EMPREGO DA COMPARTIMENTAÇÃO FISIOGRÁFICA NA SELEÇÃO DE ÁREAS-ALVO A PROCESSOS DE CORRIDAS DE MASSA: APLICAÇÃO NA ÁREA SERRANA DO LITORAL NORTE DE SÃO PAULO

EMPLOYMENT OF PHYSIOGRAPHIC COMPARTMENT IN THE SELECTION OF TARGET AREAS FOR MASS RACING PROCESSES: APPLICATION IN THE SERRANA AREA OF THE NORTHERN SÃO PAULO COAST

CLAUDIA VANESSA DOS SANTOS CORRÊA
Pós-graduação em Geociências e Meio Ambiente, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", claudiageobrax@yahoo.com.br

FÁBIO AUGUSTO GOMES VIEIRA REIS
Geólogo e Eng. Civil, Prof. Dr. Departamento de Geologia Aplicada, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", fabioreis@rc.unesp.br

BEATRIZ MARQUES GABELINI
Pós-graduação em Geociências e Meio Ambiente, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho"

LUCÍLIA DO CARMO GIORDANO
Ecóloga e Eng. Ambiental, Doutora em Geociências e Meio Ambiente, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", lcg@ecogeologia.com.br

CAMILA JARDINETTI CHAVES
Pós-graduação em Geociências e Meio Ambiente, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho"

ANA MARIA CARRASCOSA DO AMARAL
Pós-graduação em Geociências e Meio Ambiente, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho"

MARINA MENDES COURA
Graduação em Geologia, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", marina.mcoura@gmail.com

RODRIGO IRINEU CERRI
Pós-graduação em Geociências e Meio Ambiente, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho"

FLÁVIA BEATRIZ DEMARCHI
Graduação em Geologia, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho",

GABRIELA HERNADES VILLANI
Graduação em Geologia, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho"

RAFAELA BRESSAN
Graduação em Geologia, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho",

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi de realizar a compartimentação fisiográfica das bacias hidrográficas Juqueriquerê, Santo Antônio e São Francisco, nos municípios de Caraguatatuba e São Sebastião (SP), com finalidade de identificar locais com maior vulnerabilidade a corridas de massa. Foi empregado o método proposto por Zaine (2011), com subsídio de bases cartográficas em escala 1:50.000, mapas geológicos em escala 1:50.000 e ortofotos com resolução 1:10.000, além de estudos de retro-análise dos eventos que já ocorreram no local. Foram delimitadas unidades fisiográficas nas planícies fluviais e flúvio-marinhas; nos locais com depósitos de colúvio e de tálus, nos granitoides em morros isolados, nos granitoides e gnaisses-migmatitos associados às médias e baixas encostas de serra e nas áreas de topo com predominância de granitoides e a gnaisses migmatitos. A vulnerabilidade a corridas de massa é maior em encostas retilíneas a convexas, com valores de declividade superiores a 30º.

Palavras-chave: Compartimentação fisiográfica, corridas de massa, fotointerpretação

ABSTRACT

The objective of this study was to perform the physiographic compartmentalization of Juqueriquerê, San Antonio and San Francisco watershed, in the municipalities of Caraguatatuba and São Sebastião (SP), with the purpose of identifying areas with greater vulnerability to flow. It used the method proposed by Zaine (2011), with allowance cartographic bases in scale 1: 50,000 geological maps at 1: 50,000 and orthophotos with resolution 1: 10,000, and retro-analysis of event studies that have already occurred in local. Physiographic units were delimited in fluvial and fluvial-marine plains; in places with deposits of colluvium and talus in granitoids in isolated hills in granitoids and gneisses, migmatites associated with the middle and lower mountain slopes and on top of areas with a predominance of granitic gneisses and migmatites. The vulnerability of flow is greater in the convex and straight slopes with slope values greater than 30º.

