

FACETAS TRIANGULARES E RISCOS GEOLÓGICOS: EXEMPLO DE ESTUDO NA SERRA DO MAR NA REGIÃO DE CUBATÃO (SP), BRASIL

Rogério Rodrigues Ribeiro¹; Célia Regina de Gouveia Souza²; Kenitiro Suguio³; Agenor Pereira Souza⁴.

¹ *Mestrando em Geologia Sedimentar. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.*

Rua do Lago, 562. 05508-080. São Paulo-SP, Brasil. Tel: +55 11 5011-2265. rribeiro@mailcity.com

² *Pesquisadora Científica Dra. Instituto Geológico-SMA/SP. Av. Miguel Stéfano, 3900. 04301-903. São Paulo-SP, Brasil. Tel: +55 11 5077-2160. celia@igeologico.sp.gov.br*

³ *Prof. Dr. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. Rua do Lago, 562. 05508-080. São Paulo-SP, Brasil. kenitirosuguio@hotmail.com*

Mestre em Geologia Estrutural. Consultor. Rua Pantaleão Brás, 40/306B. 05372-080. São Paulo-SP, Brasil. crgs@warp.com.br

RESUMO

A localização do município de Cubatão, no sopé das vertentes da Serra do Mar, torna-o fortemente vulnerável e suscetível à ocorrência de riscos geológicos. A área de estudo compreende um segmento da Serra do Mar que delimita o setor setentrional do município de Cubatão e engloba as bacias dos rios Cubatão e Moji. Este trabalho tem como objetivo apresentar alguns resultados que mostram a relação entre a ocorrência de processos erosivos de encosta e a morfotectônica da área, esta última através do estudo de famílias de facetas triangulares. Ocorrem sete gerações de facetas de direções: NE (1ª), NW (2ª), NNE (3ª), NWW (4ª), NS (5ª), NE (6ª) e NW (7ª). Cada geração apresenta famílias de facetas paralelas dispostas em degraus escalonados. A origem dessas facetas parece ser produto da instalação de mini-grábens, responsáveis pela implantação dos sistemas fluviais da área. Os processos erosivos concentram-se, em sua maioria, nas sub-bacias cujos rios principais e as famílias de facetas instaladas em suas vertentes têm orientações NW e NS. Os resultados desta pesquisa irão subsidiar diversos instrumentos de políticas públicas em atividade, a exemplo do Plano Preventivo de Defesa Civil para Escorregamentos na Serra do Mar e do Plano Emergencial de Cubatão.

ABSTRACT

Cubatão municipality is prone to geological hazards and risks, due to the fact that it is located at downslope of the Serra do Mar Escarpment. Study area is a short segment of the Serra do Mar Escarpment (setentrional municipality border) that includes Cubatão and Moji drainage basins. This paper presents some results showing the relationship between slope erosional processes and morphotectonics in the study area, this one based on the study of triangular facets. Seven types of facets generations have been mapped: NE (1st), NW (2nd), NNE (3rd), NWW (4th), NS (5th), NE (6th) e NW (7th). Each generation also presents families of facets with a parallel and steplike arrangement (en echelon). The origin of these facets appears to be the result of small-grabens installation, which have been responsible for the fluvial systems development in the region. Erosional processes occur mainly where the main drainage channel and the facets families are NW and NS oriented. Results of this research would support several public politics that are in activity in the municipality, such as: Civil Defense Preventive Plan for Landslides on the Serra do Mar and Cubatão Emergency Plan.

