

Pesquisas em Geociências

<http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias>

Compartimentação fisiográfica do município de Peruíbe, litoral de São Paulo - uma abordagem metodológica como subsídio à avaliação geotécnica de terrenos

Daniel Cardoso, Paulina Setti Riedel, Maria José Brollo
Pesquisas em Geociências, 36 (3): 251-262, set./dez., 2009.

Versão online disponível em:

<http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/article/view/17837>

Publicado por

Instituto de Geociências



Portal de Periódicos **UFRGS**

UNIVERSIDADE FEDERAL
DO RIO GRANDE DO SUL

Informações Adicionais

Email: pesquisas@ufrgs.br

Políticas: <http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/about/editorialPolicies#openAccessPolicy>

Submissão: <http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/about/submissions#onlineSubmissions>

Diretrizes: <http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/about/submissions#authorGuidelines>

Data de publicação - set./dez., 2009.

Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil

Compartimentação fisiográfica do município de Peruíbe, litoral de São Paulo - uma abordagem metodológica como subsídio à avaliação geotécnica de terrenos

Daniel CARDOSO¹, Paulina Setti RIEDEL², Ricardo VEDOVELLO³, Maria José BROLLO³ & Lídia Keiko TOMINAGA³

1. HIDROPLAN - Av. São Camilo, 476 - Granja Viana - Cotia - SP. E-mail: daniel@hidroplan.com.br

2. UNESP - DGA - Av. 24-A, 1515, Bela Vista, Rio Claro - SP. E-mail: psriedel@rc.unesp.br

3. Instituto Geológico - IG/SMA/SP - Av. Miguel Stefano, 3900, São Paulo, SP. E-mail: vedovello@igeologico.sp.gov.br; mjbrolo@igeologico.sp.gov.br; tominaga@igeologico.sp.gov.br

Recebido em 05/2008. Aceito para publicação em 12/2009.

Versão online publicada em 16/08/2010 (www.pesquisasemgeociencias.ufrgs.br)

Resumo - Este artigo apresenta o método empregado no município litorâneo de Peruíbe, composto pela aplicação de técnicas de interpretação de produtos de sensoriamento e levantamentos de campo para a individualização de unidades básicas de análise do terreno, denominadas de Unidades Básicas de Compartimentação (UBCs). Estas unidades expressam a menor superfície do terreno interpretada a partir dos seus elementos fisiográficos, e que possuem no seu interior as mesmas propriedades geotécnicas. São unidades facilmente agrupáveis e funcionam como objetos de armazenamento de informações, que podem subsidiar os zoneamentos geotécnicos, facilitando a análise das potencialidades e fragilidades do meio físico e de sua suscetibilidade a processos naturais e antrópicos. Foram individualizadas sessenta e oito unidades dentro das quais foram inferidas propriedades de interesse geotécnico a partir de critérios fotointerpretativos, levando em consideração as propriedades texturais da imagem, calibradas por observações de campo. O método mostrou-se facilmente reproduzível, sendo especialmente interessante para regiões com carência de mapas básicos, o que impossibilita o estabelecimento de zonas homogêneas através do tradicional cruzamento de informações de diferentes temas.

Palavras-chave: compartimentação fisiográfica, planejamento territorial, sensoriamento remoto, caracterização geotécnica, avaliação de terrenos.

Abstract - **PHYSIOGRAPHIC COMPARTMENTALIZATION OF PERUIBE MUNICIPALITY, SÃO PAULO STATE COAST - A METHODOLOGICAL APPROACH TO ASSIST GEOTECHNICAL TERRAIN EVALUATION.** This paper presents a method applied to the seacoast town of Peruíbe, São Paulo State, Brazil. The method encompasses the application of remote sensing interpretation techniques and field survey to obtain geotechnical data and thus generate cartographic products composed of easily grouped units that work as database objects and can be used to assist geotechnical zoning. The so-called Compartmentalization Basic Units (CBUs) show the smallest land surface analyzed from its physiographic elements and have in their cores the same geotechnical properties, making it easier to analyze the potentialities and the fragilities of the physical environment and its susceptibility to the action of natural and anthropic processes. In the study area, sixty-eight units were individualized in which geotechnical properties were inferred by photo interpretation criteria, using textural properties of the image adjusted with field observations. The method proved to be easily reproducible, and is especially useful in regions where the absence of basic maps makes it impossible to establish homogeneous zones through traditional overlay of different topic informations.

Keywords: physiographic compartmentalization, territorial planning, remote sensing, geotechnical properties, terrain evaluation.

1. Introdução

Atualmente, os estudos que conduzem a uma melhor compreensão das potencialidades e limitações do meio físico têm adquirido grande importância, impulsionados pela crescente preocupação com o meio ambiente. O litoral do Estado de São Paulo apresenta um quadro de ocupação voltado essencialmente ao turismo e lazer, acrescentando-se outros tipos de atividades sócio-econômicas (atividades portuárias, industriais e cultura de banana). Há uma forte demanda de ocupação do litoral paulista, num contexto onde processos naturais, como movimentos de massa, são comuns e representam risco à população e empreendimentos.

Os estudos sobre o meio físico podem ser realizados em escala local, de detalhe, ou em escala regional, dependendo dos objetivos pretendidos. Em escala regional, parte-se muitas vezes para generalizações que podem ser efetuadas através de compartimentações, onde o meio físico é separado em áreas homogêneas pela aplicação de determinados critérios.

A compartimentação do terreno, que é também denominada compartimentação fisiográfica, pode ser realizada através de dois procedimentos básicos. O primeiro, chamado de abordagem multitemática, é bastante utilizado nos trabalhos de cartografia geotécnica através da elaboração de vários mapas temáticos (substrato rochoso, formas de relevo, materiais inconsolidados, declividade, etc.), que são posteriormente integrados para a definição das zonas com as mesmas características geológico-geotécnicas, portanto com as mesmas potencialidades e limitações (Araujo *et al.*, 2000; Bastos *et al.*, 2004; Marques & Zuquete, 2004; Parizi & Diniz, 2004). Estes diferentes produtos cartográficos poderão ser analisados conjuntamente em um Sistema de Informação Geográfica (SIG), objetivando-se a geração de um produto de síntese. O segundo deles é denominado análise integrada, e consiste na determinação de unidades fisiográficas (Vedovello, 1993, 2000; Brollo *et al.*, 1998; Vedovello & Mattos, 1998; Vedovello *et al.*, 2002) ou na determinação das unidades de terreno (Lollo, 1998; Romão & Souza, 2004). Durante a compartimentação do terreno, a utilização de produtos de sensoriamento remoto é de fundamental importância, seja na delimitação e caracterização das unidades de terreno (abordagem integrada) ou na extração de informação para a realização dos diversos mapas básicos, para posterior inte-

gração e delimitação das unidades homogêneas (abordagem multitemática). A grande fragilidade da técnica é que ela exige, para que os resultados finais sejam consistentes, que a escala dos mapas cruzados seja semelhante entre si e compatível com a escala final pretendida para a análise, o que nem sempre é possível num país com o Brasil, que apresenta grande carência de mapas básicos.

