

MAPEAMENTO E CARACTERIZAÇÃO DOS FATORES FISIAGRÁFICOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DE CONTRIBUIÇÃO PARA O RESERVATÓRIO DE BARRA BONITA – SP

Rachel Bardy Prado

Pesquisadora nível A da Embrapa Solos
rachel@cnps.embrapa.br

Evlyn Márcia Leão de Morais Novo

Pesquisadora titular III do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
carlosed.gf@hotmail.com

Carlos Gonçalves Ferreira

Mestrando da Geomática da UERJ
carlosed.gf@hotmail.com

RESUMO

O objetivo deste estudo foi mapear e caracterizar os principais fatores fisiográficos da bacia hidrográfica de contribuição para o reservatório de Barra Bonita – SP, fazendo uma compilação dos mesmos em uma única publicação no intuito de subsidiar o planejamento e manejo adequados da mesma. Os mapas de drenagem, pedologia, geologia, geomorfologia e pluviosidade foram processados em ambiente SPRING 3.6, a partir de originais fornecidos respectivamente pelo IAC de Campinas e IPT de São Paulo. Para isso, os mapas analógicos foram escanizados, editados e finalizados utilizando projeção UTM e datum SAD69. A drenagem foi obtida a partir da base planialtimétrica do IBGE, na escala 1:250.000, a qual permitiu derivar o mapa de densidade de drenagem da bacia estudada. Os dados de precipitação foram obtidos no DAEE para várias estações pluviométricas, cujos valores foram posteriormente interpolados utilizando-se o método de krigeagem ordinária. As classes de cada mapa obtido foram descritas e discutidas quanto ao potencial de contribuição para a degradação ambiental, com base na literatura e com o auxílio de especialistas nos temas abordados.

Palavras-chave: mapeamento, componentes fisiográficos, bacia hidrográfica, Barra Bonita, SIG.

ABSTRACT

The objective of this study is to typify and integrate physiographical factors acting upon the UHE Barra Bonita reservoir drainage basin to support suitable planning and management of the water resources. Landscape components such as drainage network, soil, geology, geomorphology and precipitation were integrated using SPRING 3.6 environment using as input maps provided by IAC and IPT. The maps were digitized, edited and systematized in the same projection and datum (UTM /SAD69). The drainage network was extracted from IBGE topographic sheet at the scale of 1:250 000 and was then converted into a drainage density map. Precipitation data provided by DAEE for several stations were used to map a proxy of annual rain concentration in the basin. The interpolation method used to transform point information into spatial information was kriging. The classes of each map were described using both specialist and literature information.

Key words: mapping, physical features, watershed, Barra Bonita, GIS.

INTRODUÇÃO

Para efeito de planejamento e manejo de bacias hidrográficas é importante o levantamento e caracterização de seus fatores fisiográficos. As características naturais de uma bacia hidrográfica estão diretamente relacionadas ao ciclo hidrológico em todas as suas fases, o qual pode interferir, por exemplo, no escoamento superficial, que é responsável pela interação terra-

Recebido em 29/01/2010

Aprovado para publicação em 21/12/2010

água e, portanto, nos processos erosivos, no transporte de poluentes até os corpos d'água, no tipo de uso e manejo que se faz da terra, dentre outros. MacCauley e Hufschmidt (1995, p.63) destacam que a utilização da bacia hidrográfica como unidade de planejamento, possibilita conjugar fatores econômicos, políticos, sociais e culturais integrados nesse espaço geográfico. O primeiro fator que deve ser levado em consideração em um planejamento é a realização de uma completa caracterização do sistema a ser focado. Este conjunto de informações possibilita conhecer o sistema, o que dará suporte ao embasamento de proposta e tomada de decisões.

A bacia hidrográfica de abastecimento do reservatório de Barra Bonita está inserida numa das regiões mais populosas e desenvolvidas do interior do Estado de São Paulo, possuindo aproximadamente, cinco milhões de habitantes, o que representa 16% de sua população. O grande contingente populacional gera uma carga excessiva de resíduos orgânicos, que juntamente com os esgotos industriais da bacia, são fontes pontuais de poluição da água.

A disponibilidade hídrica e a melhoria das condições de circulação pelas rodovias após a construção do reservatório de Barra Bonita promoveram ainda a crescente modernização agrícola do seu entorno. Parte da tradicional cultura do café cedeu espaço ao plantio de cana-de-açúcar, predominante na década de 80, devido à crise do petróleo e aos incentivos ao cultivo da cana-de-açúcar - PRO-ÁLCOOL. A modernização da agricultura ocorreu com a aplicação de defensivos agrícolas, o incremento da força mecânica e a intensificação do uso das terras nos municípios do entorno (Valêncio et al., 1999, p.200).

Concomitantemente à expansão da cana-de-açúcar ocorreu a redução das áreas de vegetação natural (predominantemente cerrado), inclusive de matas ciliares. Estas áreas foram substituídas, não só pela cana-de-açúcar, mas também, por áreas de reflorestamento, ligadas ao segmento industrial de papel e celulose, instalado na região. Atualmente o cenário não é diferente, com a intensificação do cultivo da cana-de-açúcar em função dos novos investimentos na produção de biocombustíveis no país; somente na região do município de Jaú, por exemplo, situado próximo ao reservatório de Barra Bonita, a área de plantio de cana-de-açúcar na safra 2007/2008 possuía aproximadamente 269.158 ha (INPE, 2008). Os resíduos da agricultura, por sua vez podem se tornar fontes difusas de poluição da água, podendo contaminar os corpos d'água tanto superficiais como subterrâneos, dentre outros impactos ambientais indesejáveis.

Dentre as características do meio físico relevantes para o planejamento e manejo de bacias hidrográficas, visando a conservação dos recursos hídricos, destacam-se a drenagem, a pedologia, a geologia, a geomorfologia e a pluviosidade. Desta forma, o presente estudo tem como proposta mapear e caracterizar os principais componentes fisiográficos da bacia hidrográfica de contribuição para o reservatório de Barra Bonita (BHRBB) – SP, utilizando as ferramentas de Sistema de Informação Geográfica (SIG). O resultado desta integração poderá servir de auxílio tanto para estabelecer diretrizes e prioridades de recuperação de áreas degradadas como para propor nível de segurança adequado ao reservatório, bem como propor restrições à ocupação desordenada aos empreendimentos agropecuários já estabelecidos na região.

O PAPEL DOS FATORES FISIAGRÁFICOS NO PLANEJAMENTO E MANEJO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS

A ocupação das terras e as atividades nela desenvolvidas resultam de interações entre o homem e o meio natural, ou seja, aspectos geomorfológicos, solos, precipitação, e outros. Através de um levantamento integrado dos aspectos físicos, importantes subsídios ao planejamento de uso podem ser gerados.

O aproveitamento das águas fluviais, com o fechamento total ou parcial de um rio para a formação de um reservatório, está associado à geração de uma série de alterações físicas, em especial na dinâmica fluvial. Assim, o conhecimento de elementos fisiográficos permite a avaliação das características dos diferentes sistemas de drenagem de modo a identificar potencialidades ou restrições para a implementação de mudanças no sistema fluvial (Cunha, 2003, p.49).

O conhecimento da rede de drenagem de uma bacia hidrográfica é importante para o planejamento do uso das terras e manejo de bacias hidrográficas, pois dependendo de suas características como forma, padrão e densidade, ela facilitará ou não o transporte de sedimentos e poluentes até os rios principais, já que uma bacia constitui-se num sistema hierarquicamente organizado.

De acordo com Santos (2004, p.74), o conhecimento das unidades geológicas auxilia na análise dos tipos e da dinâmica dos terrenos, orientando medidas preventivas como a capacidade de suporte das ações humanas sobre o meio, além de minimizar os danos ambientais e os riscos aos diversos empreendimentos. Dependendo da composição das rochas, pode haver a liberação de diferentes elementos que poderão atingir os corpos d'água. Além disso, a geologia de uma região está extremamente relacionada à formação dos solos que se encontram diretamente em contato com a água, além de possibilitar ou não maior penetração da água possibilitando a penetração de poluentes até o lençol freático e os aquíferos profundos.

O estudo e o mapeamento dos solos são essenciais para a determinação da aptidão agrícolas das terras, para os diversos tipos de zoneamentos, para o planejamento de uso das terras, para a identificação de áreas susceptíveis à erosão, para o financiamento agrícola, para a determinação do tipo e quantidade de irrigação de culturas, dentre outros manejos. A análise dos aspectos geomorfológicos para o planejamento de bacias hidrográficas é também muito importante, pois a diversidade topográfica referente às diversas subzonas da bacia oferece uma série de indicadores morfométricos que podem ser usados para avaliar, por exemplo, aspectos relacionados ao comportamento hidrológico (Christofolletti, 2005, p.435).

A precipitação constitui-se num importante fator-controle do ciclo hidrológico e, portanto, da regulação das condições ecológicas e geográficas de uma região, especialmente, nas bacias hidrográficas. As quantidades relativas de precipitações (volume), sua distribuição temporal e intensidade (volume/duração), são algumas das características que afetam a dinâmica hidrológica (Coelho Neto, 2005, p.100). Portanto, o conhecimento e a distribuição espacial desse condicionante merecem destaque para as ações de planejamento.

MAPEAMENTO DOS FATORES FISIGRÁFICOS DA BACIA HIDROGRÁFICA POR MEIO DE SIG

A diversidade dos componentes fisiográficos e de suas interações produzem efeitos complexos. Para cada um desses elementos existe uma escala própria de variação, tanto no espaço como no tempo, fazendo com que diferentes processos possam ser investigados sobre uma faixa bastante diversa de escalas espaciais e temporais.

