

Revista Brasileira de Cartografia (2015) N^o 67/1 83-96
Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto
ISSN: 1808-0936

COMPARTIMENTAÇÃO FISIAGRÁFICA APLICADA AO PLANEJAMENTO AMBIENTAL TERRITORIAL: ESTUDO DE CASO NO MUNICÍPIO DE SÃO JOÃO DA BOA VISTA (SP)

*Physiographical Compartmentation Applied to Territorial Environmental
Planning: a Case Study in São João da Boa Vista (SP)*

**Tatiana Pilachevsky¹; Fábio Augusto Gomes Vieira Reis¹;
Lucilia do Carmo Giordano¹; Sofia de Amorim Mascaro¹
& José Gustavo Cristovão de Macedo¹**

¹ Universidade Estadual Paulista – UNESP

Instituto de Geociências e Ciências Exatas – IGCE – Campus Rio Claro

Pós-Graduação em Geociências e Meio Ambiente e Departamento de Geologia Aplicada

Av. 24-A, 1515 - 13506-900, Rio Claro/SP, Brasil.

tatipila@gmail.com, fabioreis@rc.unesp.br, lcg@ecogeologia.com.br, sofiamascaro@uol.com.br, jgcmacedo@hotmail.com

Recebido em 07 de Janeiro, 2014/ Aceito em 12 de Maio, 2014

Received on January 07, 2014/ Accepted on May 17, 2014

RESUMO

A compartimentação fisiográfica representa uma das ferramentas que auxiliam no estudo do planejamento ambiental, pois é capaz de dividir uma região em áreas que apresentam características homogêneas. Considerando a importância da compartimentação em estudos de caráter ambiental, este trabalho visa realizar a compartimentação fisiográfica no município de São João da Boa Vista, Estado de São Paulo, Brasil, com o uso de técnicas de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento. Para a realização da compartimentação foi utilizada, principalmente, uma imagem orbital, previamente tratada, do satélite Landsat TM-5 na banda 5, para a interpretação dos elementos texturais e estruturais. A pesquisa foi desenvolvida em 5 etapas, que abordaram: levantamento bibliográfico e aquisição das imagens de sensoriamento remoto; levantamento e vetorização da base topográfica; processamento das imagens orbitais de sensoriamento remoto; análise e interpretação das imagens orbitais e compartimentação fisiográfica da área de estudo; e análise integrada das unidades fisiográficas considerando suas características geológico-geotécnicas, especialmente, aquelas relacionadas à potencialidade de ocupação dos terrenos. Pelo desenvolvimento da pesquisa verificou-se que a compartimentação fisiográfica é uma técnica que possibilita o entendimento das potencialidades do terreno para planejamento territorial, apresentando baixos custos financeiros, mas que necessita de profissionais bem treinados para realizar as análises e interpretações das imagens orbitais e a integração com as características geológico-geotécnicas. Portanto, os planos diretores municipais deveriam incluir uma análise fisiográfica e geológico-geotécnica em seu planejamento de longo prazo para que haja realmente um desenvolvimento econômico, social e ambiental sustentável dos municípios.

Palavras-chave: Compartimentação Fisiográfica, Sensoriamento Remoto, Estudos Ambientais.

ABSTRACT

Physiographical compartmentation is one of the tools available in environmental planning, as it allows for a region to be divided into areas with homogeneous characteristics. This paper describes the physiographical compartmentation

study in the city of São João da Boa Vista, located in São Paulo state, Brazil, using Remote Sensing and GIS techniques. A pretreated orbital image from the Landsat-5 TM satellite in the band 5 was used for the interpretation of textural and structural elements in the compartmentation. The study was conducted in five stages: bibliographical survey and purchase of remote sensing images; surveying and vectorization of the topographic base; processing of the remote sensing satellite images; analysis and interpretation of the satellite images and physiographic compartmentation of the study area; and integrated analysis of the physiographic units considering its geological-geotechnical characteristics, especially those linked with the terrains' potential of occupancy. This research shows that physiographic compartmentation is a low-cost technique that provides an understanding of the potentialities of a terrain in territorial planning. However, it requires well-trained professionals to conduct the analysis and interpretation of the satellite images and its integration with geological-geotechnical characteristics. Thus, the municipal master plans should include a physiographic and geological-geotechnical analysis in its long term planning so that there is indeed an economic, social and environmental sustainable development of municipalities.

Keywords: Physiographic Compartmentation, Remote Sensing, Environmental Studies.

1. INTRODUÇÃO

A elevada ocorrência de desastres naturais decorrentes de processos erosivos, movimentos de massa, inundações, entre outros, fez com que surgisse a necessidade do conhecimento prévio das fragilidades e potencialidades da superfície terrestre, de modo a tornar a ocupação e o uso da terra compatíveis com a capacidade de suporte do meio físico. Estudos como os de Giordano & Riedel (2008), Dewan & Yamaguchi (2009), Dias & Mattos (2009), Li *et al.* (2010), Sparovek *et al.* (2010), Fernandes-da-Silva *et al.* (2010), Xavier & Bastos (2010), Abreu & Augusto Filho (2011) e Lossardo & Lorandi (2014) evidenciaram essa preocupação.

Giordano & Riedel (2008) e Li *et al.* (2010), ao abordarem a ocorrência da aceleração do processo de urbanização, destacaram a importância da realização do planejamento ambiental com a finalidade de fornecer soluções aos problemas ecológicos decorrentes desse processo. Dewan & Yamaguchi (2009), tendo em vista as mudanças no uso e ocupação da terra na Grande Dhaka em Bangladesh, utilizaram técnicas de interpretação de imagens de sensoriamento remoto a fim de contribuir nas decisões de planejamento e de desenvolvimento sustentável do uso da terra. Já Giordano & Riedel (2008) utilizaram o método de análise multicriterial para estabelecer corredor verde na Bacia do Rio Corumbataí (SP, Brasil), considerando aspectos relacionados ao uso da terra, geomorfologia e da ecologia da paisagem.

Com objetivos semelhantes, Abreu & Augusto Filho (2011), utilizaram critérios geológico-geotécnicos associados à aplicação

de sensoriamento remoto para o planejamento ambiental do município de Analândia (SP, Brasil). Assim como Lossardo & Lorandi (2014) no zoneamento geoambiental do Ribeirão do Ouro no município de Pirassununga (SP). Sparovek *et al.* (2010) também por meio de técnicas de sensoriamento remoto mapearam a porcentagem total da área dos municípios sob uso antrópico e constataram o avanço acelerado das atividades agrícolas no território brasileiro e as suas consequências para o ambiente. Segundo esses autores, os impactos variam conforme o tipo de cultivo, o que faz com que o planejamento do uso da terra seja essencial para a sustentabilidade do ambiente e para a prevenção de possíveis riscos ambientais causados por usos da terra inadequados.