Na abordagem integrada aplicada neste trabalho, a utilização da imagem se dá através de identificação dos elementos da paisagem, neste caso do relevo e drenagem, reconhecidos pelo fotointérprete. Através do reconhecimento das feições da imagem, da análise de seu arranjo espacial e de suas propriedades, podem-se separar unidades homogêneas do terreno e preceder à análise das similaridades entre as unidades estabelecidas, onde é verificado se há unidades com as mesmas características, que devem, portanto, receber a mesma denominação.

Os mapas básicos utilizados para a abordagem integrada podem ser regionais, uma vez que as formas de relevo e drenagem serão analisadas diretamente na imagem e associadas a propriedades do terreno, após calibração em campo. No caso do mapa geológico, por exemplo, que em diversas regiões do Brasil só existe em escala regional, ele é utilizado para a definição dos grandes domínios litológicos.

A compartimentação do terreno, aqui denominada de fisiográfica (Vedovello, 1993, 2000; Brollo *et al.*, 1998; Vedovello & Mattos, 1998; Vedovello *et al.*, 2002), permite que sejam sintetizadas as informações sobre o meio físico, uma vez que se parte do princípio de que no interior de uma área com características homogêneas, a partir dos critérios estabelecidos, diversas propriedades podem ser as mesmas. Uma vez sintetizadas, essas informações fornecem importantes subsídios aos administradores, planejadores e técnicos em geral que atuam nas questões relativas ao planejamento territorial.

Na extensa área que compreende o litoral paulista, o trabalho se restringe ao município de Peruíbe (Fig. 1), na porção sul do estado, onde existem interessantes contrastes geomorfológicos para possibilitar a efetiva aplicação da metodologia.

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho é efetuar a compartimentação fisiográfica do município de Peruíbe, na escala 1:50000, utilizando como critério a análise dos elementos texturais de relevo e drenagem. Pretende-se também estabelecer correlações entre as características

da imagem, baseada na descrição sistemática do arranjo espacial dos elementos texturais de rele-

vo e drenagem e as propriedades presumíveis do meio físico, de interesse geotécnico.

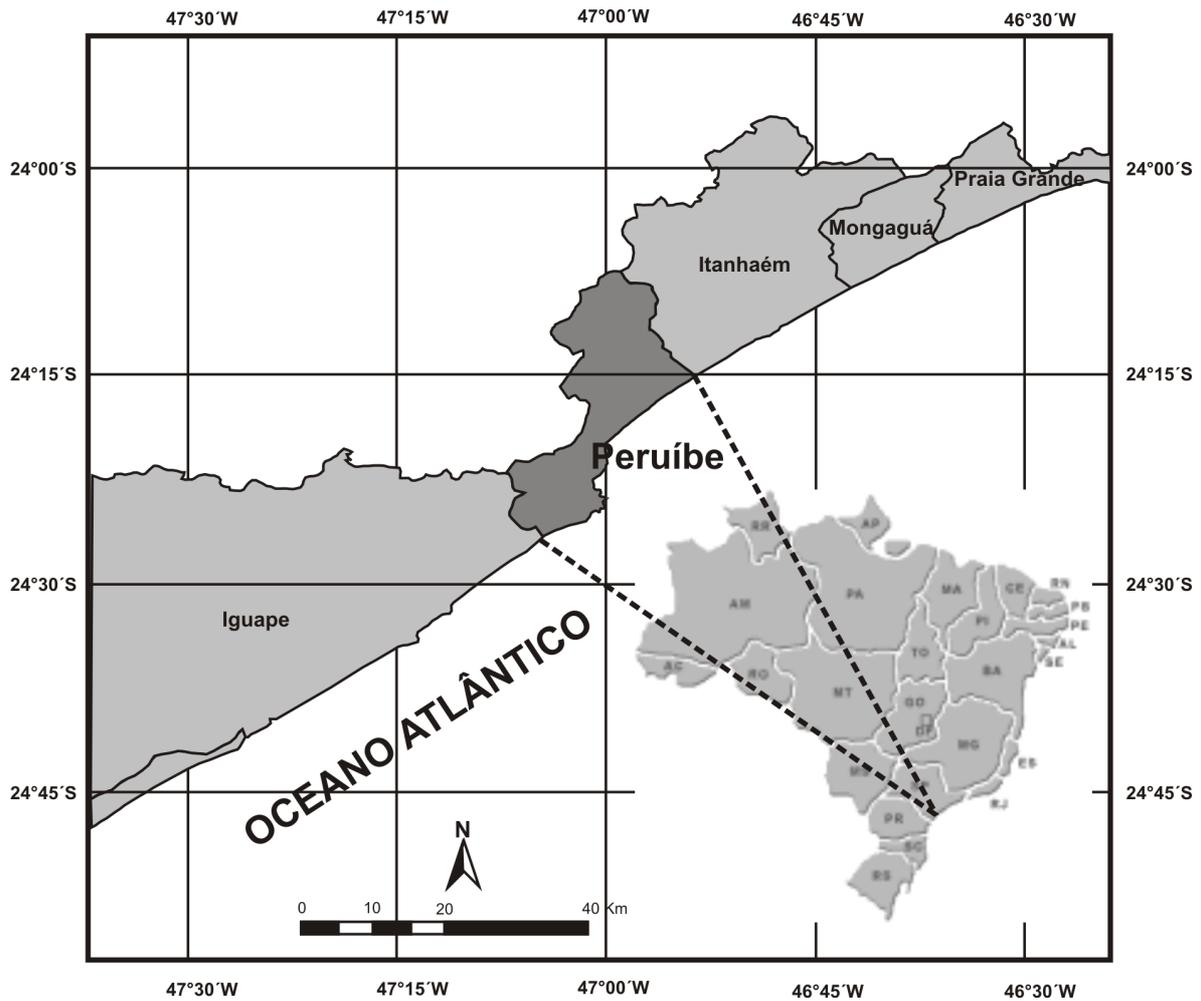


Figura 1. Localização da área de estudo.

