida entre outubro e março e a seca, entre abril e setembro. A precipitação média anual é de 1.300 mm, volume típico para regiões de clima sub-tropical.

A região se desenvolveu de forma caótica ao longo do século passado. Em 1900 a sua população era de 200.000 habitantes, atualmente são cerca de 17 milhões de pessoas, sendo 10 milhões apenas no Município de São Paulo. Esse crescimento é fruto do processo de industrialização que ocorreu na área, principalmente após a década de 1950.

Ao mesmo tempo em que a industrialização trouxe o desenvolvimento econômico, o crescimento desordenado e não planejado da cidade e da sua população culminou num processo de devastação ambiental significativo, afetando principalmente os seus recursos hídricos. Atualmente, São Paulo enfrenta diversos problemas para suprimento das demandas domésticas e industriais de água, poluição intensa de diversos cursos d'água, inundações cada vez mais freqüentes e danosas, etc. Em síntese, a infra-estrutura atual não atende adequadamente as necessidades da cidade, fruto da falta de planejamento e de investimentos para o controle e o gerenciamento dos seus recursos hídricos.

O sistema público de abastecimento de água cobre praticamente toda a área urbana, contudo o sistema de distribuição é ineficiente e apresenta um índice de perdas de mais de 30%. A coleta de esgotos domésticos atende a cerca de 70% dos domicílios. Porém, apenas 15% do esgoto é tratado adequadamente, sendo o restante lançado "in natura" nos corpos d'água. A maior parte do sistema de drenagem urbana é obsoleto e deteriorado, sendo ineficaz para atender os constantes aumentos das vazões devido à expansão contínua das áreas impermeáveis. A cidade apresenta mais de 500 locais sujeitos a inundações. Essas inundações ocorrem praticamente em todas as estações chuvosas e causam grandes perdas econômicas e sociais.

Além dos problemas com relação aos recursos hídricos, graves problemas socioeconômicos afetam a região, o que também gera vários impactos negativos no meio-ambiente. A questão da moradia é extremamente crítica. Atualmente, mais de um milhão de pessoas vivem em favelas ou em condições inadequadas, que na maioria dos casos estão situadas em áreas de risco de inundações ou de escorregamentos. Essas ocupações, em geral clandestinas, sujeitam seus habitantes a riscos de vida e de contração de doenças graves, tais como a leptospirose, além de perdas materiais.

Outro problema grave da metrópole é a disposição dos resíduos sólidos e a produção de sedimentos. Principalmente nas favelas e nas ocupações clandestinas, a coleta urbana de lixo é ineficiente, o que faz com que muito desse lixo seja lançado diretamente nos cursos d'água, provocando sua obstrução e o conseqüente extravasamento durante as chuvas intensas. Esse mesmo efeito ocorre em função da erosão causada pela ocupação desordenada das encostas dos morros e serras. Os sedimentos erodidos levados pelas águas das chuvas acabam por assorear significativamente diversos cursos d'água da região. Isso exige uma dragagem constante do leito do rio Tietê, o que consome grandes montantes de recursos financeiros.

O PROJETO

De acordo com as novas políticas estaduais e federais para o gerenciamento dos recursos hídricos, os estudos de planejamento e gerenciamento adquiriram uma grande e nova importância. A lei da água para o Estado de São Paulo estabelece que o gerenciamento dos recursos hídricos é atribuição dos Comitês de Bacia. Esses comitês são formados por representantes do governo estadual, das prefeituras e da sociedade civil. A principal atividade do comitê é decidir sobre as prioridades para implantação de obras e serviços e de programas de gerenciamento e preservação, definidos pelo Plano Diretor da Bacia.

Grande parte dos recursos financeiros para implementação desses programas deve vir da cobrança pelo uso da água. A cobrança é um conceito novo no Brasil e também em muitos outros países. As leis atuais estabelecem como princípio que a água é um bem público e que deve estar disponível a qualquer indivíduo na quantidade e qualidade necessárias. Por esse conceito, todo usuário deve pagar um preço pela água para que ela possa ser utilizada por todos. O dinheiro arrecadado deve ser aplicado prioritariamente na mesma bacia em que foi coletado. Para implementar a cobrança, o comitê deve, entre outras coisas, manter um sistema para gerenciar os usuários, as demandas, etc. Dessa forma, torna-se necessário desenvolver um sistema eficiente de informações complementado com ferramentas para o gerenciamento e o controle dos recursos hídricos. Cabe lembrar que a disponibilidade de dados e informações para abastecer adequadamente as atividades de planejamento e gerenciamento ainda é muito precária para a maior parte das bacias hidrográficas do país.

No caso das bacias urbanas, o gerenciamento da água é mais complexo e envolve muitas interfaces com outras áreas e disciplinas. Para a região da cidade de São Paulo isso se mostra ainda mais relevante, face aos problemas apontados anteriormente. Dada essa situação, o CNPq, através do PADCT/CIAMB/FINEP e do Fundo Setorial dos Recursos Hídricos, está financiando um projeto de pesquisa sobre o gerenciamento de bacias urbanas. O objetivo principal do projeto é definir uma

metodologia geral sobre a aquisição de dados e modelagem matemática para servirem como ferramentas nos processos de planejamento e gerenciamento de recursos hídricos. Os aspectos e temas considerados nesse estudo são os seguintes:

- Dinâmica da expansão das áreas urbanizadas.
- Impactos da urbanização sobre a hidrologia (quantidade).
- Impactos da urbanização sobre os sistemas de drenagem urbana.
- Impactos da urbanização sobre a qualidade da água (poluição difusa).
- Impactos da urbanização sobre a erosão e a produção de sedimentos.
- Desenvolvimento de um Sistema de Suporte à Decisão (SSD) para gerenciamento dos recursos hídricos em bacias urbanas.