Para tanto, existem alguns métodos de pesquisa no planejamento ambiental capazes de dividir a superfície em unidades ambientais homogêneas, objetivando, dentre outras análises, o estabelecimento de potencialidades erosivas, o apoio à definição de zoneamentos ambientais, a escolha de áreas para ocupação, entre outros.

Dentre os métodos existentes, destaca-se o da compartimentação fisiográfica, que “consiste em dividir uma determinada região em áreas que apresentem internamente características fisiográficas homogêneas e que sejam distintas das áreas adjacentes” (Vedovello & Mattos, 1998). A vantagem da aplicação da compartimentação fisiográfica no planejamento ambiental consiste na geração de “um único produto cartográfico seccionado em várias ‘unidades da paisagem’, que resumem características de relevo, solo, geologia, vegetação, uso da terra e

socioeconômicas” (Paula *et al.*, 2008, p. 250). Com isso, a compartimentação permite a síntese das informações do meio físico, já que a partir de critérios estabelecidos, propriedades similares ou idênticas são identificadas no interior de áreas com características homogêneas (Cardoso *et al.*, 2009).

Esses critérios podem variar de acordo com o objetivo final da compartimentação, mas de modo geral, eles são baseados nas propriedades texturais (relevo, forma e estrutura de drenagem) do meio analisado (Zaine, 2011; Fernandes-da-Silva, 2010; Cardoso *et al.*, 2009).

Alguns procedimentos de individualização das unidades do meio físico facilitam a interpretação das propriedades texturais, dentre eles, as técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento. Nascimento & Garcia (2005) salientam a esse respeito que a utilização de processos de fotointerpretação sistemáticos de imagens de satélites, por meio da identificação da homogeneidade das unidades da rede de drenagem e da definição das Unidades Básicas de Compartimentação¹ auxiliam e são fundamentais para a realização da compartimentação fisiográfica.

Além da interpretação das propriedades texturais o “*sensoriamento remoto e os dados obtidos por meio dele promovem um entendimento espacial de características físicas complexas, usos do solo, padrões de crescimento, distribuição de recursos, pressões ambientais, mudanças tecnológicas e necessidades socioeconômicas para a construção do ambiente*” (Pullen & Patterson, 2011, p. 249), que são importantes para a realização de análises fisiográficas e estudos de planejamento ambiental.

Vedovello & Mattos (1998) afirmam ainda que o princípio básico utilizado para a compartimentação fisiográfica, por meio de técnicas de interpretação de produtos de sensoriamento remoto, consiste na diferença de interação dos elementos fisiográficos de área para área, decorrente das variações nos fatores de evolução; clima, tectônica, geomorfologia, etc, caracterizando paisagens específicas. Desta

forma, a identificação de zonas homogêneas em imagens de sensoriamento remoto é realizada por meio das diferenças de homogeneidade, de tropia e de assimetria dos elementos texturais e de suas estruturas.

Considerando a importância da compartimentação em estudos de caráter ambiental, este trabalho visa realizar a compartimentação fisiográfica no município de São João da Boa Vista, Estado de São Paulo, Brasil, com o uso de técnicas de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento.

A área de estudo escolhida localiza-se na porção nordeste do estado de São Paulo, Brasil e pode ser observada na figura 1. Em termos populacionais, o município é considerado de pequeno porte, com 83.661 habitantes e área de cerca de 516 km² (IBGE, 2010).

O interesse pela aplicação do estudo nesse município se deve a diversidade das características físicas e estruturais da área. De acordo com a classificação geomorfológica adotada por Almeida (1964), a área está situada no limite entre a porção noroeste da Província do Planalto Atlântico, englobando uma pequena porção do Planalto de Poços de Caldas com presença de rochas do embasamento cristalino (Tinos & Zaine, 2010) e o limite da Província Geomorfológica da Depressão Periférica, na qual ocorrem rochas sedimentares brandas e intrusões básicas da Bacia Sedimentar do Paraná. Nela predominam relevo variado, com cotas altimétricas de 680 até 1400 metros.

A região é constituída por rochas do embasamento cristalino capeadas por sedimentos pertencentes ao Maciço Guaxupé (Wernick & Penalva, 1980), é drenada principalmente pelo rio Jaguari Mirim e apresenta clima do tipo mesotérmico com inverno seco e verão quente. A pluviosidade anual varia de 1.100 a 1.300mm e a temperatura média anual entre 20°C a 21°C (Setzer, 1966).

São João da Boa Vista se insere numa Área de Tensão Ecológica quanto à distribuição regional da vegetação, pois há o contato entre regiões fitoecológicas diferentes, caracterizando uma

¹As Unidades Básicas de Compartimentação (UBCs) “expressam a menor superfície do terreno interpretada a partir dos seus elementos fisiográficos [...] e funcionam como objetos de armazenamento de informações, que podem subsidiar os zoneamentos geotécnicos, facilitando a análise das potencialidades e fragilidades do meio físico” (CARDOSO *et al.*, 2009, p. 251).

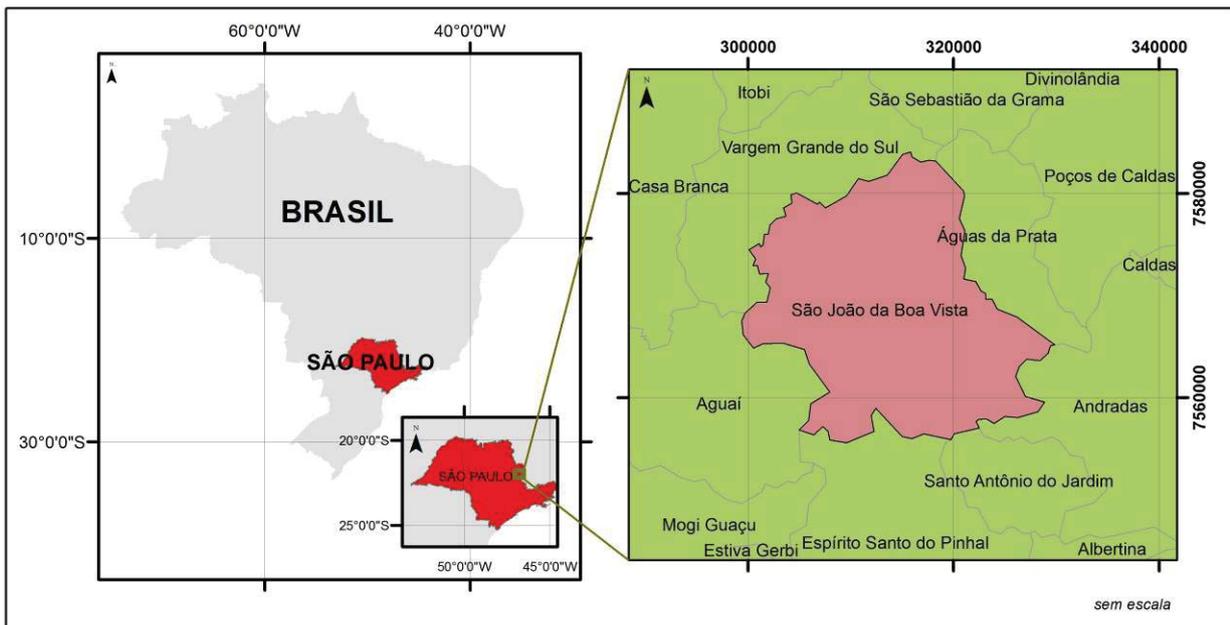


Fig. 1 - Mapa de localização do município de São João da Boa Vista-SP.

mistura de espécies e formando agrupamentos florísticos de difícil separação (Velooso & Góes Filho, 1982). A vegetação natural local está bem condicionada pelas características das Províncias Geomorfológicas e pelas formações geológicas que ocorrem na área.