Keywords: Physiographic compartmentalization, flows, photointerpretation

1 INTRODUÇÃO

Uma das maneiras de estudar os elementos que compõe o meio físico é por meio da compartimentação fisiográfica, que segundo Oliveira et. al (2007), consiste na divisão de uma determinada região em áreas que apresentem, internamente, características fisiográficas homogêneas e distintas das áreas adjacentes. Desta maneira, podem ser efetuadas inferências sobre as propriedades do meio e estabelecidas as suas decorrentes potencialidades e limitações (OLIVEIRA et. al, 2007).

A compartimentação é efetuada pela análise dos elementos componentes do meio físico, que podem ser de natureza geológica ou geomorfológica, e da identificação de aspectos locais desses elementos, ou seja, das suas formas de ocorrência (VEDOVELLO; MATTOS, 1993; 1998). Zaine (2011), Silva et. al (2010) e Cardoso et. al (2009) salientam que para a compartimentação ser realizada deve ter como referência, principalmente, as propriedades texturais (relevo, forma e estrutura de drenagem) do meio analisado.

As etapas de realização da compartimentação fisiográfica envolvem a aplicação de técnicas de sensoriamento remoto a partir do método lógico de interpretação de imagens, desenvolvido por Veneziani e Anjos (1982), no qual a extração de dados e análise das imagens é baseada nos elementos da rede de drenagem e do relevo. Neste método os estudos de textura, forma e estrutura das feições seguem as etapas de fotoleitura, fotoanálise e fotointerpretação. Segundo Soares e Fiori (1976), a etapa de fotoleitura compreende o reconhecimento dos elementos de textura de interesse na imagem; a fotoanálise, por sua vez, faz a associação e ordenação das partes da imagem analisada e a fotointerpretação trata da análise da imagem visando à descoberta e avaliação, por métodos indutivos, dedutivos e comparativos do significado, função e relação dos objetos correspondentes às imagens (SOARES; FIORI, 1976).

Uma vez que reúne características fisiográficas de uma paisagem, o método de compartimentação fisiográfica pode indicar locais que possuam maior susceptibilidade à ocorrência a

processos geológicos, como as corridas de massa (*flow*). Segundo Gramani (2001), as principais condições para a deflagração destes eventos são: fonte abundante de partículas e detritos de solos e/ou rocha inconsolidados; presença de encostas íngremes (geralmente acima de 25°); grande fluxo de água atingindo os materiais suscetíveis a escorregamentos (hidrodinâmica: chuvas, degelo, rompimento de lagos, outros) e vegetação esparsa (GRAMANI, 2001). Ademais, outros parâmetros morfométricos e geotécnicos também influenciam na ocorrência destes fenômenos, tais como morfologia das bacias, forma dos vales, densidade de drenagem, permeabilidade intergranular e profundidade do manto de alteração (GRAMANI, 2001).

Nesse sentido, o objetivo deste trabalho é de realizar a compartimentação fisiográfica preliminar das áreas abrangidas pelas bacias hidrográficas do Rio Santo Antônio, do Rio Juqueriquerê e do Rio São Francisco, localizadas nos municípios de Caraguatatuba e São Sebastião (SP), com a finalidade de identificar áreas-alvo propícias a processos de corridas de massa.

2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo compreende às bacias hidrográficas do Rio Santo Antônio, do Rio Juqueriquerê e do Rio São Francisco, localizadas nos municípios de Caraguatatuba e São Sebastião (SP), no contexto geomorfológico do Planalto Atlântico e da Província Costeira (Figura 1). A Província Costeira é dividida por Almeida (1964) em Serranias Costeiras e Zona da Baixada Litorânea. As planícies possuem ocorrência restrita distribuídas por um litoral bastante recortado, onde são frequentes as enseadas e praias. A costa é abruptamente interceptada pela borda oriental do Planalto Atlântico com ocorrência de pontões rochosos perpendiculares à direção geral desta estrutura, os quais favorecem a formação de baías.