Como se pode observar, a pesquisa envolve diversas disciplinas, mas enfatiza a importância do sistema de monitoramento ambiental urbano e a maneira sistemática de coletar e analisar os dados e os modelos. Em virtude da grande extensão da área da bacia do Alto Tietê, foi selecionada uma bacia de menor dimensões para o estudo de caso. Essa bacia corresponde à área de drenagem do rio Cabuçu de Baixo, que é um tributário da margem direita do Tietê. As características e as condições atuais dos recursos hídricos dessa bacia são bastante representativas daquelas que vigoram no restante da RMSP.

A BACIA DO RIO CABUÇU DE BAIXO

A figura 2 mostra a bacia e a sua localização no Alto Tietê. A sua área de drenagem é de 42 km², com declividades variando entre 1,1% e 2,8%. A média anual de precipitação é igual da 1.620 mm. A bacia pode ser sub-dividida em cinco sub-bacias: córrego Bananal, córrego Itaguaçu, córrego Guaraú, córrego do Bispo e rio Cabuçu de Baixo. Essas unidades são mostradas na figura 3.



Figura 2 – Rio Cabuçu de Baixo e Bacia do Alto Tietê



Figura 3 – Sub-Bacias do Cabuçu de Baixo

É importante ressaltar as diferenças que existem quanto às características de uso e ocupação do solo entre essas sub-bacias. As sub-bacias do Bananal, Bispo e Guaraú estão em processo de urbanização, onde se encontra um grande número de favelas e ocupações irregulares. Além disso, a ocupação do espaço é extremamente densa com altos índices de impermeabilização. A sub-bacia do Itaguaçu é praticamente natural, onde prevalece a vegetação tropical. A maior parte da área dessa sub-bacia pertence a uma empresa do ramo imobiliário que pretende implantar ali um conjunto de moradias de médio padrão. A sub-bacia do Cabuçu de Baixo, que compreende a área remanescente aos tributários mencionados, está totalmente urbanizada com uma ocupação extremamente densa, característica das áreas de baixo padrão socioeconômico, onde a impermeabilização do solo é praticamente igual a 100%. A figura 4 apresenta algumas fotos que ilustram diferentes tipos de ocupação na bacia do Cabuçu de Baixo.

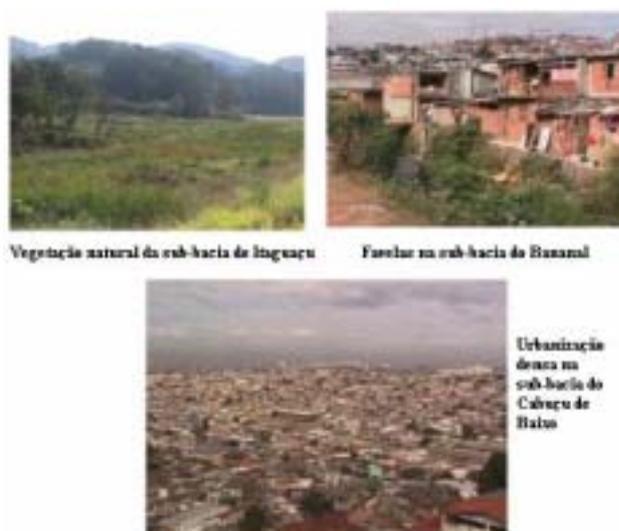


Figura 4 – Diferentes Tipos de Ocupação na Bacia do Cabuçu de Baixo

A figura 5 mostra uma imagem da área de estudo feita pelo satélite LANDSAT, onde se podem observar claramente os diferentes tipos de uso e ocupação do solo. A parte norte da bacia (áreas em verde na figura 5) corresponde aproximadamente à Serra da Cantareira, que é oficialmente protegida pela legislação ambiental. Contudo, mesmo nessa área já se verificam diversas ocupações clandestinas ao longo das margens dos córregos Bananal e do Bispo. O restante da bacia é densamente ocupado pela urbanização com altos índices de impermeabilização (áreas em rosa na figura 5).



Figura 5 – Imagem LANDSAT da Bacia do Cabuçu de Baixo

DINÂMICA DA EXPANSÃO URBANA

Entre os objetivos desta parte do estudo está a compreensão do processo de urbanização e expansão da mancha urbana, classificação do uso e ocupação do solo para diversos propósitos e análise das alterações nas classes de uso e ocupação ao longo do tempo.

Essas análises têm sido feitas a partir de técnicas de sensoriamento remoto, onde estão sendo utilizadas imagens de satélites tomadas ao longo do tempo. As imagens disponíveis para o estudo são as seguintes: a) LANDSAT TM para os anos de 1985, 1990, 1994 e 1997; b) imagem pancromática SPOT de 1995; c) imagem IKONOS de 2000; d) imagem LANDSAT ETM de 2000. Além das imagens de satélite, os estudos de classificação foram subsidiados com dados de levantamentos de campo. Por esse estudo, foram definidas e mapeadas 18 classes de uso e

ocupação, atendendo preferencialmente as necessidades de modelagem de qualidade da água por fontes difusas. Posteriormente, essas classes foram reagrupadas de forma a atender as necessidades da modelagem hidrológica. A figura 6 apresenta o mapeamento dessas classes sobre a bacia.

