

COMPARTIMENTAÇÃO FISIAGRÁFICA PARA ANÁLISE AMBIENTAL DO POTENCIAL EROSIVO A PARTIR DAS PROPRIEDADES DA REDE DE DRENAGEM

PAULO S. R. NASCIMENTO¹, GILBERTO J. GARCIA²

RESUMO: O presente trabalho teve como objetivo compartimentar a sub-bacia do Baixo Rio Piracicaba - SP, em unidades homogêneas quanto à potencialidade à erosão visando a subsidiar o gerenciamento ambiental. A importância desta pesquisa concentra-se no intenso desenvolvimento dos processos erosivos na área em foco e na sua importância socioeconômica em níveis estadual e nacional. O procedimento adotado para atingir o objetivo foi a análise da rede de drenagem e dos lineamentos obtidos pelas imagens TM/Landsat-5. O resultado obtido foi a divisão da área em quatro compartimentos quanto à potencialidade à erosão: muito alta, alta, média e baixa. Concluiu-se que a área estudada é heterogênea, com regiões sujeitas a diferentes intensidades de processos erosivos e que a sistemática adotada se mostrou eficiente para caracterizar as compartimentações fisiográficas da potencialidade erosiva, e essas compartimentações podem e devem ser utilizadas como ponto de partida para estudos ambientais e de utilização do território, em consonância com o desenvolvimento sustentável.

PALAVRAS-CHAVE: zonas homólogas, lineamento, imagem TM/Landsat-5.

LANDSCAPE COMPARTIMENTATION FOR ENVIRONMENTAL ANALYSIS OF THE EROSIVE POTENTIAL FROM THE PROPERTIES OF THE DRAINAGE NETWORK

ABSTRACT: The present work had as objective to divide the sub-basin of the Low Piracicaba River (SP, Brazil) in homogeneous units in order to evaluate the erosion potential aiming to subsidize the environmental management. The importance of this research is due to the intense development of the erosive processes in the area, and its socio-economic importance. The adopted procedure was the analysis of the drainage network and the lineaments obtained from TM/Landsat-5 images. The result was the division of the area in four compartments considering potentiality to the erosion: very high; high; medium and low. It was concluded that the studied area is heterogeneous, with regions presenting different intensities of erosive processes and that the adopted methodology was enough to characterize the landscape compartmentation of the erosive potentiality and these can and must be used as inputs for the environmental management under the principles of the sustainable development.

KEYWORDS: homologous zones, lineament, TM/Landsat-5 image.

INTRODUÇÃO

O conhecimento das potencialidades da superfície terrestre para sustentar os diferentes usos do solo é imprescindível para garantir o controle de fenômenos geodinâmicos indesejáveis, como movimentos de massa, erosão, assoreamento, enchente, dentre outros, os quais podem ser naturais ou induzidos pela ocupação do território (ROSS, 1995). Nesse sentido, considerar as limitações e aptidões desse meio é um mecanismo eficiente de análise ambiental, pois as estratégias para o desenvolvimento sustentável baseiam-se na avaliação acurada da capacidade de sustentação do território e da sua

¹ Eng^o Geólogo, Prof. Dr., Centro de Ensino Superior de Primavera - CESPRI, Rosana - SP, Fone: (0XX18) 284.1600, psrn@zipmail.com.br

² Eng^o Agr^o, Prof. Titular, Voluntário ao Centro de Análise e Planejamento Ambiental, CEAPLA/UNESP, Rio Claro - SP, gilberto@rc.unesp.br.

Recebido pelo Conselho Editorial em: 19-3-2004

Aprovado pelo Conselho Editorial em: 26-4-2005

recuperação frente à atividade humana. A organização territorial cria, então, situações apropriadas ao desenvolvimento econômico de seus habitantes, em consonância com as condições naturais (SÃO PAULO, 1992).

De acordo com a literatura técnica que trata de análises ambientais, cujo enfoque é a adequada ocupação do solo, o primeiro procedimento a ser realizado é delimitar a organização espacial do meio físico pelas suas propriedades intrínsecas e extrínsecas (BECKER & EGLER, 1996). Nesta abordagem de análise geoambiental, com enfoque na potencialidade erosiva, utiliza-se da bacia hidrográfica como a unidade básica de referência e pode-se citar MARTINS & VERDUM (2005), (PELLETIER, 2005) e BAYNE et al. (2005).

Existem vários critérios metodológicos com o intuito de compartimentar o potencial erosivo de uma determinada região, dentre os quais se destacam aqueles que estudam e avaliam as rochas, os solos, o relevo, a pluviosidade e a drenagem (SILVA & MATTOS, 2001). Esses autores utilizaram a integração automática de mapas temáticos para a compartimentação fisiográfica para definir Unidades Básicas de Conservação para subsidiar o desenvolvimento do litoral norte-pernambucano. CAVALHEIRO et al. (2002) empregaram a sobreposição manual de dados do meio físico para verificar a potencialidade ao desenvolvimento de processos erosivos e determinar compartimentos fisiográficos definidos pelo grau de degradação do terreno. Como outros exemplos, podem ser citados HIRUMA & PONÇANO (1994), que definiram o quadro erosivo da região a montante do Rio Pardo (SP e MG) pela correlação qualitativa da densidade de drenagem, por meio da interpretação visual de fotografias aéreas; e CREPANI & MEDEIROS (1998), que utilizaram procedimentos tradicionais de interpretação visual de imagens de satélite e técnicas automáticas de álgebras de mapas para determinar áreas suscetíveis a processos de deslizamento e de erosão em Caraguatatuba - SP.