Palavras-Chave (*Key-Words*): Facetas Triangulares (*Triangular Facets*), Estruturas Tectônicas (*Tectonic Structures*), Cubatão

1. INTRODUÇÃO

O município de Cubatão (São Paulo, Brasil) desenvolveu-se entre o sopé das vertentes íngremes da Serra do Mar e a planície costeira (Figura 1). Cerca de 60% da área do município está inserida no Parque Estadual da Serra do Mar (Núcleo Cubatão). Densos núcleos habitacionais ocupam inadequadamente áreas nas encostas da Serra do Mar (localmente Serra de Paranapiacaba-Cubatão), nas margens das planícies fluviais e nos manguezais. O município abriga também um importante Pólo Industrial-Petroquímico e é cortado por duas grandes rodovias, duas ferrovias, aquedutos e oleodutos, além de várias bacias de captação de água superficial e duas estações de tratamento de água para abastecimento público dos municípios de Cubatão, Guarujá, Santos e São Vicente. Essas características conferem ao município altas suscetibilidade natural e

vulnerabilidade à ocorrência de perigos geológicos, ocorrendo inúmeras áreas de risco.

Este trabalho integra parte de uma pesquisa de mestrado desenvolvido no âmbito do Projeto SIIGAL* - "Sistema Integrador de Informações Geoambientais para o Litoral do Estado de São Paulo, Aplicado ao Gerenciamento Costeiro" (Souza, 2000). Tem como objetivo apresentar alguns resultados sobre a relação entre a morfotectônica da Serra de Paranapiacaba-Cubatão e das bacias dos rios Cubatão e Moji e a ocorrência de processos erosivos de encosta.

Os resultados subsidiarão o citado projeto e diversos outros instrumentos de políticas públicas existentes para a área, tais como: Plano Preventivo de Defesa Civil para Escorregamentos na Serra do Mar, Projeto de Proteção

*Suporte financeiro: FAPESP – Políticas Públicas (Proc. 1998/14277-2).

da Mata Atlântica (Parque Estadual da Serra do Mar – Núcleo Cubatão), Plano Emergencial de Cubatão (para a ocorrência de emergências no Pólo Industrial e área retroportuária do Porto de Santos-CODESP), e conservação de recursos hídricos (Comitê da Bacia Hidrográfica da Baixada Santista e SABESP).

2. ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo (Figura 1), situada no Município de Cubatão, compreende a Serra de Paranapiacaba-Cubatão, que integra o conjunto de relevos da Serra do Mar. A Serra do Mar é um conjunto de escarpas festonadas com cerca de 1.000 km de extensão, localizadas na borda da Faixa Móvel Ribeira voltada para a Bacia de Santos (Almeida & Carneiro, 1998). Em São Paulo, a Serra do Mar está inserida na borda do Planalto Atlântico Sudeste do Brasil, representando uma feição de escarpamento, e acha-se frequentemente nivelada pelo topo em altitudes de 800 a 1.200 m.

A Serra de Paranapiacaba-Cubatão (altitude máxima de 955 m) engloba as bacias dos rios Cubatão e Moji (Figura 1). O vale do Rio Cubatão, que corre de SW para NE onde se abre para o Estuário Santista, biparte um segmento da Serra de Paranapiacaba-Cubatão. O vale do Rio Moji, que corre de NE para SW (interior do estuário) está inserido entre as serras de Paranapiacaba-Cubatão e do Morrão (altitude máxima 664 m).

Densos núcleos habitacionais, conhecidos por “Bairros Cotas”, estão localizados nas vertentes de sub-bacias do Rio Cubatão, sobre um grande anfiteatro recoberto por depósitos de colúvios, tálus e leques aluviais quaternários. Esses núcleos encontram-se instalados em área originalmente do Parque Estadual da Serra do Mar.

A área de estudo é cortada por um grande lineamento, a Zona de Falhamento de Cubatão (Sadowski, 1974). Esta estrutura se prolonga pelo alinhamento dos vales dos rios Moji e Cubatão (Figura 1) sendo, na realidade, um complexo sistema de falhamentos com características ora de empurrão, ora de transcorrência, como também normal. Ela pode ser separada em dois blocos litológica e estruturalmente distintos. O Bloco Norte é constituído por ectinitos e migmatitos essencialmente estromatíticos com freqüentes sinais de retrometamorfismo e paleossomas xistosos. O Bloco Sul é composto por migmatitos essencialmente ofitálicos e de paleossoma de composição gnáissica. Os eixos de dobramento no Bloco Norte mergulham predominantemente para SW e os do Bloco Sul para NE. Ao longo do lineamento do Cubatão ocorre uma seqüência de granitos pós-tectônicos situados principalmente no Bloco Sul.