O desenvolvimento de uma base de dados na qual a informação espacial é organizada, analisada e apresentada referindo-se a sua localização, tem sido crescentemente demandada por diversas organizações. Existe uma clara percepção, de que a análise dentro de um contexto geográfico tem-se tornado bastante crítica para o suporte à tomada de decisão. Isto tem gerado uma mudança de atitude sobre a manipulação, coleta, uso e publicação de dados, que precisam ser acessados, analisados e utilizados para formular estratégias, influenciando políticas de planejamento. Os Sistemas de Informação Geográfica constituem-se em um conjunto de ferramentas que permitem combinações e sínteses sobre os dados ambientais disponíveis, sendo importante instrumento para análises ambientais. A eficiência dos SIG depende da definição precisa do objetivo e dos passos metodológicos a serem desenvolvidos no ambiente e no sistema, além da forma de integração dos diferentes dados sobre a área em questão (Santos, 2004, p.131).

No contexto de uma bacia hidrográfica, como unidade dotada de sensibilidade ambiental, pode-se deduzir que, para a elaboração e aplicação de um plano de manejo eficaz, é fundamental a máxima aquisição de dados sobre a realidade pesquisada, o que pode ser viabilizado e agilizado por meio do SIG, gerando informações que permitem um melhor entendimento e conexão dos resultados obtidos com a realidade (Coelho, 2007, p.2438).

Como já destacado, as informações sobre os fatores fisiográficos são consideradas essenciais quando se pretende fazer o planejamento de uso das terras e manejo de bacias hidrográficas. O mapeamento e análise desses a partir das geotecnologias permitem um conhecimento mais rápido e com custo menor em comparação aos métodos tradicionais e com nível de detalhamento (escala) adequado às necessidades ou objetivos do usuário. Além disso, por meio da análise integrada de diferentes temas ou camadas de informação, o SIG permite diagnosticar possíveis desequilíbrios nas relações entre esses condicionantes, assim como identificar áreas com maior ou menor potencial quanto ao aspecto que se pretende estudar, por exemplo, contribuição para o escoamento superficial.

METODOLOGIA

LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A bacia hidrográfica de contribuição para o reservatório de Barra Bonita é constituída por setores das bacias hidrográficas Piracicaba/Capivari/Jundiaí (BHPCJ) e Tietê/Sorocaba (BHTS), correspondendo a aproximadamente 19.164,43 km², inserida entre as coordenadas geográficas 21° 54' 20" e 23° 57' 26" Sul e 46° 39' 27" e 48° 34' 52" Oeste. A Figura 1 mostra a localização da bacia no Estado de São Paulo e no Brasil. O reservatório de Barra Bonita começou a operar em 1963, sendo formado pelo represamento dos rios Tietê e Piracicaba, contando com a participação de vários afluentes. Constitui-se no primeiro reservatório à jusante da cidade de São Paulo (aproximadamente 300 km) a formar um complexo de barragens situadas no rio Tietê (Calijuri, 1999).

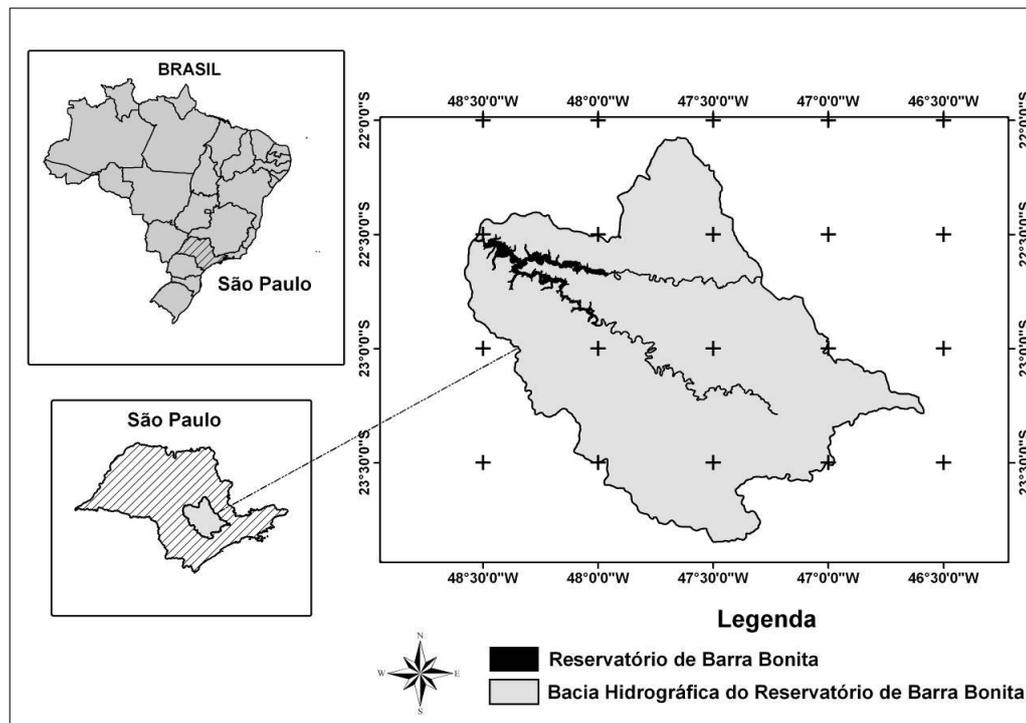


Figura1: Localização da bacia hidrográfica de contribuição para o reservatório de Barra Bonita – SP.

OBTENÇÃO DOS DADOS E MAPEAMENTO DOS CONDICIONANTES FISIográficos DA BHRBB

A base cartográfica utilizada, tanto para a digitalização da bacia hidrográfica e sub-bacias, como da rede de drenagem foi a do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) na escala 1:250.000 (Folhas: São Paulo, Campinas, Bauru e Itapetininga).

O mapa geológico da bacia foi obtido a partir do Mapa Geológico do Estado de São Paulo, na escala 1:500.000 (Bistrichi et al., 1981) e o mapa geomorfológico a partir do Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo, na escala 1:1.000.000 (Ponçano et al., 1981). Ambos foram adquiridos, já escaneizados, no Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT). E o mapa pedológico foi obtido a partir do Mapa Pedológico do Estado de São Paulo de 1999, na escala 1:500.000, elaborado pelo Instituto Agrônomo de Campinas (IAC). Este mapa apresenta a vantagem da base cartográfica de referência utilizada na sua elaboração ter sido a do IBGE, na escala 1:250.000, com atualização por meio de imagens TM/Landsat-5 de 1997 e 1998 (Prado, 2004, p. 55).

Quanto aos dados de precipitação, foi realizado um levantamento dos postos de monitoramento de dados pluviométricos do Departamento de Água e Esgoto (DAEE) do Estado de São Paulo para a área estudada, consultando via internet o Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SIGRH). Foram identificados 75 postos monitorados, apresentando dados de médias mensais de precipitação de 1990 a 2000, mesmo que intermitentes, sendo estes utilizados no presente estudo.

Inicialmente, todos os mapas em papel foram escaneizados e georreferenciados no programa SPRING 3.6, para tal definiu-se a projeção UTM (*Universal Transverse Mercator*) e o Datum SAD69 (*South American Datum de 1969*). As cartas planialtimétricas utilizadas estavam em diferentes fusos, então foi utilizado o fuso 23 estendido devido à área de estudo estar inserida em sua maioria neste fuso e pela escala adotada para o trabalho ser de 1:250.000. Segundo D'Alge (2001), em situações semelhantes, a adoção dessa metodologia não implica em alterações na qualidade cartográfica dos dados contidos no SIG.

Todo o processo de digitalização dos mapas foi realizado pelo módulo digitalização em tela, também no SPRING 3.6. Para a delimitação da bacia hidrográfica em questão tomou-se como referência os divisores de água, estradas, rodovias e ferrovias. Para todos os mapas temáticos foram associadas classes, sendo os mapas finais representados no formato vetorial. No caso dos mapas de geologia, pedologia e geomorfologia foram calculadas as áreas para as classes obtidas, assim como elaborados quadros com a descrição de cada classe.

OBTENÇÃO DO MAPA DE DENSIDADE DE DRENAGEM

A partir do mapa de drenagem da bacia foi possível obter o mapa de distribuição de densidade de drenagem das sub-bacias da área de estudo. A densidade de drenagem é um fator importante a ser considerado neste estudo, visto que quanto maior for a mesma em uma determinada sub-bacia, maior será o contato entre o meio terrestre e aquático, facilitando o aporte de nutrientes e sedimentos até os rios, sendo transportados e depositados na parte mais baixa da bacia que no caso é o Reservatório de Barra Bonita. Entretanto, deve-se salientar que as medidas de densidade de drenagem não são absolutas, uma vez que a cartografia de referência encontra-se na escala 1:250.000, devido à abrangência do presente estudo ser regional. O uso dessa escala tende a ter um efeito homogenizador na densidade de drenagem principalmente pela não incorporação de muitos canais de primeira ordem. A densidade de drenagem para cada sub-bacia foi calculada pela seguinte equação:

$$DD = \sum R / A$$

Onde: DD - Densidade de drenagem

$\sum R$ - Soma dos comprimentos dos rios (cursos d'água) - m

A - Área da bacia (m²)

Os comprimentos dos rios (m) e a área (m²) para cada sub-bacia foram obtidos pelo módulo operações métricas do SPRING 3.6 e a soma dos comprimentos e o cálculo da densidade de

drenagem para cada sub-bacia foram efetuados no Excel 2000. Os resultados obtidos no Excel 2000, no formato de tabela, foram exportados para o SPRING 3.6. A partir do mapa temático contendo as 182 sub-bacias (obtido anteriormente) e utilizando o Modelo Cadastral do SPRING 3.6, os valores da densidade de drenagem que se encontravam relacionados na tabela obtida pelo Excel foram associados às sub-bacias da área de estudo, por meio de um procedimento denominado espacialização.

Para a espacialização, primeiramente é preciso criar uma categoria associada ao modelo MNT e depois utilizar o programa LEGAL (Linguagem Espacial de Geoprocessamento Algébrico), implementado no SPRING 3.6, gerando um mapa numérico, que vai conter neste caso, um valor referente à densidade de drenagem, para cada sub-bacia.

OBTENÇÃO DO MAPA DO COEFICIENTE DE VARIAÇÃO DE PLUVIOSIDADE

Os dados pluviométricos adquiridos neste período, referentes a 75 postos de monitoramento foram organizados em planilhas, na forma de tabelas. Alguns postos de monitoramento foram desativados no decorrer dos anos e outros não foram monitorados em determinadas datas. A fim de verificar o comportamento do regime de chuvas ao longo dos anos, foi calculada a média das médias mensais de todos os postos de monitoramento, de 1990 a 2002.