Há vários procedimentos de espacialização e individualização de unidades do meio físico, como as técnicas de sensoriamento remoto e de geoprocessamento. Assim, a compartimentação fisiográfica pode ser realizada com base na utilização de processos de fotointerpretação sistemáticos de imagens de satélites, pela análise das diversas propriedades da rede de drenagem, a partir da homogeneidade e da similaridade das unidades da paisagem (VEDOVELLO, 1993) e pela definição de Unidades Territoriais Básicas (CREPANI et al., 1996), por meio da integração de unidades naturais e antropizadas da paisagem.

As zonas homólogas são áreas delimitadas sobre as imagens orbitais, constituídas por propriedades qualitativas idênticas das drenagens. A densidade de drenagem é a razão entre a quantidade de canais de drenagem por unidade de área e é considerada como a resposta ao estímulo fornecido pelas condições ambientais, o que a torna uma variável sensível às mudanças climáticas ou antrópicas em curtos períodos de tempo. A assimetria de drenagem é definida em função da extensão e da forma dos afluentes do canal principal, e a estrutura diz respeito ao padrão de organização da rede de drenagem. O grau e a ordem de estruturação estão relacionados com a complexidade da organização espacial das drenagens. A homogeneidade ou a similaridade é definida em função do grau de persistência de uma ou mais das propriedades anteriores (VENEZIANI & ANJOS, 1982).

A densidade de drenagem é observada nas imagens TM/Landsat de forma direta. A relação densidade-permeabilidade é inversamente proporcional; tais propriedades possuem relações com a porosidade, que, por sua vez, depende do grau de cristalização e da granulometria dos minerais e da existência de fissuras nos litotipos, reconhecidas pelas lineações. Assim, as lineações afetam propriedades do terreno, tais como: permeabilidade, resistência ao esforço e taxas de infiltração, de intemperismo e de erosão (SUMMERFIELD, 2000). De acordo com esse autor, as relações espaciais das lineações podem ser utilizadas para identificações de áreas mais propícias a processos erosivos e que são facilmente definidas a partir dos padrões da rede de drenagem.

Assim, as lineações apresentam importância na gênese e evolução dos processos erosivos, pois funcionam como vias de percolação de água e aceleram os processos intempéricos. Essas lineações também controlam a dinâmica das águas subterrâneas, as quais podem provocar erosão no interior do material consolidado ou inconsolidado (CERRI et al., 1997). Esse tipo de erosão interna juntamente com a erosão linear externa são as causas da origem e desenvolvimento de voçoroca.

A área de estudo é considerada como uma das regiões mais vulneráveis com relação aos processos erosivos e de assoreamento da Bacia Hidrográfica do Rio Piracicaba. Além desse quadro crítico, a atividade agroindustrial e o projeto de expansão da Hidrovia Tietê-Paraná nessa região fazem com que essa área mereça destaque nos cenários estadual e nacional. Outro aspecto relevante é a carência de documentos legais que disciplinem o desenvolvimento urbano e rural e que estabeleçam diretrizes para a preservação dos recursos naturais (SISTEMA INTEGRADO DE GESTÃO DO USO MÚLTIPLO DAS ÁGUAS - SISTEMA TIETÊ-PARANÁ, 2004).

Nesse contexto, o objetivo deste trabalho é compartimentar a sub-bacia do Baixo Rio Piracicaba em regiões fisiográficas homogêneas quanto à potencialidade de desenvolver e/ou intensificar os processos erosivos, visando a conhecer melhor as características ambientais do meio físico e subsidiar o mapeamento geotécnico, o gerenciamento ambiental e o uso sustentável do território. Assim, o resultado final desta pesquisa poderá servir de auxílio tanto para estabelecer diretrizes e prioridades de recuperação de áreas degradadas como para propor nível de segurança adequado aos empreendimentos já estabelecidos na região, como a agricultura canavieira, pecuária, cafeicultura, citricultura e hortigranjeiros, e aos que venham a ser implementados.

MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo localiza-se na região central paulista, a nordeste da Bacia Sedimentar do Paraná neste Estado, delimitada aproximadamente pelos paralelos 22°15' a 22°45' de latitude sul e pelos meridianos 47°45' a 48°30' de longitude oeste (Figura 1).

Os principais afluentes do Rio Piracicaba, nessa unidade hidrográfica, são os ribeirões Serelepe, Bonito, Tabaranas, Samambaia, Araguá, Cachoeira, Congonhal, Paredão Vermelho, Claro e Pinga. A geologia é representada pelas rochas dos grupos Passa Dois (Formação Corumbataí), São Bento (formações Pirambóia, Botucatu e Serra Geral) e Coberturas Cenozóicas (Formação Itaqueri e Aluviões Arenosos). Essas formações estão embutidas nas províncias geomorfológicas denominadas de Depressão Periférica e Cuesta Basáltica (ALMEIDA, 1964). Os tipos de solos, de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 1999), são representados pelos Neossolo Quartzarênico Órtico, A moderado; Gleissolo Tiomórfico Húmico; Argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico Típico textura média, A moderado; Argissolo Vermelho-Amarelo Alumínico Típico textura média, A moderado, Argissolo Vermelho-Amarelo Alissólico Típico textura média, A moderado, e Latossolo Vermelho-Amarelo Típico textura média, A moderado (OLIVEIRA et al., 1999).