A Planície Costeira é localmente formada por sedimentos marinhos correlatos às Formações Cananéia (Transgressão-Regressão Cananéia, pleistocênica) e Formação Ilha Comprida (Transgressão-Regressão Santos, holocênica), sedimentos lagunares e fluviais (Suguio & Martin, 1978). A maior parte da área urbana do município de Cubatão está assentada nesta planície.

A região apresenta importante remanescente contínuo de cobertura vegetal do domínio morfoclimático da Mata Atlântica e ecossistemas associados. As vertentes da

Serra do Mar são ocupadas por floresta ombrófila densa e a planície costeira, principalmente por remanescentes de manguezais e poucos e pequenos mosaicos de formações de vegetação de restinga.

As atividades econômicas do município destacam-se nos cenários estadual e nacional, dada a presença do grande Pólo Industrial de Cubatão (petroquímica, cimento, papel e fertilizantes) e da forte atividade retroportuária.

Grandes equipamentos lineares atravessam o município: ferrovias (Estrada de Ferro Santos-Jundiá e Sorocabana) e rodovias (Rodovias Anchieta, Imigrantes, Piaçaguiera-Guarujá e Pedro Taques) que escoam toda a mercadoria que circula pelo Porto de Santos e no Pólo Petroquímico e são as principais vias de acesso entre a capital paulista e a Baixada Santista; aquedutos e oleodutos.

Importantes sistemas de captação e estações de tratamento de água superficial também estão no município, junto aos vales dos rios Cubatão e Pilões, os quais abastecem a população dos municípios de Cubatão, Santos, Guarujá e São Vicente.

Feições indicadoras de movimentos de massa podem ser observadas em vários setores da Serra de Paranapiacaba-Cubatão. Entre os anos de 1988 e 2001 foram registrados, junto à Defesa Civil, 24 eventos de movimentos de massa (Souza, 2001) que tiveram fortes repercussões sociais e econômicas para o município, incluindo perda de muitas vidas.

3. ABORDAGEM METODOLÓGICA

Para a compreensão da evolução das vertentes do relevo da Serra do Mar durante o Quaternário, foi adotada uma abordagem metodológica baseada na avaliação de formas, processos e materiais (Hart, 1986), incluindo aí a ação antrópica.

Para o estudo das formas do relevo foi elaborada uma Carta Morfológica (1:50.000). Os principais elementos mapeados nessa carta foram algumas feições morfotectônicas, destacando-se as facetas triangulares e trapezoidais. Os processos sedimentares foram plotados na Carta de Processos Erosivos e Depositionais, efetuada com base em dois sobrevôos, ambos em escala 1:25.000, realizados em 1962 (USAF) e 1994 (BASE). Foram mapeados processos atuais e pretéritos erosivos (escorregamentos, corridas de detritos, ravinamentos e sulcos) e depositionais (colúvios, tálus, leques aluviais e depósitos fluviais). Os materiais desses depósitos foram estudados e identificados no campo, tendo sido feitas coletas para análises sedimentológicas.

A presença marcante de facetas em toda a área de estudo, em sua maioria triangulares e de diferentes tamanhos, despertou a necessidade de um estudo mais aprofundado sobre a possível gênese e evolução dessas feições e sua relação com a ocorrência de processos erosivos.

