

Geotecnologias Aplicadas ao Estudo de Bacias Hidrográficas Urbanizadas Como Subsídios ao Plano Diretor de Drenagem

Mário Valério Filho¹
Maria de Lourdes Neves de Oliveira Kurkdjian¹
Madalena Niero Pereira²
Marcello Alves³

¹Universidade do Vale do Paraíba –UNIVAP
Avenida Shishima Hifumi, 2911 - Bairro Urbanova - CEP 12244-000
São José dos Campos-SP
{mvalerio, mlourdes} @univap.br

²Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE / LTID
Caixa Postal 515 - 12201-970 - São José dos Campos - SP, Brasil
madalena@ltid.inpe.br

³Instituto de Geociências - Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP
R. João Pandiá Calógeras, 51, CEP: 13083-970
malves@ige.unicamp.br

Abstract. This study presents a methodology for the study of river basins in urban areas in order to evaluate inundations problems. The methodology developed involves the survey of data from the physical environment and definition of the indices of imperviousness of the terrain associated to land use/land cover, the identification of those rivers where the potential impact is greatest on the surface drainage, as well as the identification of critical areas to erosion processes and consequently silting of river channels. Aerial photographs were used to update the drainage net and to map land use/land cover. Data analysis were done using the GIS software Spring. The river basins in the municipality of São José dos Campos are the object of this study. These rivers suffer under urban expansion and are strongly submitted to human actions. The results of the project show that the methodology is appropriate for the evaluation of the effects of urbanization on macro-drainage and the need to elaborate a Master Plan for Drainage that integrate non-structural measures to control inundations.

Palavras-chave: Macrodrenagem, Uso e Ocupação, Bacias Hidrográficas, Sistema de Informações Geográficas. Land Use/Cover, River Basins, Geographic Information System.

1. Introdução

As inundações em áreas urbanas representam um sério problema para grande parte dos municípios brasileiros, principalmente quando atingem áreas densamente ocupadas, ocasião em que geram prejuízos consideráveis e muitas vezes irreparáveis, com perdas de vidas humanas.

O controle de inundações em bacias urbanizadas envolve um conjunto de medidas estruturais e não estruturais que vão desde o planejamento do uso da terra urbano e rural à realocação humana, até o convívio com o problema.

A inundações tem sido um problema freqüente nos períodos de chuvas tanto nas áreas mais antigas e consolidadas da cidade, como nas áreas de expansão urbana, agravando pela impermeabilização do solo, ocupação das várzeas e retirada das matas ciliares, dificultando-se assim, a infiltração das águas das chuvas.

Assim, este trabalho tem como objetivo desenvolver uma metodologia para o estudo de bacias hidrográficas urbanas integrando parâmetros do meio físico a fim de fornecer subsídios para a elaboração dos Planos Diretores de Macrodrenagem Municipal. O mesmo está inserido no contexto do projeto “Macrodrenagem de São José dos Campos – Margem Direita do Rio

Paraíba do Sul” desenvolvido pela UNIVAP – Universidade do Vale do Paraíba, em cooperação com a Prefeitura de São José dos Campos, com o objetivo de elaborar um banco de dados de parâmetros do meio físico do município e de parâmetros hidrometeorológicos para estudo das bacias hidrográficas da margem direita do Rio Paraíba do Sul, no município de São José dos Campos, como subsídio à elaboração do Plano Diretor de Drenagem Municipal.

2. Localização e características da área de estudo

A área, objeto de estudo deste projeto é composta pelas bacias hidrográficas da margem direita do Rio Paraíba do Sul, no município de São José dos Campos compreendida pelas coordenadas 23 05’ a 23 18’ de latitude Sul e 46 00’ a 45 43’ de longitude Oeste (Figura 2.1).

Conforme a Prefeitura Municipal de São José dos Campos (1998) os afluentes da margem direita do Rio Paraíba do Sul têm suas nascentes quase sempre no espigão pelo qual passa a divisa do município de São José dos Campos com os municípios de Jambeiro e Jacareí. Estes rios têm grande importância porque percorrem grande parte da malha urbana e também de áreas de expansão urbana estando assim, submetidos às atividades antrópicas que provocam problemas de erosão e de impermeabilização do solo um dos fatores causadores de inundação.