A cobertura vegetal é constituída por Floresta de Várzea, Floresta Estacional Semidecidual, Capoeira e Cerrado. As categorias de uso da terra são as culturas perenes (café e fruticultura), culturas anuais, compostas pelas hortigranjeiras e cana-de-açúcar, embora, a rigor, essa última pertença à categoria semiperenes, e pastagem e/ou campo antrópico que ocupam trechos extensos, alguns de caráter improdutivo (COMITÊ DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DOS RIOS PIRACICABA, CAPIVARI E JUNDIAÍ, 2000).

Os materiais utilizados no desenvolvimento deste trabalho foram as documentações cartográficas, imagem TM/Landsat-5 multiespectral (bandas 3; 4 e 5), mapas temáticos e o programa computacional de geoprocessamento SPRING (Sistema de Processamento de Informações Espaciais). A base cartográfica apresenta escala 1:50.000, mas algumas cartas temáticas estão em escalas menores

(1:500.000). Assim, foram utilizadas as cartas topográficas do IBGE, escala 1:50.000, correspondentes às folhas de Dois Córregos, Brotas, Itirapina, Piracicaba, Capivari, Laras, São Pedro, Barra Bonita e Santa Maria da Serra. Os mapas temáticos de apoio foram o Mapa Geológico do Estado de São Paulo (ALMEIDA et al., 1981), Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo (PONÇANO et al., 1981; ROSS & MOROZ, 1997), Mapa Pedológico do Estado de São Paulo (OLIVEIRA et al., 1999), Mapa Geotécnico do Estado de São Paulo (NAKAZAWA et al., 1994), Erosividade da Chuva (CAVALLI, 1999) e Uso/Cobertura Vegetal (COMITÊ DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DOS RIOS PIRACICABA, CAPIVARI E JUNDIAÍ, 2000).

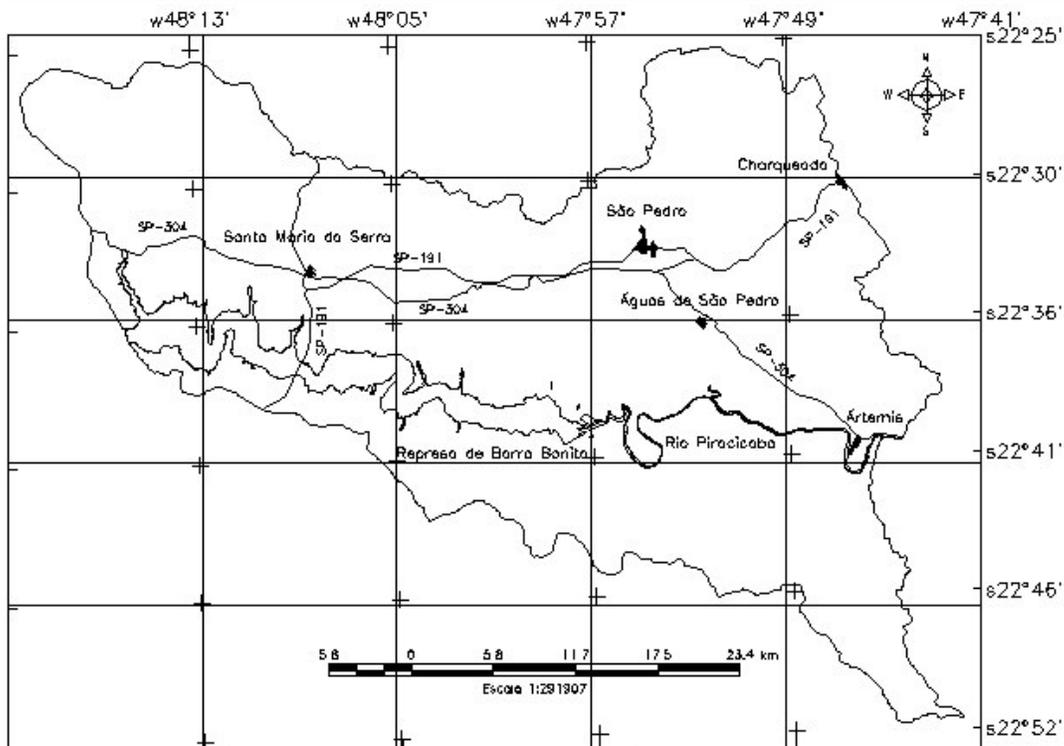


FIGURA 1. Localização da área de estudo.

O procedimento metodológico adotado para a obtenção e interpretação das redes de drenagem foi adaptado de VENEZIANI & ANJOS (1982) e, para os lineamentos, foi baseado em NASCIMENTO & GARCIA (2003), que extraíram os lineamentos com base na distribuição espacial dos elementos texturais das imagens orbitais. Os elementos texturais utilizados foram os elementos de drenagem, a partir do método sistemático de fotoleitura, fotoanálise e fotointerpretação, e considerando as principais direções dos canais de drenagens de primeira a quarta ordem. Na Figura 2, sintetizam-se todas as etapas do presente trabalho.