Os dados pluviométricos dos postos de monitoramento do DAEE são dados pontuais. Porém neste estudo obtiveram-se valores contínuos em toda a superfície da área de estudo, gerando um mapa temático com áreas pertencentes a diferentes classes. Desta forma, foi feita uma interpolação dos dados a partir de suas coordenadas geográficas.

Para tal, os dados do ano de 1990 foram selecionados para se fazer a interpolação, pelo fato deste ano apresentar um regime de chuvas similar aos outros anos do período analisado (até 2002) e por possuir um número maior de postos sendo monitorados, o que permite a obtenção de um modelo mais refinado, proporcionando uma boa interpolação dos dados.

Tendo em vista que a importância da precipitação como função de força explicativa das entradas não pontuais de poluição está muito associada à intensidade da precipitação e ao seu ritmo ao longo do ano, considerou-se que o uso do coeficiente de variação da pluviosidade anual representaria um indicador adequado dessa variabilidade. Desta forma, uma bacia mais sujeita a pulsos pouco freqüentes e de alta intensidade (portanto com alto coeficiente de variação nas precipitações anuais) teria um papel mais relevante na entrada de nutrientes no reservatório do que bacias cuja constância de precipitação ao longo do tempo teria um papel de amortecimento do pulso poluente via redução de sua concentração proporcionalmente ao tempo de duração do evento.

Calcularam-se as médias mensais do ano de 1990 para os 75 postos de monitoramento e o desvio padrão das precipitações mensais deste ano. A partir desses dados foi possível calcular o coeficiente de variação de pluviosidade anual para cada posto de monitoramento. O efeito da variação ou dispersão em relação à média pode ser medido pela dispersão relativa, definida por: $Dispersão\ Relativa = Dispersão\ Absoluta / Média$. No entanto, se a dispersão absoluta for o desvio padrão, a dispersão relativa é denominada coeficiente de variação, que neste caso é dado por $CVP = Desvio\ padrão\ das\ precipitações\ mensais / média\ anual\ de\ cada\ posto$.

Embora existam índices descritores do papel erosivo das chuvas, optou-se pela utilização deste coeficiente, visto que é um indicador da concentração das chuvas em um período do ano. Teoricamente, nos locais em que a precipitação é uniformemente distribuída ao longo do ano, os coeficientes de variação da precipitação serão baixos, e portanto, a intensidade das chuvas será constante. Locais com baixas precipitações no período seco, concentradas em poucos dias do mês resultarão em médias mensais de precipitação baixas, e, no computo anual, um elevado coeficiente de variação da precipitação, indicando intensidade das chuvas elevada e concentrada, o que favorece o escoamento superficial torrencial e o carregamento de poluentes das vertentes para os corpos d'água.

A intensidade das chuvas é um fator que contribui para os processos erosivos e para o transporte de sedimentos e nutrientes até os corpos d'água mais do que a própria precipitação

total anual, porque favorece o escoamento e não a infiltração da água no solo (Christofolletti, 1980, p.60; Guerra, 1999, p.17). A partir das coordenadas geográficas e do coeficiente de variação de pluviosidade de cada posto de monitoramento, foi possível importar estes dados pontuais para o SPRING 3.6 como amostras, isto é, atribuindo-os um valor que no caso refere-se ao coeficiente de variação de pluviosidade.

Existem vários interpoladores implementados nos Sistemas de Informação Geográfica, mas raramente essa interpolação é acompanhada de informações sobre a qualidade do dado gerado. Esta deficiência pode ser suprida aplicando técnicas de análise espacial e, neste caso, foi utilizada a krigagem, implementada no SPRING 3.6.

A análise exploratória dos dados é a etapa precursora do processo e tem por objetivo averiguar as propriedades estatísticas e matemáticas dos mesmos, para analisar se há necessidade de algum tipo de transformação nos dados. Uma vez que estes indicaram não haver qualquer comportamento excessivamente fora do normal, passou-se à análise da variabilidade espacial dos dados por semivariograma, modelagem e ajuste do mesmo, validação do modelo de ajuste e a krigagem em si, que neste caso foi a do tipo linear ordinária (Camargo e Fuks, 2001).

A partir do mapa numérico obtido pela krigagem e do mapa temático das sub-bacias, aplicou-se novamente a Média Zonal, utilizando o LEGAL no SPRING 3.6, cujo resultado foi um mapa temático contendo, para cada sub-bacia, um valor médio de coeficiente de variação de pluviosidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

MAPA DA BACIA E SUB-BACIAS

De acordo com a delimitação feita neste estudo, a bacia hidrográfica de contribuição para o reservatório de Barra Bonita é composta por 182 sub-bacias de diversas ordens de magnitude (Figura 2). Isto ocorre porque foram adotados como referência para a delimitação das sub-bacias, os afluentes diretos do reservatório de Barra Bonita bem como os afluentes de seus principais rios formadores Tietê e Piracicaba, independente da ordem de grandeza destes afluentes.

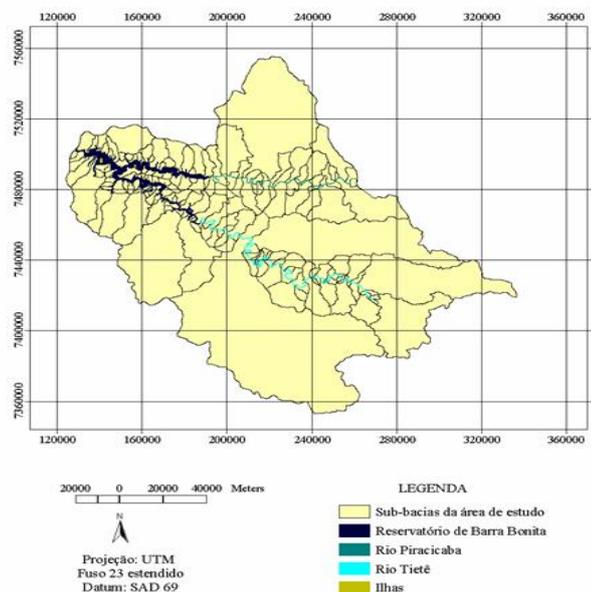


FIGURA 2: Mapa da bacia e sub-bacias da área de estudo na escala 1:1.800.000.

MAPAS DA REDE E DENSIDADE DE DRENAGEM

Segundo Almeida (1964), o padrão geral da drenagem na porção do médio rio Tietê é, predominantemente, do tipo dendrítico. Estas características podem ser observadas no mapa da rede de drenagem obtido para esta bacia, na escala original de 1:250.000, composto pelas classes: reservatório de Barra Bonita, rio Piracicaba, rio Tietê, ilhas e demais rios, lagos e lagoas (Figura 3).

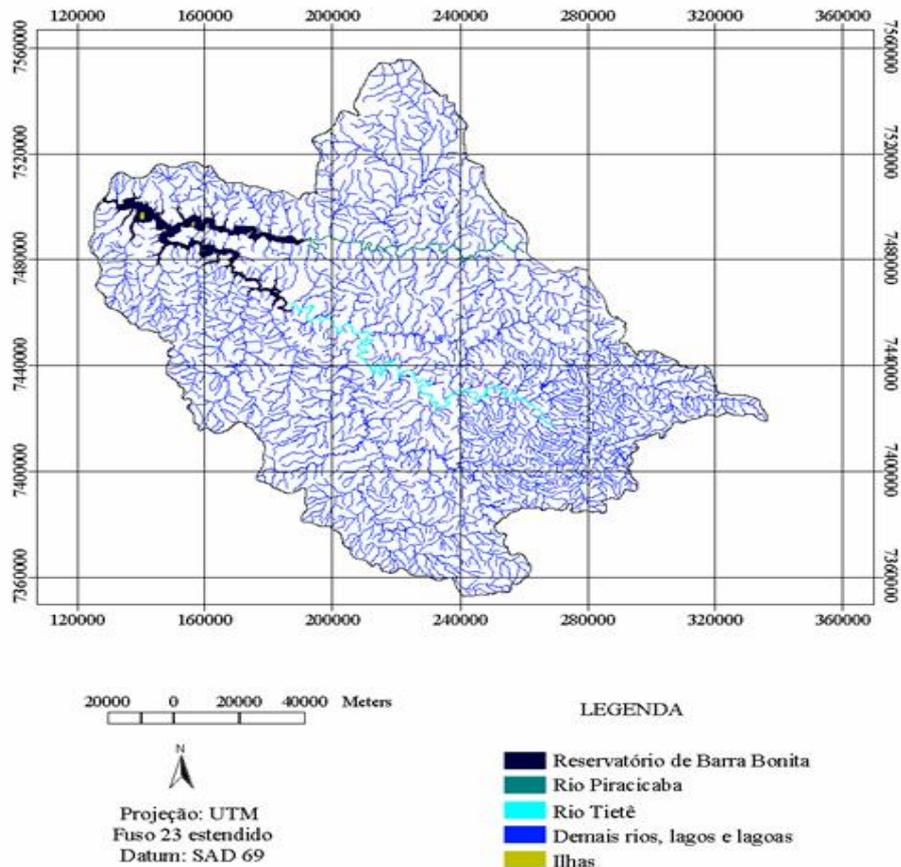


FIGURA 3: Mapa da rede de drenagem da bacia estudada na escala 1:1.800.000.

A partir deste mapa foi obtido o mapa da distribuição da densidade de drenagem nas sub-bacias (Figura 4). A densidade de drenagem é influenciada por outras características do meio como a geomorfologia, a geologia e a pedologia da área. Portanto, se no terreno predomina o arenito, vai haver uma maior taxa de infiltração da água, conseqüentemente, o escoamento superficial será reduzido, evitando maior dissecação do terreno e, finalmente, originando uma menor densidade de drenagem.

Na situação inversa em que predomina o argilito, a infiltração da água será menor, causando um aumento no escoamento superficial, que terá maior influência na dissecação do terreno, dando origem a uma maior densidade de drenagem.