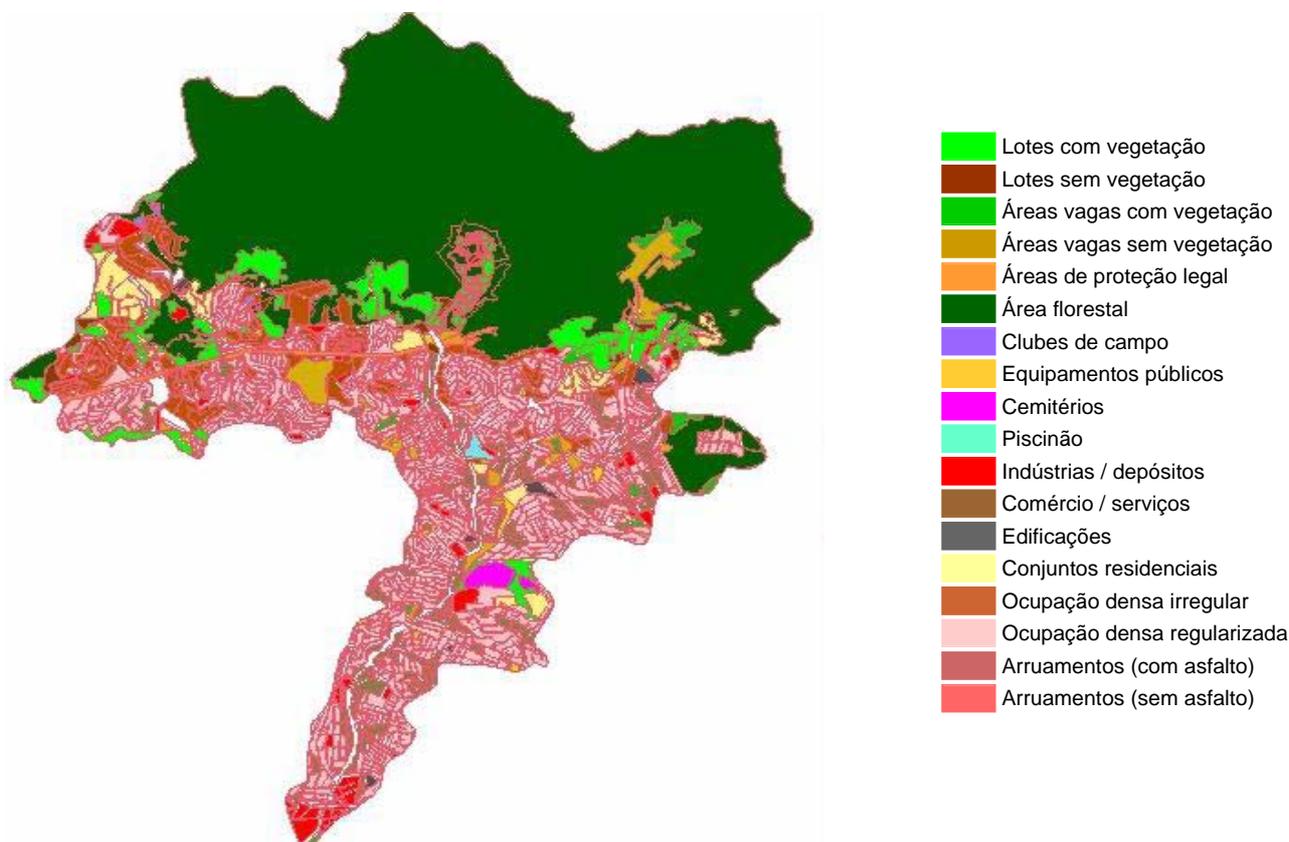


Figura 6 – Classificação do Uso e da Ocupação do Solo na Bacia do Cabuçu de Baixo

A partir das imagens de satélite possível modelar espacialmente as alterações que ocorreram ao longo do tempo na ocupação da bacia. A partir da metodologia proposta por Jensen e Toll (1981), foi avaliado o crescimento da expansão urbana e as alterações nas densidades de urbanização. Foram considerados três aspectos de maior importância visando avaliar as alterações nas áreas impermeabilizadas da bacia: a) o crescimento das áreas construídas; b) a ocupação de áreas desocupadas; e c) a expansão urbana. As áreas em vermelho na figura 7 demonstram a expansão urbana no período 1985 a 1997.