Dessa forma, o primeiro passo foi a obtenção da rede de drenagem nas cartas topográficas, que foi complementada com base nas imagens TM/Landsat e nas curvas de nível. Pela análise sistemática das propriedades da rede de drenagem, como a densidade, assimetria, estrutura, grau e ordem de estruturação e homogeneidade, definiram-se as zonas homólogas, conforme a metodologia descrita em VENEZIANI & ANJOS (1982).

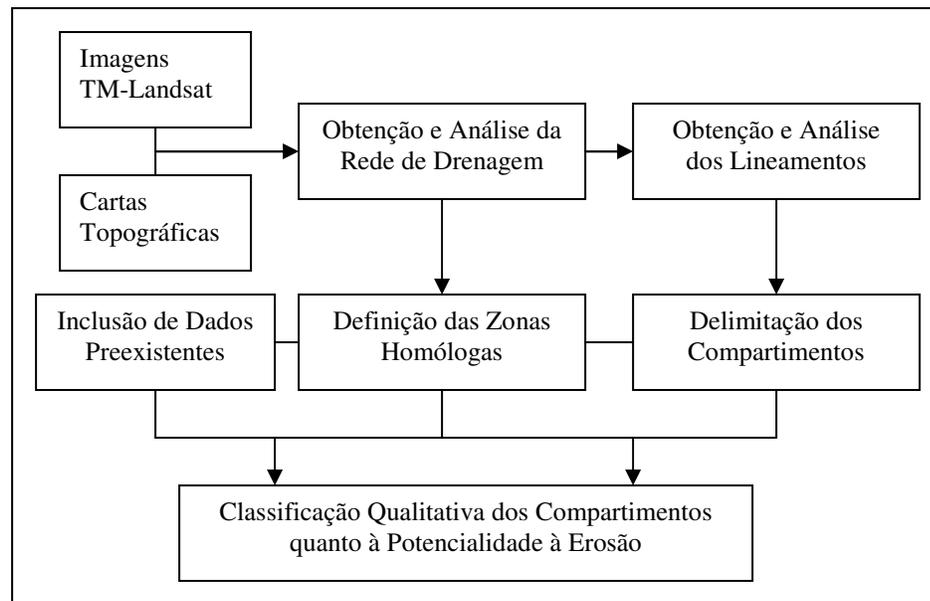


FIGURA 2. Fluxograma dos procedimentos metodológicos.

A etapa seguinte foi a geração do mapa de lineamento, a partir da extração dos elementos texturais de drenagem de primeira ordem e demais ordens, quando fortemente estruturadas, pela repetição contínua dessa feição textural no mapa de rede de drenagem elaborado para este trabalho. Pela análise do mapa de lineamento, que foi interpretado como zonas de fraqueza das rochas que indicam a vulnerabilidade à erosão, e pela análise das similaridades das zonas homólogas quanto aos indicadores ambientais de processos erosivos e de assoreamento, delimitaram-se os limites entre os compartimentos fisiográficos. Os tipos de rochas, relevos, solos, pluviosidade, cobertura vegetal e uso do solo foram as informações de apoio nessa etapa.

O limite foi marcado por forte assimetria das direções e densidades dos lineamentos. Conforme a metodologia adotada, as zonas homólogas que apresentavam propriedades estruturais semelhantes, foram classificadas na mesma compartimentação fisiográfica. A última etapa foi classificar qualitativamente esses compartimentos, quanto à sua potencialidade à erosão, pelos condicionantes predisponentes, supracitados, que desencadeiam e intensificam os processos erosivos.

Ressalta-se que todos esses procedimentos foram realizados no monitor de vídeo do computador, o qual permite, entre outras funções, o aumento de área e de contraste, o que muito facilita a visualização e a manipulação dos dados. Além disso, a utilização de sobreposições de “overlays” ocasiona erros de distorção, pois são necessárias três etapas: extração das drenagens das cartas topográficas e das imagens de satélite e, então, a confecção do mapa de lineamento sobre o mapa da rede de drenagem e, por fim, a entrada desses mapas no banco de dados via mesa digitalizadora. De acordo com SILVA (1999), a digitalização no monitor de vídeo do computador tem como principal vantagem o melhor controle sobre o erro do produto final, sendo esse procedimento menos laborioso e tedioso que a digitalização em “overlays”. Assim, os dados foram inseridos no programa Sistema de Processamento de Imagens Georreferenciadas (SPRING) por “scanner”, digitalizados e analisados, e posteriormente exportados para o módulo de desenho SCARTA do SPRING para a realização da forma final do produto.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com o processo adotado, confeccionaram-se os mapas de drenagem, de zonas homólogas, de lineamento e de compartimentação fisiográfica. Pela análise sistemática do Mapa de

Drenagem, foi possível identificar seis unidades com propriedades similares e assim confeccionar o Mapa de Zonas Homólogas. Para melhor visualização, esses dois mapas são apresentados juntos na Figura 3, e na Tabela 1 apresentam-se algumas das principais propriedades texturais de drenagem de cada zona homóloga. É importante ressaltar que a densidade de drenagem foi a propriedade utilizada para definir qualitativamente a resistência à erosão de cada zona homóloga, em concordância com os autores citados anteriormente.