Além dessas características, a ocorrência de processos erosivos e inundações periódicas pelo transbordamento do córrego São João e o aumento desordenado das atividades industriais, agrícolas, minerárias e mesmo urbanas no município, cria a necessidade da realização de estudos que abarquem seu caráter ambiental, como é pretendido neste artigo.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização deste artigo, as seguintes etapas de trabalho foram compreendidas, baseadas nas metodologias propostas por Oliveira et. al. (2007); Vedovello & Mattos (1993); Vedovello & Mattos (1998); e Zaine (2011):

2.1. 1ª Etapa: Levantamento bibliográfico e aquisição das imagens de sensoriamento remoto

No levantamento bibliográfico foram enfatizados os trabalhos relacionados aos métodos de compartimentação fisiográfica aplicados ao planejamento ambiental territorial, a fim de estabelecer as etapas que seriam seguidas

para teste na área de estudo. Também foram enfocados estudos realizados no município de São João da Boa Vista e região sobre a caracterização do meio físico, especialmente, associados aos aspectos geomorfológicos, geológicos e geotécnicos.

Neste trabalho foram utilizadas imagens de sensoriamento remoto do satélite Landsat 5 –TM da passagem de 24/08/2010 na banda 5, que apresentou melhor resultado para a delimitação do relevo. Para a melhor identificação dos alvos, foi também utilizada como suporte uma imagem síntese do satélite Quickbird de 0,6 metros de resolução do ano de 2006.

2.2. 2ª Etapa: Levantamento e vetorização da base topográfica

A base cartográfica usada no estudo refere-se às cartas topográficas nas folhas São João da Boa Vista: SF-23-V-C-VI-3; Aguaí: SF-23-Y-A-III-1; Pinhal: SF-23-Y-A-III-2; e, Poços de Caldas: SF-23-V-C-VI-4, que compreendem o município de São João da Boa Vista na escala 1:50.000 e ano 1972 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 1972).

As cartas foram georreferenciadas e vetorizadas no software ArcGIS® 9.3. Para o georreferenciamento foram necessários quatro pontos de controle em cada carta, e em todas elas o erro apresentado foi menor que 1 metro.

A vetorização das cartas foi realizada com

o objetivo da extração das curvas de nível e das drenagens da área em análise para a elaboração do modelo digital do terreno (MDT). O MDT foi obtido por meio da ferramenta *tin* disponível no ArcGIS® 9.3 e foi utilizado como suporte nas análises das formas e altitudes dos relevos.

2.3. 3ª Etapa: Processamento das imagens orbitais de sensoriamento remoto

Após o levantamento e a elaboração dos materiais complementares para a realização das análises, foi realizado o processamento da imagem de sensoriamento remoto que foi utilizada como base da compartimentação fisiográfica.

A imagem Landsat-TM 5 na banda 5 foi primeiramente georreferenciada com 8 pontos de controle e recortada no software *Spring 5.1.8*. Logo após, a fim de ressaltar visualmente os elementos do relevo, aplicou-se o procedimento de Filtragem Linear de Realce de Imagem TM (Laplaciano), um tipo de filtro passa alta usado para detectar bordas que favorece as diferenciações e os aspectos texturais, e, por fim, aplicou-se o realce de contraste linear com o objetivo de melhorar ainda mais a qualidade visual da imagem. Ambas as ferramentas estão disponíveis no menu *Imagem* no software *Spring 5.1.8*.

2.4. 4ª Etapa: Análise e interpretação das imagens orbitais e compartimentação fisiográfica da área de estudo

Após a aplicação desses procedimentos descritos nas etapas anteriores, a compartimentação fisiográfica foi realizada com base na fotointerpretação pelo método lógico (GUY, 1966), que consiste no estudo da textura, forma e estrutura do relevo através das etapas de fotoleitura: reconhecimento e identificação dos elementos da imagem de satélite; fotoanálise: associação e ordenação das partes da imagem de satélite analisada; e fotointerpretação: avaliação do significado e função dos objetivos e suas relações por métodos indutivos e dedutivos (Soares & Fiore, 1976; Veneziani & Anjos, 1982, Zaine, 2011). É importante ressaltar ainda, que as análises das formas e características do relevo foram baseadas na tabela de análise fotogeológica proposta pelo IPT (1981), apresentados na Tabela 1.

Para a definição das unidades de compartimentação foi necessário também a criação de um banco de dados georrelacional contendo o MDT, o mapa geológico e as drenagens vetorizadas, que serviram de suporte e complementação para a interpretação da imagem orbital.

Tabela 1: Critérios fotointerpretativos utilizados na compartimentação fisiográfica

Critério	Categoria	Intervalo	Conceito
Amplitude Local	Pequena	0-100m	Altura máxima da unidade em metros, acima do assoalho dos grandes vales adjacentes.
	Média	100-300m	
	Grande	> 300m	
Declividade	Baixa	0-15%	Inclinação média do perfil da encosta.
	Média	15-30%	
	Alta	>30%	
Densidade de Drenagem	Baixa	0-05	Número de cursos d'água perenes numa área de 10 km ²
	Média	5-30	
	Alta	30	
Topos	Extensos	—	Convencional
	Restritos		
Formas de Topos	Aplainados	—	Convencional
	Arredondados		
	Angulosos		
Perfil das Vertentes	Convexo	—	Convencional
	Retilíneo		
	Côncavo		

Fonte: IPT (1981).

Nesse contexto, a compartimentação fisiográfica da área de estudo foi efetuada por meio da avaliação da homogeneidade e similaridade da área em relação aos critérios de amplitude local, declividade, densidade de drenagem, formas dos topos e perfis das vertentes.

Após a realização da compartimentação fisiográfica foi possível, baseado nos resultados apresentados na compartimentação, a interpretação de processos e características geotécnicas da área, que estão apresentados na etapa 5.

