Análise da microbacia do Ribeirão Grande por meio de geotecnologias

Moisés Pereira Galvão Salgado¹

¹Divisão de Sensoriamento Remoto - DSR
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12201-970 - São José dos Campos - SP, Brasil
Tel. (12) 3945-6437
salgado@dsr.inpe.br

Getulio Teixeira Batista²

²Universidade de Taubaté (UNITAU)
Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais
Estrada Mun. Dr. José Luiz Cembranelli, 5.000 - Bairro Itaim
CEP 12.081-010 – Taubaté, SP, Brasil
Tel. (12) 3625-4116 / Fax (12) 3632-8956
getulio@agro.unitau.com.br

Abstract. This paper aim to describe the land-cover and the morfometric characteristics of the Ribeirão Grande watershed. The Permanent Preservation Areas (APP) created by Brazilian Forest Law 4771/65 on the study area were mapped and the land-cover in these areas was investigated. The land-cover was classified using a TM/Landsat-5 image and the morfometrics characteristics were based on SRTM digital elevation model. The results indicated high erosion and flood risks.

Palavras-chave: GIS, image processing, environmental preservation, SIG, processamento de imagens, preservação ambiental.

1. Introdução

A Serra da Mantiqueira, nome Tupi que significa "montanha que chora" devido à grande quantidade de nascentes em suas encostas e ao intenso regime de chuvas, é caracterizada por regiões de relevo acidentado e clima tropical quente e úmido. O crescimento da atividade antrópica na microbacia do Ribeirão Grande, localizada na Serra da Mantiqueira, no município de Pindamonhangaba – SP, associado às características da região, tem resultado em prejuízos ambientais, como o assoreamento e alteração dos cursos d'água, inundações, voçorocas e mudanças da cobertura vegetal em Áreas de Preservação Permanente (APP).

As bacias hidrográficas são unidades que possibilitam estudar o ciclo da água e as interferências do homem sobre esse ciclo. O desenvolvimento de geotecnologias capazes de processar dados cartográficos (e.g. hidrografia) integrados a dados provenientes de sensores orbitais (e.g. imagens satelitais e modelos digitais de elevação) tornou possível o estudo detalhado de microbacias hidrográficas.

O escoamento superficial em uma bacia hidrográfica é um dos componentes mais importantes como indicador da adequabilidade do sistema de manejo daquela bacia. Ele ocorre a partir do momento em que a intensidade de precipitação supera a capacidade de infiltração do solo. O escoamento superficial está diretamente relacionado com as precipitações que ocorrem em uma bacia hidrográfica, com as características físicas da mesma e com a cobertura vegetal do terreno.

Dados morfométricos definem uma série de parâmetros relacionados com o comportamento hidrológico das microbacias. Existe uma estreita correspondência entre o regime hidrológico e as características físicas, sendo, portanto, de grande utilidade prática o

conhecimento destes elementos. Civco et al. (1995) destacam que embora a caracterização de bacias hidrográficas não seja uma novidade para cientistas e planejadores, suas possibilidades e aplicações tornaram-se exponencialmente maiores com a evolução dos Sistemas de Informações Geográficas (SIGs), contribuindo para o estudo de microbacias por meio de análise de dados georreferenciados, tanto na representação do modelo numérico do terreno, como na caracterização do uso e ocupação do solo da bacia.

De acordo com Silva e Pruski (2005), o uso de SIG permite agregar, em um único aplicativo, a capacidade de mapear características e de associá-las em banco de dados, o que permite análises espaciais de maneira eficiente e em um curto espaço de tempo.

Um aspecto importante na caracterização de microbacias é o mapeamento das APP previstas no Código Florestal (Lei 4.771/65), pois ela dá amparo legal para a preservação e recuperação dessas áreas. As APP foram criadas com o objetivo de proteger o ambiente natural visando o benefício público. Assim, estas áreas devem estar cobertas com a vegetação natural (CATELANI e BATISTA, 2007). De acordo com Costa et al. (1996), a cobertura vegetal nessas áreas atenua o escoamento superficial e conseqüentemente os efeitos erosivos e a lixiviação dos solos.