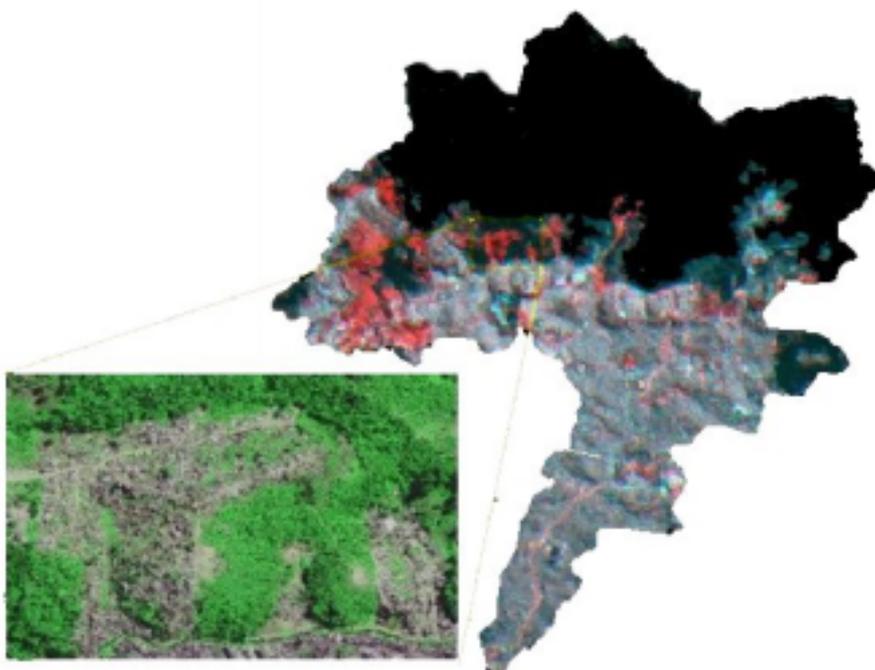


Figura 7 – Expansão Urbana na Bacia do Cabuçu de Baixo (1985 a 1997)

Pode-se observar uma intensa expansão da mancha urbana no trecho oeste da bacia, localizada no rio Bananal. Constata-se também algumas entradas para Norte, em direção à mata natural da Serra da Cantareira. A mata existente nessas regiões foi praticamente destruída e as áreas ocupadas por moradias de baixo custo, executadas de forma totalmente irregular. A ocupação além de agravar as inundações da bacia, produz enorme aporte de sedimentos aos córregos, devido ao intenso processo de erosão aí verificado. Ressaltam-se também as péssimas condições sanitárias na região, principalmente junto às favelas erguidas nas margens dos córregos. Este processo caótico de ocupação continua até hoje, e deverá agravar ainda mais os problemas relativos à bacia.

QUANTIDADE E QUALIDADE DAS ÁGUAS

As questões sobre quantidade e qualidade das águas foram conduzidas segundo três aspectos: a) hidrologia e hidráulica; b) poluição por fontes difusas, e c) erosão e transporte de sedimentos. Para que esses estudos fossem realizados foi necessário implantar um sistema de monitoramento com pluviógrafos, postos fluviográficos e sedimentométricos e estações de coleta de amostras para avaliação de parâmetros de qualidade.

Quanto aos pluviógrafos, foram instalados quatro equipamentos do tipo “tipping-buck”, que no futuro serão incorporados à rede telemétrica do Alto Tietê. A figura 8 mostra a localização desses instrumentos na bacia. Essa bacia também é coberta pelo radar meteorológico de Ponte Nova

operado pelo DAEE/FCTH, que disponibiliza imagens a cada cinco minutos com resolução espacial de 2x2 km.

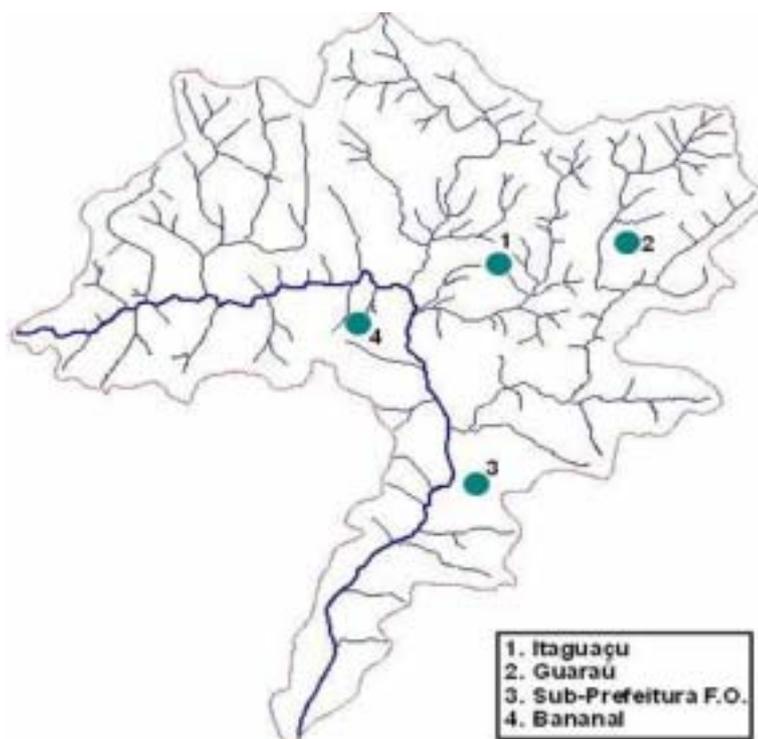


Figura 8 – Rede de Pluviógrafos do Cabuçu de Baixo

Para monitoramento das vazões foram instalados cinco postos fluviográficos. Essas estações foram localizadas em pontos estratégicos para controle das vazões dos córregos Bananal, Itaguaçu e Cabuçu de Baixo. Essas três sub-bacias apresentem tipos predominantes de ocupação distintos, o que permitirá uma avaliação comparativa desses usos sobre a hidrologia. No caso, a bacia do Itaguaçu é ainda praticamente natural. A do Bananal está em processo de urbanização desordenada, com ocupações ilegais na maior parte, principalmente junto às encostas das Serra da Cantareira. Por fim, a bacia intermediária do Cabuçu de Baixo está totalmente urbanizada com altos índices de impermeabilização.