Este esforço de Planejamento Urbano tem como propósito final, contribuir para o processo de organização do uso e ocupação do solo nas bacias analisadas do município de São José dos Campos, através da criação de uma base de dados do meio físico e do fornecimento de recomendações gerais que conduzam à melhoria da qualidade de vida no município.

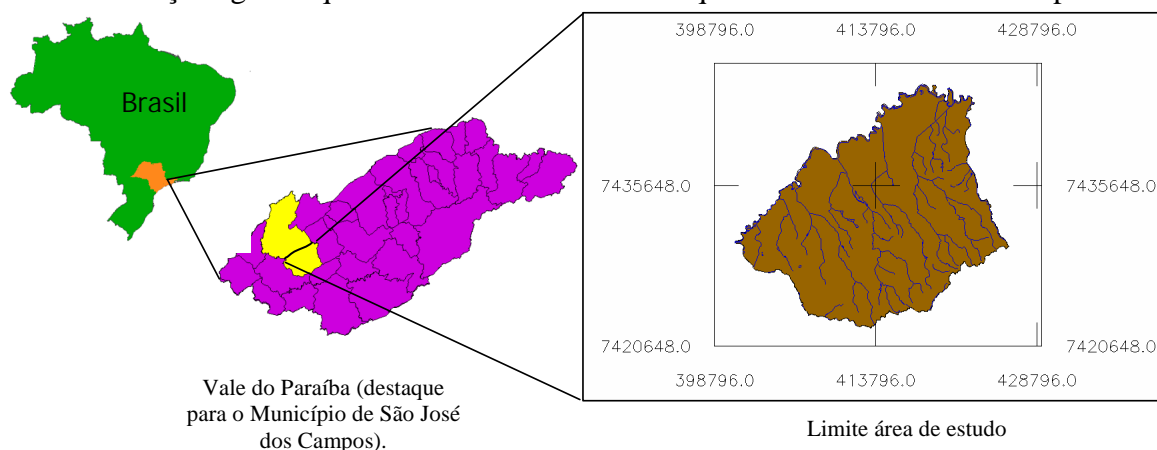


Figura 2.1 - Localização da área de Estudo

3. Procedimentos Metodológicos

A estrutura do banco de dados relativo a área de estudo foi criada no ambiente SPRING (Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas) desenvolvido pelo INPE (INPE, 2004)

Foi incorporado ao banco de dados criado no SPRING o mosaico aerofotogramétrico obtido a partir de fotografias aéreas na escala aproximada de 1:10.000 do sobrevôo realizado pelo INPE em novembro de 1997; e as imagens TM/Landsat relativas à órbita 219/76 obtida em 20/agosto/1997 e HRV/Spot da passagem de 02 de setembro de 1997.

Realizou-se o mapeamento e digitalização da rede de drenagem da área de estudo a partir do uso das cartas topográficas do Plano Cartográfico do Estado de São Paulo na escala 1:10.000 referentes ao ano de 1977.

A seguir, a partir da análise e interpretação de fotografias aéreas na escala aproximada de 1:10.000 dos anos de 1988 e 1997, relativas aos sobrevôos realizados pela Terrafoto e INPE,

respectivamente, foi realizado um detalhamento e a atualização da rede de drenagem levantada.

A compartimentação da área de estudo em bacias hidrográficas, foi realizada considerando-se o divisor d'água das drenagens inferidos através da interpretação das feições topográficas (da área de estudo) observadas nas cartas topográficas nas escalas de 1:50.000 e 1:10.000.

Foi incorporado ao banco de dados a Carta Geotécnica realizada pelo IPT (IPT, 1996) na escala 1:50.000, para o município de São José dos Campos e realizada a digitalização da carta geotécnica do IPT (1996) na escala 1:25.000. Esses dados serviram de suporte ao processo de identificação de áreas de risco à inundação bem como áreas suscetíveis a erosão.

Para a determinação dos diferentes graus de impermeabilização a que estão sujeitas as bacias hidrográficas que compõem a área de estudo, foi realizado o mapeamento do uso e cobertura vegetal natural das terras, destas bacias.

O levantamento das diferentes classes de uso e cobertura vegetal natural das terras existente na área de estudo, foi realizado a partir da análise e interpretação de fotografias aéreas coloridas na escala aproximada de 1:10.000, relativas ao ano de 1997 e imagens digitais TM/Landsat da órbita 219 ponto 76 obtida em 20 de agosto de 1997 e imagem SPOT pancromática obtida em 02 de setembro de 1997.