Segundo o mesmo autor, a ação dos movimentos neotectônicos, representada pelos movimentos de blocos de falhas, é responsável pelo desenvolvimento de *rifts* e soerguimento da Serra do Mar e Mantiqueira. Esses movimentos ocorreram basicamente ao longo de antigas linhas de fraqueza do Pré-cambriano, com direção predominante leste-nordeste determinando a linha de costa atual. Esta área encontra-se totalmente inserida no Embasamento Cristalino em trecho do cinturão de cisalhamento transcorrente Paraíba do Sul.

Com relação à litologia da região serrana, destaca-se a ocorrência de rochas polimetamórficas de idade arqueana (migmatitos, gnaisses, granito-gnaisses, biotita gnaisses), granitóides foliados do proterozóico superior, rochas cataclásticas cambro-ordivicianas e intrusões básicas localizadas, de idade mesozóica (geralmente na forma de diques).

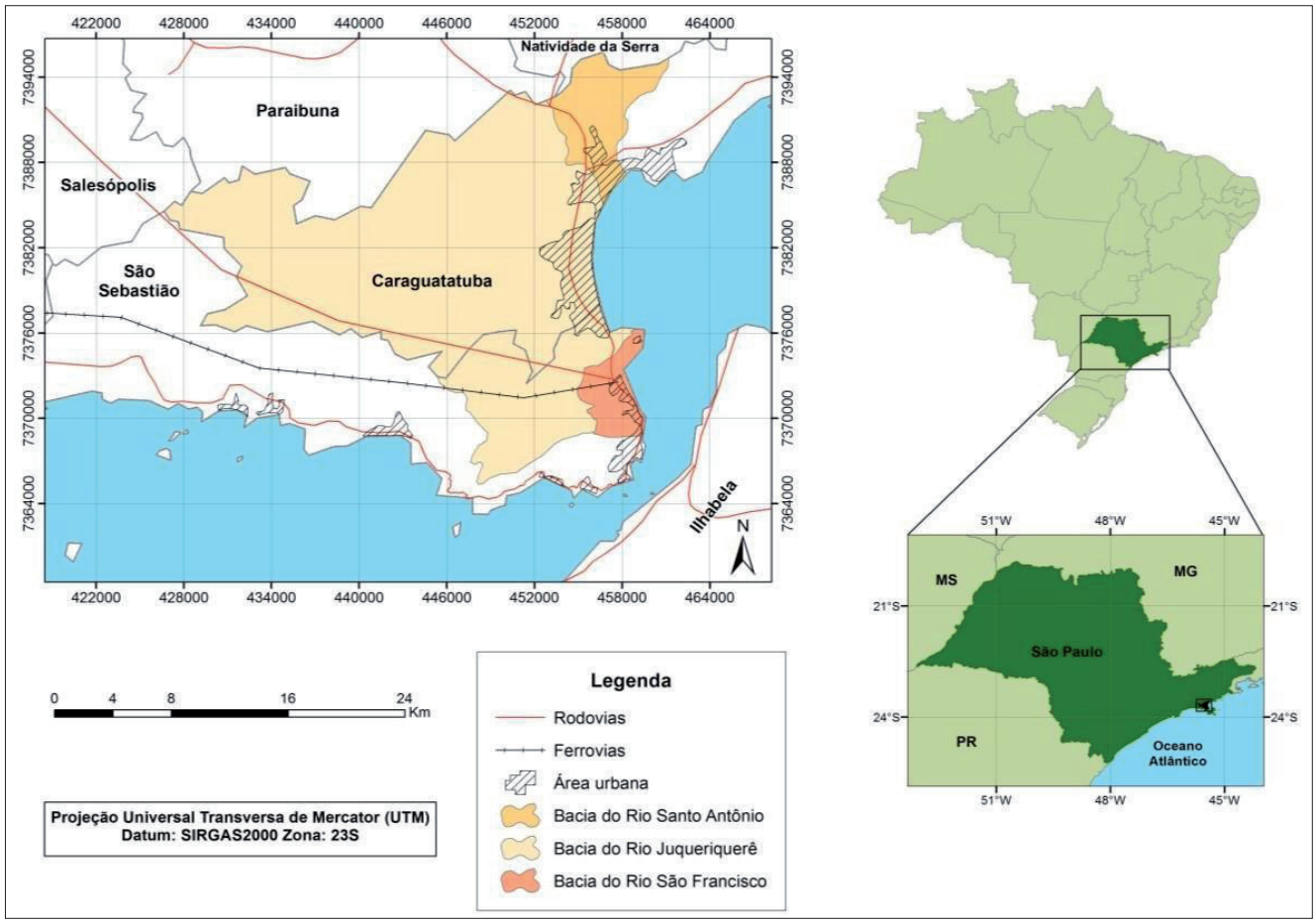

Figura 1 – Localização das bacias hidrográficas alvo de estudo

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Materiais

Para a elaboração do presente trabalho foram utilizados os seguintes materiais: cartas topográficas em escala 1:50.000 do IBGE das folhas Maresias (SF-23-Y-D-V-4) Caraguatatuba (SF-23-Y-D-VI-1), Pico do Papagaio (SF-23-Y-D-V-2), e São Sebastião (SF-23-Y-D-VI-3) (IBGE, 1973; 1974a; 1974b; 1975), mapas geológicos em escala 1:50.000 da folha Caraguatatuba (SF- 23-Y-D-VI-1), Pico do Papagaio (SF-23-Y-D--V-2) (CPRM, 1982; CPRM, 1991) e do município de São Sebastião (IG, 1996), ortofotos em escala 1:10.000 da Emplasa e levantamento bibliográfico dos processos de corrida de massa que já ocorreram na área.

3.2 Métodos

De modo a subsidiar a elaboração da compartimentação fisiográfica, primeiramente foram gerados os mapas de declividade, hipsometria, hidrografia e geologia da área de estudo. Para tal, foram dispensadas técnicas de geoprocessamento no *software Arcgis 10.2.2* nas curvas de nível em escala 1:50.000 (com equidistância de 20 metros) através dos comandos *Create Tin* e *Slope*, ambos pela ferramenta *3D Analyst*. Ademais, as ortofotos em escala 1:10.000, fornecidas pela EMPLASA, foram georreferenciadas e mosaicadas no mesmo programa.