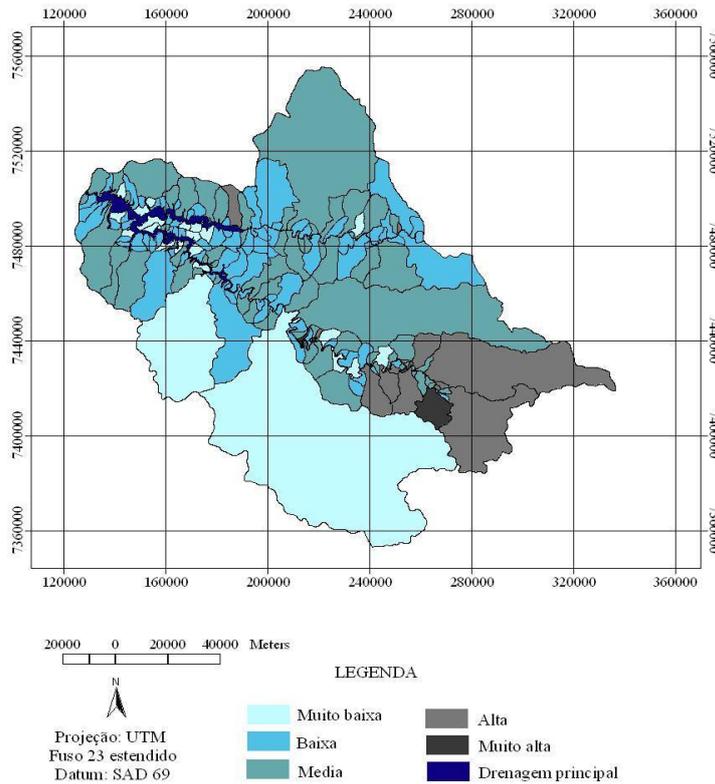


FIGURA 4: Mapa da densidade de drenagem da bacia estudada na escala 1:1.800.000.

Observando as figuras 3 e 4, nota-se que as sub-bacias localizadas em regiões de relevo um pouco mais acidentado (à direita do mapa), foram classificadas como muito alta ou alta densidade de drenagem. Apesar do relevo nesta bacia ser predominantemente pouco acidentado, é importante destacar que as áreas das sub-bacias delimitadas são bastante diferenciadas, o que pode ter influenciado nos resultados de densidade de drenagem obtidos, predominando na bacia as classes média, baixa e muito baixa.

MAPA PEDOLÓGICO

As classes de solos, com suas respectivas áreas se encontram na Tabela 1 no primeiro nível categórico, predominantes na área de estudo, segundo Oliveira (1999, p.2). O mapa apresenta-se na Figura 5 e a descrição das classes mapeadas encontra-se na Tabela 2.

TABELA 1:
Áreas das classes pedológicas para a bacia estudada.

Classe pedológica	Área (km ²)
Argissolos	10.630,52
Cambissolos	321,18
Chernossolos	264,87
Planossolos	48,22
Gleissolos	58,33
Latossolos	5.422,86
Neossolos	1.311,46
Área Urbana	811,71
Drenagem principal	295,28
TOTAL	19.164,43

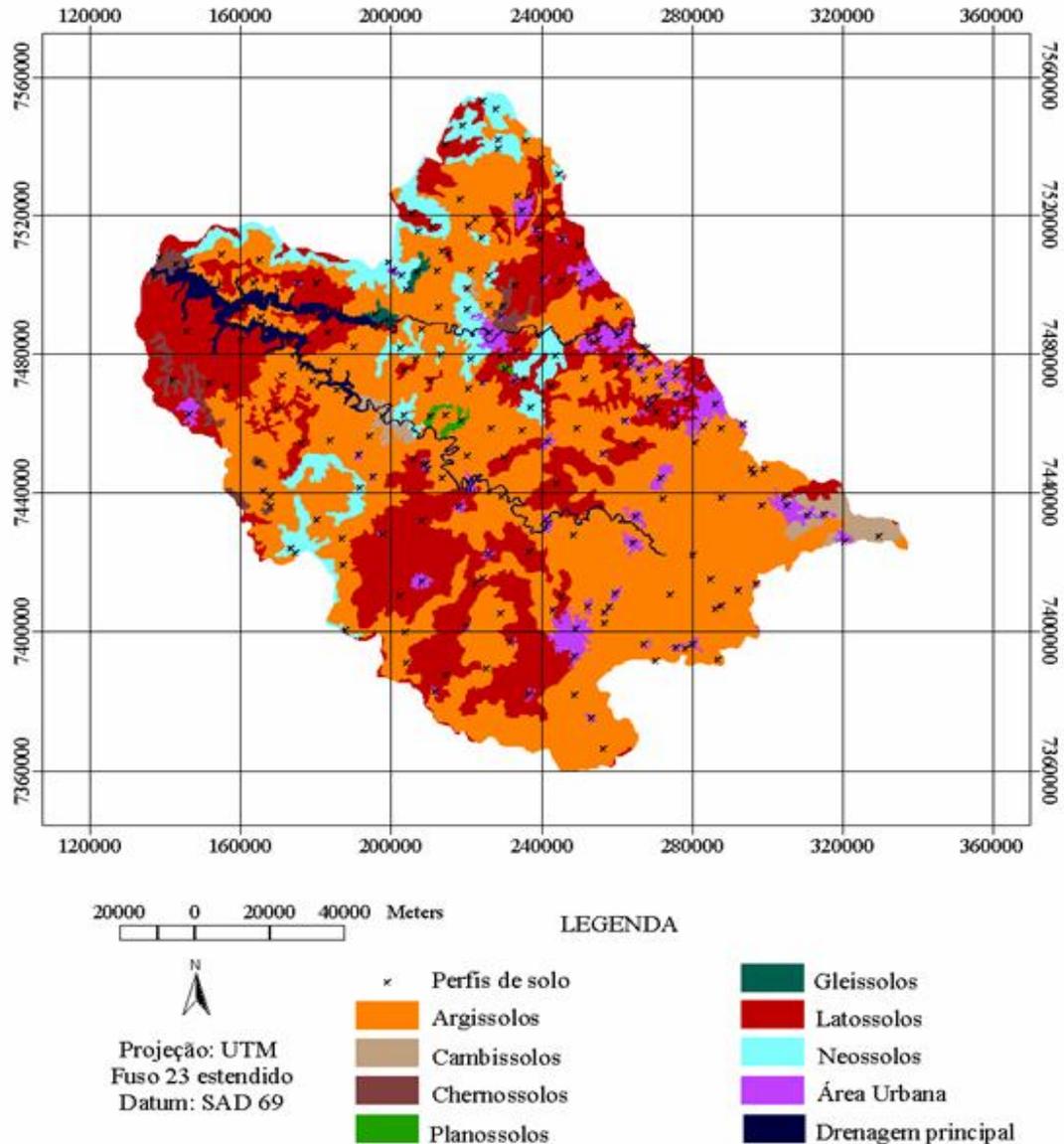


FIGURA 5: Mapa pedológico da bacia estudada na escala 1:1.800.000.

Observa-se que as classes de solo predominantes na bacia são os Argissolos (10.630,52 km²) e os Latossolos (5.422,86 km²). Os Argissolos são solos bastante evoluídos, porém, são muito susceptíveis à erosão devido à mudança textural, por vezes abrupta, encontrada entre os horizontes A e Bt.

Esta característica morfológica condiciona uma marcante diferença na condutividade hidráulica dos horizontes tornando o sistema mais susceptível aos processos erosivos. Estes são solos bem drenados com solum profundos, com razoável estruturação e porosidade, o que permite uma percolação e lixiviação de elementos, sobretudo lateral.

Desta forma, são capazes de contaminar freáticos ou corpos hídricos em cotas mais baixas. Quanto à capacidade de adsorção de elementos, apesar de ser bastante variável, devido à variabilidade do material constituinte e mesmo das classes texturais, destaca-se o fato de serem solos, por definição de classe, com atividade de argila baixa o que identifica a limitação na retenção eletroquímica de possíveis elementos contaminantes.

TABELA 2

Descrição das classes de solos predominantes na bacia estudada. Fonte: Oliveira, 1999.

Classe pedológica	Características predominantes
Argissolo	Compreende solos minerais não-hidromórficos, profundos, bem a acentuadamente drenado, com horizonte A ou E seguidos de horizonte B textural, com argila de atividade baixa. Alta susceptibilidade à erosão pluvial; alta capacidade de lixiviação e percolação lateral; baixa capacidade de adsorção catiônica.
Latossolo	Compreende solos minerais não-hidromórficos, muito profundos, bem a acentuadamente drenados, com seqüência A-Bw-C. Baixa susceptibilidade à erosão pluvial; muito alta capacidade de lixiviação; muito baixa capacidade de adsorção catiônica.
Chernossolo	Compreende solos minerais não-hidromórficos, pouco profundos, com A chernozêmico seguido de horizontes B incipiente, textural, nítico com argila de atividade alta e saturação por bases alta. Média susceptibilidade à erosão pluvial; alta capacidade de lixiviação e percolação lateral; muito alta capacidade de adsorção catiônica.
Planossolo	Compreende solos minerais hidromórficos ou não, mal ou imperfeitamente drenados, com mudança textural abrupta entre horizonte A ou E e B textural. Alta susceptibilidade à erosão pluvial; baixa capacidade de lixiviação e percolação lateral; alta capacidade de adsorção catiônica.
Gleissolo	Compreende solos minerais hidromórficos, mal a muito mal drenados, com horizontes A ou H seguidos de horizonte glei. Muito baixa susceptibilidade à erosão pluvial; muito baixa capacidade de lixiviação; moderada a alta capacidade de adsorção catiônica.
Cambissolo	Compreende solos minerais não-hidromórficos, acentuada a imperfeitamente drenados, rasos a profundos com horizonte A seguido de horizonte B incipiente não plítico. Média susceptibilidade à erosão; média capacidade de lixiviação e percolação lateral; média capacidade de adsorção catiônica.
Neossolo Flúvico/Quartzarênicos	Compreende solos minerais hidromórficos ou não, sem horizonte B diagnóstico. Baixa susceptibilidade à erosão pluvial; média capacidade de lixiviação; baixa capacidade de adsorção catiônica.
Neossolo Litólico	Compreende solos minerais não-hidromórficos de seqüência A ou O seguido de Cr ou assente diretamente sobre a rocha. Muito alta susceptibilidade à erosão pluvial; baixa capacidade de lixiviação; média capacidade de adsorção catiônica.