Facetas trapezoidais e triangulares são feições indicadoras de atividade neotectônica, com forte controle estrutural (Ollier, 1981; Selby, 1985; Bloom, 1991). São formadas pela forte erosão dos canais de drenagem sobre as vertentes de uma escarpa de falha, gerando desfiladeiros e vales. Os vales resultantes são freqüentemente estreitos e as vertentes na escarpa de

falha, entre vales vizinhos, tornam-se facetas. Segundo Thornbury (1969, *apud* Demek, 1972), alguns dos critérios para definir escarpa de falha são: facetas trapezoidais e triangulares, vales profundos, fraca correlação entre resistência litológica e forma topográfica e presença de feições de rifte/gráben ao longo da escarpa.

4. RESULTADOS PRELIMINARES

Foram identificadas sete gerações de famílias de facetas dispostas segundo diferentes direções, a saber: 1ª - NE, 2ª - NW, 3ª - NNE, 4ª - NWW, 5ª - NS, 6ª - NE e 7ª - NW. Essas gerações ocorrem dispostas em degraus, em ambas as bacias da área de estudo. As gerações mais antigas apresentam maiores dimensões e situam-se nos níveis topográficos inferiores, enquanto as gerações mais recentes e de menores dimensões, são encontradas preferencialmente nas cotas superiores das vertentes. Dentro de cada geração existem famílias de facetas paralelas e também dispostas em degraus escalonados (*en echelon*) ao longo do perfil das vertentes.

A 1ª geração de facetas (NE) é encontrada apenas ao longo dos vales dos rios Cubatão e Moji (rios respectivamente de 5ª e 4ª ordens hierárquicas segundo a classificação de Strahler, 1952), distribuídas em ambas as vertentes desses vales. Entretanto, nas vertentes das margens direita do Rio Moji e esquerda do Rio Cubatão, as famílias de facetas são cortadas ou totalmente sobrepostas pelas gerações seguintes de facetas, mascarando as primeiras. As demais gerações estão confinadas somente nas vertentes das margens direita do Rio Moji e esquerda do Rio Cubatão.

As 2ª, 3ª, 4ª e 5ª gerações estão claramente condicionadas por estruturas tectônicas de direções NW e NS e coincidem com os vales fluviais de ordens hierárquicas inferiores, como as sub-bacias dos rios Perequê (direção geral do eixo do canal principal NS-NW) e Pilões (direção geral NW-NS).

A 6ª e a 7ª gerações são bastante incipientes. A 6ª ocorre somente nas cabeceiras dos rios Perequê e Pilões e a 7ª apenas no segmento mais a montante das cabeceiras do Rio Perequê.

A origem dessas facetas parece ser produto da implantação de mini-grábens, responsáveis pela implantação dos sistemas fluviais da área. Esta hipótese é reforçada pelas seguintes características: presença da estrutura em *echelon* (em degraus) dentro de cada geração de facetas (blocos em falhamento normal, típico de um regime tectônico extensional); tanto as facetas quanto as vertentes dos vales dos canais principais mergulham rumo ao centro desses vales; a direção de mergulho da foliação predominante nos maciços rochosos é oposta ao do plano de inclinação das facetas/vertentes.

A primeira geração de facetas (direção NE) segue a direção do lineamento da Zona de Falha de Cubatão, que representa a maior estruturação regional e coincide com a direção preferencial de estruturas pré-cambrianas da Faixa Móvel Ribeira. Também corresponde à direção da Falha de Santos, localizada na margem continental. Parece corresponder, portanto, à Fase 1 de deformação tectônica na gênese da Serra do Mar em São Paulo descrita por

Ab'Saber (1962) ou ao 3º episódio tectônico proposto por Hasui et. al. (1994). Este episódio corresponderia à chamada Reativação Sul-Atlântica ou Wealdeniana (Almeida, 1969), caracterizada por movimentos de blocos sob regime tectônico extensional ou distensivo, gerando grandes soerguimentos, alçamentos e abatimentos de blocos por falhas com formação de altos e depressões (falhas normais), e delineando os grandes traços do relevo. O regime de tensão envolveu eixo de tensão mínima com orientação em torno de NW-SE/horizontal, eixo de tensão máxima em torno da vertical e eixo intermediário em torno de NE-SW/horizontal.

