



## **SINUOSIDADE DO *FRONT* MONTANHOSO DA SERRA DO IBITIRAQUIRE – PARANÁ**

## **MOUNTAIN SINUOSITY FRONT OF THE IBITIRAQUIRE RANGE – PARANÁ**

**Edenilson Roberto do Nascimento**  
Universidade Federal do Paraná - UFPR  
Pesquisador no Projeto Neotectônica do Brasil UFPR/UNESP  
Curitiba, PR, Brasil  
e-mail: edenilson1983@gmail.com

**Pedro Augusto Hauck da Silva**  
Universidade Federal do Paraná  
Doutorando em Geologia - UFPR  
Bolsista do CNPq  
Curitiba, PR, Brasil  
e-mail: falecom@pedrohauck.net

**Eduardo Salamuni**  
Professor Adjunto do Departamento de Geologia da UFPR  
Universidade Federal do Paraná  
Curitiba, PR, Brasil  
e-mail: salamuni@ufpr.br

Artigo recebido em: 10/10/2012.  
Artigo aceito em: 24/09/2013.

### **Resumo**

A serra do Ibitiraquire é o bloco montanhoso mais destacado da Serra do Mar paranaense. Sua origem não é bem conhecida, havendo divergências sobre o papel do tectonismo e da erosão em sua história evolutiva. O índice de Sinuosidade de *Front* estabelece a relação entre a erosão e o tectonismo na esculturação de áreas montanhosas que apresentam *front* delimitado por falhas, podendo indicar quais fenômenos foram mais eficientes na evolução da paisagem. Neste sentido, foi obtido o índice de Sinuosidade do *Front* para os limites leste e oeste da Serra do Ibitiraquire, que revelou um resultado típico de áreas de tectônica ativa. O trabalho discute as possíveis razões para o valor deste índice na Serra do Mar.

**Palavras-Chave:** Serra do Mar; análise geomorfométrica; Sinuosidade do Front Montanhoso; geomorfologia do leste do Paraná.

### **Abstract**

The Ibitiraquire Mountain Range is the most detached mountain block of Serra do Mar hills of Paraná State. Its origins is not well known, as there are divergences about the role of tectonics and erosion in its evolution history. The Mountain Front Sinuosity establish the relationship between the forces that sculpts mountain ranges that are delimited by faults, and can indicate which phenomena could be more efficient in the evolution of the landscape. In that way, it was obtained the Mountain Front Sinuosity from the east and west limits of the Ibitiraquire Range which indicated a typical result of an active tectonic area. This work discuss the possible reason for these rate in Serra do Mar.

**Keywords:** Serra do Mar; geomorphometric analysis; Mountain Sinuosity front; Geomorphology from the East of Paraná.

## **INTRODUÇÃO**

A Serra do Mar é a feição topográfica mais destacada da borda atlântica do Brasil, estendendo-se de Santa Catarina ao Rio de Janeiro. No estado do Paraná, apresenta-se dividida em blocos montanhosos, dos quais a serra do Ibitiraquire é o mais destacado, com picos que ultrapassam os 1700 metros de altitude, tais como, Pico Itapiroca (1754m), Pico do Ferraria (1734m), Morro do Tucum (1741m), Pico do Ciririca (1724m), Pico Caratuva (1856m) e o Pico Paraná (1877m), montanha mais alta do sul do Brasil (*figura 1*).



Figura 1: Visão parcial da Serra do Ibitiraquire com a localização e identificação dos principais picos. Crédito: Pedro A. H. da Silva - julho de 2012.

Há diversas explicações sobre as origens de tal unidade de relevo. Maack (1942, 1947) teceu as primeiras observações sobre a geomorfologia da Serra do

Mar, Ab'Sáber & Bigarella (1961) e Bigarella *et al.* (1978) atribuíram um importante papel aos eventos erosivos no Terciário que elaboraram superfícies aplainadas atualmente escalonadas na paisagem, conformando as superfícies de erosão/aplainamento por eles denominadas de Pd3 (superfície Purunã), Pd2 (superfície Alto Iguaçu) e Pd1 (superfície Curitiba), equivalentes à Superfície Sulamericana, Velhas e Paraguaçu de Charles Lester King (King 1956). Almeida e Carneiro (1998) realizaram uma revisão do conhecimento sobre as origens da Serra do Mar, dando destaque aos eventos tectônicos e à dissecação e erosão paralela das vertentes que ocorreram no Cenozoico, ao passo que Zalán & Oliveira (2005) destacam o tectonismo pós Cretáceo. Salamuni (2005) aponta para a influência de tectônica recente na região.