2. Aspectos físicos

2.1. Pedologia

A região da Serra do Mar possui solos que se diferenciam em função do compartimento da paisagem em que se encontram. De maneira geral, pode-se dizer que os solos são mais rasos na região da escarpa, principalmente nas altas e médias vertentes, pouco profundos a profundos no planalto, e mais profundos na planície litorânea, sobre os sedimentos predominantemente marinhos e fluviais. Os solos mais comuns são os cambissolos, que ocorrem associados a relevos que variam de ondulado a escarpado, no planalto e em toda a escarpa, e cones de dejeção das médias e baixas vertentes da escarpa. Associados a este tipo de solo, latossolos podem ocorrer.

2.2. Geologia Regional

Grande parte das rochas que ocorrem na área de estudo fazem parte do Complexo Costeiro que, no Estado de São Paulo, tem o seu limite exterior marcado pelos sedimentos costeiros e o Oceano Atlântico, enquanto o limite interior se dá por meio da Falha de Cubatão, com os metassedimentos do Grupo Açungui.

O Complexo Itatins, que ocorre na área de estudo justaposto ao Complexo Costeiro por falhamento sinistral de direção E-W é formado por charnockitos, granulitos charnockíticos e por hiperstênio granodioritos em suas porções mais elevadas e interiores. Nos costões e nas partes mais litorâneas são observados kinzigitos, sillimanita-granada gnaisses, granada-biotita gnaisses, além de rochas metabásicas migmatizadas

em forma de veios, serpentinitos e granitos de anatexia (Silva *et al.*, 1977).

O Complexo Gnáissico-Migmatítico é formado na área predominantemente por hornblenda-biotita gnaisses (Silva *et al.*, 1977).

As rochas granitóides ocorrem sob a forma de corpos tabulares, *stocks* e batólitos, envolvidos pelo Complexo Granito-Gnáissico Migmatítico.

Na porção noroeste da área de estudo e a norte da falha de Cubatão, ocorrem também pequenas áreas de xistos e paragnaisses pertencentes ao Complexo Embu.

Outra unidade de grande ocorrência na área é a Formação Cananéia, que assenta diretamente sobre os sedimentos conglomeráticos da Formação Pariquera-Açu. É constituída por uma sequência de sedimentos finos (argilo-siltosos) seguidos de sedimentos silto-arenosos e apresenta estratificação plano-paralela no topo e níveis de minerais pesados na base.

Os sedimentos recentes encontram-se amplamente distribuídos na área estudada, formando uma extensa planície entre Peruíbe e Itanhaém, e são constituídos por sedimentos de origem fluvial, que estão associados às calhas dos principais rios, sejam eles inseridos no planalto ou na planície costeira, e também por sedimentos coluviais nas proximidades da encosta. Esses sedimentos são argilo-arenosos ou silto-arenosos, e em porções localizadas ocorre um enriquecimento em argila, silte e matéria orgânica (Giannini, 1987). Os sedimentos praias são representados por cordões litorâneos frontais e intermediários, assim como terraços marinhos.

2.3. Geomorfologia

O Estado de São Paulo foi dividido por Almeida (1964) em províncias geomorfológicas, subdivididas em zonas e subzonas, cada qual representando, em diferentes escalas, conjuntos de elementos de relevo homogêneos. Esta subdivisão foi posteriormente revisada por IPT (1981a), segundo o qual o litoral paulista encontra-se inserido na Província Costeira, subdividida em zonas que são a Baixada Litorânea, a Morraria Costeira e a Serrania Costeira, esta, por sua vez, representada pelas subzonas Serra do Mar, Serra de Paranapiacaba, Serrania de Itatins, Serrania do Ribeira e Planaltos Interiores. Neste

contexto, a área de estudo está inserida na Província Costeira, nas zonas da Baixada Litorânea e da Serrania Costeira, especificamente na subzona da Serrania de Itatins.

A estruturação dos compartimentos de relevo da região costeira paulista foi fortemente influenciada pela tectônica rúptil que afetou a borda do escudo, dividindo-a em blocos que foram colocados em posições altimétricas diversas, soerguendo velhas superfícies aplainadas, formando assim, por ação de processos erosivos, a serrania costeira com seus níveis escalonados e seus maciços insulares (Ramalho, 1982).

3. Materiais e métodos

No presente trabalho, foram utilizadas imagens do Landsat 7 - ETM+, órbita ponto 219_077, passagem de 03/09/1999, na banda 4, em papel, escala 1:50000. Esta banda foi escolhida por apresentar alta reflectância da vegetação em contraste com a baixa reflectância dos corpos d'água, o que facilita a análise dos elementos de relevo e drenagem da imagem, que são utilizados na compartimentação. A análise foi também complementada pela imagem proveniente da fusão IHS da composição colorida 2B3G4R com a banda pancromática, na mesma escala. Foram utilizadas as cartas topográficas 1: 50.000 do IBGE, folhas Pedro de Toledo, Itanhaém e Pedro Dias.

Os mapas geológicos tomados como referência para o estabelecimento das zonas foram o Mapa Geológico do Estado de São Paulo (IPT, 1981b), escala 1:500.000 e o Mapa Geológico da Porção Sul-Oriental do Litoral Paulista (Passarelli, 2001), em escala 1:250.000.

São apresentados a seguir os procedimentos envolvidos nas etapas de compartimentação fisiográfica e de caracterização geotécnica das unidades de compartimentação, para o município de Peruíbe. A obtenção desses compartimentos, aqui chamados de Unidades Básicas de Compartimentação (UBCs), e a sistematização de suas características e propriedades possibilitam a posterior obtenção de cartas de avaliação de terrenos, tais como cartas de suscetibilidade a diferentes processos do meio físico, como, por exemplo, a movimentos de massa ou a erosões lineares.