Um outro aspecto a ser avaliado é o efeito dos reservatórios de contenção de cheias. Já está em operação um reservatório no córrego Bananal. Dessa forma, foram instaladas duas estações fluviográficas, uma a montante e outra a jusante, para se controlar as vazões de entrada e saída do reservatório.

Na figura 9, são mostradas a localização dos postos fluviográficos e fotos que ilustram os locais de instalação. Pode-se notar que as condições hidráulicas para medição de vazão no córrego Bananal são péssimas devido ao lixo e detritos carregados pela corrente líquida e pela instabilidade de sua seção transversal. No córrego Itaguaçu foi possível instalar um vertedor para medição do fluxo com alta precisão.

Nos postos fluviográficos são também coletadas amostras para os estudos de qualidade das águas e sedimentometria. Os parâmetros de qualidade das águas têm sido determinados pelos métodos tradicionais de análise em laboratório e através de uma sonda automática para monitoramento “in loco”, modelo Hydrolab 4a, que permite a avaliação dos seguintes parâmetros: temperatura, pH, turbidez, condutividade, OD, cloretos, nitratos e amônia.

Os estudos de qualidade têm por objetivo estimar a poluição da água por fontes difusas e a carga afluyente de sedimentos aos corpos d’água ao longo dos episódios chuvosos. As medições são realizadas tanto nas estações chuvosas como nas secas de forma a se estabelecer as cargas de base para a bacia. É importante ressaltar que, exceto o córrego Itaguaçu, todos os demais cursos d’água dessa bacia são extremamente poluídos devido às descargas de esgotos domésticos “in natura”. Com relação às fontes difusas, o estudo pretende estimar as relações entre os tipos de ocupação e os tipos de poluentes mais significativos. Os parâmetros normalmente levantados a partir das amostras coletadas são os seguintes: BDO, OD, pH, nitrogênio amoniacal, fósforo solúvel, fósforo total, MSH, sólidos totais em suspensão, sólidos em suspensão fixos, sólidos voláteis fixos, sólidos totais, sólidos fixos e sólidos voláteis.

A figura 10 apresenta alguns resultados observados na bacia do Cabuçu de Baixo. Esses resultados mostram que há uma antecedência entre o pico dos polutogramas (linha verde) e o pico dos hidrogramas (linha azul). Isso é decorrente do processo de “lavagem” da superfície da bacia que ocorre no início da chuva. O efeito da poluição por cargas difusas é considerável na bacia do Cabuçu de Baixo. O modelo matemático de fontes difusas que está sendo utilizado é o BASINS 3.0 (USEPA, 2001).

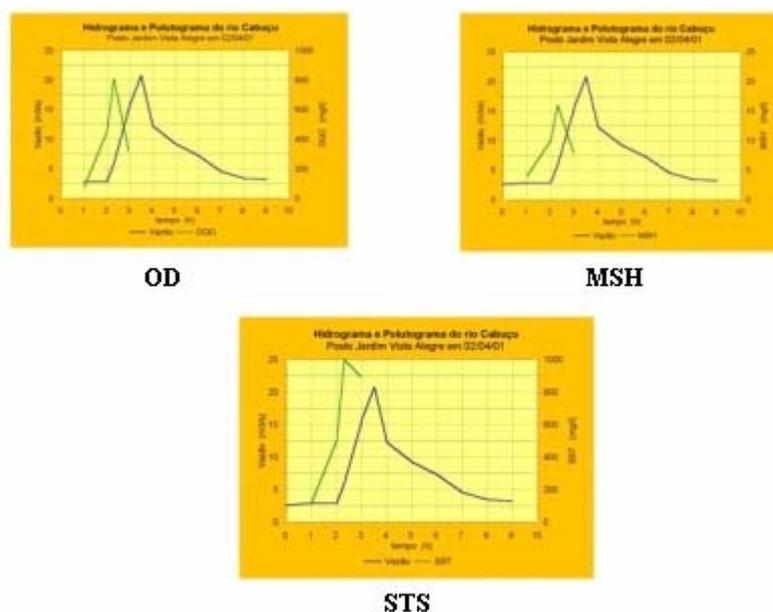


Figura 10 – Estimativa de Parâmetros devido a Cargas Difusas na Bacia do Cabuçu de Baixo

As avaliações sobre erosão e sedimentos estão sendo feitas com base equações empíricas definidas a partir de regressão múltipla não linear que relacionam o uso e ocupação do solo, erosão e sedimentos em suspensão nos cursos d'água. Os estudos também têm por objetivo propor medidas estruturais e não estruturais para controle de erosão e do transporte de sedimentos.

SISTEMA DE SUPORTE À DECISÃO PARA GESTÃO DE BACIA URBANA

Todos os dados coletados e os modelos do estudo irão compor um Sistema de Suporte à Decisão (SSD) para gerenciamento dos recursos hídricos em bacias urbanas. A figura 11 apresenta a estrutura básica do sistema proposto. Atualmente, esse sistema está sendo desenvolvido em linguagem Visual Basic, sendo que algumas partes estão disponíveis para visualização no endereço www.poli.usp.br/cabucu.