Há poucos trabalhos específicos que abordem a questão evolutiva da paisagem da serra do Ibitiraquire, sendo as contribuições de Reinhard Maack as mais importantes (MAACK 1942, 1947, 1972). Nestes trabalhos foram destacadas algumas características geológicas e geomorfológicas importantes da região, dentre elas o fato de não haver um limite de escarpa de borda de planalto na Serra do Ibitiraquiri, como ocorre em praticamente toda a Serra do Mar paulista. As observações preliminares da morfoestrutura e o papel de fraturas/falhas no condicionamento dos rios e da escarpa do *front* montanhoso da Serra, bem como os cumes sustentados por grandes blocos graníticos que se sobressaem cerca de 1000m na borda do planalto de Curitiba e mais de 1800m do lado litorâneo também foram destacados nestes trabalhos.

O papel de fenômenos tectônicos e denudacionais, na esculturação de maciços montanhosos, pode ser mensurado por meio de datações de falhas, de paleosuperfícies, assim como datação de depósitos correlativos dentre outros métodos. É possível, no entanto, obter dados estatísticos, por meio de análises geomorfométricas que mensurem a relação entre soerguimento e erosão. Para tal, uma técnica de fácil utilização no estudo de áreas montanhosas escarpadas é Sinuosidade do *Front* Montanhoso (KELLER; PINTER, 1996). Tal técnica é geralmente empregada em regiões de tectônica ativa, como foram nas montanhas orogênicas da Califórnia (FIGUEROA; KNOTT, 2010), nas montanhas falhadas do

Sudeste da Espanha por Silva *et al.* (2002), nas escarpas litorâneas da Grécia (TSODOULOS *et al.*, 2008), assim como em vales tectônicos do Himalaia (SINGH, TANDON, 2008).

## MATERIAL E MÉTODOS

A Sinuosidade do *Front* montanhoso (*Mountain Front Sinuosity*) é um índice proposto por Keller & Pinter (1996) que mensura a relação de energia entre o tectonismo e a denudação. Este método foi primeiramente aplicado na Califórnia, nas montanhas próximas à falha de Garlock (KELLER; PINTER, 1996) e, conforme pode-se observar na Figura 2, faz uma relação entre a “linha de falha” (que condiciona o *front* montanhoso) e o comprimento longitudinal de um vale que dissecar a escarpa de falha (Lmf). O Lmf é medido a partir da linha de falha (Ls - linha de escarpa de falha) até a cota máxima da cabeceira do rio. A Sinuosidade do *Front* Montanhoso (Smf) é definida pela seguinte equação:

$$Smf = \frac{Lmf}{Ls} \quad \text{Equação 1}$$

O índice de sinuosidade reflete o balanço entre as forças erosivas que tendem a dissecar as montanhas e as forças tectônicas que tendem a soerguê-las ou basculá-las. Isso significa que quanto menor for o valor do índice, maior a influência tectônica e menor a influencia da erosão na esculturação da paisagem.