3.1. Compartimentação fisiográfica

Na abordagem integrada de compartimentação a partir da análise e identificação de elementos texturais de relevo e drenagem nas imagens, podem ser propostas divisões em diferentes níveis hierárquicos, que são capazes de explicar e agrupar ocorrências de determinadas geoformas (Vedovello, 2000). Essas geoformas são partes específicas do terreno, onde ocorre uma associação característica de vários elementos fisiográficos que compõem o terreno e que são resultantes da dinâmica de evolução exógena e endógena.

A Unidade Básica de Compartimentação (UBC) constitui uma geoforma que apresenta litologia, forma de relevo e perfil de alteração constantes na sua área. Sua identificação é feita a partir de uma análise criteriosa das texturas e das formas de relevo observadas na imagem, dentro de cada subzona. Estas unidades são associadas a diferentes perfis de alteração em campo, responsáveis pelas pequenas alterações texturais observadas na imagem. A determinação das UBCs é função da escala de trabalho pretendida; assim, em escalas maiores, determinados compartimentos são subdivididos e, em escalas menores, compartimentos são aglutinados.

Na etapa de avaliação da similaridade entre diferentes unidades identificadas procedeu-se uma análise comparativa, quanto às propriedades dos elementos texturais de relevo e drenagem utilizados na interpretação, previamente extraídos da imagem para uma transparência. Esta etapa tem como objetivo identificar unidades que devem ser classificadas sob a mesma denominação, recebendo, portanto, o mesmo código e diferindo somente no número, que é o identificador da unidade, junto ao banco de dados.

São adotados, neste trabalho, três níveis hierárquicos taxonômicos informais para representar as unidades de compartimentação obtidas:

- **Província:** Corresponde aos grandes compartimentos tectono-estruturais, que englobam características climáticas atuais em nível regional;

- **Zona:** Corresponde aos domínios geológicos, ou seja, aos grandes grupos de litologias;

- **Subzona:** Representa diferentes feições geomorfológicas locais, relacionadas aos diferentes tipos litológicos.

Cada unidade de compartimentação é representada por um número e descrita por sua província, zona e subzona. Ela corresponde à

menor unidade de terreno onde os elementos fisiográficos ocorrem com as mesmas características texturais na imagem, constituindo uma geoforma.

Trabalhos de campo foram realizados para confirmação e/ou o ajuste de limites foto-interpretados e para o levantamento das características morfológicas atribuídas aos compartimentos. Estas características são confrontadas com as propriedades descritas na fotointerpretação, de forma a calibrar o processo de inferências de propriedades geotécnicas, que constituirão a próxima etapa do trabalho.

3.2. Caracterização Geotécnica

Existem diferentes formas para a aquisição de dados geotécnicos. A opção por uma ou outra forma de obtenção dos dados depende do tipo e classes dos atributos analisados, da viabilidade ou não de aquisição de informação *in situ*, e da precisão necessária às avaliações dos produtos previstos, relacionada à escala de trabalho. Dentre os diversos procedimentos utilizados para a aquisição de dados geotécnicos, podem-se destacar os seguintes, segundo Vedovello (2000):

Ensaio de laboratório: ensaios realizados em amostras deformadas ou indeformadas, em solos e rochas, para determinar as propriedades físicas e químicas e o comportamento mecânico, que determinam as características geotécnicas de interesse.

Ensaio *in situ*: são ensaios e testes de campo que objetivam determinar as propriedades do solo, definindo-se as suas características e propriedades geotécnicas.

Inferências fisiográficas: as propriedades e características geotécnicas são inferidas a partir dos elementos fisiográficos que integram determinada área. São realizadas conhecendo-se os elementos geológicos e geomorfológicos. Criando-se uma relação entre os dois, é possível inferir sobre permeabilidade, alterabilidade, declividade, espessura do material de cobertura.

Inferências a partir de outros dados: consistem na obtenção de dados geotécnicos por correlação com dados de outra natureza. Como exemplo, Vedovello (2000) cita a estimativa da permeabilidade, que é um dado geotécnico obtido por correlação com a densidade de elementos texturais de drenagem, que por sua vez é um dado fotointerpretado.

Neste trabalho, a obtenção das propriedades geotécnicas de cada UBC deu-se principalmente a partir de inferências através de dados de sensoriamento remoto, onde é estabelecida uma correlação entre as propriedades texturais da imagem e as propriedades e/ou características de interesse geotécnico do meio físico, calibrados por descrições de campo, segundo metodologia aplicada em Vedovello (2000) e baseada em discussões encontradas nos trabalhos de Soares & Fiori (1976), Veneziani & Anjos (1982), Riedel (1988), Oliveira *et al.* (1989), Mattos & Jimenez Rueda (1991), Cecarelli *et al.* (1994) e Okida (1996), entre outros.

Nos trabalhos de campo foram inicialmente percorridas as unidades básicas de compartimentação para a checagem dos limites foto-interpretados. Para a avaliação das propriedades do terreno e das características dos seus elementos componentes, foi utilizado o levantamento de perfis de alteração característicos e específicos para cada UBC. Estes perfis têm como objetivo agrupar um conjunto de dados que traduzam, de maneira expressiva, as características geotécnicas de determinada área fotointerpretada homogênea. A esses perfis, são adicionados dados relativos à observação do relevo local e suas relações de forma, amplitude, dinâmica superficial entre outras características, que conduzam a um melhor entendimento da natureza geotécnica de cada UBC.

Os levantamentos realizados em campo também tiveram como objetivo calibrar as inferências a serem efetuadas sobre os terrenos, tal como a relação existente entre a profundidade do perfil de alteração e a forma da encosta.

4. Resultados

4.1. Compartimentação Fisiográfica

Na primeira subdivisão do nível hierárquico Província foram reconhecidos três grandes compartimentos. O primeiro representa a região de planalto, e o seu limite é obtido através da análise da quebra positiva de relevo com as regiões escarpadas da Serra do Mar. O relevo do

planalto, que nesta região é caracterizado pelo predomínio de morros convexos, em contraste com a feição de escarpa, permite uma clara demarcação do limite deste compartimento na imagem. Esta província foi denominada Planáltica e é representada pela letra P, na Fig. 2, a qual reproduz um trecho em destaque do mapa produzido. O Quadro 1 apresenta como guia de referência, os critérios utilizados para a compartimentação, bem como as diferentes classificações para cada critério.