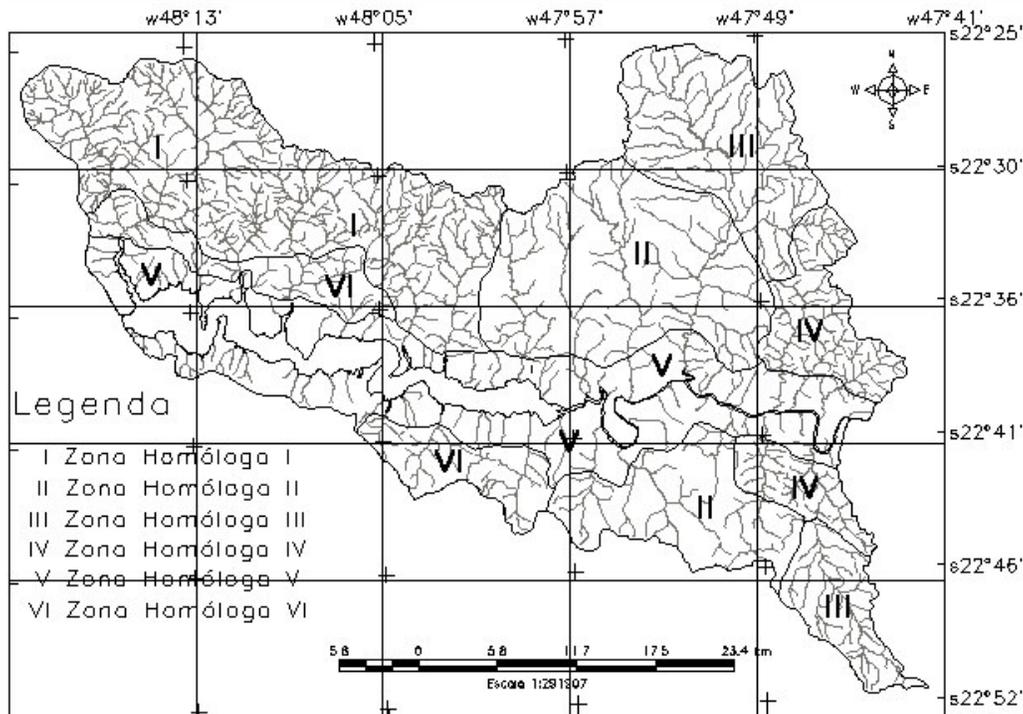


FIGURA 3. Rede de Drenagem com destaque das seis zonas homólogas.

TABELA 1. Propriedades texturais de drenagem que caracterizam as formas e o conceito de zonas homólogas.

Zona Homóloga	Densidade de Drenagem	Padrão de Drenagem	Estrutura de Drenagem	Grau de Estruturação de Drenagem	Ordem de Estruturação de Drenagem
I	Muito alta	Subdentríptico	Definida	Médio	2 ^o
II	Baixa	Subdentríptico	Mal definida	Baixo	1 ^o
III	Moderada	Subdentríptico a Subparalelo	Bem definida	Alto	3 ^o
IV	Moderada	Subdentríptico	Definida	Médio	2 ^o
V	Muito baixa	Paralelo	Bem definida	Alto	3 ^o
VI	Muito baixa	Subdentríptico	Mal definida	Baixo	1 ^o

A alta densidade de drenagem da Zona Homóloga I indica que a permeabilidade do material consolidado e/ou inconsolidado é baixa e o escoamento superficial é alto, o que favorece o processo erosivo, e as demais propriedades sugerem algum controle estrutural. Esse controle estrutural pode influenciar na dinâmica das águas subterrâneas de forma a facilitar o desenvolvimento de “pipping” (erosão interna, que ocorre quando a água de infiltração escava o solo em horizontes inferiores, formando túneis internos de diâmetros variáveis) e a formação de voçoroca. Além desses fatores, as maiores altitudes e declividades possibilitam a ocorrência de movimentos de massa. Em oposição, a Zona Homóloga V possui densidade de drenagem muito baixa e, conseqüentemente, grande infiltração

das águas pluviais, o que acarreta menores riscos de erosão; porém podem ocorrer problemas de inundação e assoreamento pela topografia plana e pequena declividade. As Zonas Homólogas III e IV apresentam densidade de drenagem moderada, controle estrutural, altas altitudes e declividades, o que favorece a erosão, porém com menor intensidade que a Zona Homóloga I. Já nas Zonas Homólogas II e VI, a baixa densidade e controle estrutural menos aparente indicam que os processos erosivos são mais incipientes que nas Zonas Homólogas I, III e IV, porém mais proeminentes que na Zona Homóloga V.

Pela comparação dessas propriedades da drenagem, pelas demais informações citadas na metodologia e principalmente pelos lineamentos, foi possível definir quatro compartimentos fisiográficos (Figura 4) com potenciais relativos quanto aos aspectos erosivos. A organização espacial dos lineamentos possibilitou definir os limites entre os compartimentos de forma menos subjetiva, visto que, em muitas áreas, essa transição se mostra tênue. As principais direções dos lineamentos estruturais são noroeste e nordeste, os quais podem ser compreendidos como fatores predisponentes para a geração de formas erosivas de grande porte, como as voçorocas.

É importante ressaltar o fato de que os limites das compartimentações não coincidem com os limites litológicos, geomorfológicos e pedológicos, pois os lineamentos, expressos na superfície pelas drenagens, atravessam diferentes rochas e, conseqüentemente, distintos solos e relevos. Outros fatores que colaboram de forma intensiva na perda da relação espacial entre os componentes rocha-relevo-solo são as principais tipologias de uso e ocupação do solo da área, os quais modificam o comportamento hídrico do meio físico e alteram a velocidade, o volume de infiltração e o escoamento superficial.