As demais gerações de facetas provavelmente ocorreram na Fase 2 de Ab'Saber (1962) ou no 4º episódio tectônico de Hasui et. al. (1994) ocorrido no intervalo Mioceno-Recente e denominado pelos autores como atividade neotectônica. Segundo eles, o regime de tensão neotectônica regional envolve eixo de tensão máxima em torno de NW-SE/horizontal, eixo de tensão mínima em torno de NE-SW/horizontal e eixo de tensão intermediário em torno da vertical. Isto significa que o regime de tensão vigente é do tipo transcorrente e, então, apresenta falhas neoformadas basicamente do tipo transcorrente e as discontinuidades preexistentes podem ser reativadas com caráter transcorrente, normal ou inverso dependendo de sua orientação em relação ao tensor.

Os processos erosivos (movimentos de massa, erosão por escoamento concentrado e erosão lateral) estão distribuídos em toda a área de estudo, com menor ocorrência nas áreas às margens direita do Rio Cubatão e esquerda do Rio Moji. As maiores concentrações de processos estão nas sub-bacias dos rios Cubatão de Cima (3ª ordem; direção do eixo do canal NS), Pilões (4ª ordem; direção NW-NS), Perequê (3ª ordem; direção NS-NW), dos pequenos rios entre as sub-bacias de Pilões e Perequê (várias drenagens sub-paralelas de 1ª e 2ª ordens e direção NW), pequenos rios que drenam a margem direita do Rio Moji (várias drenagens sub-paralelas de 1ª a 3ª ordens e direção NW).

A análise da dinâmica dos processos erosivos indica forte aumento na frequência, na intensidade e na distribuição espacial dos mesmos entre 1962 e 1994, principalmente no trecho da Serra de Paranapiacaba-Cubatão frontal à planície costeira/estuário e no baixo curso do Rio Moji.

Há que se destacar que as escarpas da Serra de Paranapiacaba-Cubatão são diretamente afetadas pela emissão de aerossóis, vapor d'água e diversos poluentes provenientes do Pólo Industrial de Cubatão (Kerr et. al., 2001). As principais consequências são a contaminação dos solos e a degradação da vegetação da Mata Atlântica (Leitão Filho, 1993). Segundo este último, em determinados setores da Serra de Paranapiacaba-Cubatão, como no vale do Rio Moji, apresentam o quadro de um *disclímax*, no qual o processo sucessional da vegetação de Mata Atlântica está paralisado pela permanente e crescente poluição atmosférica.

Hasui et al. (1994) sugerem que as estruturas NE e NW são as que se destacam com os maiores problemas

geotécnicos na região da Baixada Santista. Segundo esses autores, as descontinuidades NE tendem a se abrir, tornando essa direção privilegiada para a percolação de água, alteração e controle de formas do relevo e da drenagem. No relatório geológico-geotécnico efetuado para a implantação dos túneis na segunda pista da Rodovia dos Imigrantes (ECOVIAS, 2001), as zonas geomecânicas mais críticas são aquelas associadas às estruturas de direção NW, pois apresentam juntas abertas, percolação de água mais intensa e aprofundamento da alteração intempérica. Não obstante, os autores também concluíram que, de maneira geral, as estruturas NE (onipresentes nos maciços e correspondente ao bandamento composicional, xistosidade, foliação cataclástica etc.) são importantes na distribuição de zonas de características geológico-geotécnicas piores, apresentando profundidades anômalas de níveis de alteração e condicionamento de feições abertas.

A integração de todos os resultados desta pesquisa, envolvendo condicionantes naturais e antrópicos para o desencadeamento de processos nas vertentes da Serra de Paranapiacaba-Cubatão, permitirá ainda a delimitação de zonas de risco geológico-geotécnico.