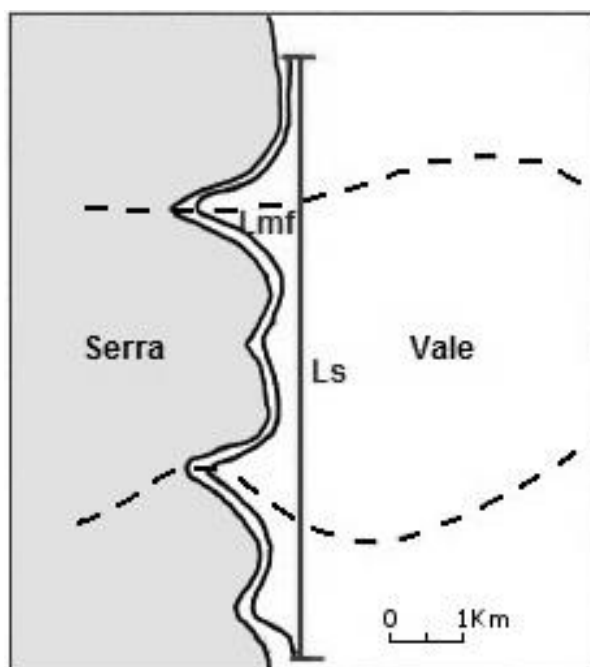


Figura 2: Desenho esquemático que apresenta a relação entre o comprimento do *front* montanhoso (Ls - linha contínua) e comprimento do vale que o diseca (Lmf - linha tracejada). Adaptado de Keller, Pinter (1996).

O modelo digital de elevação (MDE) utilizado para a análise da Sinuosidade do *Front* Montanhoso da serra do Ibitiraquire foi confeccionado a partir dos dados do projeto Topodata (VALERIANO, 2004), com resolução espacial de 30m, obtidos a partir da interpolação dos dados do Projeto *Shuttle Radar Topographic Mission* (SRTM). Os dados cartográficos foram obtidos junto ao Instituto das Águas do Paraná, a Mineropar e ao IBGE. Os lineamentos estruturais foram interpretados sobre o MDE e integrados com os dados estruturais disponibilizados pela Mineropar.

Foi traçado o comprimento do vale que diseca o *front* montanhoso da Serra do Ibitiraquire (Lmf) e o comprimento do *front* montanhoso (Ls) segundo os seguintes parâmetros:

Lmf: extensão total do vale que diseca o *front* montanhoso que apresenta maior dissecação da linha de falha. Sendo considerado na face Leste do maciço analisado o Rio Cacatu (Figura 3) e a Oeste, o vale do Rio do Cedro.

Ls: extensão da escarpa montanhosa onde se situa o escarpamento principal da Serra do Ibitiraquire, auferida em mapa geológico (MINEROPAR, 2005) e

verificado em campo. A Leste ela é delimitada pelo lineamento Morretes e a Oeste pelo lineamento Piraquara-Ferraria de direção NE-SW (Nascimento, 2013) que delimita a escarpa entre as cristas dos picos do Ferraria até o do Itapiroca.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na face Leste da Serra do Ibitiraquire, o *front* montanhoso (Ls) ocorre aproximadamente na cota de 300m e apresenta cerca de 8700m de comprimento (Figura 3). A montante da escarpa, Bigarella *et al.* (1978) identificaram a superfície Pd3 conformando uma ombreira do Pico Paraná à 1600m de altitude. A superfície Pd1 é composta por cristas entre rios, que afluem para o rio Cachoeira, e os pedimentos P2 e P1 ocorrem no sopé deste maciço montanhoso. Os rios que dissecam o *front* montanhoso são de Sul para o Norte: rio do Nunes, rio do Meio, rio Cacatu, rio Sem Nome, rio Mergulhão e rio Cotia, que correm para Norte, formando um *canyon* entre os picos do Caratua, Taipabuçu, Ferraria e do Paraná. Devido a este vale do tipo *canyon* fica destacado na paisagem uma proeminência de cerca de 1500m de altitude e um paredão rochoso de 600m de amplitude altimétrica.

Na face Oeste, há a presença de cristas alongadas com baixa declividade nos picos do Tucum, Itapiroca, Caratua, Taipabuçu e Ferraria consideradas remanescentes da superfície Pd3 (BIGARELLA *et al.*, 1978). Há coincidências topográficas entre estas cristas, que se apresentam escalonadas mergulhando para Oeste em direção à Bacia do Paraná. Na superfície mais elevada, localidade conhecida como Morro do Getúlio, há em seu topo relevo de *caos de blocos* com a conformação de *tors* a 1430m de altitude (Figuras 4 e 5). Em patamares inferiores, ocorrem crostas lateríticas nas cotas de 1350 e 1200m de altitude que Bigarella *et al.* (1978) definiu como superfície Iguazu. A quebra da escarpa do *front* se dá numa altitude de 1038m. Os rios que dissecam estas cristas são rio Cedrinho, ribeirão Grande, rio Tucum e rio do Cedro. Todos apresentam quedas d'água no local onde cortam os 6300m de comprimento do Ls (Figura 5).