As fotografias aéreas na escala aproximada de 1: 10.000 do ano de 1997, que permitem um mapeamento detalhado da área de estudo, em função da sua melhor resolução espacial, foram utilizadas no mapeamento de áreas urbanas com diferentes densidades e estágios de ocupação e as imagens TM/Landsat digitais para o mapeamento de classes amplas de uso e cobertura natural das terras como os usos não urbanos: agrícola, reflorestamento, pastagem e mata/capoeira/cerrado. O mapeamento foi elaborado a partir da análise e interpretação das imagens digitais TM/Landsat 7 nos canais 3,4 e 5 e imagem Spot pancromática utilizando-se o sistema de processamento de imagens georreferenciadas - SPRING.

As classes urbanas foram definidas em função da densidade de ocupação, em termos de áreas edificadas e espaços livres, para atender o objetivo mais amplo do levantamento do uso que é relacionar a estas classes diferentes coeficientes de escoamento superficial, os quais foram associados aos índices de impermeabilização adaptados de Tucci et al.(1993) a fim de proporcionar a avaliação do grau de criticidade das bacias de drenagem quanto ao escoamento pluvial.

O cálculo das áreas ocupadas pelos diferentes usos foi realizado usando-se opção disponível no programa SPRING (INPE, 2003).

Para a avaliação da impermeabilização dos terrenos nas bacias foram associados a cada classe de uso e cobertura vegetal natural das terras um coeficiente de escoamento superficial, o qual no presente trabalho, passou a ser considerado como o “Índice de impermeabilização do terreno”.

Os índices de impermeabilização, associados às classes de uso e cobertura vegetal natural da terra foram adaptados, tal qual relatado acima, através da utilização dos coeficientes de escoamento superficial de Bidoni e Tucci (1994).

Para a análise comparativa das bacias foi calculado um índice final de impermeabilização que sintetiza os índices parciais associados aos diferentes usos e cobertura vegetal natural das terras, para cada uma das bacias analisadas , a partir da seguinte fórmula:

$$IB = \frac{\sum A_i \times C_i}{\sum A_i}$$

(para i variando de 1 até n)

A_i = área da bacia com uso i;

C_i = índice de impermeabilização do uso i (valor médio do intervalo);

A carta de potencial de risco a erosão foi obtida com base nas informações contidas na Carta Geotécnica do Município de São José dos Campos (IPT, 1996). Agregando-se as classes geotécnicas em termos de suscetibilidade à erosão foi gerado o mapa de potencial de risco a erosão.

Para melhor compreensão da situação existente na área de estudo, no período analisado, com relação aos processos de erosão, foi feito o cruzamento das classes de uso e cobertura vegetal natural das terras com a carta de potencial de risco. Com isto foram determinadas as áreas críticas em que o uso e cobertura vegetal natural poderão concorrer para os processos de erosão e conseqüentemente o assoreamento dos canais fluviais.

Com base principalmente na composição textural do material de cobertura e nas condições topográficas da ocorrência, representada pela declividade do terreno, foram estabelecidas quatro classes de risco à erosão quanto à ocupação urbana.

A partir da análise integrada das informações geradas foram elaboradas algumas recomendações para a expansão urbana tendo-se como base as características do meio físico e o uso e cobertura vegetal natural das terras existente. As informações também poderão ser utilizadas para nortear decisões futuras levando-se sempre em conta a fragilidade do meio ambiente.

4. Resultados

A atualização da rede de drenagem da margem direita do Rio Paraíba do Sul no município de São José dos Campos, a partir do uso de fotografias aéreas (1988 e 1997) possibilitou o mapeamento das drenagens intermitentes, bem como dos trechos retificados e canalizados da área de estudo.

Para uma melhor conduta dos estudos, a área de estudo foi compartimentada em 8 (oito) sub-bacias hidrográficas apresentadas na Figura 4.1.