Pertencem à classe dos Latossolos, solos muito evoluídos, intemperizados, profundos, porosos, onde os mecanismos de formação mais atuantes são a transformação do material e perda de bases. Devido às boas condições físicas sem impedimentos à drenagem, constituem sistemas com considerável resistência aos processos erosivos, porém, como apresentam alta porosidade, permitem uma boa drenagem interna e considerável lixiviação de nutrientes e outros elementos que, dependendo da mobilidade destes, podem causar contaminação do lençol freático, ao longo do tempo. Somando a isto se destaca a natureza do material constitutivo, geralmente de baixa capacidade de adsorção.

MAPA GEOLÓGICO

Obteve-se o mapa geológico para a bacia de estudo a partir do Mapa Geológico do Estado de São Paulo, do IPT (Bistrichi et al., 1981) na escala 1:500.000, podendo ser observado na Figura 6. Cada unidade litoestratigráfica pertencente à área de estudo passou a ser uma classe do mapa temático geológico e as classes predominantes e as áreas encontram-se na Tabela 3. As áreas de cada classe foram calculadas e encontram-se, o mapa e a descrição de cada classe encontra-se na Tabela 4.

Tomando como referência Bistrichi et al. (1981), observou-se grande diversidade de unidades litoestratigráficas na área de estudo, pertencentes a grupos e eras geológicas diferenciados, predominando as formações: Itararé, Pirambóia, Tatuí e Grupo São Roque. As unidades geológicas diferenciam-se em função de sua idade e paleoambiente.

TABELA 4
Áreas de cada classe geológica para a bacia estudada.

Classe geológica	Área (km ²)
Fm. Itaqueri	106,04
Fm. Serra Geral	538,28
Fm. Botucatu	561,23
Fm. Pirambóia	3.870,94
Sedimentos	284,60
Fm. Marília	114,63
Fm. Teresina	915,37
Fm. Corumbataí	919,87
Fm. Irati	761,77
Fm. Tatuí	1.055,90
Fm. Rio Claro	452,83
Rochas Intrusivas Básicas	419,16
Fm. Serra Alta	273,77
Suites Gran. SinTec.	889,00
Grupo São Roque	1.228,04
Fm. Itararé	5.236,47
Suites Gran. PTec.	419,13
Complexo Amparo	767,67
Suites Gran. Indif.	49,58
Drenagem principal	295,28
TOTAL	19.164,43

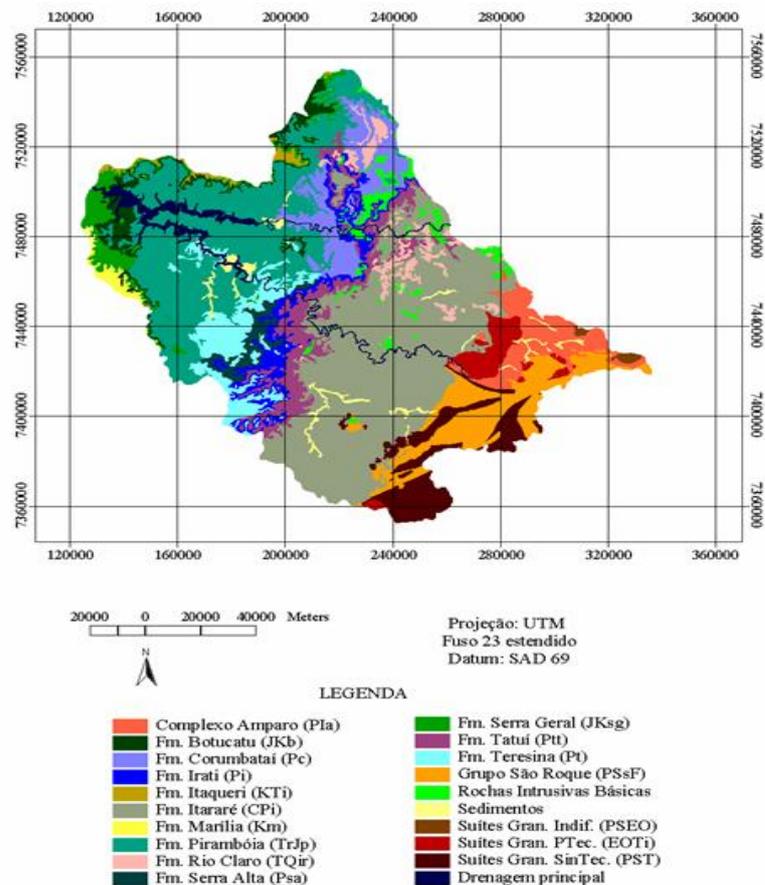


FIGURA 6: Mapa geológico da bacia estudada na escala 1:1.800.000.

MAPA GEOMORFOLÓGICO

Obteve-se o mapa geomorfológico para a bacia de estudo em meio digital a partir do Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo, do IPT (Ponçano et al, 1981). Cada forma de relevo pertencente à área de estudo passou a ser uma classe do mapa temático de geomorfologia e as classes predominantes podem ser observadas na Figura 7. As áreas de cada classe foram calculadas e estão na Tabela 5 e a descrição das mesmas encontra-se na Tabela 6.

A maior parte da bacia estudada, de acordo com Ponçano et al. (1981), pertence à Unidade Geomorfológica Paulista denominada Depressão Periférica, mais especificamente à zona do Médio Tietê. Porém, há pequenas porções da bacia pertencentes ainda às Unidades Cuestas Basálticas e Planalto Atlântico, abrangendo a Serra do Japi e uma ínfima parte no Planalto Ocidental, correspondendo à classe de relevo de Mesas Basálticas.

A zona do Médio Tietê, segundo Almeida (1964), compreende a área da Depressão Periférica drenada para o rio Tietê e caracteriza-se pela ocorrência de rochas sedimentares, com áreas expressivas de intrusões de rochas básicas com reflexos na sua topografia. Igualmente importantes são os falhamentos, que perturbam as camadas e a presença da intrusão alcalina de Ipanema, que elevou porção do embasamento cristalino. Predominam nesta zona as seguintes formas de relevo: Colinas Amplas, Colinas Médias e Morrotes Alongados e Espigões.

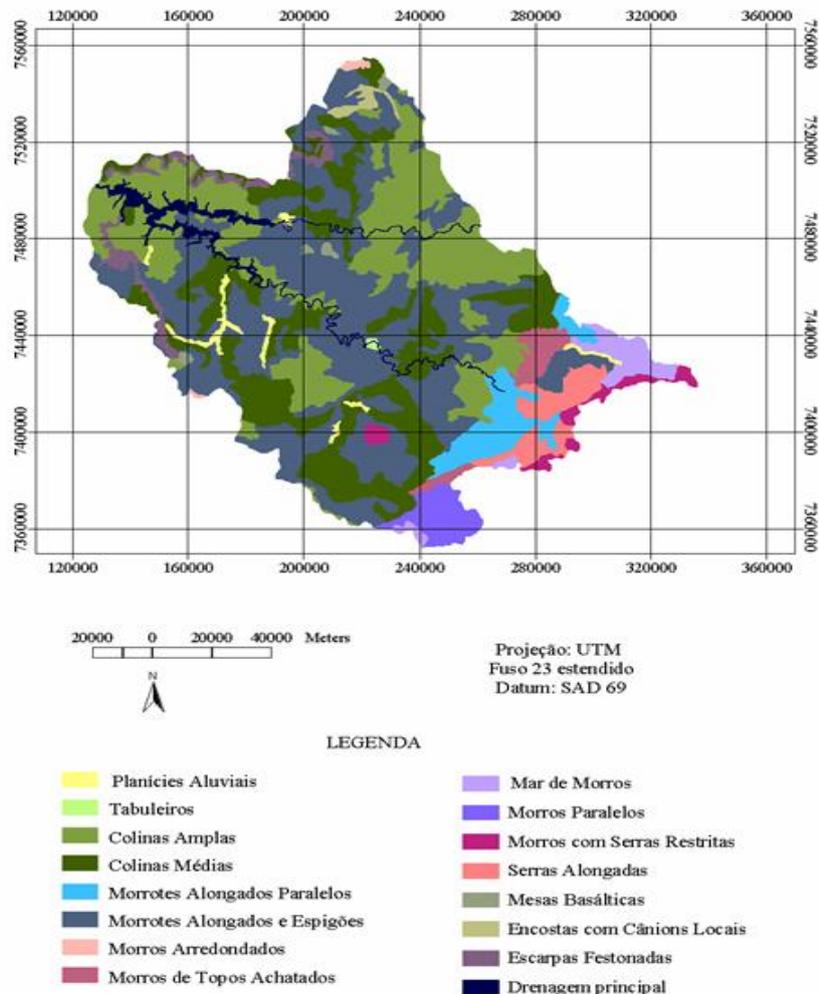


FIGURA 7: Mapa geomorfológico da bacia estudada na escala 1:1.800.000.

TABELA 4 - Descrição das classes de geologia predominantes na bacia estudada. Fonte: Adaptado de Bistrichi et al., 1981.