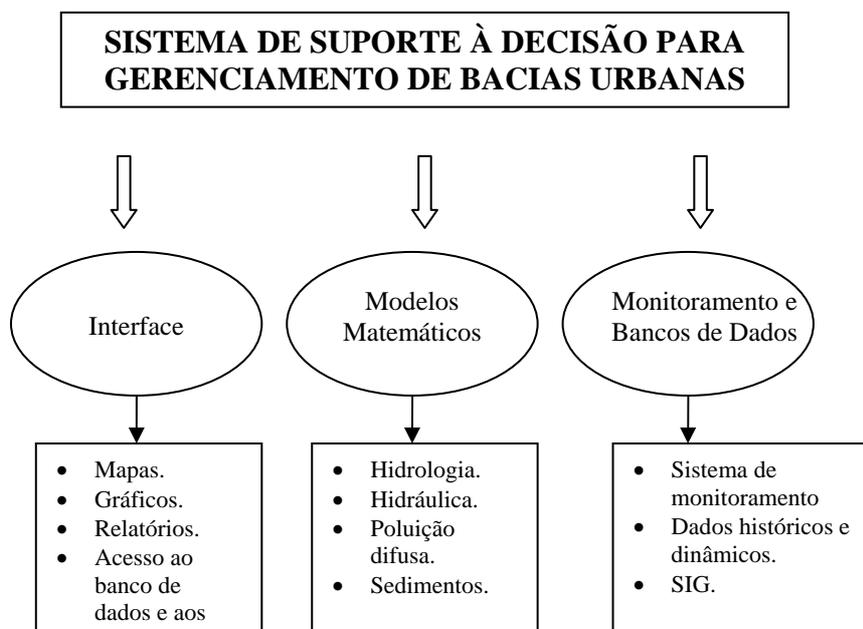


Figura 11 – SSD para Gerenciamento de Bacias Urbanas

O SSD está sendo formulado a partir de três módulos. O primeiro é uma interface gráfica onde o usuário vai poder “navegar” entre as diferentes funções e aplicativos, por exemplo: acessar o banco de dados, visualizar relatórios, gráficos e tabelas, processar os modelos matemáticos, acessar os dados geoprocessados (SIG), etc. O segundo módulo refere-se aos modelos matemáticos (ver figura 12) que serão as ferramentas para análises e simulações do comportamento da bacia em função de cenários alternativos. O terceiro módulo compreende as informações provenientes do sistema de monitoramento e o banco de dados composto por informações históricas e dinâmicas sobre a bacia. O usuário irá acessar o banco de dados para inserir dados e atualizar as informações.

Na área de geoprocessamento, está sendo montado um SIG com base no software SPRING desenvolvido pelo INPE (2002)

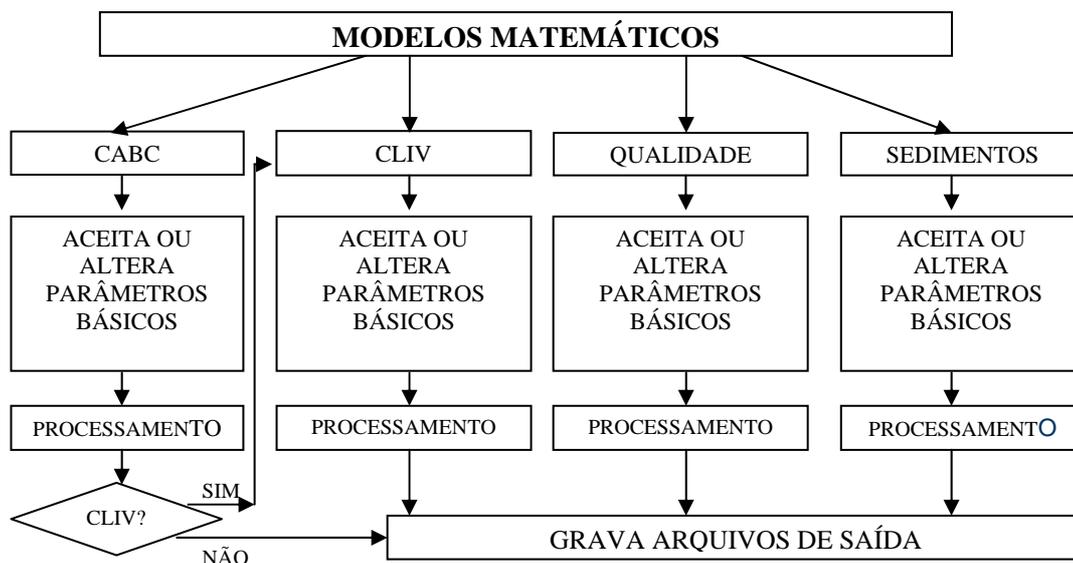


Figura 12 – SSD – Módulo de Modelos Matemáticos

As figuras 13 a 16 ilustram algumas telas da interface do SSD referentes ao modelo hidrológico. Por meio dessas telas, o usuário pode definir a precipitação total a ser modelada com base em eventos observados, relações intensidade-duração-frequência ou uma chuva qualquer que ele queira simular. Atualmente, essa chuva é distribuída uniformemente sobre a bacia. Contudo, está sendo realizado um estudo sobre a distribuição espacial das tormentas nessa região, com base em imagens de radar meteorológico, que irá permitir orientar o usuário nesse sentido. Ao usuário também é facultado alterar os valores de CN para cada sub-bacia adotada para simulação ou manter os valores que aparecem como default. Os resultados são a chuva excedente, o coeficiente de escoamento superficial e os hidrogramas gerados para cada sub-bacia.