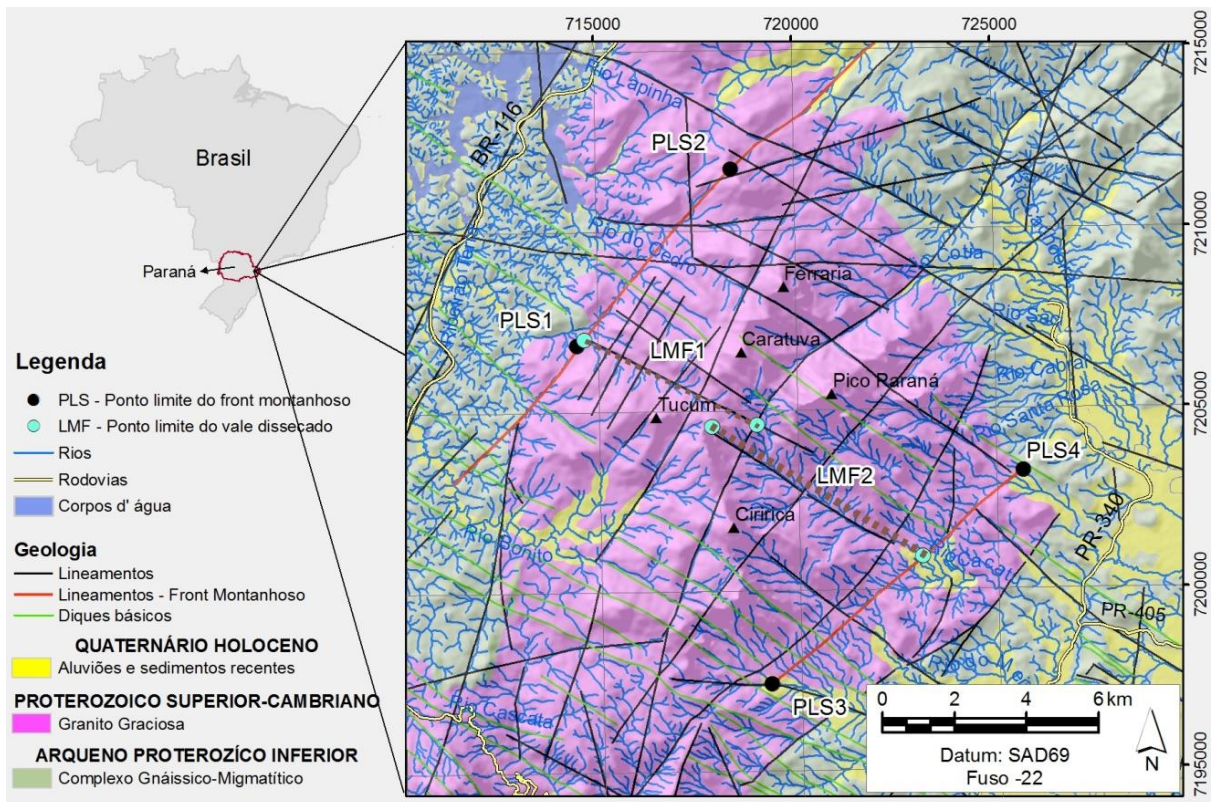


Figura 3: Localização e Geologia da Serra do Ibitiraquire. Os principais vales que dissecam o *front* montanhoso são destacados pela linha pontilhada em roxo como Lmf1 e Lmf2: rio do Cedro e vale do Cacatu, assim como lineamentos que delimitam o *front* montanhoso (Ls) representados pela linha contínua em vermelho limitados pelos pontos PLS1, PLS2, PLS3 e PLS4.