Era		Grupo	Classe geológica	Características predominantes
CENOZÓICO			Sedimentos Aluvionais	Aluviões em geral, incluindo areias inconsolidadas de granulação variável, argilas e cascalheiras fluviais subordinadamente, em depósitos de calha e/ou terraços e vulneráveis à erosão fluvial.
			Formação Rio Claro	Arenitos, arenitos conglomeráticos, arenitos argilosos e pequenas intercalações argilosas.
			Formação Itaqueri	Predominantemente arenitos de cimento argiloso com lentes alongadas de folhelhos e conglomerados polimíticos.
M E S O Z Ó I C O	B A C I A D O	Bauru	Formação Marília	Arenitos de granulação fina e grossa, compreendendo bancos maciços com tênues estratificações cruzadas de médio porte, incluindo lentes e intercalações subordinadas de siltitos, argilitos e arenitos muito finos com estratificação plano-paralela e freqüentes níveis rudáceos. Presença comum de nódulos carbonáticos.
		São Bento	Formação Serra Geral e Rochas Intrusivas Básicas	Rochas vulcânicas toléiticas em derrames basálticos de coloração cinza a negra, textura afanítica com intercalações de arenitos intertrapeanos, finos a médios, de estratificação cruzada tangencial e esparsos níveis vitrofíricos não individualizados.
			Formação Botucatu	Arenitos eólicos avermelhados de granulação fina a média com estratificações cruzadas de médio a grande porte; depósitos fluviais restritos de natureza areno-conglomerática e camadas localizadas de siltitos e argilitos lacustres.
			Formação Pirambóia	Depósitos fluviais e de planícies de inundação incluindo arenitos finos a médios, avermelhados, síltico-argilosos, de estratificação cruzada ou plano-paralela; níveis de folhelhos e arenitos argilosos de cores variadas e raras intercalações de natureza areno-conglomerática.
P A L E O Z Ó I C O	P A R A N Ã	Passa Dois	Formação Corumbataí	Depósitos possivelmente marinhos de planícies de maré, incluindo argilitos, folhelhos e siltitos cinza, arroxeados ou avermelhados, com intercalações de bancos carbonáticos, silicíticos, e camadas de arenitos finos.
			Formação Teresina	Depósitos possivelmente marinhos e prodeltaicos, compreendendo folhelhos e argilitos cinza escuros a esverdeados ou avermelhados, finamente laminados, em alternância com siltitos cinza-claros e arenitos muito finos; presença de restritas lentes de calcários oolíticos e sílex.
			Formação Serra Alta	Depósitos essencialmente marinhos incluindo siltitos, folhelhos e argilitos cinza-escuros a pretos com laminação plano-paralela.
			Formação Irati	Siltitos, argilitos e folhelhos sílticos de cor cinza clara a escura, folhelhos pirobetuminosos, localmente em alternância rítmica com calcários creme, silicificados, e restritos níveis conglomeráticos; membro pelítico muito persistente na base.
		Tubarão	Formação Tatuí	Depósitos marinhos com estratificação plano-paralela, predominando siltitos; arenitos finos em parte concrecionados, calcários, sílex; cor vermelha arroxeadada na parte inferior e esverdeada na parte superior.
			Formação Itararé	Depósitos glaciares continentais, glácio-marinhos, fluviais, deltaicos, lacustres e marinhos, compreendendo principalmente arenitos de granulação variada, imaturos, passando a arcósios; conglomerados, diamictitos, tilitos, folhelhos, ritmitos; raras camadas de carvão.
			Suites Graníticas Pós-tectônicas	Corpos graníticos epizoidais circunscritos de natureza intrusiva e discordante, desenvolvendo auréolas termometamórficas e associados a freqüentes veios e diques aplíticos e micrograníticos.
PRÉ-CAMBRIANO	São Roque	São Roque	Clorita xistos, quartzo-mica xistos a biotita e/ou muscovita, incluindo intercalações de metassiltitos, metagrauvas, calcários dolomíticos, calcossilicatadas e filitos; filitos quartzos filitos e filitos grafitosos em sucessões rítmicas incluindo subordinadamente metassiltitos e quartzo xistos, micaxistos e quartzitos; quartzitos, quartzitos feldspáticos com metacórsios e metagrauvas subordinadas; calcários dolomíticos, calcíticos e <i>hornfels</i> calcossilicáticos em auréolas termo-metamórficas; metaconglomerados polimíticos e oligomíticos; anfibolitos, metagabros e epidoto anfibolitos; metadioritos e quartzo dioritos gnáissicos e migmatitos de estruturas variadas.	
		Complexo Amparo	Constituído por diversos conjuntos litológicos, tendo o principal deles ampla distribuição no domínio da unidade, incluindo gnaisses a biotita, hornblenda e granada com grau variável de migmatização, associados a migmatitos de estruturas diversas, com intercalações não individualizadas de quartzitos, xistos, anfibolitos, gonditos e metaultrabasitas.	
		Suites Graníticas Indiferenciadas	Granitos e granitóides polidiapíricos com predominância de termos porfíricos com granulações variadas.	
		Suites Graníticas Sintectônicas	Constituem a maior parte do magmatismo granitóide do embasamento paulista, tendo sua distribuição uma dispersão bastante ampla nos vários compartimentos tectônicos. Incluem as facies Migmatítica e Cantareira.	

A parte da bacia compreendida pelas Cuestas Basálticas refere-se, principalmente, ao relevo escarpado nos limites com a Depressão Periférica sustentado por rochas da Formação Botucatu, predominando as formas Encostas com Cânions Locais e Escarpas Festonadas. As dimensões destas formas são extremamente variáveis, desde escarpas pouco extensas até longos trechos de escarpas ultrapassando 100 quilômetros de extensão, sendo que os desníveis entre o topo e a base destas escarpas podem também oscilar.

As formas de relevo, nas áreas de transição para o Planalto Atlântico, estão geralmente relacionadas aos tipos litológicos, havendo níveis de relevo que decrescem gradualmente de altitude no sentido do embasamento cristalino para a bacia sedimentar. Predominam neste trecho as seguintes formas de relevo: Morrotes Alongados Paralelos, Morros de Topos Achatados, Mar de Morros, Morros Paralelos, Morros com Serras Restritas e Serras Alongadas.

TABELA 5

Áreas das classes geomorfológicas para a bacia estudada.

Classe geomorfológica	Área (km²)
Planícies aluviais	223,66
Tabuleiros	17,46
Colinas amplas	4.442,4
Colinas médias	3.767,5
Morrotes alongados paralelos	763,40
Morrotes alongados e espigões	6.874,81
Morros arredondados	41,04
Morros de topos achatados	334,31
Mar de morros	432,07
Morros paralelos	440,00
Morros com serras restritas	289,95
Serras alongadas	564,93
Encostas com cânions locais	102,95
Escarpas festonadas	485,09
Drenagem principal	295,28
TOTAL	19.164,43

COEFICIENTE DE VARIAÇÃO DE PLUVIOSIDADE

O ano de 1990 foi escolhido para que os CVP para todos os postos fossem interpolados, por meio de técnicas de análise espacial, para a obtenção de um mapa temático. Este ano foi escolhido por possuir mais postos em monitoramento e com dados completos, sendo maior o número de eventos a serem utilizados na modelagem para a interpolação, o que melhora os resultados obtidos. Além disso, o regime de chuvas deste ano apresentou um comportamento similar aos outros anos (Figura 8). É também esperado que o CVP de 1990 seja menor porque na média do CVP de 1990 foi incorporada apenas a variabilidade mensal e sazonal da precipitação, enquanto que o CVP decadal incorpora também a variabilidade inter-anual, que no caso da década analisada foi afetada por episódios marcantes de oscilação climática decorrentes principalmente dos fenômenos El Niño e La Niña que são recorrentes.

TABELA 6: Descrição das classes geomorfológicas predominantes na bacia estudada.

Unidade	Classe	Características predominantes
PLANALTO OCIDENTAL	Mesas Basálticas	Morros testemunhos isolados (peões e baús); topos aplainados e arredondados; vertentes com perfis retilíneos, muitas vezes com trechos escarpados e exposições de rocha; drenagem de média densidade, padrão pinulado e sub-paralelo e vales fechados.
CUESTAS BASÁLTICAS	Encostas em Cânions Locais	Predominam declividades altas (acima de 30%) e amplitudes maiores que 100m; vertentes com perfis retilíneos a convexos, com trechos escarpados; drenagem de média densidade, padrão pinulado, vales fechados, localmente formando cânions e vales principais com fundos chatos.
	Escarpas Festonadas	Predominam declividades altas (acima de 30%) e amplitudes maiores que 100 metros; desfeitas em anfiteatros separados por espigões, topos angulosos, vertentes com perfis retilíneos; drenagem de alta densidade, padrão sub-paralelo a dendrítico e vales fechados.
DEPRESSÃO PERIFÉRICA	Planícies Aluviais	Terrenos baixos e mais ou menos planos, junto às margens dos rios, sujeitos periodicamente a inundações, o relevo não favorece processos erosivos pluviais, porém, pode ocorrer erosão fluvial, dependendo do uso e cobertura da terra destas áreas.
	Tabuleiros	Predominam baixas declividades (até 15%) e amplitudes locais inferiores a 100m; constituem interflúvios extensos e aplainados, vertentes ravinadas de pequena expressão em área com perfis retilíneos de alta declividade; drenagem de baixa densidade e vales abertos.
	Colinas Amplas	Predominam baixas declividades (até 15%) e amplitudes locais inferiores a 100m; interflúvios com área superior a 4 km ² , topos extensos e aplainados, vertentes com perfis retilíneos a convexos; drenagem de baixa densidade, padrão sub-dendrítico, vales abertos, planícies aluviais interiores restritas e presença eventual de lagoas perenes ou intermitentes.
	Colinas Médias	Predominam baixas declividades (até 15%) e amplitudes locais inferiores a 100m; interflúvios com áreas de 1 a 4 km ² , topos aplainados, vertentes com perfis convexos a retilíneos; drenagem de média a baixa-densidade, padrão sub-retangular, vales abertos a fechados, planícies aluviais interiores restritas e presença eventual de lagoas perenes ou intermitentes.
	Morrotos Alongados e Espigões	Predominam declividades médias a altas (acima de 15%) e amplitudes locais inferiores a 100m; predominam interflúvios sem orientação preferencial, topos angulosos a achatados, vertentes ravinadas com perfis retilíneos; drenagem de média a alta densidade, padrão dendrítico e vales fechados.
	Morros Arredondados	Predominam declividades médias a altas (acima de 15%) e amplitudes locais de 100 a 300m; topos arredondados e localmente achatados, vertentes com perfis convexos e retilíneos, localmente ravinados; exposições locais de rocha; presença de espigões curtos locais; drenagem de média densidade, padrão dendrítico a sub-dendrítico e vales fechados.
PLANALTO ATLÂNTICO	Morrotos Alongados e Paralelos	Predominam declividades médias a altas (acima de 15%) e amplitudes locais inferiores a 100m; topos arredondados, vertentes com perfis retilíneos a convexos; drenagem de alta densidade, padrão paralelo a treliça e vales fechados.
	Morros de Topos Achatados	Predominam declividades médias a altas (acima de 15%) e amplitudes locais de 100 a 300m; topos achatados e extensos, vertentes com perfis retilíneos a convexos; drenagem de média densidade, padrão sub-paralelo e vales fechados.
	Mar de Morros	Predominam declividades médias a altas (acima de 15%) e amplitudes locais de 100 a 300m; topos arredondados, vertentes com perfis convexos a retilíneos; drenagem de alta densidade, padrão dendrítico a retangular, vales abertos a fechados, planícies aluvionares interiores desenvolvidas; constitui geralmente um conjunto de formas em "meia laranja".
	Morros Paralelos	Predominam declividades médias a altas (acima de 15%) e amplitudes locais de 100 a 300m; topos arredondados, vertentes com perfis retilíneos a convexos; drenagem com densidade alta, padrão em treliça e localmente sub-dendrítica, vales fechados a abertos e planícies aluvionares interiores restritas.
	Morros com Serras Restritas	Predominam declividades médias a altas (acima de 15%) e amplitudes locais de 100 a 300m; morros de topos arredondados vertentes com perfis retilíneos, por vezes abruptas, presença de serras restritas; drenagem de alta densidade, padrão dendrítico a pinulado, vales fechados e planícies aluvionares interiores restritas.
	Serras Alongadas	Predominam declividades médias a altas (acima de 15%) e amplitudes locais acima de 300m; topos angulosos, vertentes ravinadas com perfis retilíneos, por vezes abruptas; drenagem de alta densidade, padrão dendrítico, vales fechados; podem ocorrer isoladas nas planícies costeiras.