Sheng et al. (1997) propõem o uso de SIG para classificação e avaliação de bacias hidrográficas destacando a importância de ferramentas, como o modelo digital de elevação, na obtenção de parâmetros como limite da bacia, elevações e características das encostas que podem ser combinadas com outras informações, como mapa geológico, hidrológico, ecológico, entre outros, para derivar mapas temáticos.

Neste contexto, o presente artigo objetivou a caracterização física da microbacia do Ribeirão Grande, por meio de recursos de SIG, técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto, visando ilustrar as condições da cobertura do solo e aspectos morfométricos da microbacia, de modo a atender demandas de práticas de conservação e fiscalização ambiental na região.

2. Metodologia de Trabalho

A caracterização física da microbacia do Ribeirão Grande foi realizada utilizando-se as ferramentas do aplicativo SPRING. Criou-se uma base de dados para análise e processamento dos dados georreferenciados utilizando-se a projeção UTM e modelo da Terra SAD69.

As variáveis morfométricas e o índice de vegetação “*Normalized Difference Vegetation Index*” (NDVI) foram calculados, para a análise das características físicas da microbacia, por meio de geoprocessamento e processamento da imagem TM/Landsat-5, de 30 de agosto de 2009, órbita 218 e ponto 076. Utilizaram-se dados vetorizados das cartas do IBGE folhas SF-23-Y-B-V-2, SF-23-Y-B-V-4, SF-23-Y-B-VI-1, SF-23-Y-B-VI-3 para identificação das linhas de drenagem na microbacia.

Foi utilizado o modelo digital de elevação SRTM disponibilizado pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) (MIRANDA, 2005). O trabalho de campo realizado no dia 05/09/2008 possibilitou o registro de fotografias da área de estudo para validação da interpretação visual e análise resultante do processamento da imagem TM/Landsat-5.

O NDVI foi calculado por meio da Equação 1, com base na imagem TM/Landsat-5, após realizada a conversão dos números digitais para valores de reflectância aparente. O cálculo da reflectância foi realizado por meio da Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico (LEGAL), ver Equação 2, onde K é a variável que compensa a excentricidade da órbita terrestre em torno do Sol, θ corresponde ao ângulo zenital solar de aquisição da imagem, E representa a irradiância solar no topo da atmosfera para o comprimento de onda λ e L_o a radiância aparente da superfície para o comprimento de onda λ , calculada utilizando-se os coeficientes de calibração radiométrica descritos por Chander et al. (2009).

$$NDVI = \frac{\text{banda 4} - \text{banda 3}}{\text{banda 4} + \text{banda 3}} \quad (\text{Eq. 1})$$

$$\text{Reflectância ap. } (\lambda) = \frac{K^2 \times \pi \times Lo(\lambda)}{E(\lambda)\cos\theta} \quad (\text{Eq. 2})$$

O mapeamento das APP foi baseado na Lei Federal nº. 4.771, de 1965 e na Resolução CONAMA nº 303, de 2002 e seguiu a metodologia descrita por Catelani e Batista (2007) e Oliveira et al., (2006). O mapa de APP gerado foi cruzado com o mapa temático resultante do mapeamento do uso do solo por meio da interpretação visual da imagem TM/Landsat-5 processada. Após realizar a mensuração dos dados fundamentais para a caracterização física da microbacia por meio de ferramenta do aplicativo SPRING como: operações métricas, medidas de classes, tabulação cruzada e extração de topos, foram calculados os parâmetros para a descrição da microbacia.