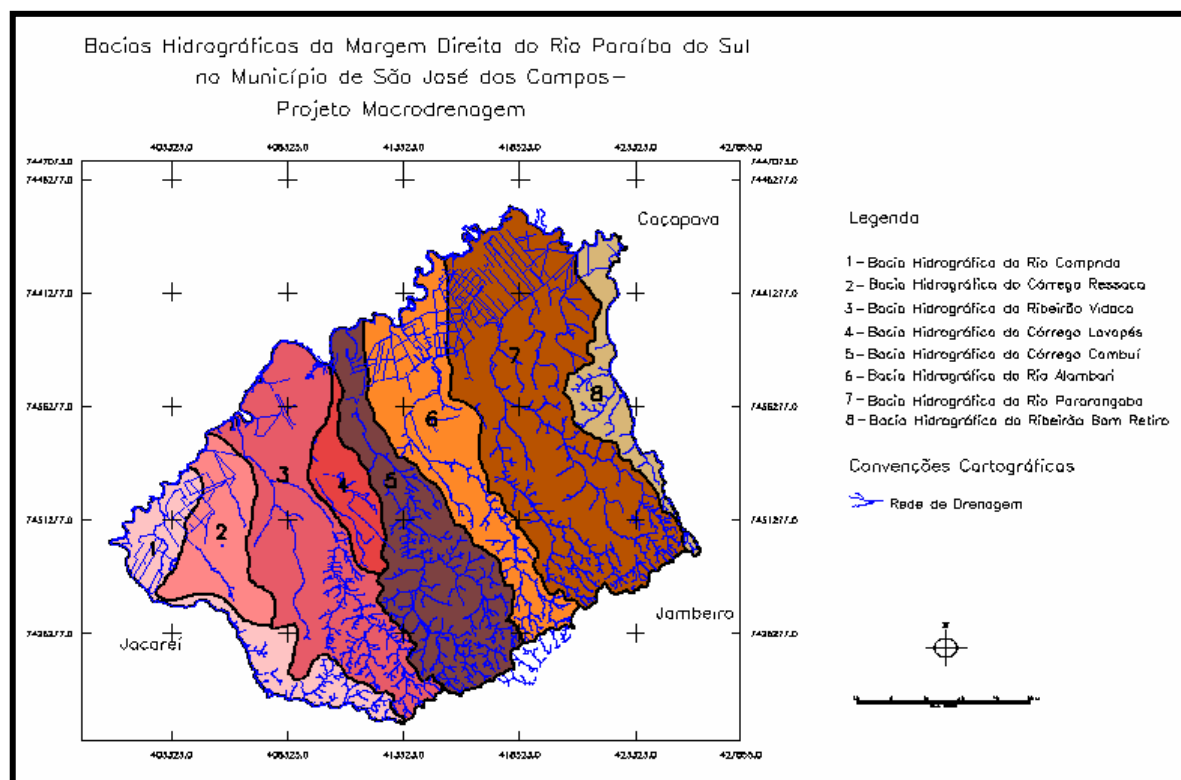


Figura 4.1 - Compartimentação da Área de Estudo em Bacias Hidrográficas

Pela análise da figura 4.1, verifica-se que a bacia do Rio Pararangaba é a que ocupa a maior extensão em área (93 Km²) seguida pela bacia do Ribeirão Vidoca (60 Km²), enquanto a menor área corresponde à bacia do Ribeirão Lavapés (13 Km²).

A situação da área de estudo em termos de uso e cobertura vegetal natural das terras demonstra a predominância da classe de áreas não urbanizadas principalmente pasto sujo e pastagem. Isto indica a possibilidade futura de que a expansão urbana venha ocorrer, sobretudo, nas bacias do Pararangaba seguida das bacias do Cambuí, Alambari e Vidoca.

De maneira geral quanto a urbanização verifica-se que a parte oeste da área de estudo encontra-se mais urbanizada onde há predominância da classe área consolidada com alta taxa de ocupação. A leste, no que concerne ao uso urbano, ocorre com maior frequência à classe área não consolidada com baixa taxa de ocupação indicando futuro adensamento. Além disso, ocorrem extensas áreas de pastagem, indicando possibilidade de expansão urbana. Para esta área, portanto, ocorre à necessidade de maior atenção por parte do poder público.

Devido ao crescimento urbano não planejado, em algumas bacias apresentam altos índices de impermeabilização, o que tem provocado aumento nos volumes de escoamento superficial, enchentes, erosões e assoreamento da macrodrenagem. Isto concorda com as afirmações de Tucci (2000) acerca da relação entre aumento da área impermeável e aumento no coeficiente de cheia e no volume do escoamento superficial.