Figura 13 – SSD/Tela Inicial da Interface

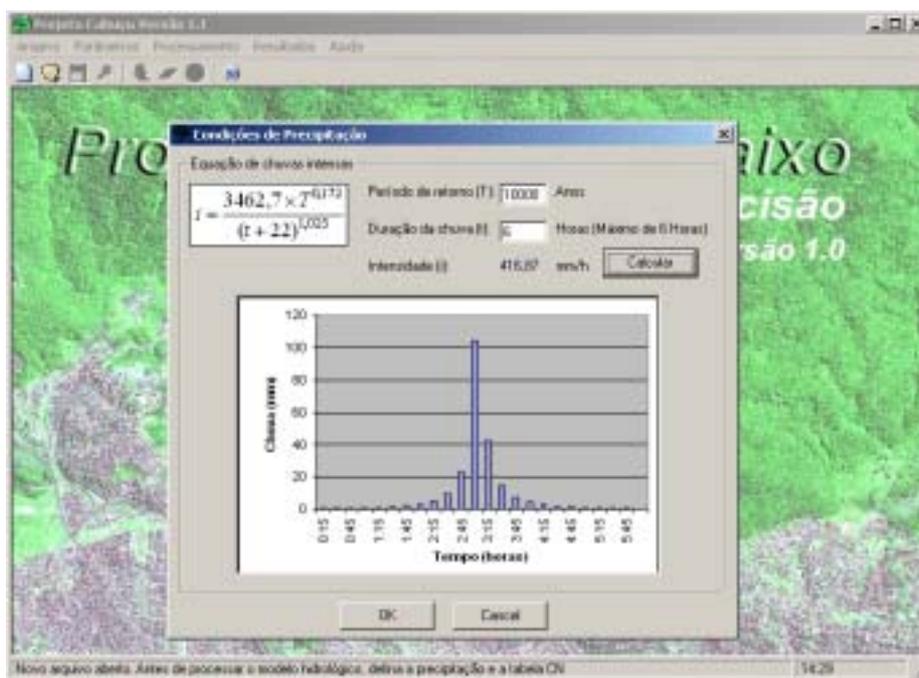


Figura 14 – SSD/Modelo Hidrológico – Cálculo de Chuvas Intensas

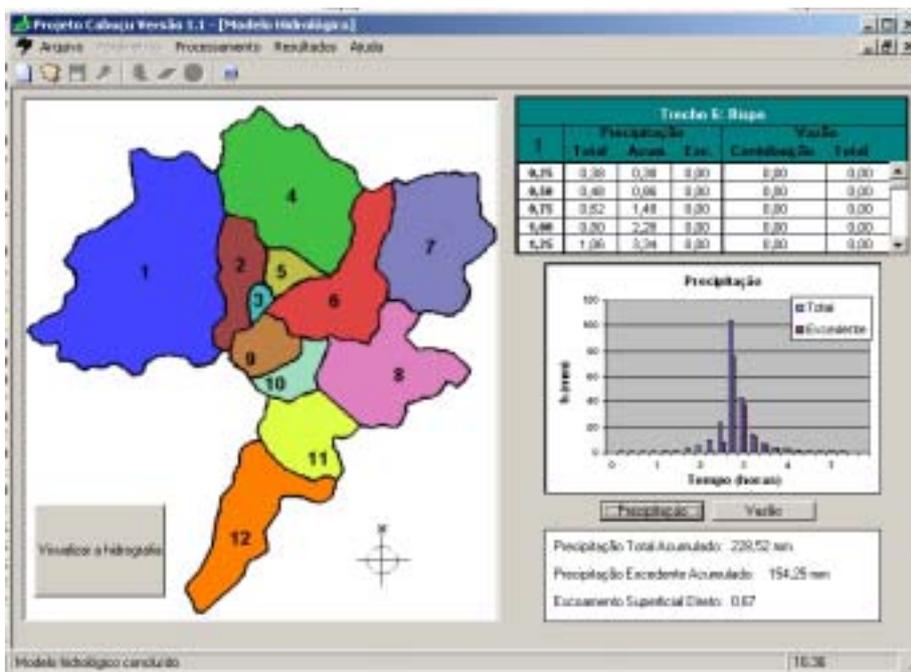


Figura 15 – SSD/Modelo Hidrológico – Cálculo da Precipitação Excedente

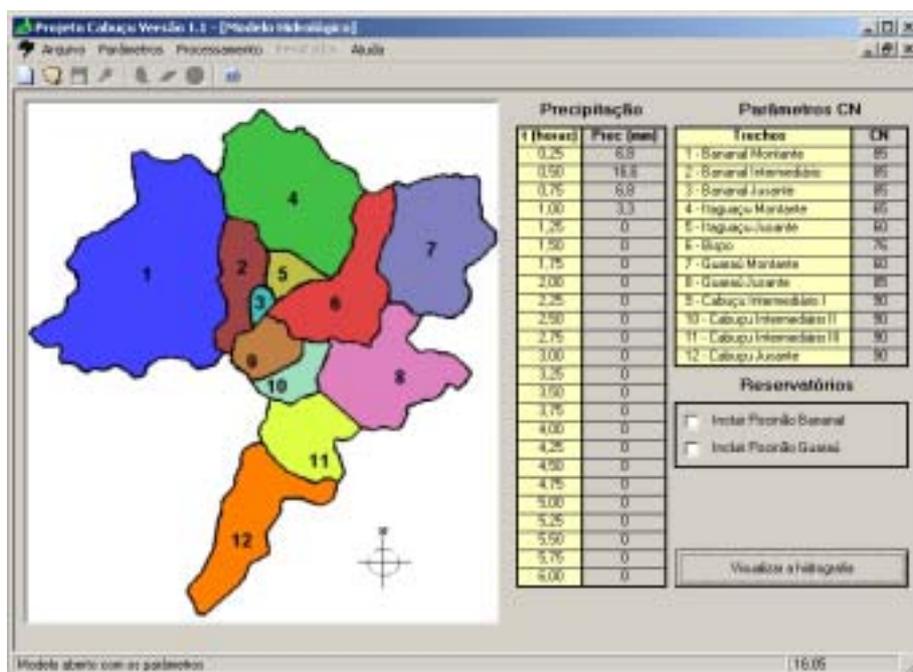


Figura 16 – SSD/Modelo Hidrológico – Dados de Entrada: Precipitação e CN (sub-bacias)

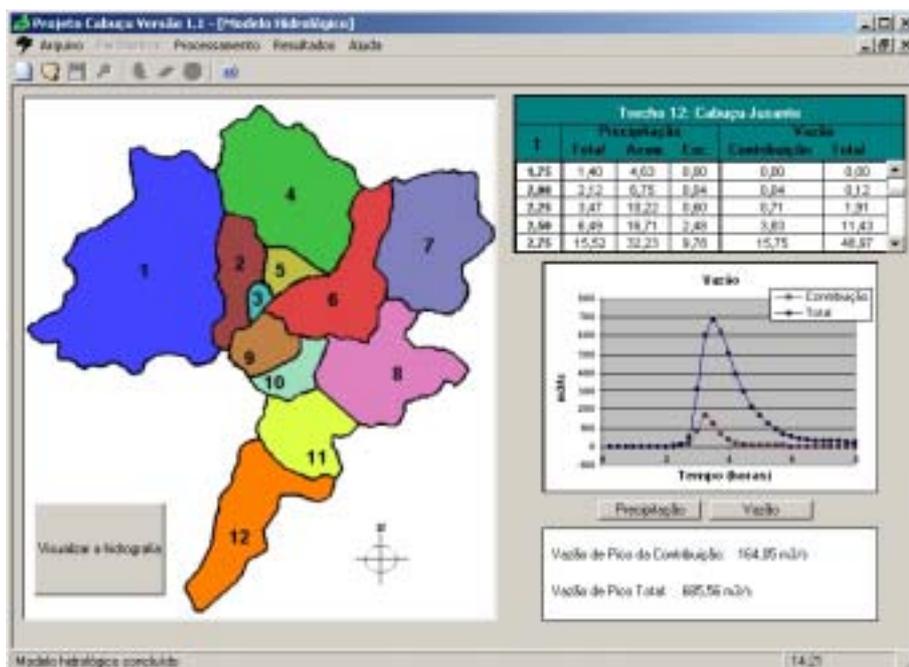


Figura 17 – SSD/Modelo Hidrológico – Resultados: Hidrogramas por Sub-bacias

No futuro este SSD será interligado a outros sistemas de gerenciamento da infra-estrutura urbana, como o Sistema de Alerta a Inundações de São Paulo (www.saisp.br).

Finalmente, deve-se ressaltar a importância do desenvolvimento do SSD para a bacia do Cabeçu de Baixo como uma referência para o desenvolvimento de ferramentas de gerenciamento de recursos hídricos a serem utilizadas pelos municípios, agências e entidades da área. Para que seja possível efetuar as análises e estudos técnicos através dos diversos modelos matemáticos, é fundamental implantar uma estrutura eficiente de coleta e armazenamento de dados físicos sobre a bacia. Até o momento, há uma certa distância entre o trabalho acadêmico e as atividades de gerenciamento realizadas pelas agências de recursos hídricos. O principal objetivo a ser atingido por este SSD será o de poder contribuir para modificar tal situação.

AGRADECIMENTOS

O presente estudo é financiado pelo CNPq/CIAMB PADCT III, Programa 01/97-03/01-2. Especial agradecimento deve ser feito aos demais professores da USP, membros da equipe do projeto: Prof. Dr. Luis César de Souza Pinto, Prof. Dr. José Alberto Quintanilha e Prof. Dr. Witold Zmitrowicz.

REFERÊNCIAS

FCTH, *Manual dos programas CABO e CLIV*, 2002, home page:
<http://www.fcth.br/software/software.html> .

INPE, *Manual do Spring versão 3.6.02*, 2002, home page: <http://www.dpi.inpe.br/spring/> .

JENSEN, J.R., TOLL, D.L. *Detecting residential land use development at the urban fringe.*
Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 48(4):629-643, Apr.1981.

USEPA (Environmental Protection Agency), *Basins 3.0*, 2001, home page:
<http://www.epa.gov/waterscience/basins/basinsv3.htm> .

USDA, *Soil Conservation Service*, National Engineering Handbook, 1973.