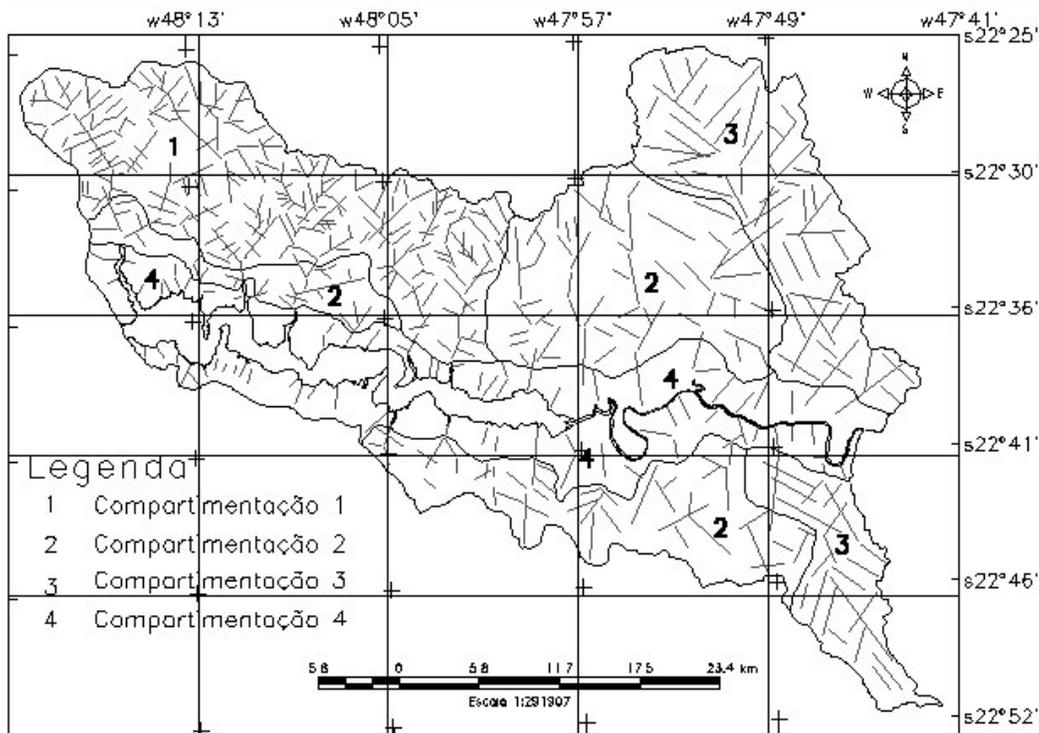


FIGURA 4. Lineamentos de direções preferenciais NW e NE com as compartimentações fisiográficas.

A Compartimentação 1 é caracterizada pela sua potencialidade à erosão muito alta, insere-se entre altitudes de 600 m e 900 m, com declividades maiores que 30%, nas regiões de grandes altitudes. É composta pelos arenitos da Formação Itaqueri no reverso das Cuestas Basálticas e pelos basaltos e arenitos das formações Serra Geral e Botucatu, nos fronts escarpados, na Serra de São Pedro e nos

morros testemunhos. Sobre essas rochas, ocorrem Latossolo Vermelho-Amarelo e Neossolo Quartzarênico. O primeiro é resistente à erosão e, geralmente, está disposto em áreas de relevos planos ou suavemente ondulados, tanto da porção superior quanto da inferior da compartimentação; já o Neossolo Quartzarênico forma depósito de tálus no sopé das escarpas, o qual é facilmente erodível. A litologia predominante, no entanto, é o arenito da Formação Pirambóia disposto nos terrenos dissecados da Depressão Periférica e sobreposto por Latossolo Vermelho-Amarelo e Argissolos. Esses últimos são predominantes e estão numa faixa intermediária de erodibilidade entre o Latossolo Vermelho-Amarelo e o Neossolo Quartzarênico.

A área com alta potencialidade à erosão insere-se no Compartimento 3, representado pelos arenitos da Formação Pirambóia e pelos argilitos e folhelhos da Formação Corumbataí. Essas rochas estão embutidas nas áreas dissecadas da Depressão Periférica, com altitudes médias entre 550 m e 650 m e declividades variando de 10% a 30%, com predominância de Argissolos e pequenas porções de Gleissolo Tiomórfico sobre os arenitos e areias quartzosas nas rochas pelíticas. Em uma pequena faixa no extremo norte, na Serra de Itaqueri, as litologias, os relevos, os solos e as declividades são os mesmos da Compartimentação 1, porém com altitudes que atingem até 1.060 m.

Na Compartimentação 2, a média potencialidade à erosão é a sua característica principal, composta essencialmente pela Formação Pirambóia. As declividades são maiores que 20% nas altitudes próximas de 800 m, na Serra de São Pedro (faixa estreita e com os mesmos aspectos fisiográficos das demais compartimentações) e variam entre 5% e 10% nas altitudes ao redor de 550 m. Nessas áreas menos íngremes, que são espacialmente mais representativas, os arenitos estão dispostos nas formas de relevo dissecado e o Neossolo Litólico predomina. Esse solo, apesar de apresentar erodibilidade alta, está sujeito a pequenos desníveis topográficos, o que ameniza os processos erosivos.