A espacialização dos índices de impermeabilização, considerando-se as classes de uso e cobertura vegetal natural das terras presentes na área apresentada na Figura 4.2 permitiu a identificação de áreas que potencialmente causam maior impacto sobre o escoamento superficial. Estas áreas encontram-se na bacia do Ribeirão Vidoca, que apresenta grande porcentagem de uso urbano na classe consolidada alta (29%) associada ao mais alto índice de impermeabilização (0,7 – 0,95). Seguem nas mesmas condições as bacias do Ribeirão Lavapés e Córrego Ressaca, que embora menores em áreas, apresentam-se bastante urbanizadas e conseqüentemente impermeabilizadas (21% de suas áreas).

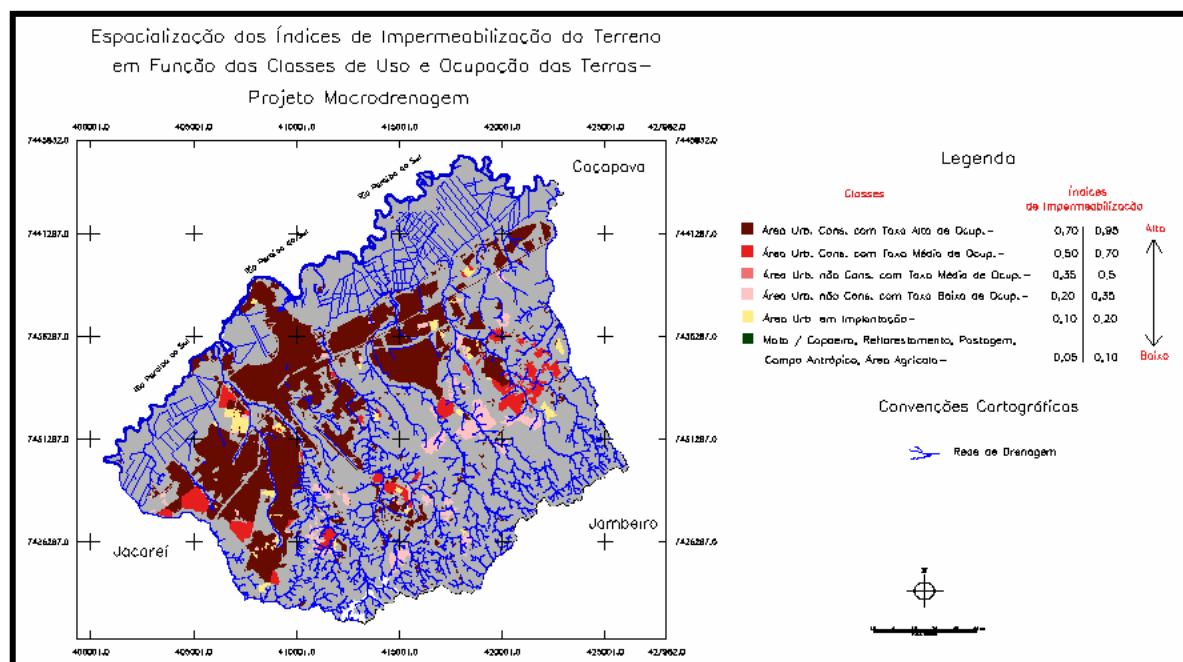


Figura 4.2 - Mapa de índices de impermeabilização.

O cálculo dos índices de impermeabilização globais representativos de cada bacia apontam como bacias mais críticas as bacias do Vidoca (0,37), Ressaca (0,36) e Lavapés (0,36) conforme pode ser observado na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 - Índices de impermeabilização globais, por bacia:

ÍNDICE GLOBAL BACIA	BACIAS
Alambari	0,23
Bom Retiro	0,11
Cambuí	0,17
Lavapés	0,36
Pararangaba	0,17
Rio Comprido	0,14
Vidoca	0,37
Ressaca	0,36

Se forem levadas em consideração as dimensões das bacias no contexto da área de estudo pode-se apontar que a bacia do Pararangaba, comparativamente as outras bacias, apresenta uma impermeabilização de extensão significativa, embora não apresente proporção de área impermeabilizada alta. Isto irá promover um escoamento superficial rápido, que dependendo das condições de condução do fluxo de água poderá provocar inundações em perímetros próximos a macrodrenagem.