2.5. 5ª Etapa: Análise integrada das unidades fisiográficas considerando suas características geológico-geotécnicas, especialmente, aquelas relacionadas à potencialidade de ocupação dos terrenos

Para contextualização e descrição geológico-geotécnica das unidades de compartimentação estabelecidas foram usados os mapas geológicos, na escala de 1:50.000, do Instituto

Geológico do Estado de São Paulo das folhas de São João da Boa Vista e Aguaí (IG, 1982; 1983) e o Mapa Geológico na escala 1:250.000, folhas Campinas e Ribeirão Preto elaborado pelo Departamento de Água e Energia Elétrica do Estado de São Paulo e pelo Instituto de Geociências e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista (DAEE/UNESP, 1982).

Também foram realizados trabalhos de campo, por meio de caminhamento, e análise de afloramentos e de empreendimentos minerários para complementar a descrição das características geológico-geotécnicas gerais, a fim de avaliar a ocupação do terreno. Para tanto, foram considerados os seguintes aspectos: unidade geológica, litologias presentes, tipo de aquífero presente e ocorrência de processos geológicos, tais como: erosão, assoreamento, movimentos de massa (escorregamentos e queda e rolamento de blocos) e inundação.

As etapas realizadas na compartimentação fisiográfica podem ser visualizadas através do fluxograma da figura 2.

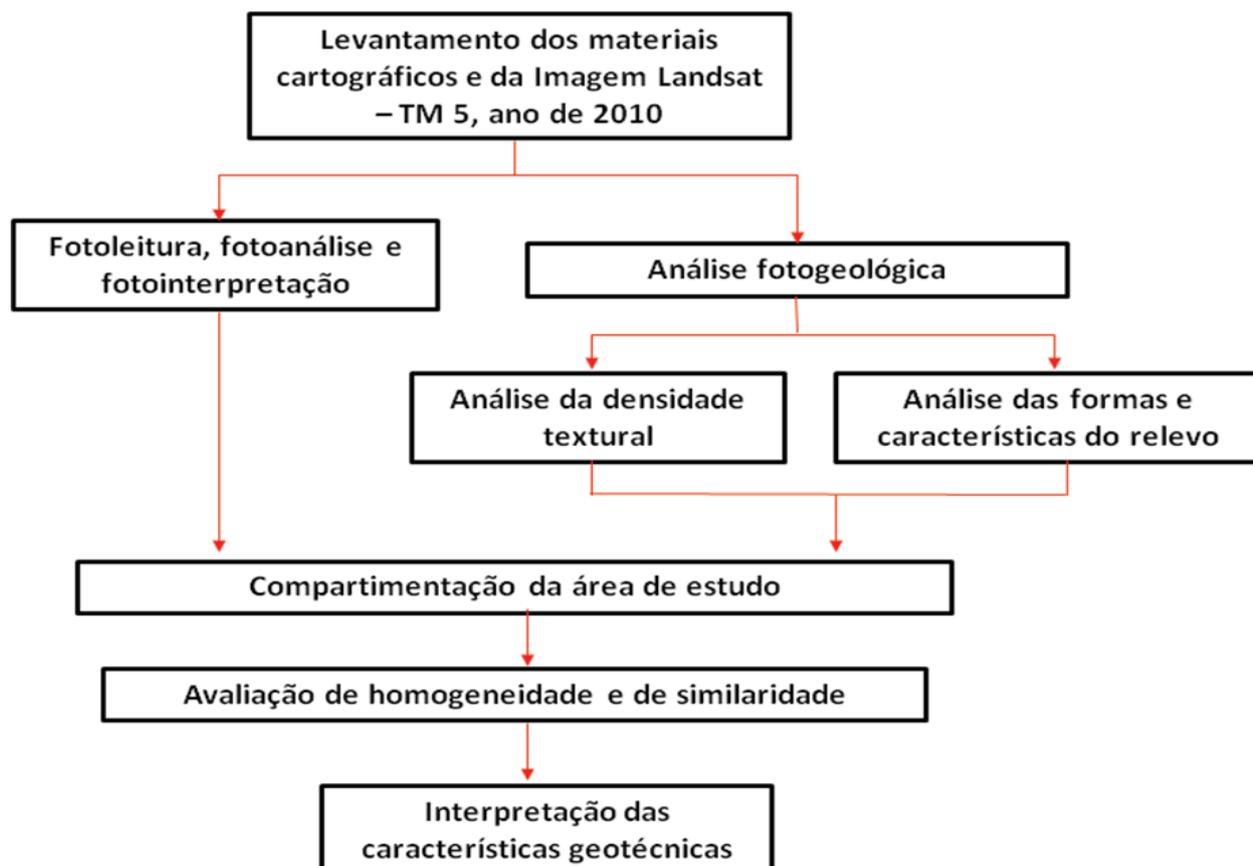


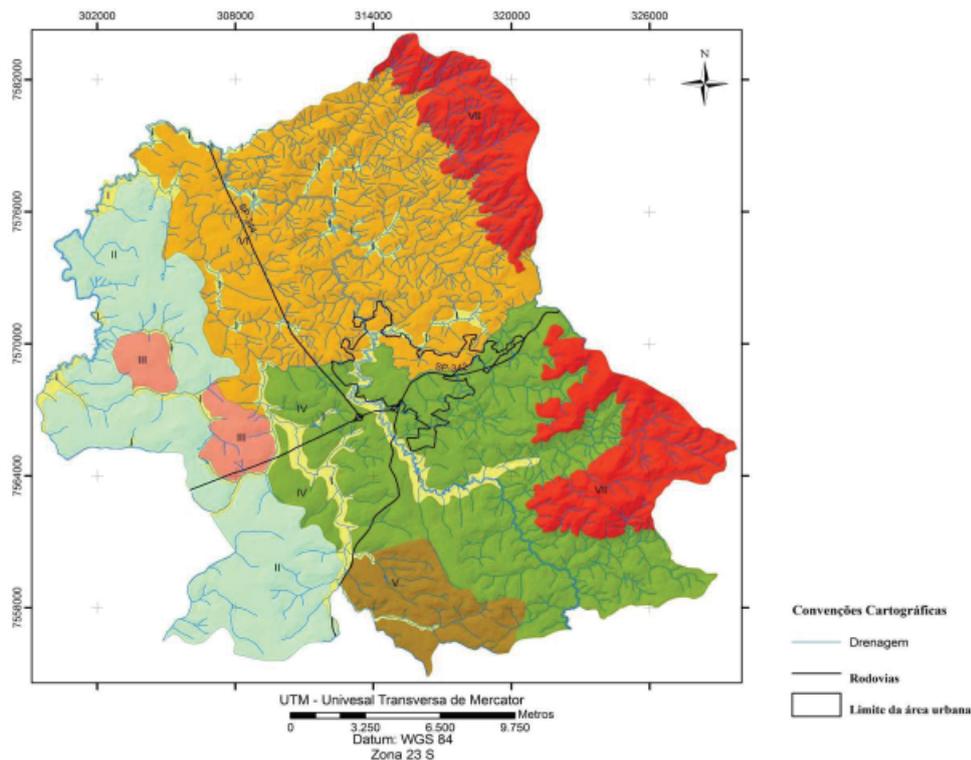
Fig. 2 - Etapas realizadas para a realização da compartimentação fisiográfica.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A utilização do método lógico de fotointerpretação para a realização da compartimentação fisiográfica, assim como nos trabalhos de Zaine (2011), Paula *et al.* (2008) e Vedovello e Mattos (1998) mostrou-se eficiente e gerou como resultado 7 unidades fisiográficas distintas no município de São João da Boa Vista, apresentadas na figura 3.