Fonte: Adaptado de Ponçano et al., 1981.

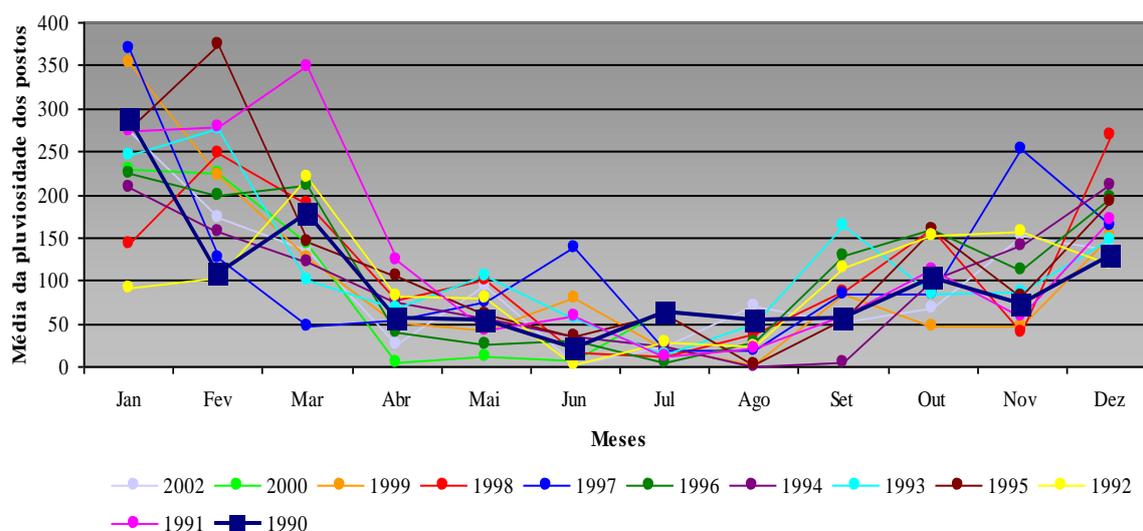


FIGURA 8: Médias das médias mensais de pluviosidade dos postos de monitoramento do DAEE para os anos de 1990 a 2002, estando 1990 em destaque.

Observa-se que o mês que apresenta maiores precipitações, em ambos os casos, é janeiro e o inverso ocorre para junho, sendo que nestes meses choveu um pouco menos em 2002 com relação a 1990. Na comparação da média de precipitação dos meses pertencentes à estação chuvosa com a dos meses pertencentes à estação seca, verificou-se grande similaridade para ambos os anos.

Quanto à interpolação dos dados, primeiramente, são apresentados os resultados da análise exploratória, que no SPRING 3.6 realiza-se por meio de estatísticas univariadas e bivariadas (Tabela 7). As estatísticas univariadas fornecem um meio de organizar e sintetizar um conjunto de valores, que se realiza principalmente por meio de um histograma. As estatísticas bivariadas fornecem meios de descrever o relacionamento entre duas variáveis, isto é, entre dois conjuntos de dados ou de duas distribuições, sendo dadas pelo diagrama de dispersão. E ainda, é possível nesta fase obter o grau de relação linear entre as variáveis, sendo medido por meio do coeficiente de correlação.

TABELA 7

Estatística descritiva da distribuição dos pontos na área de estudo.

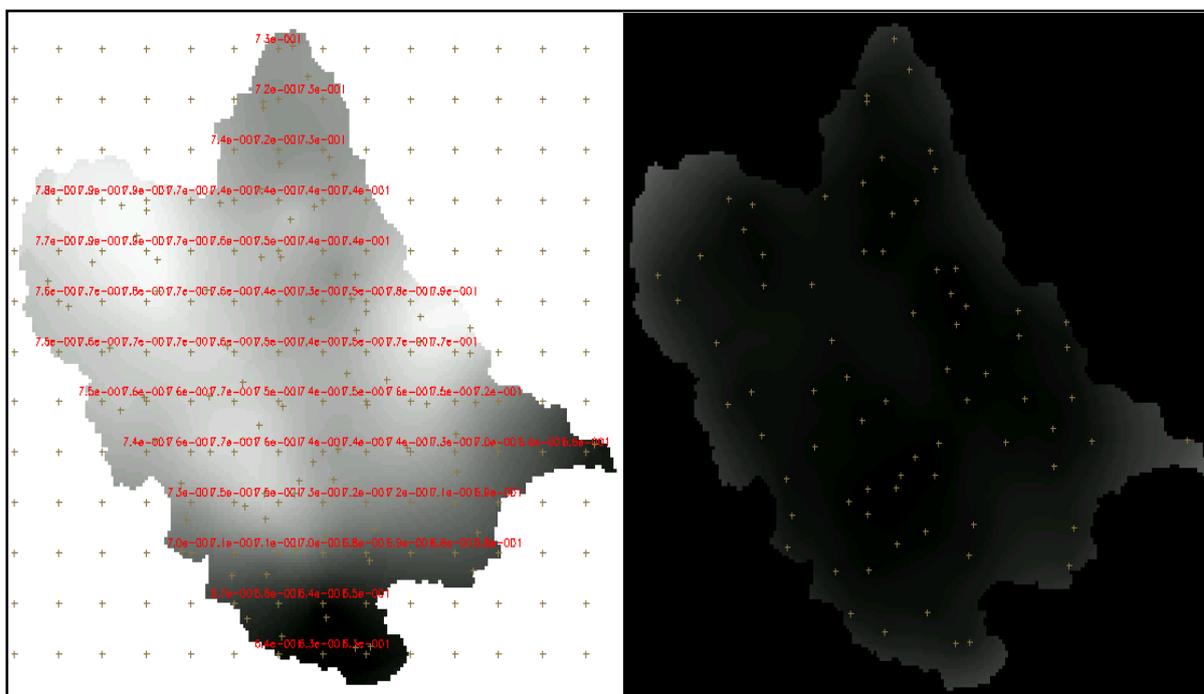
Análise	Valor
Número de amostras	75,0000
Número de amostras válidas	75,0000
Média	0,7360
Variância	0,0099
Desvio Padrão	0,0999
Coefficiente de Variação	0,1357
Coefficiente de Assimetria	0,0051
Coefficiente de Curtose	4,5207
Valor Mínimo	0,3906
Quartil Inferior	0,6810
Mediana	0,7249
Quartil Superior	0,7945
Valor Máximo	1,0210

Na geoestatística a análise da variabilidade espacial por semivariograma é a etapa mais importante de todo o processo, pois o modelo de semivariograma escolhido é a interpretação da estrutura de correlação espacial a ser utilizada nos procedimentos inferenciais da krigeagem

(Camargo e Fuks, 2001). Na fase de ajuste de semivariograma, o do tipo omnidirecional foi o que melhor se ajustou ao modelo teórico esférico. Os valores dos parâmetros do modelo adotados foram sempre referentes ao menor valor de akaike (Camargo e Fuks, 2001).

A validação do modelo de ajuste foi também realizada. Este processo é uma etapa que precede as técnicas de krigagem, sendo o seu principal objetivo avaliar a adequação do modelo proposto no processo que envolve a re-estimação dos valores amostrais conhecidos. A partir daí foi obtida a estatística do erro, o histograma de erros e o diagrama espacial do erro. A obtenção de valores de akaike satisfatórios, abaixo de -40 , de uma média tendendo a zero e um desvio padrão pequeno, demonstrou a boa adequação do modelo à situação modelada.

Os resultados da aplicação da krigagem ordinária, grade numérica e imagem da interpolação, encontram-se nas Figuras 9. Também foi possível a obtenção de uma imagem mostrando a variância do erro (Figura 10). Na imagem variância do erro, para o parâmetro em questão, observa-se áreas mais claras, que são as de maior variância do erro devido à baixa densidade de pontos amostrais e áreas mais escuras onde ocorreu o processo inverso.



FIGURAS 9 E 10: Grade numérica/imagem gerados a partir da krigagem (à esquerda) e imagem da variância do erro (à direita).