Considerando-se os altos níveis de impermeabilização que algumas das bacias já apresentam, a ocorrência de freqüentes inundações em algumas bacias e o fato de grande parte delas ainda possuírem áreas livres para ocupação futura, é oportuno apresentar algumas sugestões, no sentido, a serem tomadas medidas de caráter não estruturais que fatalmente irão contribuir para amenizar os efeitos danosos das inundações, tais como: revisão da legislação municipal quanto às taxas de ocupação para as áreas que serão ocupadas pela urbanização; para os novos loteamentos e condomínios a serem aprovados sugere-se que as áreas de circulação e passeios sejam mais permeáveis, através da adoção de calçamento das ruas com "blokrete" ou pavimentação porosa, bem como o uso de calçadas com partes em áreas verdes; para os novos grandes empreendimentos a exemplo dos shoppings, pátios de estacionamento, áreas industriais, quando da aprovação dos projetos, sugere-se a exigência de projeto de sistemas de captação e armazenamento das águas pluviais como forma de retenção do excesso de vazão proporcionado pelo aumento das áreas impermeabilizadas; o estudo de implantação de lagoas de detenção, em pontos estratégicos com dupla função de detenção das águas pluviais nos picos de vazão e utilização ainda como áreas de lazer, de prática de esportes, etc. quando nos períodos de ausência das chuvas; implantação de uma "taxa de impermeabilização" na aprovação dos projetos, e a adoção de medidas de contenção do aumento das vazões nas propriedades o que tornará possível, efetivamente, controlar os reflexos da urbanização sobre a macrodrenagem.

Com relação ao Risco a Erosão, verificou-se através da análise da Figura 4.3 que as bacias analisadas na área de estudo apresentam-se quase na sua totalidade associadas à classe baixo risco (92%), com pequena porcentagem na classe alto risco. Isto se explica em parte pela relativa adequação, no período analisado, entre o uso e cobertura vegetal natural das terras e as características geotécnicas das áreas analisadas.

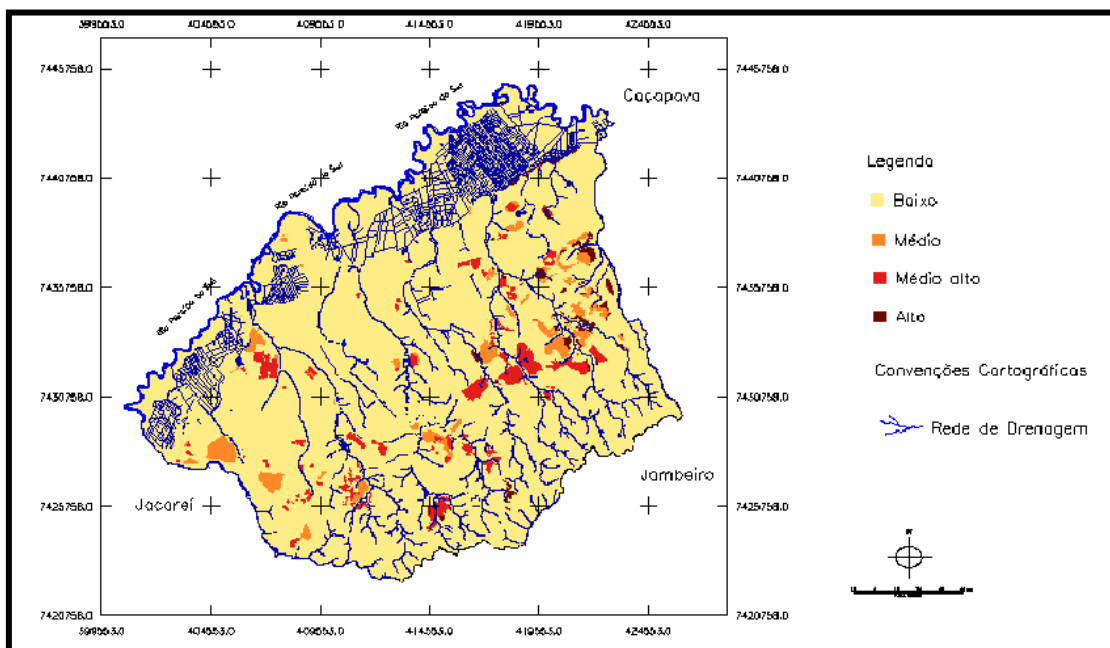


Figura 4.3 - Carta de Risco a Erosão frente às Classes de Uso e Cobertura Vegetal Natural das Terras.