As características das unidades compartimentadas, de acordo com os critérios fotointerpretativos (IPT, 1981), estão expostas na Tabela 2.

Pelas análises fotointerpretativas em conjunto com a interpretação do mapa geológico e os levantamentos de campo foi possível caracterizar os compartimentos fisiográficos, considerando os aspectos geológico-geotécnicos.



Unidade	I	II	III	IV	V	VI	VII
Nome da unidade	Planícies aluvionares	Intrusões básicas em relevos de colinas amplas e médias	Formação Itararé em relevo de colinas médias	Granitos finos a médios e migmatitos graníticos subordinados em relevos de morros paralelos	Complexo migmatítico-granítico em relevo de serras alongadas	Complexo migmatítico-granítico em relevo de morros paralelos	Complexo migmatítico-granítico em relevo de morros paralelos angulosos
Características Fisiográficas	Amplitude local pequena; Declividade baixa; Densidade de drenagem variável; Perfil das vertentes variáveis	Amplitude local média; Declividade baixa; Densidade de drenagem baixa; Topos extensos e arredondados; Perfil das vertentes convexo predominante	Amplitude local pequena; Declividade baixa; Densidade de drenagem baixa; Topos extensos e arredondados; Perfil das vertentes convexo	Amplitude local média; Declividade média; Densidade de drenagem média; Topos extensos e arredondados; Perfil das vertentes côncavo predominante	Amplitude local média; Declividade média; Densidade de drenagem média; Topos restritos e angulosos; Perfil das vertentes côncavo predominante	Amplitude local média-grande; Declividade média; Densidade de drenagem alta; Topos restritos e angulosos; Perfil das vertentes côncavo e retilíneo	Amplitude local grande; Declividade alta; Densidade de drenagem alta; Topos restritos e angulosos; Perfil das vertentes retilíneo

Fig. 3 - Compartimentação fisiográfica do município de São João da Boa Vista.

Tabela 2: Características dos compartimentos de acordo com os critérios fotointerpretativos adotados.

Unidade Fisiográfica	Amplitude Local	Declividade	Densidade de Drenagem	Topos	Formas de Topos	Perfil das Vertentes
I	Pequena	Baixa	Variável	--	--	Variável
II	Média	Baixa	Baixa	Extensos	Arredondados	Convexo predominante
III	Média	Baixa	Média	Extensos	Arredondados	Côncavo e Convexo
IV	Média	Média	Média	Extensos	Arredondados	Côncavo predominante
V	Média	Média	Média	Restritos	Angulosos	Côncavo predominante
VI	Média a Grande	Média	Alta	Restritos	Angulosos	Côncavo e retilíneo
VII	Grande	Alta	Alta	Restritos	Angulosos	Retilíneo

A unidade fisiográfica I está situada nas planícies aluvionares, principalmente ao longo do rio Jaguari Mirim, Ribeirão dos Porcos e Córrego São João. Geologicamente, ocorrem sedimentos inconsolidados formados por areias de granulometria predominantemente de média a grosseira, e argilas orgânicas com alta plasticidade.

Essa unidade está localizada nos fundos de vales, que são os setores mais baixos do relevo regional, por isso, apresentam baixas declividades e velocidades de escoamento da água superficial. São locais que periodicamente sofrem processo de inundação nos períodos de alta pluviosidade (novembro a fevereiro), inclusive atingindo toda a planície aluvionar, que em certos pontos apresentam ocupação por área urbana ou núcleos rurais, especialmente, no rio Jaguari Mirim e Córrego São João. Contudo, são áreas que não são indicadas para ocupação humana, especialmente, por residências ou atividades industriais.

O processo de erosão está associado basicamente ao solapamento das margens pela erosão hídrica no leito. O assoreamento ocorre nos leitos das principais drenagens, formando depósitos extensos nas épocas de baixa pluviosidade (junho a agosto). Em muitos casos, esses locais são usados para extração de areia em leito, especialmente, no rio Jaguari Mirim.

A extração mineral de areia e cascalho para construção civil e argila para produção de cerâmica vermelha é intensa nessa unidade,

seja por meio da extração em leito ou pela formação de cavas nas planícies aluvionares, que na maioria dos casos respeitam a Área de Preservação Permanente, que varia de 50 metros para cada margem do rio Jaguari Mirim e de 30 metros nas demais drenagens.

Ressalta-se que existe uma legislação específica para essa bacia hidrográfica que regulamenta e disciplina as atividades de extração desses bens minerais, que se refere à Resolução SMA n. 69/1997, da Secretaria de Meio Ambiente do Estado de São Paulo.

A unidade II é constituída por intrusões básicas, representadas por diabásio, formando perfis de alteração profundos, principalmente, na meia e baixa encosta, de solos argilosos, do tipo “terra roxa”. Já nas porções de topo, o perfil de alteração do solo tende a ser menos espesso, com presença de blocos rochosos.

O relevo é formado por colinas amplas a médias, com média a baixa declividade. O escoamento de água superficial é mais intenso devido à baixa permeabilidade dos solos argilosos. Devido à qualidade do solo e o relevo pouco acidentado (facilitando a mecanização), são áreas onde há um intenso desenvolvimento de atividades agrícolas, como o plantio de cana-de-açúcar, laranja, batata e algodão.

O compartimento III é composto por áreas onde há presença de rochas da Formação Itararé, ocorrendo arenitos e siltitos, com solos areno-siltosos de granulometria fina a média, com boa capacidade de suporte. Os perfis de

alteração apresentam espessura considerável, especialmente, nos divisores de água.

O relevo deste compartimento é formado por colinas amplas e médias, típico da Depressão Periférica Paulista. Os vales são mais abertos, formando planícies aluviais maiores do que aquelas encontradas nas unidades associadas aos morros e serras. As declividades são médias e baixas, sendo que o escoamento da água superficial apresenta baixas velocidades.

Devido a permeabilidade dos solos, principalmente, nas áreas de influência dos arenitos, o nível de água subterrânea tende estar mais profundo do que 10 metros.

Nessas áreas há possibilidade de ocorrência de rolamento e queda de blocos, principalmente, em locais onde há o desenvolvimento de atividades de extração mineral para produção de brita para construção civil ou em taludes de rodovias.