O segundo compartimento engloba o relevo escarpado dos contrafortes da Serra do Mar, a escarpa escalonada da Serra de Paraibuna e o relevo montanhoso da Serra dos Itatins. Essas unidades geomorfológicas foram delimitadas na imagem de satélite através de análise dos elementos de relevo e drenagem, que apresentam características muito variadas, mas de modo geral têm relevo acidentado, de amplitudes elevadas. A rede de drenagem pode ser dendrítica, subparalela, angular, etc., por vezes revelando um forte condicionamento estrutural na área. O limite considerado para a delimitação desta província é a quebra negativa que esta feição de relevo faz com os sedimentos flúvio-marinhos da baixada litorânea, que individualizam outra província, a Litorânea. Estas províncias foram denominadas de Serranias e Litorânea e simbolizadas, respectivamente, pelas letras S e L.

Na divisão taxonômica de zona, foram estabelecidos compartimentos que refletem diferentes litologias. Uma mesma zona pode se repetir em diferentes províncias, mas este fator não implicará unidades básicas de terreno com as mesmas características, pois o modelado regional será outro.

A primeira zona identificada, num total de cinco, é representada por xistos e paragneisses do Complexo Embu e simbolizada pela letra X. A segunda zona representa os migmatitos e gnaisses do Complexo Costeiro e aflora ao longo de toda escarpa da Serra do Mar e Serra de Paranaíacaba, representada pela letra M.

Os Granitos do Tipo Areado (Silva *et al.*, 1977), simbolizados pela letra A, ocorrem ao longo do eixo da falha de Cubatão, e estão alocados em rochas do Complexo Costeiro.

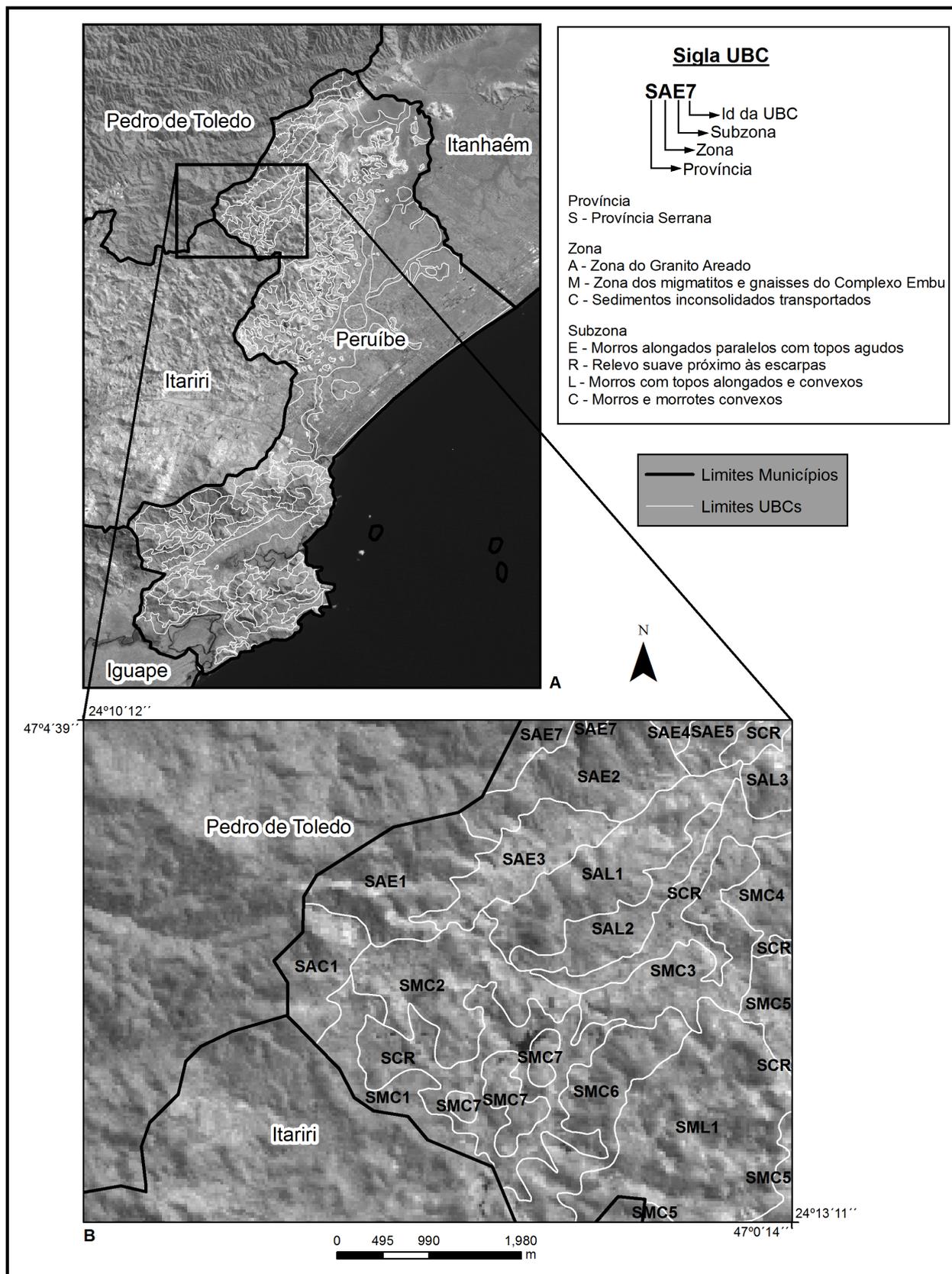


Figura 2. Compartimentação da área de estudo, com trecho em detalhe.