As variáveis utilizadas para análise e descrição física da microbacia foram:

a) Área (A) e perímetro (P): parâmetros fundamentais utilizados para o cálculo de outras variáveis morfométricas, definidos com base na linha de cumeada que delimita o divisor de águas da microbacia do Ribeirão Grande.

b) Maior comprimento (L) e largura média (Dm): variáveis expressas em km, determinadas seguindo os critérios adotados por Fontes (1997), sendo o maior comprimento representado pelo comprimento do maior eixo longitudinal da bacia e a largura média resultante da divisão da área pelo maior comprimento.

c) Índice de circularidade (IC): proposto por Miller (1953 apud Christofolletti, 1974) e é definido como a razão entre a área da bacia e a área do círculo de igual perímetro (Ac). Este índice tem significado semelhante ao índice de forma (CHRISTOFOLETTI, 1969 e TAVARES e QUEIROZ, 1981) e ao coeficiente de compacidade (VILLELA e MATTOS, 1980) que correlacionam o perímetro da bacia com a sua área. O índice de circularidade (Equação 3) indica que à medida que o valor se aproxima de 1, a bacia tende à forma circular e, portanto, é mais sujeita a inundação.

$$IC = \frac{A}{Ac} \quad (\text{Eq. 3})$$

d) Amplitude altimétrica máxima (Hm) e relação de relevo (Rr): estão relacionadas com as variações topográficas da bacia e foram apresentadas inicialmente por Schumm (1956). A amplitude altimétrica máxima corresponde à diferença, em metros, entre a altitude do exultório e o ponto mais alto no divisor de águas. A relação de relevo relaciona a amplitude altimétrica com o maior comprimento, indicando que quanto mais elevado o seu valor, maior o desnível entre a cabeceira e foz. Os estudos efetuados por Patton & Baker (1976) em bacias com altos e baixos potenciais às inundações indicaram a relação de relevo (Equação 4), densidade de drenagem e ordem dos canais como as três variáveis morfométricas mais influentes na indicação de bacias com alto potencial à inundação.

$$Rr = \frac{Hm}{L} \quad (\text{Eq. 4})$$

e) Índice de sinuosidade (Si): Villela e Mattos (1975) descrevem o grau de sinuosidade dos cursos d'água que constitui um fator controlador da velocidade de escoamento das águas. Corresponde à razão entre o comprimento do rio principal da bacia (L_{rio}) e o seu comprimento vetorial (L_{vet}) e pode ser calculado pela seguinte expressão (Equação 5):

$$Si = \frac{L_{rio}}{L_{vet}} \quad (\text{Eq. 5})$$

f) Densidade de drenagem (Dd): descrita por Horton (1945) como sendo a relação entre o comprimento total dos canais (L_t) pela área da bacia hidrográfica (A). A variável retrata a disponibilidade de canais para o escoamento linear das águas e o grau de dissecação do relevo resultante da atuação da rede de drenagem. Ver Equação 6.

$$Dd = \frac{L_t}{A} \quad (\text{Eq. 6})$$

3. Resultados e Discussão

O mapeamento das APP, ilustrado na **Figura 1**, demonstra que 2946 hectares correspondem à APP de topo de morro, 320 hectares de APP de margens de rios e 23 hectares de APP de nascentes, as demais classes de APP têm áreas desprezíveis.

Figura 1. Mapa temático das Áreas de Preservação Permanente da microbacia do Ribeirão Grande, Pindamonhangaba – SP.

O fatiamento do NDVI, ilustrado na **Figura 2**, indicou que as áreas com valores de NDVI variando de -1 e 0.2 estão relacionadas às áreas de solo exposto, rochas e áreas sombreadas pelo relevo (**Tabela 1**). As áreas com NDVI variando de 0.2 a 0.6 relacionam-se às áreas de pastagem e, por fim, as áreas que apresentam valores de NDVI entre 0.6 a 1 correspondem às áreas de vegetação mais densa da Mata Atlântica.

A análise da cobertura do solo da microbacia do Ribeirão Grande aponta que 3477 hectares estão cobertos por vegetação nativa da Mata Atlântica, 1101 hectares por pastagens degradadas em áreas declivosas e 42 hectares correspondem à classe solo exposto e rochas.

Figura 2. Mapa temático resultante do fatiamento dos valores de NDVI e relação com as classes de cobertura do solo para a microbacia do Ribeirão Grande.

Tabela 1. Valores de NDVI relacionados às áreas da microbacia do Ribeirão Grande.