Figura 4: Relevo de caos de blocos com a conformação de *tors* na Serra do Ibitiraquire. Crédito: Pedro A. H. da Silva - setembro de 2008.



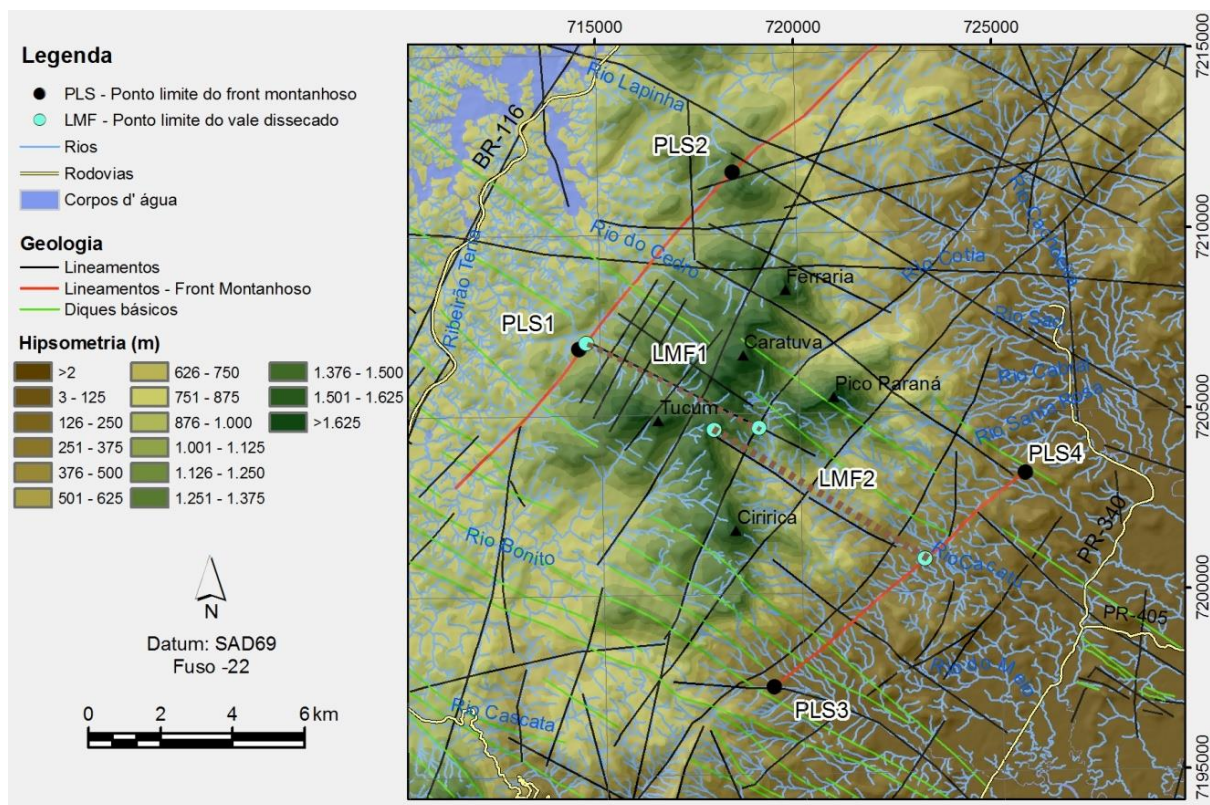


Figura 5: Principais montanhas e hipsometria da Serra do Ibitiraquire.

Como Lmf, foram escolhidos os vales mais profundos que dissecam o *front* montanhoso, na face oeste, o rio do Cedro (2675m) e na face Leste o rio Cacatu (5980m). O comprimento do *front* montanhoso (Ls) na face Oeste é de 4800 metros e na Face Leste é de 6430m.

Para a face Leste da Serra do Ibitiraquire, o valor obtido do índice de sinuosidade do *front* montanhoso foi de 0,74 para a face leste e 0,76 para a face Oeste. Estes valores indicam uma predominância maior do soerguimento sobre as ações erosivas.