Quadro 1. Critérios adotados para caracterização das UBCs e sua respectiva classificação.

| Critério | Significado | Classificação adotada |
|------------------------------------|---|---|
| Tipo de elemento de textura | Define que espécie de elemento textural está sendo analisado. | <ul style="list-style-type: none"> • Drenagem (d) • Relevos (r) • Tonal (t) |
| Densidade de textura | Refere-se à quantidade de elementos (de um mesmo tipo) por unidade de área da imagem. É descrita em termos comparativos e qualitativos. | <ul style="list-style-type: none"> • Muito Alta (MA) • Alta (A) • Média (M) • Baixa (B) • Muito Baixa (MB) |
| Tropia | Indica a presença ou não de orientações dos elementos de análise impressas por estruturas geológicas. | <ul style="list-style-type: none"> • Não orientado (NO) • Pouco orientado (PO) • Muito orientado (MO) |
| Forma da encosta | É obtida pela análise integrada da imagem com o padrão geométrico predominante das curvas de nível na mesma área de representação com a base topográfica escala 1:50 000. | <ul style="list-style-type: none"> • Convexa (X) • Côncava (V) • Côncavo-convexa (VX) • Retilínea (R) |
| Forma e extensão do topo | Retrata a extensão da forma e sua geometria. | <ul style="list-style-type: none"> • Contínuo/Restrito (C/R) • Convexo/Agudo (C/A) |

O Complexo Itatins representa a quarta zona identificada na imagem e salienta-se devido ao fato de ser um maciço, muito bem separado morfologicamente através de uma faixa de sedimentos quaternários e uma zona de cisalhamento bem marcada na imagem de satélite, a Zona de Cisalhamento de Itariri. Os tipos litológicos presentes são charnockitos e kinzigitos, e a zona foi representada pela letra K (Fig. 2).

Os sedimentos inconsolidados transportados, que apresentam ou não evolução pedogenética, identificados como colúvios, são simbolizados pela letra C.

Os sedimentos costeiros são divididos quanto à sua origem em três zonas: sedimentos flúvio-marinhos, sedimentos fluviais e sedimentos mistos, representados na Fig. 2 pelas letras D, F e T, respectivamente.

O próximo nível taxonômico identificado e descrito é o de subzona, que possui como critério de identificação a configuração local de relevo. Nesta etapa de compartimentação, foram analisadas formas de topo e encosta, amplitude, dinâmica superficial e diferentes estruturas geológicas que resultaram em formas de relevo diferentes, dentro de uma mesma zona previamente estabelecida.

Foram estabelecidas oito subzonas, a primeira correspondente a morros e morrotes com encostas convexas, amplitudes de 40 a 60 m e topos convexos, denominada pela letra C. A segunda subzona equivale a morros com topos alongados e convexos, representada pela letra L. A terceira corresponde a morros com topos angulosos, cuja letra é M. A quarta subzona equivale a morros alongados, paralelos, com topos agudos, encostas íngremes e retilíneas, com

amplitudes de até 500 m, com letra E. A quinta subzona corresponde a relevos suaves, próximos a relevos escarpados, correspondentes a rampas de colúvio ou tálus, representada pela letra R. As demais subzonas são representadas pelos relevos planos das praias (P), pelas planícies aluvionares (L) e terraços (T).

A última subdivisão na hierarquia utilizada equivale à unidade, de forma que as subzonas foram divididas em unidades de tamanhos variados, que apresentam no seu interior características homogêneas dos elementos de análise, denominadas Unidades Básicas de Compartimentação (UBCs), utilizadas segundo metodologia de Vedovello (2000).

A análise foi realizada de forma sistemática, com base nos elementos texturais de relevo e drenagem das imagens dentro das subzonas, apoiada na análise da configuração das curvas de nível em cartas topográficas, escala 1:50.000. Foram considerados critérios relativos às propriedades e características da imagem, tais como tipo de elemento textural (de relevo ou de drenagem), densidade de textura, e diferenças mais sutis de forma de encosta e tipo de topo, segundo a abordagem adaptada de Soares & Fiori (1976) e Veneziani & Anjos (1982).

Como produto final desta fase, foi gerado o mapa de Unidades Básicas de Compartimentação (UBCs), onde as diversas unidades estão identificadas por uma sigla ou código, que reflete seu contexto fisiográfico e seus níveis hierárquicos de compartimentação. Cada unidade de compartimentação recebeu um código para a sua individualização. Este código possui três letras, relacionadas à hierarquia taxonômica adotada para o trabalho, e um número, obtido através da

análise de similaridade dos compartimentos, segundo segue:

1ª letra: simbologia utilizada para as divisões do nível taxonômico Província.

2ª letra: simbologia utilizada para as divisões do nível taxonômico Zona.

3ª letra: simbologia utilizada para as divisões do nível taxonômico Subzona.

Número: refere-se a cada unidade de compartimentação, avaliada a partir dos elementos de análise.

Foram identificadas, na área de estudo, sessenta e oito unidades ou geoformas, assim distribuídas:

- 2 unidades na província Planalto, sendo as duas em zona correspondente ao Complexo Embu, que compreende rochas metassedimentares, xistos e gnaisses.

- 63 unidades na província Serrania, sendo três em zona do Complexo Embu, 13

associadas a zona do Grupo Areado, constituído por granitóides, 18 unidades na zona de migmatitos e gnaisses do Complexo Costeiro, 27 na zona do Complexo Itatins, constituído por migmatitos e gnaisses, uma em zona de sedimentos inconsolidados/colúvio e uma de sedimentos aluviais.

- 3 unidades na província Litorânea, uma de sedimentos flúvio-marinheiros, uma em zona de sedimentos inconsolidados/colúvio e outra de sedimentos mistos.

4.2. Caracterização Geotécnica

As propriedades geotécnicas utilizadas para a caracterização dos terrenos e sua relação com as propriedades descritas na imagem, com o apoio de cartas topográficas e calibradas por trabalhos de campo, são descritas no Quadro 2.