NDVI	Cobertura do solo	Área em hectares
NDVI < 0	Solo exposto, rochas e sombra	22.05
0 < NDVI < 0.2	Solo exposto, rochas e sombra	20.79
0.2 < NDVI < 0.4	Pastagens degradadas	144.06
0.4 < NDVI < 0.6	Pastagens	957.93
0.6 < NDVI < 0.8	Mata atlântica	3435.6
0.8 < NDVI < 1	Mata atlântica	41.71

Figura 3. Relação entre a cobertura do solo e Áreas de Preservação Permanente na microbacia do Ribeirão Grande.

Pode-se observar a predominância da pastagem em relação às outras coberturas do solo nas APP (**Figura 3**). Estimou-se que 80 hectares de APP de margens de rios, 6 hectares de APP de nascentes e 608 hectares de APP de topo de morro estão ocupados por pastagens. Esta classe de cobertura não se adéqua às condições das APP e pode contribuir para a intensificação dos processos erosivos na microbacia. Ver **Figura 4** e **Figura 5**.

Figura 4. Fotografia de deslizamento de terra e erosão em voçoroca na microbacia do Ribeirão Grande (05/09/2009).

Figura 5. Visualização em perspectiva da imagem TM/Landsat-5 (30/08/2009), composição RGB das bandas 5, 4 e 3, sobreposta ao modelo digital de elevação SRTM

A inadequação da cobertura do solo nas APP associado às características morfométricas da microbacia estão relacionadas com um alto potencial de erosão e podem justificar os correntes prejuízos ambientais, como deslizamentos de terra, voçorocas e inundações. As condições ambientais observadas na microbacia do Ribeirão Grande, agravadas pelo não cumprimento da legislação ambiental vigente, demonstram as necessidades de um planejamento ambiental e fiscalização eficiente, visando reduzir o impacto decorrente da atividade antrópica na região.

De acordo com os resultados da **Tabela 2**, a sinuosidade ($Si = 1.3$) da microbacia do Ribeirão Grande, relativamente alta, está relacionada a escoamentos em bacias acidentadas (córregos jovens) representado por um alto valor da amplitude altimétrica ($Hm = 1370$ m) e pela Relação de relevo ($Rr = 139.3$ m/km) o que de certo modo contribui para o escoamento rápido da água na bacia. A microbacia do Ribeirão Grande apresenta valores de Densidade de drenagem ($Dd = 3.1$) e Índice de circularidade ($Ic = 0,59$) indicando ser esta uma bacia com

características favoráveis a enchentes e erosão hídrica (CHRISTOFOLETTI, 1969; VILLELA & MATTOS, 1975).

Tabela 2. Características morfométricas da microbacia do Ribeirão Grande.

<i>Parâmetros</i>	<i>IBGE</i>
Área da bacia (<i>A</i>) km^2	46.2
Perímetro (<i>P</i>) <i>km</i>	31.1
Área circular correspondente (<i>Ac</i>) km^2	48.9
Maior comprimento (<i>L</i>) <i>km</i>	9.9
Largura média (<i>Dm</i>) <i>km</i>	4.7
Amplitude altimétrica (<i>Hm</i>) <i>m</i>	1375
Comprimento do rio principal (<i>Lrio</i>) <i>km</i>	12.8
Comprimento vetorial do rio principal (<i>Lvet</i>) <i>km</i>	9.9
Comprimento total da rede de drenagem (<i>Lt</i>) <i>km</i>	142.1
Índice de circularidade (<i>Ic</i>) <i>adimensional</i>	0.59
Relação de relevo (<i>Rr</i>) <i>m/km</i>	139.3
Índice de sinuosidade (<i>Si</i>) <i>adimensional</i>	1.3
Densidade de drenagem (<i>Dd</i>) <i>adimensional</i>	3.1

4. Conclusões

O NDVI calculado com base na imagem TM/Landsat-5 auxiliou na caracterização da cobertura do solo e na detecção de áreas com diferentes coberturas vegetais, sendo que, 74% das áreas analisadas apresentaram valores de NDVI entre 0,6 a 0,8 e foram identificadas como áreas de vegetação adensada.