A realização da compartimentação fisiográfica seguiu as recomendações da interpretação pelo método lógico (GUY, 1966; SOARES; FIORI, 1976; ZAINE, 2011), que segundo Vedovello (2000) é passível de repetição por outros intérpretes ou aplicação em outras áreas de maneira similar.

Nesse sentido, o presente trabalho seguiu as etapas de fotoleitura, fotoanálise e fotointerpretação, propostas por Soares e Fiori (1976).

A etapa de fotoleitura se baseou na identificação das técnicas e processos de obtenção da imagem orbital de sensoriamento remoto, como a resolução espacial, resolução espectral e outras características pertinentes a essa fase.

Para a fotoanálise, primeiramente a área foi dividida em relação aos aspectos geológicos, considerando as diferentes litologias encontradas na área de estudo. Posteriormente, as análises da forma, textura, estrutura dos elementos do relevo e da drenagem foram considerados referenciais para a delimitação dos diferentes compartimentos, a partir da utilização dos mapas hipsométricos, de declividade e hidrográfico. Assim, esta etapa seguiu as proposições do quadro de análise fotogeológica, elaborado por Zaine (2011).

A fotointerpretação, por sua vez, se baseou na assimilação dos resultados obtidos pela fotoanálise, identificando o significado das formas e características das unidades delimitadas no contexto de sua função para o ambiente.

A caracterização geológico-geotécnica foi baseada nos resultados da interpretação das imagens pelas etapas anteriores e pelo trabalho de campo. Assim, as análises realizadas nessa fase seguiram as orientações dos itens "Aplicações", "Análise de densidade textural" e "Análise das formas e características do relevo" propostos por Zaine (2011).