A unidade IV é composta por rochas do Complexo Migmatítico-Granítico com a ocorrência de corpos graníticos de textura fina a média, com formação de solos arenosos e areno-siltosos mais espessos do que os encontrados na Unidade VI. A presença de matacões e o afloramento rochoso são localizados e bem menores, comparado aos da unidade VI.

O relevo é formado por morros, nos quais as estruturas não são tão evidentes como na unidade VII, sendo que as drenagens apresentam menor densidade e vales mais abertos. Devido a cobertura de solo ser maior que na Unidade VI, o nível de água subterrânea também está mais profundo. Os processos mais atuantes são a erosão linear e os escorregamentos em taludes de obras.

A unidade V também é composta por rochas do Complexo Migmatítico-Granítico do embasamento cristalino, com presença de corpos graníticos finos a médios. Os solos formados são arenosos e areno-siltosos de granulometria média a grossa, com presença constante de blocos rochosos na superfície do terreno. A profundidade do nível de água subterrânea também tende a ser menor que 5 metros.

A declividade é média e os topos são restritos e angulosos formando um relevo de média acidantação. Nesse contexto, a suscetibilidade a ocorrência de escorregamentos e a rolamento e queda de blocos é grande,

principalmente, em taludes de obras civis. A erosão linear também é um processo atuante nessa área.

O compartimento VI é formado por morros com padrão paralelo e alta densidade de drenagem em vales encaixados. Os solos são arenosos e areno-siltosos provenientes do intemperismo de migmatitos-graníticos e tendem a ser pouco espessos devido basicamente as médias declividades e ao alto escoamento das águas superficiais, que prejudicam a infiltração e retenção da água no solo.

Verifica-se a presença de depósitos coluvionares e de tálus nas porções de meia e baixa encosta, como também de afloramentos rochosos nas áreas de topos. Esses afloramentos tem um alto potencial para desenvolvimento de atividades de extração de rocha ornamental e de revestimento e de brita para construção civil, o que ocorreu em alguns locais, especialmente, nas décadas de 1980 e 1990, mas devido as exigências e restrições ambientais impostas pela legislação essas atividades, na sua grande maioria, foram abandonadas.

Os processos de dinâmica superficial relacionados a erosão linear, rolamento de blocos e escorregamentos, principalmente, em taludes de obras, estão presentes nessa unidade limitando, em alguns locais específicos, a ocupação humana, sendo comum o desenvolvimento de atividades agrícolas e de pecuária.

Por fim, a unidade VII é caracterizada por áreas de relevo com altas declividades, formando serras com altitudes que chegam até 1.600 metros. Em termos geológicos, há ocorrência do embasamento cristalino representado pelo Complexo Migmatítico-Granítico. Os solos são arenosos a areno-siltosos de granulometria grossa e apresentam perfil de alteração pouco espesso devido à baixa infiltração de água e ao alto escoamento superficial, com presença de matacões e afloramentos do maciço rochoso, principalmente, nas porções do terreno com maior declividade.

Os processos mais atuantes são os movimentos de massa, especialmente, escorregamentos planares e rolamento/queda de blocos rochosos. Os processos erosivos lineares estão associados aos locais onde a vegetação natural foi substituída por pastagens ou em obras civis, como ao longo de rodovias e em

loteamentos. A profundidade do nível de água subterrânea é pequena, existindo a ocorrência de nascentes em muitos locais. A Tabela 3 sintetiza as informações referentes a correlação das características fisiográficas e geológico-geotécnicas para as unidades identificadas na área.

Observa-se, assim, que a área analisada é heterogênea em termos de potenciais processos geológico-geotécnicos. A unidade VII é a que apresenta maior risco de ocorrência de movimentos de massa e erosões, e a unidade II é a mais estável em termos geológico-geotécnicos.

Em se tratando de uso e ocupação da terra, as análises fisiográficas e geológico-geotécnicas permitem afirmar, de forma geral, que:

A unidade I, composta por planícies aluvionares, não deve ser ocupada por áreas urbanas e industriais, mesmo com a implantação de medidas de controle. Nesta unidade, já há forte pressão das atividades minerárias e de ocupação urbana, causando inundações periódicas na cidade de São João da Boa Vista. Para evitar as consequências sociais e econômicas desses processos, a implantação de parques lineares seria a medida mais sustentável e ambientalmente correta para a ocupação dos fundos de vales urbanos.

O compartimento II seria ideal para a ocupação urbana, no entanto, essa ocupação é inviável atualmente devido à distância dessa unidade para a área urbana. Dessa forma, o desenvolvimento de atividades agrícolas mecanizadas é o mais apropriado para essa unidade, como também para o compartimento III.

A unidade IV seria a mais adequada para a expansão urbana, devido sua proximidade e pela presença de topos mais extensos do que a unidade VI. Além disso, a agricultura e a pecuária são atividades adequadas para a ocupação dessa área. A unidade V também comporta a instalação dessas atividades agrícolas, porém sem o uso intenso de mecanização.

Na unidade VI há uma preocupação acerca do crescimento da expansão urbana, que está avançando em direção nordeste, no sentido desta unidade. A instalação da área urbana poderá acarretar uma série de riscos relacionados aos processos de dinâmica superficial, sendo que atividades como a pecuária e a agricultura não

mecanizada seriam as mais adequadas nesse contexto fisiográfico.

Já na unidade VII, a ocupação por florestas e áreas de reservas legais de propriedades de outras unidades é o mais adequado em termos ambientais e de riscos associados a processos geológicos.

Além desses resultados, com a realização dessa pesquisa chegou-se a conclusões semelhantes às verificadas na bibliografia específica. Conforme a afirmativa de Vedovello & Mattos (1993) os critérios fotointerpretativos utilizados nesse trabalho permitiram a inferência dos fatores geotécnicos de acordo com as verificações observadas em campo. E de acordo com Oliveira *et al.* (2007) e Zaine (2011), o mapeamento obtido com a compartimentação fisiográfica se mostrou capaz de embasar o planejamento do uso e ocupação da terra, o que o torna ferramenta fundamental para estudos de planejamento ambiental.

Moreira *et al.* (2008) destacam que o método convencional de fotointerpretação apresenta grande potencial para discriminar compartimentos, mas apresenta um caráter subjetivo pela experiência do fotointerprete, sendo que os compartimentos podem ser melhor detalhados com a aplicação da metodologia estatística multivariada que permite que pequenos detalhes, antes despercebidos, sejam avaliados e estimados acarretando em resultados menos generalizados.

Outro aspecto à ressaltar, refere-se ao uso, nesse trabalho, de imagens de média resolução, como as imagens Landsat TM, que assim como nos estudos de Vedovello *et al.* (2009), Nascimento & Garcia (2005), Oliveira *et al.* (2007) e Cardoso (2009), foram capazes de salientar satisfatoriamente os elementos texturais do relevo. O uso de imagens de alta resolução para o suporte das análises, como proposto nos métodos desse trabalho, foi desnecessário para as análises fisiográficas.