Finalmente, destaca-se que a utilização de feições geomorfológicas indicadoras de atividade tectônica recente, a exemplo das facetas triangulares, constitui uma importante ferramenta para estudos geológicos, geomorfológicos e geotécnicos em regiões de margem continental passiva e clima tropical-subtropical.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AB'SABER, A.N. 1962. A Serra do Mar e o litoral de Santos. *Notícia Geomorfológica*. Campinas, (9/10): 70-77.
- ALMEIDA, F.F.M. 1969. Diferenciação tectônica da Plataforma Brasileira. In: Congresso Brasileiro de Geologia, SBG, Salvador (BA). Anais, p. 19-46.
- ALMEIDA, F.F.M. & CARNEIRO, C.D.R. 1998. Origem e evolução da Serra do Mar. *Revista Brasileira de Geociências*. v. 28, n 1, p. 135/150.
- BLOOM, A.L. 1991. *Geomorphology: a systematic analysis of late Cenozoic landforms*. New Jersey, Prentice Hall. 515 p.
- DEMEK, J. 1972. *Manual of detailed geomorphological Mapping*. Prague, Academy of Sciences. 343 p.
- ECOVIAS. 2001. *Relatório Técnico de Recompartimentação dos Maciços dos Túneis (TD-01, TD-02, TD-03/04) – Projeto Executivo*. Concessionária ECOVIAS dos Imigrantes. Comissão de Concessões Rodoviárias, Secretaria Estadual dos Transportes. 15 p. (inédito).
- HART, M.G. 1986. *Geomorphology pure and applied*. Londres: George Allen & Unwin. 226 p.
- HASUI, Y; MIOTO, J.A. & MORALES, N. 1994. Geologia do Pré-Cambriano. In: F.F Falconi & A. Negro Jr. *Solos do Litoral de São Paulo*. ABMS, São Paulo, p. 41-67.
- KERR, A.F.S.; ANFOSSI, D.; CARVALHO, J. da C. & CASTELLI, S.T. 2001. A dispersion study of the aerosol emitted by fertilizer plants in the region of Serra do Mar Sierra, Cubatão, Brazil. *International Journal of Environment and Pollution*, nº 1-6, p. 251-263.
- LEITÃO FILHO, H.F. (coord.). 1993. *Ecologia da Mata Atlântica em Cubatão*, Campinas, SP, Editora da Universidade de Campinas. 234 p.
- OLLIER, C. 1981. *Tectonics and landforms: geomorphology texts 6*. London and New York, Longman. 324 p.
- SADOWSKI, G.R. 1974. *Tectônica da Serra de Cubatão*. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências-USP, São Paulo. 159 p.
- SELBY, M.J. 1985. *Earth's changing surface: an introduction to geomorphology*. Clarendon Press, Oxford. 586 p.
- SOUZA, C.R. de G. (coord.). 2000. *Sistema Integrador de Informações Geoambientais para o Litoral do Estado de São Paulo, Aplicado ao Gerenciamento Costeiro – SIIGAL: FASE II*. Projeto de Pesquisa. FAPESP (Proc. 1998/14.277-2), abril/2000. 87 p. + anexos (inédito).
- SOUZA, C.R. de G. (coord.) 2001. *Sistema Integrador de Informações Geoambientais para o Litoral do Estado de São Paulo, Aplicado ao Gerenciamento Costeiro – SIIGAL: FASE II*. 1º Relatório Científico. FAPESP (Proc. 1998/14.277-2), outubro/2001. 171p. (inédito).
- STRAHLER, A.N. 1952. Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography. *Geological Society American Bulletin*, 63: 1119-1142.
- SUGUIO, K. & MARTIN, L. 1978. *Formações quaternárias marinhas do litoral paulista e sul fluminense*. In: *International Symposium on Coastal Evolution in the Quaternary*, São Paulo, 1978. Special Publication. IGCB/IGUSP/SBG. 55 pp.



Figura 1. Localização da área de estudo (escala original da imagem de satélite: 1:50.000; fonte: Projeto SIIGAL)