Em relação aos estudos de retro-análise, foram identificadas com o auxílio das ortofotos da Emplasa as possíveis evidências de movimentos de massa que ocorreram no local. Posteriormente a sua delimitação, foram investigadas, através dos levantamentos bibliográficos realizados, as características geológicas-geomorfológicas dos locais nos quais esses eventos ocorreram (CORRÊA et. al, 2015).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Foram identificadas na área de estudo 17 unidades fisiográficas distribuídas ao longo da Província Costeira e do Planalto Atlântico, com diferentes contextos geológicos (Figura 2).

As unidades fisiográficas 2, 4, 5, 6, 7, 9 possuem alta densidade textural, e, portanto, alta densidade de drenagem e de relevo. Nestas, de maneira geral, os vales são fechados, a amplitude local é média a alta, bem como os valores de declividade, as encostas variam de convexas a retilíneas e a forma dos topos varia de arredondada a angulosa. Em relação às características geológico-geotécnicas, nestas unidades a permeabilidade intergranular varia de média para baixa, a relação escoamento superficial pela infiltração é média, bem como a profundidade do manto de alteração e o topo rochoso varia de raso a sub aflorante. Nestes locais foram encontradas inúmeras evidências de ocorrência de movimentos de massa, através da identificação visual e mapeamento das cicatrizes. Nesse sentido, a etapa de fotointerpretação revelou que para estas unidades a potencialidade a corridas de massa pode variar de média a alta, devido à morfologia das bacias hidrográficas e a densidade de drenagem. Cabe ressaltar que movimentos de massa desta classe desenvolvem-se principalmente ao longo dos canais de drenagem de primeira à terceira ordem, com valores de inclinação do talvegue elevados. Nesse sentido, apesar de possuir baixos valores de densidade textural, a unidade fisiográfica 1, denominada de planícies aluviais restritas, é caracterizada como uma região com alta probabilidade de ocorrência de corridas de massa, devido à inclinação do talvegue e sua inserção em bacias com formato mais circular e fechado, possibilitando a hiperconcentração dos fluxos e favorecendo o escoamento superficial rápido de detritos. As unidades 2, 4, 5, 6, 7 e 9 abrangem principalmente morfologias de relevo serrano a escarpado e litologias que variam de gnaisses- migmatíticas a granitos.

As unidades 3, 10 e 11 possuem médios valores de densidade textural. Nesse sentido, observa-se nestes locais médias amplitudes locais, baixos a médios valores de declividade e forma de encostas que pode variar de côncava a convexa. Ademais, os topos são, em sua maioria, arredondados e podem ser encontrados vales abertos a fechados.

Em relação às características geológico-geotécnicas, o manto de alteração nestes locais é médio, a profundidade do topo rochoso é intermediária e o potencial a escorregamentos e corridas de massa varia de baixo a médio. Cabe destacar que a unidade 11 é representada pelas rampas de colúvios e tálus e sua potencialidade a corridas de massa é alta.