Quadro 2. Propriedades geotécnicas utilizadas e sua relação com as propriedades da imagem.

| Propriedade | Forma de inferência | Classes definidas | | Identificação da classe |
|--|--|--|-------|--|
| Permeabilidade | Associada à densidade de drenagem observada nas imagens, segundo Soares & Fiori (1976). | Áreas sedimentares ou detríticas - inversamente proporcional à densidade de drenagem | Alta | Baixa densidade de drenagem |
| | | | Média | Média densidade de drenagem |
| | | | Baixa | Alta densidade de drenagem |
| | | Áreas cristalinas - diretamente proporcional à densidade de drenagem | Alta | Alta densidade de drenagem |
| | | | Média | Média densidade de drenagem |
| | | | Baixa | Baixa densidade de drenagem |
| Declividade | Relacionada à distância entre curvas de nível observada nas cartas topográficas. | Alta | | Pequena distância entre curvas |
| | | Média | | Média distância entre curvas |
| | | Baixa | | Grande distância entre curvas |
| Profundidade do perfil de intemperismo | Descrita em campo e inferida nas áreas não visitadas através das formas de encosta e formas e extensão de topo obtidas da observação da imagem e apoiadas pelas cartas topográficas. | Profundo | | Encostas e topos convexos, de maior extensão |
| | | Médio | | Encostas côncavas, topos convexos, de menor extensão |
| | | Raso | | Encostas retilíneas, topos agudos e restritos |
| | | | | |
| Alterabilidade | Inferida através da forma dos topos e das encostas, com base em Soares & Fiori (1976). | Alta | | Topos e encostas convexos |
| | | Média | | Topos convexos, encostas côncavas |
| | | Baixa | | Topos angulosos, encostas retilíneas |

Com relação ao perfil de alteração, foram identificados, quando possível, três horizontes diferentes designados: solo superficial, solo residual e saprolito. Procurou-se descrever as princi-

pais características de cada horizonte de alteração e foram definidas classes para cada característica (Quadro 3).

Quadro 3. Características levantadas em campo dos perfis de alteração e suas classificações.

| Elemento | Características |
|-----------------------------------|--|
| Textura | Argila; silte; areia; argila siltosa; argila arenosa; silte argiloso; silte arenoso; areia argilosa; areia siltosa e outros |
| Espessura | Intervalos obtidos por estimativa visual ou medida com trena |
| Varição textural | Argila (<0,0002mm); silte (0,0002 a 0,075mm); areia fina (0,075 a 0,42mm); areia média (0,42 a 2,0mm); areia grossa (2,0 a 4,8mm) e pedregulho (4,8 a 76,2) |
| Intercalações | Lente; camada; linha de seixos; fragmentos dispersos; crostas limoníticas; nódulos argiloso e outros |
| Cor | Marrom, roxo, vermelho, amarelo, laranja, verde, cinza, preto, branco, variegado, azul e outras |
| Compacidade / consistência | Muito mole: <i>Standard Penetration Test</i> - SPT < 2 (quando prensada pela mão, o material sai por entre os dedos); Mole: SPT de 3 a 5 (amassável por ligeira pressão dos dedos); Média: de 6 a 10 (amassável por pressão considerável dos dedos); Rijo: SPT de 11 a 19 (penetrável pela unha); Duro: SPT > 19 (dificilmente penetrável pela unha) |
| Estruturas | Maciça; laminar; prismática; colunar; em blocos; granular |
| Contato inferior | Abrupto, claro, gradual e difuso |

Os levantamentos realizados em campo permitiram associar a relação existente entre a profundidade do perfil de alteração e as forma da encosta e topo das unidades, bem com da extensão dos topos. Observou-se, através das análises de campo, que as maiores profundidades do perfil de intemperismo estavam associadas às encostas convexas e com topos convexos, en-

quanto as menores estavam associadas a encostas retilíneas e topos agudos.

O Quadro 4 mostra, como exemplo, algumas Unidades Básicas de Compartimentação, com as inferências quanto às suas propriedades geotécnicas. A simbologia adotada se refere aos níveis taxonômicos adotados para a compartimentação.

Quadro 4. Propriedades geotécnicas inferidas para as unidades básicas de compartimentação (UBCs) em pequeno trecho da área.

| UBC | Permeabilidade | Declividade | Profundidade do manto de alteração | Grau de alterabilidade |
|------------------|----------------|-------------|------------------------------------|------------------------|
| PXC ₁ | Baixa | Baixa | Profundo | Alto |
| PXC ₂ | Baixa | Baixa | Profundo | Alto |
| SXE ₁ | Baixa | Alta | Raso | Baixo |
| SXE ₂ | Muito baixa | Alta | Raso | Baixo |
| SXC ₁ | Baixa | Alta | Profundo | Alto |

5. Conclusões

O procedimento de compartimentação do terreno a partir de unidades homogêneas mostra-se de fácil elaboração, com a ajuda integrada de produtos de sensoriamento remoto e de um mapa topográfico.

Uma vez determinados, os compartimentos tornam-se objetos concretos para obtenção de zoneamentos geotécnicos aplicados a estudos ambientais, em escalas variadas e com objetivos diversos, já que cada unidade é composta por

uma área física definida, constituindo uma unidade cartográfica com propriedades e características intrínsecas, que fazem dela uma unidade geotécnica. Estas unidades tornam-se também células para armazenamento de informações em SIG, permitindo posteriores consultas voltadas às mais diversas aplicações.

A metodologia empregada neste trabalho é facilmente reproduzível, podendo ser aplicada a qualquer outra área de estudo, e é especialmente interessante para regiões onde não há mapas básicos, ou onde os mapas básicos têm escalas

dísparos e muitas vezes inapropriadas ao detalhamento pretendido, o que impossibilita o estabelecimento de zonas homogêneas através do tradicional cruzamento de informações de diferentes temas.