A krigagem consistiu em atribuir valores para os pontos intermediários das amostras, gerando uma superfície contínua. Esta técnica aplicada para a espacialização dos dados de pluviosidade se mostrou ser bastante interessante, podendo ser aplicada em outros casos, visto que este tema é fundamental em estudos ambientais desta ordem e que os dados, além de escassos, são pontuais. Por fim, a espacialização dos resultados por sub-bacia pode ser observada na Figura 12.

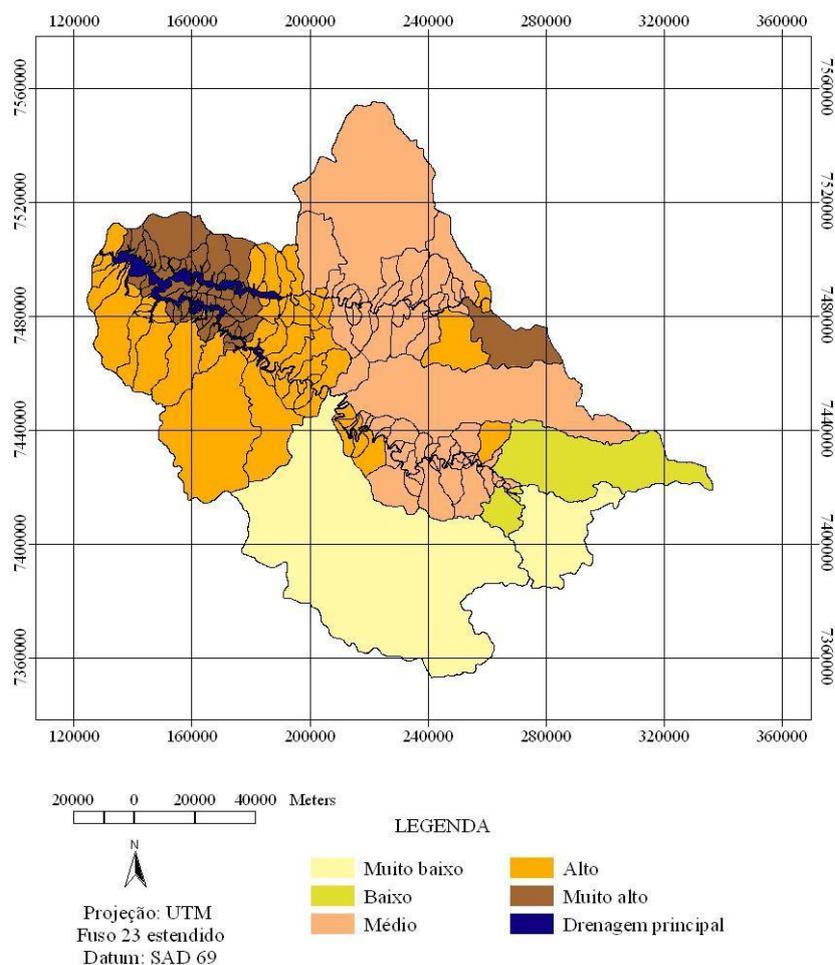


FIGURA 12: Mapa do coeficiente de variação de pluviosidade por sub-bacia da bacia estudada na escala 1:1.800.000.

Observou-se que as sub-bacias próximas ao reservatório, com algumas exceções, são as que possuem maior coeficiente de variação de pluviosidade. Este fato pode ser compreendido, visto que o reservatório de Barra Bonita possui uma superfície de evaporação bastante grande, aproximadamente 310 km² de área inundada, fator que pode estar influenciando a precipitação local.

De modo geral, embora os mapas dos diferentes fatores fisiográficos tenham sido elaborados em diferentes escalas, a integração dos mesmos por meio do SIG torna possível a sobreposição e cruzamentos entre esses, onde procedimentos como álgebra de mapas e análise multi-critério, com dados de diferentes fontes permitem uma análise integrada do ambiente. Neste sentido, Prado (2004, p. 40), após compatibilizar os mapas dos elementos fisiográficos, em escalas diferentes, apresentados no presente estudo, por meio SIG, utilizou a álgebra de mapas e análise multi-critério de dados de fontes diversas na modelagem do potencial poluidor de sub-bacias da bacia hidrográfica de contribuição para o reservatório Barra Bonita, em relação a este corpo d'água. Os mapas resultantes deste estudo são passíveis de utilização para subsidiar o planejamento do uso das terras e manejo adequado dos recursos hídricos, pois trata-se de região cuja dinâmica de uso e cobertura da terra é bastante intensa.

CONCLUSÕES

A partir do mapeamento e descrição dos aspectos fisiográficos da bacia hidrográfica de contribuição para o reservatório de Barra Bonita, pode-se observar que estes estão distribuídos espacialmente de forma heterogênea. Sendo assim, ao considerar o somatório de todos estes aspectos, cada sub-bacia terá uma resposta diferenciada em relação às pressões antrópicas sofridas, podendo ser classificadas como mais ou menos susceptíveis à degradação ambiental. Este exercício poderá ser realizado para facilitar o planejamento e manejo das terras da bacia em questão, visando a redução dos processos erosivos e a melhor preservação dos recursos hídricos, com destaque para o reservatório de Barra Bonita.

Neste sentido, ressalta-se que as ferramentas de SIG aplicadas no presente trabalho são facilitadoras, uma vez que permitem levantamento dos dados relacionados aos aspectos fisiográficos com maior agilidade e menor custo, possibilitando ainda, melhor integração e visualização destes aspectos pelos tomadores de decisão.

AGRADECIMENTOS

Agradecimentos à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), Processo número 00/102682-1, pelo apoio financeiro, ao Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE) e ao Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada (CRHEA) da USP - São Carlos, pelo apoio técnico e de infra-estrutura. Aos profissionais Kátia Leite Mansur (Departamento de Recursos Minerais-RJ), Marcelo Dantas (Companhia de Pesquisa em Recursos Minerais – RJ) e Rodrigo Demonte Peçanha Ferraz (Embrapa Solos-RJ) pelo auxílio na descrição dos condicionantes fisiográficos. Ao Dr. Eduardo Camargo (INPE) pelo auxílio na aplicação da geoestatística.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, F.F.M. de. **Os fundamentos geológicos do relevo Paulista**. Bol. Inst. Geogr. e Geol. São Paulo, 1964. vol. 41, p. 169-263.

BISTRICHI, C.A.; CARNEIRO, C.D.R.; DANTAS, A.S.L.; PONÇANO, W.L.; CAMPANHA, G.A.DA C.; NAGATA, N.; ALMEIDA, M.A.DE; STEIN, D.P.; MELO, M.S.DE; CREMONINI, O.A. **Mapa geológico do Estado de São Paulo**. São Paulo: SICCT/Pró-Minério/DCET- Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), 1981. Escala 1:500.000, v. 1 e 2, 126 p.

CALIJURI, M. C. **A comunidade fitoplantônica em um reservatório tropical (Barra Bonita, SP)**. Tese (Livre-Docência). Escola de Engenharia de São Carlos, USP: São Paulo, 1999. 211p.

CAMARGO, E. C. G; FUKS, S. D. **Geoestatística: fundamentos e aplicações**. In: CÂMARA, G. Geoprocessamento: teoria e aplicações. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro>> Acesso em: jun. de 2008.

CHRISTOFOLETTI A. Aplicabilidade do Conhecimento Geomorfológico nos projetos de Planejamento. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. da (Orgs.). **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2005. p. 415-440.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. 2ªed. São Paulo: Edgard Blucher, 1980.

COELHO NETO A. L. A. Hidrologia de Encosta na Interface com a Geomorfologia. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. da (Orgs.). **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2005. p. 93-148.

COELHO, A. L. N., **Aplicações de Geoprocessamento em Bacias de Médio e Grande Porte**. Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Florianópolis: INPE, 2007. p. 2437-2445.
CUNHA, Sandra Baptista da; GUERRA, Antônio José Teixeira. **A questão ambiental: diferentes abordagens**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003.

D'ALGE, J.C.L.. **Precisão de registro de imagens digitais**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Comunicação pessoal. São José dos Campos, 2001.

GUERRA, A. J. T. O início do processo erosivo. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S. da; BOTELHO, R. G. M. (Orgs.). **Erosão e Conservação dos Solos: Conceitos, Técnicas e Aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999. p.17-55.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS – INPE. **Projeto CANASAT**. Disponível em <<http://www.dsr.inpe.br/mapdsr/tabelas.jsp>>. Acesso em 21 de julho de 2008.

MAcCAULEY, D.S.; HUFSCHEMIDT, M.M. Gerenciamento de Recursos Hídricos: Planejamento e Implantação. HASHIMOTO, M. (ed.). **Diretrizes para o gerenciamento de lagos**. São Paulo: Japão, 1995 v.2, 39 p.

OLIVEIRA, J. B. **Solos do Estado de São Paulo: descrição das classes registradas no mapa pedológico**. Boletim Científico número 45. Campinas: IAC, 1989. 108p.

PONÇANO, W. L.; CARNEIRO, C. D. R.; BISTRICHI, C. A.; ALMEIDA, F.F.M. de; PRANDINI, F. L. **Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1981. Escala 1:1.000.000, v. 1 e 2, 94 p.

PRADO, R. B. **Geotecnologias aplicadas à análise espaço-temporal do uso e cobertura da terra e qualidade da água do reservatório de Barra Bonita, SP, como suporte à gestão de recursos hídricos..** Tese (Doutorado). Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo: São Carlos, 2004. 172 p.

SANTOS, R. F. **Planejamento Ambiental: Teoria e Prática**. São Paulo: Oficina de Textos, 2004. 184p

VALÊNCIO, N. F. L. S. et al. O papel das hidroelétricas no processo de interiorização paulista: o caso das usinas hidroelétricas de Barra Bonita e Jurumim. In: HENRY, R. (ed.). **Ecologia de Reservatórios: estrutura, função e aspectos sociais**. Departamento de Zoologia, Instituto de Biociências, UNESP. Rio Claro, 1999. Cap.7, p.187-218.