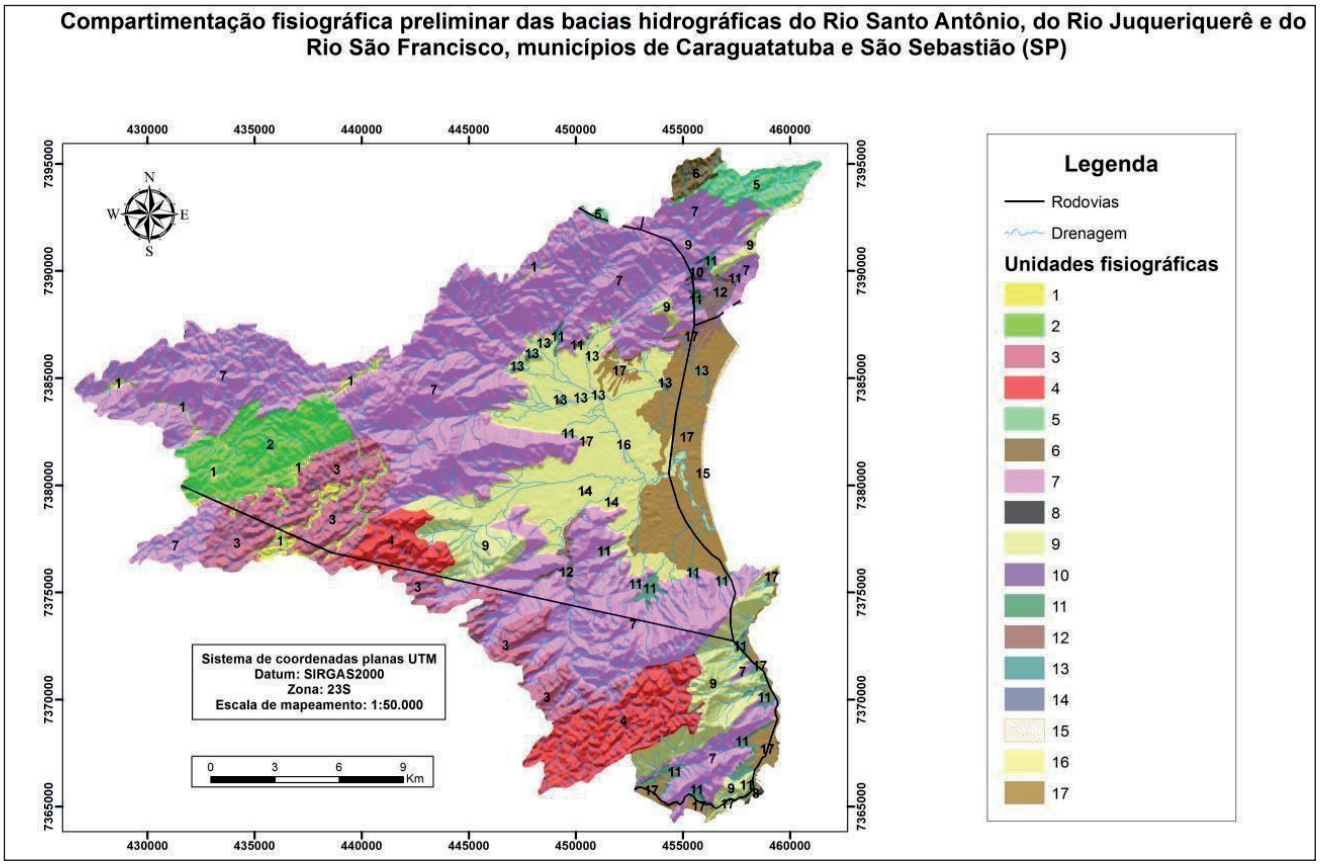

Figura 2 – Compartimentação fisiográfica da área de estudo

As unidades com baixa densidade textural estão concentradas principalmente na Província Costeira e sua principal característica é a baixa densidade de drenagem e ausência de estruturas geológicas orientadas. Nesse sentido, as unidades 8, 12, 13, 14, 15, 16 e 17, indicadas por modelados "planície costeira", "planície aluvial", "praial" e "colinas isoladas" possuem baixa probabilidade à ocorrência de corridas de massa em seu interior. Entretanto, cabe ressaltar que as corridas de massa, de acordo com Gramani (2001), possuem um grande raio de alcance, mesmo em áreas planas. Pela retro-análise, foi possível observar que a grande corrida de massa que ocorreu em 1967 em Caraguatatuba (SP), na bacia hidrográfica do Rio Santo Antônio, embora tenha sido originada à montante da planície costeira, a atingiu com grande força destrutiva.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As unidades fisiográficas 9, 11 e 12 possuem maior potencialidade à ocorrência de processos de corrida de massa devido aos seus valores de densidade textural (grande densidade de drenagem, grande densidade de relevo, altos valores de amplitudes locais e de declividade, forma de encostas que variam de convexa a retilínea e estruturas geológicas muito orientadas). Entretanto, cabe ressaltar que a unidade fisiográfica 1 também é enquadrada como uma região alvo à ocorrência destes fenômenos, devido à forma das bacias hidrográficas na qual está inserida e à inclinação do talvegue dos seus canais de drenagem. Futuramente, com a finalidade de determinar o raio de alcance de possíveis corridas de massa no local, serão empregadas modelagens numéricas na área a partir de softwares de simulação 3D, como o *RAMMS* e o *FLO- 2D*.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Agência Nacional de Petróleo (ANP) pelo fomento à pesquisa e à bolsa de pesquisa concedida. O trabalho foi desenvolvido no âmbito do Programa de Formação de Recursos Humanos em Geologia e Ciências Ambientais aplicadas ao Petróleo da UNESP - PRH 05, com apoio do PRH/ANP.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, F.F.M. Fundamentos Geológicos do Relevo Paulista. **Boletim do Instituto de Geografia e Geologia**, São Paulo, n. 41, p. 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**, v. 3, n. 36, p. 251-262, 2009.