Referências

- Almeida, F. F. M. 1964. Fundamentos geológicos do relevo paulista. *Boletim do Instituto de Geografia e Geologia*, 41: 169-263.
- Araujo, P.C.; Riedel, P.S.; Brollo, M.J.; Vedovello, R. 2000. Escolha de áreas para disposição de resíduos através do modelo determinístico em sistemas de informação geográfica. *Geociências*, 19 (1): 87-95.
- Bastos, C.A.B.; Valente, A.L.S.; Stridler, A.; Buffon, S.A.; Stumpf, L.; Quadros, T.F.P.; Bica, A.V.B.; Bressani, L.A. 2004. Mapeamento geotécnico com subsídio ao monitoramento e previsão de riscos geotécnicos e ambientais em obra de tubulação de gás natural. In: Pejon, O. & Zuquete, L.V. (Eds.) *Cartografia Geotécnica e Geoambiental: conhecimento do meio físico: base para a sustentabilidade*. São Carlos, ABGE/UFSCAR, p. 91-98.
- Brollo, M.J.; Vedovello, R.; Silva, P. C. F.; Holl, M.C.; Gutjhar, M.R.; Iritani, M.A.; Hassuda, S. 1998. Seleção Preliminar de Áreas para Disposição de Resíduos na Região Metropolitana de Campinas, SP In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA, 3., 1998, Florianópolis. *Anais...* Florianópolis, ABGE. (CDROM), 6p.
- Cecarelli, M.J.; Vedovello, R.; Mattos, J.T.; Alves, C.A.S. 1994. Avaliação geotécnica para definição do traçado do mineroduto Rio Capim-Murucupi. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 38., 1994, Balneário de Camboriú. *Boletim de Resumos Expandidos...* Balneário de Camboriú, SBG, v.1, p.22-23.
- Giannini, P. C. F. 1987. *Sedimentação quaternária na planície costeira de Peruíbe - Itanhaém*. São Paulo, 116p. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- IPT. Instituto de Pesquisas Tecnológicas. 1981a. *Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo*. São Paulo, Secretaria da Indústria, Comércio, Ciência e Tecnologia, 2 v., escala 1:1.000.000.
- IPT. Instituto de Pesquisas Tecnológicas. 1981b. *Mapa geológico do Estado de São Paulo*. São Paulo, Secretaria da Indústria, Comércio, Ciência e Tecnologia, 2 v., escala 1:500.000.
- Lollo, J.A. 1998. Caracterização Geotécnica da Área de Expansão Urbana de Ilha Solteira (SP) com o uso de Formas de Relevo. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA, 3., 1998, Florianópolis. *Anais...* Florianópolis, ABGE. (CDROM), 6p.
- Marques, G.N.; Zuquete, L.V. 2004. Aplicação da técnica AHP para seleção de áreas para aterros sanitários - Região de Araraquara (SP), Brasil. In: Pejon, O. & Zuquete, L.V. (Eds.) *Cartografia Geotécnica e Geoambiental: conhecimento do meio físico: base para a sustentabilidade*. São Carlos, ABGE/UFSCAR, p.263-272.
- Mattos, J.T.; Jimenez Rueda, J.R. 1991. A Serra do Mar e seus estágios imtempéricos avaliados por dados geopedológicos e de Sensoriamento Remoto. In: SIMPÓSIO LATINOAMERICANO DE PERCEPCION REMOTA, 5., 1991, Cuzco. *Anais...* Cuzco, SELPER. (CDROM), 8p.
- Okida, R. 1996. *Técnicas de sensoriamento remoto como subsídio ao zoneamento de áreas sujeitas a movimentos gravitacionais de massa e a inundações*. São José dos Campos, 147p. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-graduação em Sensoriamento Remoto, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, INPE. (INPE-6343-TDI/595).
- Oliveira, W. J.; Mattos, J.T.; Jimenez Rueda, J.R. 1989. Contribuição para o mapeamento geológico da Região sudeste do estado de Rondônia através de uma sistemática de estudos usando dados de satélite. In: SIMPÓSIO LATINOAMERICANO DE PERCEPCION REMOTA, 4., 1989. Bariloche. *Anais...* Bariloche, SELPER, v.2, p.543-552.
- Parizi, C.C. & Diniz, N.C. 2004. Metodologia para avaliação de áreas para a implantação de habitação de interesse social. In: Pejon, O. & Zuquete, L.V. (Eds.) *Cartografia Geotécnica e Geoambiental: conhecimento do meio físico: base para a sustentabilidade*. São Carlos, ABGE/UFSCAR, p. 57-62.
- Passarelli, C. R. 2001. *Caracterização estrutural e geocronológica dos domínios tectônicos da porção sul-oriental do Estado de São Paulo*. São Paulo, 254p. Tese de Doutorado, Programa de Pós-graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- Ramalho, R. 1982. *Projeto planejamento mineral na ocupação do solo em área de atuação da SUDELPA - Anexo I Geomorfologia*. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, CPRM, v. 2, 59p.
- Riedel, P.S. 1988. *Estudo das coberturas de alteração de parte do centro leste paulista através de dados de sensoriamento remoto*. São José dos Campos, 109p. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-graduação em Sensoriamento Remoto, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, INPE. (INPE-4849-TDL/364). Romão, Patrícia de Araújo; Souza, N. M. 2004. *Informações morfométricas na compartimentação do terreno - Goiânia (GO)*. In: 5º. Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental, 2004, São Carlos. *Cartografia Geotécnica e Geoambiental - Conhecimento do meio físico: base para a sustentabilidade*. São Paulo : ABGE - Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental, 2004. V. 1 p. 41-50.
- Silva, A. T. S. F.; Chiodi Filho, C.; Chiodi, D. K.; Pinho Filho, W. D. 1977. Projeto Santos - Iguape - Relatório

- final geologia. Brasília, Ministério das Minas e Energia, DNPM - CPRM, v. 1.
- Soares, P. C & Fiori, A. P. 1976. Lógica e sistemática na análise e interpretação de fotografias aéreas em geologia. *Notícias Geomorfológicas*, 6(32): 71-104.
- Vedovello, R. 1993. *Zoneamento geotécnico, por sensoriamento remoto, para estudos de planejamento do meio físico - aplicação em expansão urbana*. São José dos Campos, 88 p. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-graduação em Sensoriamento Remoto, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, INPE.
- Vedovello, R. 2000. *Zoneamentos geotécnicos aplicados à gestão ambiental, a partir de unidades básicas de compartimentação UBCs*. Rio Claro, 154p. Tese de Doutorado, Programa de Pós-graduação em Geociências e Meio Ambiente, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista (UNESP).
- Vedovello, R. & Mattos, J.T. 1998. A Utilização de Unidades Básicas de Compartimentação (UBCs) como base para a definição de unidades geotécnicas. Uma abordagem a partir de sensoriamento remoto. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA*, 3, 1998, Florianópolis. *Anais...* Florianópolis, ABGE. (CDROM), 6p.
- Vedovello, R.; Brollo, M.J.; Tominaga, L.K.; Riedel, P.S.; Cardoso, D.; Terrell, D. 2002. Compartimentação fisiográfica do litoral norte do estado de São Paulo voltada para a avaliação de terrenos. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL*, 10., 2002, Ouro Preto. *Anais...* Ouro Preto: ABGE. (CD-ROM). 10p.
- Veneziani, P. & Anjos, C. E. 1982. *Metodologia de interpretação de dados de sensoriamento remoto e aplicações em geologia*. São José dos Campos, INPE, 61p. (INPE - 2227 - MD041).