Portanto, é possível afirmar que pela realização da compartimentação fisiográfica do terreno, por meio da utilização de imagens de sensoriamento remoto, associado às análises das características geológico-geotécnicas pode-se estabelecer critérios preliminares para as limitações do uso e ocupação da terra.

Tabela 3: Correlação das características fisiográficas e geológico-geotécnicas para as unidades identificadas na área

Unidade	Características Fisiográficas	Geologia	Características Geotécnicas Gerais	Processos Geológicos
I Planícies Aluvionares	Amplitude local pequena; Declividade baixa; Densidade de drenagem variável; Perfil das vertentes variável.	Sedimentos aluvionares inconsolidados (Quaternário) das planícies aluvionares	Profundidade do nível de água subterrâneo < 5 metros; Escoamento superficial baixo; Depósitos que podem atingir até 10 metros de profundidade.	Inundação; Erosão de solapamento das margens de drenagens; Assoreamento no leito das drenagens.
II Intrusões básicas em relevo de colinas amplas e médias	Amplitude local média; Declividade baixa; Densidade de drenagem baixa; Topos extensos e arredondados; Perfil das vertentes convexo predominante.	Intrusões básicas (diabásios) Juro-Cretáceo	Profundidade do nível de água subterrâneo variável; Escoamento superficial baixo; Solos argilosos, formando solo do tipo terra roxa, com perfis de alteração profundos > 10 metros; Presença de matacões em locais de topo do relevo.	Rolamento e queda de blocos rochosos em locais onde são expostos por ação antrópica, especialmente, em taludes de rodovias e extrações de brita.
III Formação Itararé em relevo de colinas médias	Amplitude local média; Declividade baixa; Densidade de drenagem média; Topos extensos e arredondados; Perfil das vertentes côncavo e convexo.	Formação Itararé (arenitos, siltitos, diamictitos e argilitos). Permo-Carbonífero	Profundidade do nível de água subterrâneo em geral > 10 metros; Escoamento superficial baixo a intermediário; Solos areno-siltosos e areno-argilosos, em geral com perfil de alteração profundo > 5 metros.	Erosão linear
IV Granitos finos a médios e migmatitos graníticos subordinados em relevo de morros paralelos	Amplitude local média; Declividade média; Densidade de drenagem média; Topos extensos e arredondados; Perfil das vertentes côncavo predominante.	Complexo Migmatítico-granítico, com ocorrência de corpos graníticos finos a médios. Pré Cambriano Superior	Profundidade do nível de água subterrâneo < 10 metros; Escoamento superficial alto; Solos arenosos e areno-siltosos, em geral, com ocorrência local de matacões.	Erosão linear; escorregamentos em taludes de obras.
V Complexo Migmatítico-granítico em relevo de serras alongadas	Amplitude local média; Declividade média; Densidade de drenagem média; Topos restritos e angulosos; Perfil das vertentes côncavo predominante.	Complexo Migmatítico-granítico, com ocorrência de corpos graníticos finos a médios. Pré Cambriano Superior	Profundidade do nível de água subterrâneo < 5 metros; Escoamento superficial intermediário a alto; Solos arenosos e areno-siltosos de granulometria grossa, em geral, com ocorrência de matacões e afloramentos rochosos.	Escorregamentos localizados e em taludes, especialmente, de rodovias; Rolamento e queda de blocos; Erosão linear.
VI Complexo Migmatítico-granítico em relevo de morros paralelos	Amplitude local média-grande; Declividade média; Densidade de drenagem alta; Topos restritos e angulosos; Perfil das vertentes côncavo e retilíneo.	Complexo Migmatítico-granítico. Pré Cambriano Superior	Profundidade do nível de água subterrâneo < 5 metros; Escoamento superficial alto; Solos arenosos e areno-siltosos de granulometria grossa, em geral, com ocorrência de matacões e afloramentos rochosos.	Erosão linear; rolamento de blocos; e escorregamentos em taludes de obras.
VII Complexo Migmatítico-granítico em relevo de morros paralelos angulosos	Amplitude local grande; Declividade alta; Densidade de drenagem alta; Topos restritos e angulosos; Perfil das vertentes retilíneo.	Complexo Migmatítico-granítico. Pré Cambriano Superior	Profundidade do nível de água subterrâneo < 5 metros; Escoamento superficial alto; Solos arenosos e areno-siltosos de granulometria grossa, em geral, pouco espessos, com ocorrência de matacões e afloramentos rochosos.	Movimentos de massa, especialmente, escorregamentos planares e rolamento/queda de blocos; Erosão linear localizada.

4. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O procedimento de compartimentação adotado neste trabalho se mostrou de rápida e fácil elaboração. A utilização de imagens orbitais gratuitas e de poucos materiais cartográficos (mapa topográfico e geológico) facilita a possibilidade da realização deste trabalho por diversos agentes públicos e privados, inclusive para pequenos municípios, sem a necessidade de vultosos recursos financeiros.

Os resultados obtidos por essa compartimentação, que utilizou das técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento, podem facilitar e auxiliar nos estudos de planejamento ambiental e zoneamentos ambientais, já que possibilitam estabelecer uma ampla gama de características da área em análise, com simples processamento digital e interpretação da imagem orbital selecionada.

Pode-se definir, de maneira preliminar, as áreas que apresentam maior limitação para o uso e ocupação da terra, especialmente, aos aspectos relacionados a ocorrência de processos de dinâmica superficial, possibilitando subsídios técnicos para posteriores estudos de identificação de áreas de risco mais detalhados.

Ao longo do desenvolvimento do estudo pode-se verificar que a compartimentação fisiográfica é uma técnica que possibilita o entendimento das potencialidades do terreno para fins de planejamento, apresentando baixos custos financeiros, mas que necessita de profissionais bem treinados para realizar as análises e interpretações das imagens orbitais e a integração com as características geológico-geotécnicas.

Essa é a grande limitação da técnica, pois, a maioria dos pequenos e médios municípios brasileiros não possui atualmente corpo técnico capacitado para executar tais estudos, o que demandaria a contratação de instituições de pesquisa ou empresas consultoras para seu desenvolvimento.

Portanto, os planos diretores municipais deveriam obrigatoriamente incluir uma análise das características fisiográficas e geológico-geotécnicas para possibilitar o planejamento, ao longo prazo, do desenvolvimento econômico, social e ambiental sustentável dos municípios, incluindo as potencialidades dos terrenos, o que

não ocorre atualmente na grande maioria dos planos elaborados no país.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, A. E. S., AUGUSTO FILHO, O. Engineering geological data in support of municipal land use planning: a case study in Analândia, southeast Brazil. **Environmental Earth Science**, 2011, 65, 277-289.

ALMEIDA, F. F. M. Os fundamentos geológicos do relevo paulista. **Boletim do Instituto Geográfico e Geológico**, 4^o. ed. São Paulo, v.41, 169-263, 1964.