CORRÊA, C.V.S.; REIS, F.A.G.V.; AMARAL, A.M.C.; COURA, M.M.; GIORDANO, L.C.; CHAVES,

C.J. Caracterização geológico-geomorfológica dos principais movimentos de massa na região sudeste do Brasil entre os anos de 1967 e 2011 como subsídio a estudos de retroanálise. In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental, 15, Bento Gonçalves, 2015. **Anais...** Bento Gonçalves: ABGE, 2015.

CPRM - COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. **Mapa geológico da folha Caraguatatuba**. SF-23-Y-D-VI-1. São Paulo: CPRM, 1982. Escala 1:50.000.

CPRM - COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. **Mapa geológico da folha Pico do Papagaio**. SF-23-Y-D-V-2. São Paulo: CPRM, 1991. Escala 1:50.000.

GRAMANI, M.F. **Caracterização geológica-geotécnica das corridas de detritos ("Debris Flows") no Brasil e comparação com alguns casos internacionais**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Solos), EPUSP - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2001. 372 p.

GUY, M. Quelques principes et quelques expériences sur la methodologie de la photointerpretation. In: Symp. Intern. Photo-Interpretation, 2. Paris, **Acte...** 21-41. 1966.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Folha de Maresias**. São Paulo: IBGE, 1973. SF-23-Y-D-V-4. Escala 1:50.000.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Folha de Caraguatatuba**. São Paulo: IBGE, 1974a. SF-23-Y-D-VI-1. Escala 1:50.000.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Folha do Pico do Papagaio**. São Paulo: IBGE, 1974b. SF-23-Y-D-V-2. Escala 1:50.000.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Folha de São Sebastião**. São Paulo: IBGE, 1975. SF-23-Y-D-VI-3. Escala 1:50.000.

IG – INSTITUTO GEOLÓGICO DO ESTADO DE SÃO PAULO. Mapa geológico do município de São Sebastião. São Paulo: IG, 1996. Escala 1:50.000.

OLIVEIRA, T. A. RIEDEL, P. S.; VEDOVELLO, R.; SOUZA, C. R. G.; BROLLO, M. J. Utilização de

técnicas de fotointerpretação na compartimentação fisiográfica do município de Cananéia, SP – apoio ao planejamento territorial e urbano. **Geociências**, UNESP, São Paulo, v. 26, n, 1, p. 55-65. 2007.

SILVA, P. C. F.; 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**, v. 61, n. 8, p. 1657-1675, 2010.

SOARES, P. C.; FIORI, A. P. Lógica e sistemática na análise e interpretação de fotografias aéreas em geologia. **Notícia Geomorfológica**, v. 16, n. 32, p. 71–104, Dez. 1976.

VEDOVELLO, R. **Zoneamentos Geotécnicos Aplicados à Gestão Ambiental, a partir de Unidades Básicas de Compartimentação – UBCs**. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente), Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2000.

VEDOVELLO, R.; MATTOS, J. T. de Zoneamento Geotécnico por Sensoriamento Remoto para estudos de Planejamento do Meio Físico: aplicação em expansão urbana. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 7, 1993, Curitiba. **Anais...** Curitiba, 1993. p. 155-162.

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. In: Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica, 1998, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: ABGE,1998.

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

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), Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Rio Claro, 2011.