Em que pese alguns aspectos interpretativos do Código Florestal, foi possível delimitar as Áreas de Preservação Permanente determinadas por esse código e caracterizar o tipo de cobertura presente em cada classe de APP. Predominam APP de topo de morro (64% de todas APP) que se encontram principalmente cobertas por pastagem degradada e solo exposto, contrariando o que preconiza o código florestal. De fato, pastagem é a classe mais frequente em todas as APP e ocupa em toda a bacia 24% de sua área.

Os cálculos das variáveis morfométricas, auxiliados pelo ferramental do SIG, permitiram a caracterização física da microbacia do Ribeirão Grande, indicando suscetibilidade à inundação e um alto potencial de erosão hídrica decorrente do escoamento superficial favorecido por áreas de pastagem.

5. Referências Bibliográficas

BRASIL. Decreto-lei nº 4.771, de 15 de setembro de 1965. **Institui o Novo Código Florestal Brasileiro e dá outras providências.** DOU de 16 de setembro de 1965. Brasília DF. 1965.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 303, de 20 de março de 2002. **Dispõe sobre parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente.** DOU de 13 de maio de 2002. Brasília DF, 2002.

CATELANI, C. de S.; BATISTA, G. T. Mapeamento das Áreas de Preservação Permanente do município de Santo Antonio do Pinhal, SP: um subsídio à preservação ambiental. **Revista Ambi-Água**, v. 2, n. 1, p. 30-43, 2007.

CHANDER, G.; MARKHAM, B. L.; HELDER, D. L. Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors. **Remote Sensing of Environment**, v. 113, p. 893-903, 2009.

CHRISTOFOLETTI, A. Análise morfométrica das bacias hidrográficas. **Notícias Geomorfológicas**, v.9, n.18, p.19-34, 1969.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**, 2ed. São Paulo: Edgard Blucher Ltda, 1974. 188 p.

Civco, D. L.; Garcia, A. R.; Warner, G.S. Key steps to effective watershed characterization. **GIS World**, Nov.95, p. 62-67, 1995.

FONTES, A. L. **Caracterização geoambiental da bacia do rio Japaratuba – SE, Rio Claro**. 1997. 283 p. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista. Rio claro. 1997.

HORTON, R. E. Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. **Bulletin of the geological Society of América**, v. 56, p. 275-370, 1945.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Mapas topográficos**: Folhas SF-23-Y-B-V-2, SF-23-Y-B-V-4, SF-23-Y-B-VI-1, SF-23-Y-B-VI-3. Rio de Janeiro, IBGE. Escala 1:50.000. mapa color. 60 x 70 cm. 1991.

MIRANDA, E. E. **Brasil em Relevo**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2005. Disponível em: <<http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br>>. Acesso em: 14 set. 2009.

OLIVEIRA, I. S.; BATISTA, G. T.; CATELANI, C. S. Minicurso de Área de Preservação Permanente (APP). In: Material didático utilizado no minicurso sobre APP ministrado no Encontro Água & Floresta: O Estado da Arte em Educação Ambiental, realizado pela Secretaria Estadual do Meio Ambiente (SMA/SP) e Universidade de Taubaté, 7-9 de novembro de 2006, Taubaté, SP. Disponível em: <http://hdl.handle.net/2315/66>. Acesso em: 13 Set. 2008.

PATTON, P. C.; BAKER, V. R. Morphometry and floods in small drainage basins subject to diverse hydrogeomorphic controls. **Water Resources Research**. v.12, n.5, p.941-952, 1976.

SCHUMM, S. A. Evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Amboy, New Jersey. **Bulletin of the geological Society of América**, v. 67, p. 597-646, 1956.

SHENG, T. C.; BARRETT, R. E.; MITCHELL, T. R. Using geographic information systems for watershed classification and rating in developing countries. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 52, n. 2, p.84-89,1997.

SILVA, D. D.; PRUSKI, F. F. **Gestão de recursos hídricos**: aspectos legais, econômicos, administrativos e sociais. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2005. 659 p.

TAVARES, A. C.; QUEIROZ, A.N. Análise geomorfológica da bacia do Ribeirão Claro. **Boletim de Geografia Teorética**, v. 11, n. 21-22, p.47-64, 1981.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1980. 250 p.