A Compartimentação 4 apresenta baixa potencialidade à erosão, formada essencialmente pela Formação Pirambóia sobreposta por Neossolo Litólico e Argissolos na porção ocidental, pelas Coberturas Cenozóicas na região central com Gleissolos, sendo a porção oriental constituída pela Formação Corumbataí e por Argissolos e Neossolo Quartzarênico no extremo leste. Esse compartimento está inserido na várzea do Rio Piracicaba e da Represa de Barra Bonita, embutido na Depressão Periférica, com altitudes entre 550 m e 460 m e declividades de 0% a 5%.

O fator climático considerado neste trabalho é a erosividade da chuva, que é um índice que expressa a capacidade de chuva, esperada em determinada localidade, de causar erosão em uma área sem proteção. Assim, as perdas de solo pelas chuvas são diretamente proporcionais ao valor do produto de sua energia cinética total por sua intensidade máxima em trinta minutos, mantidos os outros fatores constantes. Na Tabela 2, apresentam-se os valores médios de erosividade da chuva para cada compartimento fisiográfico, de acordo com os valores obtidos por CAVALLI (1999).

TABELA 2. Erosividade da chuva na sub-bacia do Baixo Rio Piracicaba.

Compartimentação Fisiográfica	Erosividade da Chuva (MJ mm ha ⁻¹ h ⁻¹)
1	6.770 a 7.015 - por toda a porção
2	6.520 a 6.645 - porção sul e 6.770 a 6.890 - porção norte
3	6.400 a 6.645 - porção sul e 6.890 a 7.260 - porção norte
4	6.645 a 6.770 - por toda a porção

Fonte: CAVALLI (1999)

Os índices de erosividade da chuva na área de estudo crescem com a altitude topográfica, fato esse esperado, pois esses índices são o produto da intensidade da chuva pela energia cinética, essa maior nas grandes altitudes e declividades.

O principal uso do solo é a pastagem e/ou campo antrópico, que é amplamente distribuído por toda a área. A cana-de-açúcar é o segundo tipo de uso, concentrado na região centro-oriental da área, abrangendo, principalmente, a Compartimentação Ambiental 4 e pequenas porções da 3. O café e a fruticultura, assim como os tipos de cobertura vegetal representados pela mata, capoeira e cerrado, estão espalhados por toda a área em pequenas porções.

O resultado obtido pelos procedimentos adotados para compartimentar a paisagem fisiográfica pelas propriedades da rede de drenagem com o intuito de avaliar qualitativamente o quadro erosivo da Sub-bacia do Baixo Rio Piracicaba - SP, foi similar ao de HIRUMA & PONÇANO (1994), não deixando de levar em consideração que as áreas de estudo são diferentes. No entanto, esses autores não utilizaram informações complementares de apoio como os empregados neste trabalho, o que proporcionou uma análise mais integrada da paisagem e também não analisaram as feições lineares, representadas pelos lineamentos. Os lineamentos foram fundamentais para determinar as áreas mais suscetíveis à erosão, por representarem áreas de fraquezas das rochas e/ou do material inconsolidado.

É importante ressaltar que a compartimentação de regiões fisiográficas homogêneas a partir das propriedades da rede de drenagem, juntamente com os tipos de rochas, relevos, solos, pluviosidade, cobertura vegetal e uso do solo possibilitam entender e analisar os componentes da paisagem como interdependentes. Desse modo, as compartimentações geradas neste trabalho são similares às Unidades Territoriais Básicas, preconizadas por CREPANI et al. (1996) e por BECKER & EGLER (1996), às Unidades Básicas de Conservação empregadas por SILVA & MATTOS (2001) e às compartimentações fisiográficas de potencialidade à degradação do terreno estudadas por CAVALHEIRO et al. (2002).

CONCLUSÕES

A área estudada é heterogênea, com regiões sujeitas a diferentes intensidades de processos erosivos e possíveis movimentos de massa, possibilitando assoreamentos e inundações. A sistemática adotada mostrou-se eficiente para caracterizar as compartimentações fisiográficas da potencialidade erosiva, podendo ser utilizadas como ponto de partida para estudos ambientais e de apropriação do território em consonância com o desenvolvimento sustentável.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, F.F.M. Fundamentos geológicos do relevo paulista. *Boletim do Instituto Geográfico e Geológico*, São Paulo, v.41, n.41, p.169-263, 1964.
- ALMEIDA, F.F.M.; HASUI, Y.; PONÇANO, W.L.; DANTAS, A.S.L.; CARNEIRO, C.D.R.; MELO, M.S.; BISTRICHI, C.A. *Mapa geológico do Estado de São Paulo: escala 1:500.000*. São Paulo: IPT, 1981. 124 p. (Monografia 6).
- BAYNE, B.; BRICE, A.; PASQUALE, A.; WHEELER, M. Drainage network and basin analysis Southern Califórnia. Disponível em: <<http://www.umass.edu/tei/ogia/pilgrim/basins/main.htm>>. Acesso em: 8 mar. 2005.
- BECKER, B. K.; EGLER, C. A. *Detalhamento da metodologia para execução do zoneamento ecológico-econômico pelos Estados da Amazônia Legal*. Brasília: SAE/MMA, 1996. 43 p.
- CAVALHEIRO, F.; RUEDA, J.R.J.; JESUS, N. Compartimentação do meio físico da área da serra do Japi-Jundiá (SP) em zonas de fragilidade quanto à degradação. *Espaço e Tempo*, São Paulo, n.11, p.85-100, 2002.