CARDOSO, D., RIEDEL, P. S., VEDOVELLO, R., BROLLO, M. J., TOMINAGA, L.K.. Compartimentação fisiográfica do município de Peruíbe, litoral de São Paulo - uma abordagem metodológica como subsídio à avaliação geotécnica de terrenos. **Pesquisas em Geociências**, 2009, 36 (3), 251-262.

DAEE/UNESP. Departamento de Água e Energia Elétrica do Estado de São Paulo. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho". **Mapa Geológico do Estado de São Paulo**, 1982.

DEWAN, A.M.; YAMAGUSHI, Y. Land use and land cover change in Greater Dhaka, Bangladesh: Using remote sensing to promote sustainable urbanization. **Applied Geography**, 2009, 29 (3), 390-401.

DIAS, R.R; MATTOS, J.T. de. Zoneamento ecológico-econômico no Tocantins: comparação de resultados usando um mesmo método em diferentes datas. **Revista Brasileira de Cartografia**, Rio de Janeiro, 61/04, 2009, 351-365.

FERNANDES-DA-SILVA, P.C.; VEDOVELLO, R.; FERREIRA, C.J.; CRIPPS, J. C.; BROLLO, M. J.; FERNANDES, A. J. Geo-environmental mapping using physiographic analysis: constraints on the evaluation of land instability and groundwater pollution hazards in the Metropolitan District of Campinas, Brazil. **Environmental Earth Sciences**, 2010, 61 (8), 1657-1675.

GIORDANO, L. C.; RIEDEL, P. S. Multi-criteria spatial decision analysis for demarcation of greenway: A case study of the city of Rio Claro,

- São Paulo, Brazil. **Landscape and Urban Planning**, 2008, 84, 301-311.
- GUY, M. Quelques principes et quelque experience sur la metodologia de la photointerpretation. **Simposium Interacional de Photointerpretation**. Paris, 1966, 1, 02-41.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2010. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>. Acesso em: 09 nov. 2010.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Mapa topográfico do estado de São Paulo, na escala 1:50.000**, 1972.
- IG. Instituto Geológico do Estado De São Paulo. **Formações Geológicas de superfície: Folha Geológica São João da Boa Vista, SF-23-V-C-VI-3**, 1982.
- IG. Instituto Geológico do Estado De São Paulo. **Formações Geológicas de superfície: Folha Geológica Aguaiá. SF-23-Y-A-III-1**, 1983.
- IPT. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. **Mapa Geológico do Estado de São Paulo**. IPT, São Paulo, 1981.
- LI, Y; ZHU, X.; SUN, X.; WANG, F. Landscape effects of environmental impact on bay-area wetlands under rapid expansion and development policy: a case study of Lianyungang, China. **Landscape and urban Planning**, 2010, 94 (3-4), 218-227.
- LOSSARDO, L.F.; LORANDI, R. Caracterização do meio físico da bacia hidrográfica do Ribeirão do Ouro no município de Pirassununga (SP), como subsídio ao zoneamento geoambiental. **Revista Brasileira de Cartografia**, Rio de Janeiro, 66/03, 2014, 519-535.
- MOREIRA, M. R.; RIEDEL, P. S.; LANDIM, P. M. B. Aplicação de técnicas estatísticas multivariadas como subsídio à compartimentação fisiográfica. **Revista Brasileira de Cartografia**, Rio de Janeiro, 60/04, 2008, 339-353.
- NASCIMENTO P. S. R.; GARCIA G.J. Compartimentação fisiográfica para análise ambiental do potencial erosivo a partir das propriedades da rede de drenagem. **Revista de Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, 2005, 25 (1), 231-241.
- OLIVEIRA, T. A. DE; RIEDEL P. S.; VEDOVELLO R.; SOUZA, C. R. DE G; BROLLO, M. J. Utilização de técnicas de fotointerpretação na compartimentação fisiográfica do município de Cananéia, SP – apoio ao planejamento territorial e urbano. **Revista Geociências**, UNESP, 2007, 26 (1), 55-65.
- PAULA, J. P. L. DE; ZAINE, J. E.; LIMA M. S.; OLIVEIRA, E. M. DE. Análise fisiográfica aplicada à elaboração de mapa geológico-geotécnico de região da Serra do Mar e Baixada Santista (São Paulo, Brazil). **Revista Geociências**, UNESP, 2008, 27 (2), 249-264.
- PULLEN, H. N.; PATTERSON, M. W. Applications and trends of remote sensing in professional urban planning. **Geography Compass**, 2011, 5 (5), 249-261.
- SETZER, J. **Atlas climático e ecológico do Estado de São Paulo**. São Paulo: Comissão Interestadual da Bacia Parana-Uruguai/CESP, 1966. 61p.
- SPAROVEK, G.; BERNDDES, G.; KLUG, I. L. F.; BARRETTO, A.G.O.P. Brazilian Agriculture and environmental legislation: status and future challenges. **Environmental Sciences & Technology**. 2010, 44, 6046-6053.
- SOARES P. C.; FIORI, A. P. Lógica e sistemática na análise e interpretação de fotografias aéreas em Geologia. **Notícia Geomorfológica**, Campinas, São Paulo, 1976, 16 (32), 71-104.
- TINOS, T. M.; ZAINE, J. E. Ensaio de aplicação de análise integrada dos elementos do meio físico para a elaboração de mapa geotécnico do município de Poços de Caldas – MG. **Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental**, Maringá, Paraná, 2010.
- VEDOVELLO, R.; MATTOS, J.T. A Utilização de Unidades Básicas de Compartimentação (UBCs) como base para a definição de unidades geotécnicas: Uma abordagem a partir de sensoriamento remoto. **Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica**, ABGE, Florianópolis, Santa Catarina, 1998.
- VEDOVELLO, R.; MATTOS, J.T. Zoneamento geotécnico, por sensoriamento remoto, para estudos de planejamento do meio físico –

aplicação em expansão urbana. **VII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, 1993.

VELOSO, H. P.; GOES FILHO, L. Fitogeografia brasileira: classificação fisionômica-ecológica da vegetação neotropical. **Boletim técnico Radam-Brasil**: série vegetação, 1982, 1, 1-80.

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

WERNICK, E.; PENALVA, F. Contribuição à geologia do Grupo Pinhal (SP e MG) (Contribution to the geology of the Pinhal group (SP and MG)).

Revista Brasileira de Geociências, São Paulo, 1980, 10 (1), 43-62.

XAVIER, S.C.; BASTOS, C.A.B. Estudo do Crescimento urbano aplicado ao mapeamento geotécnico: uma metodologia de análise. **Revista Brasileira de Cartografia**, Rio de Janeiro, 62/04, 2010, 583-593.

ZAINE, J. E. **Método de Fotogeologia aplicado a estudos geológico-geotécnicos: ensaio em Poços de Caldas, MG**. Tese (Livre docência em Geociências e Meio Ambiente). 2011. Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Rio Claro, 2011. 104 p.