As ações mitigadoras frente aos problemas das inundações devem estar contidas necessariamente no Plano Diretor de Drenagem, com base numa legislação calcada nos princípios de sustentabilidade e conseqüentemente respaldada por um programa de educação ambiental. Atualmente a ação do Estado tem dado ênfase à adoção apenas de medidas estruturais buscando tratar os efeitos ao invés das causas do problema. É necessário que sejam adotadas também medidas não estruturais, para que sejam minimizados os reflexos da urbanização sobre a macrodrenagem e assim equacionados efetivamente os problemas de erosões e sobrecargas nas bacias hidrográficas;

As propostas de ordenamento territorial dos perímetros urbanos devem ser conduzidas com base nos conceitos funcionais de bacia hidrográfica, pois as mesmas têm sido eleitas como unidades básicas de planejamento, pelo fato de que a resultante de toda ação antrópica irá refletir na sua própria área de abrangência;

As ações estruturais quando aprovadas, não devem ter o enfoque de ações imediatistas, devendo ser analisadas de forma a evitar a transferência do problema das inundações para jusante da bacia hidrográfica. A tomada de decisão deverá ser contemplada por uma análise mais ampla, procurando avaliar as características físicas da bacia hidrográfica e principalmente a densificação das áreas urbanas e das futuras áreas a serem urbanizadas.

5. Considerações Finais

As ações mitigadoras frente aos problemas das inundações devem estar contidas necessariamente no Plano Diretor de Drenagem, com base numa legislação calcada nos princípios de sustentabilidade e conseqüentemente respaldada por um programa de educação ambiental. Atualmente a ação do Estado tem dado ênfase à adoção apenas de medidas estruturais buscando tratar os efeitos ao invés das causas do problema. É necessário que sejam adotadas também medidas não estruturais, para que sejam minimizados os reflexos da urbanização sobre a macrodrenagem e assim equacionados efetivamente os problemas de erosões e sobrecargas nas bacias hidrográficas;

As propostas de ordenamento territorial dos perímetros urbanos devem ser conduzidas com base nos conceitos funcionais de bacia hidrográfica, pois as mesmas têm sido eleitas

como unidades básicas de planejamento, pelo fato de que a resultante de toda ação antrópica irá refletir na sua própria área de abrangência;

As ações estruturais quando aprovadas, não devem ter o enfoque de ações imediatistas, devendo ser analisadas de forma a evitar a transferência do problema das inundações para jusante da bacia hidrográfica. A tomada de decisão deverá ser contemplada por uma análise mais ampla, procurando avaliar as características físicas da bacia hidrográfica e principalmente a densificação das áreas urbanas e das futuras áreas a serem urbanizadas.

6. Bibliografia

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE - **SPRING** – Sistema de Processamento de Informações Georeferenciadas. <http://www.dpi.inpe.br/spring>. 2003;

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS - IPT. **Carta Geotécnica do Município de São José dos Campos**. Relatório Técnico 34645. São José dos Campos: PMSJC, 1996;

PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO JOSÉ DOS CAMPOS . **Plano Diretor do Município de São José dos Campos: Plano Preliminar**. São José dos Campos: PMSJC, 1961;

TUCCI, C.E.M. **A necessidade do planejamento da drenagem urbana**. In: Avaliação e controle da drenagem urbana. Porto Alegre : Ed. UFRGS, 2000. p. 499-501;

TUCCI, C.E.M. **Avaliação e controle dos impactos ambientais decorrentes da urbanização: apresentação do projeto**. In: Avaliação e controle da drenagem urbana. Porto Alegre: Ed. UFRGS, 2000. p. 15-21;

TUCCI, C.E.M. **Coefficiente de escoamento e vazão máxima de bacias urbanas**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v.5, n.1, p. 61-68, 2000;

TUCCI, C.E.M.; MARQUES, D.M.L.M. **Avaliação e controle da drenagem urbana**. Porto Alegre : Ed. UFRGS, 2000. 558 p;

TUCCI, C,E,M. et. al. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. Porto Alegre: Ed. UFRGS/.ABRH/ EDUSP, 1993. 943 p.