- CAVALLI, A.C. *Utilização de dados espectrais dos sensores TM/Landsat e AVHRR/NOAA-14 como indicadores de processos de degradação do solo*. 1999. 153 f. Tese (Doutorado em Geociências) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1999.
- CERRI, L.E.S.; SILVA, J.A.F.; SANTOS, P.H.P. Erosão do solo: aspectos conceituais. *Geociências*, Guarulhos, v.6, n.2, p.92-98, 1997.
- COMITÊ DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DOS RIOS PIRACICABA, CAPIVARI E JUNDIAÍ. *Situação dos recursos hídricos das bacias hidrográficas dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá*. 2000. 1 CD ROM.
- CREPANI, E.; MEDEIROS, J.S. Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao estudo da vulnerabilidade aos movimentos de massa no município de Caraguatatuba - SP. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 9., 1998, Santos. *Anais...* São José dos Campos: INPE, 1998. 1 CD ROM.
- CREPANI, E.; MEDEIROS, J.S.; AZEVEDO, L.G.; HERNADEZ FILHO, P.; FLORENZANO, T.G.; DUARTE, V. *Curso de Sensoriamento Remoto Aplicado ao Zoneamento Ecológico-Econômico*. São José dos Campos: INPE, 1996. 18 p.
- EMBRAPA. *Sistema brasileiro de classificação do solo*. Brasília: Serviço de Produção de Informação, 1999. 412 p.
- HIRUMA, S.T.; PONÇANO, W.L. Densidade de drenagem e sua relação com fatores geomorfopedológicos na área do alto Rio Pardo - SP e MG. *Revista do Instituto Geológico*, São Paulo, v.15, n.1, p.49-57, 1994.
- MARTINS, R.L.; VERDUM, R. Compartimentos ambientais em formações superficiais quaternárias: análise e mapeamento na bacia hidrográfica do Arroio Pirita (Rio Grande do Sul). Disponível em: <<http://geografia.igeo.uerj.br/xsbgfa/cdrom/eixo3/3.3/344/344.htm>>. Acesso em: 10 mar. 2005.
- NAKAZAWA, V.A.; FREITAS, C.G.L.; DINIZ, N.C. *Carta geotécnica do Estado de São Paulo*: escala 1:500.000. São Paulo: IPT, 1994. 22 p.
- NASCIMENTO, P.S.R.; GARCIA, G.J. Análise de lineamento da rede de drenagem da sub-bacia do baixo Piracicaba. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO SUDESTE, 9., 2003, São Pedro. *Anais...* São Pedro: Sociedade Brasileira de Geologia, 2003. p.257.
- OLIVEIRA, J.B.; CAMARGO, M.N.; CALDERADO FILHO, B. *Mapa pedológico do Estado de São Paulo*: Escala 1:500.000. Rio de Janeiro: Embrapa-Solos, 1999. 63 p. Mapa.
- PELLETIER, J.D. Experiments in the rain fall erosion facility. Disponível em: <<http://geomorphology.geo.arizona.edu/ref/ref.html>>. Acesso em: 10 mar. 2005.
- PONÇANO, W.L.; CARNEIRO, C.D.R.; ALMEIDA, F.F.M.; PRANDINI, F.L. Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo. São Paulo: IPT, 1981. 94 p. (Monografia 5).
- ROSS, J.L.S. Análise e sínteses na abordagem geográfica da pesquisa para o planejamento ambiental. *Geografia*, Rio Claro, v.9, n.1, p.65-75, 1995.
- ROSS, J.L.S.; MOROZ, I.C. *Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo*: escala 1:500.000. São Paulo: USP/IPT/FAPESP, 1997. 64 p.
- SÃO PAULO (Estado). *Programa de investimentos para recuperação e proteção das bacias dos rios Piracicaba e Capivari*: relatório para identificação. São Paulo, 1992. 98 p.
- SILVA, H.P.; MATTOS, J.T. Indicação de zonas de Proteção Ambiental para o desenvolvimento a partir da compartimentação fisiográfica da parte norte do litoral de Pernambuco. In: SIMPÓSIO

BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 10., 2001, Foz do Iguaçu. *Anais...* São José dos Campos: INPE, 2001. p.975-82.

SISTEMA INTEGRADO DE GESTÃO DO USO MÚLTIPLO DAS ÁGUAS - SISTEMA TIETÊ-PARANÁ. *SIGEST STP*. Disponível em: <<http://www.sigest.fcth.br/obj2.phtml>> Acesso em: 2 fev. 2004.

SUMMERFIELD, M.A. *Geomorphology and global tectonic*. England: John Willey & Sons, 2000. 361 p.

VEDOVELLO, R. *Zoneamento geotécnico, por sensoriamento remoto, para estudos de planejamento do meio físico: aplicação em expansão urbana*. 1993. 90 f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1993.

VENEZIANI, P.; ANJOS, C.E. *Metodologia de interpretação de dados de sensoriamento remoto e aplicações em geologia*. São José dos Campos: INPE, 1982. 54 p.