A paisagem resultante desse tectonismo é indicada pelo valor do Índice de Sinuosidade do *Front* é corroborada pela presença de várias morfoestruturas na área de estudo. Observam-se na região estudada rios encaixados em falhas, anomalias de drenagens, capturas de drenagens, predominância de encostas íngremes, facetas trapezoidais, facetas triangulares e paleosuperfícies de erosão escalonadas que conformam as ombreiras das montanhas (Figura 6).





Figura 6: Vista da charneira da serra dos Agudos (setor sul da serra do Ibitiraquire) onde se verifica o escarpamento abrupto tectonicamente determinado pelo lineamento Morretes. Reparar a superfície Pd3 basculada na porção oeste. Crédito: Elcio Douglas Ferreira - julho de 2012.

Salamuni (2005) aponta para existência de modificações morfoestruturais na Serra do Mar do Paraná por tensões mais “... recentes do que antes se interpretava...”, provavelmente referindo-se a resultados de atividade neotectônica. Nascimento *et al.* (2012) e Nascimento (2013) assinala a existência de determinação morfoestrutural e morfotectônica do relevo da Serra do Mar no Paraná, destacando feições geomorfológicas e estruturais típicas de áreas com tectonismo recente, tais como escarpas de linhas de falhas, depósitos aluvionares segmentados por *knickpoints*, anomalias de drenagem, paleosuperfícies deformadas entre outros.

## CONCLUSÕES

O baixo valor do índice de Sinuosidade de *Front*, tanto na vertente Leste, quanto na Oeste, se comparado com as montanhas do Vale de Garlock, entre 1,2 e 7,2 (KELLER; PINTER, 1996) provavelmente seja influenciado também pela resistência diferencial dos Granitos da Serra do Ibitiraquire (GUALDA, 2001) em relação aos litotipos meta-sedimentares das montanhas rochosas dos Estados Unidos. Outro fator relevante que confere um valor mais alto do índice nas Montanhas Rochosas, diz respeito, possivelmente, a alta eficiência do clima glacial na erosão do relevo naquela região. Já na serra do Ibitiraquiri a alta resistência à

erosão dos granitos comuns na Serra do Mar, mesmo quando submetidos a um clima úmido, dificulta a erosão fluvial.

Salienta-se que tal índice estatístico não configura um parâmetro de comparação para montanhas que apresentam realidades geológicas e climáticas distintas, como é o caso da Serra do Mar e das Montanhas Rochosas. No entanto, o baixo valor obtido pelo Índice de Sinuosidade de *Front* Montanhoso da Serra do Ibitiraquire corrobora com os trabalhos que apontam o tectonismo como fator determinante na história evolutiva da Serra do Mar e justifica a necessidade de estudos que apliquem técnicas mais indutivas que atestem esta hipótese.

## REFERÊNCIAS

AB'SÁBER, A.N; BIGARELLA, J.J. Superfícies aplainadas do primeiro planalto do Paraná. **Boletim Paranaense de Geografia**. nºs 4/5. Curitiba. 116-125. 1961.

ALMEIDA, F. F. M. de & CARNEIRO, C.D.R. Origem e evolução da Serra do Mar. **Revista Brasileira de Geociências** v. 28, n. 2, p.135-150. 1998.

BIGARELLA, J.J; BECKER, R.D; MATOS, D.J de; WERNER, A. (Ed). **A Serra do Mar e a porção oriental do Estado do Paraná: Um problema de segurança ambiental e nacional**. Secretaria do Estado do Planejamento do Paraná. Curitiba. 249 p. 1978.

FIGUEROA, A.M; KNOTT. J.R. Tectonic geomorphology of the southern Sierra Nevada Mountains (California): Evidence for uplift and basin formation **Geomorphology**. v.123, p. 34–45. 2010.

GUALDA, G.A.R. **Evolução Petrográfica e Mineralógica das associações alcalina e aluminosa dos Granitos tipo-A da Graciosa – PR**. 2001. 271p. Dissertação (Mestrado em geociências) Programa de Pós-Graduação em Mineralogia e Petrologia, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. São Paulo

MAACK, R. Picos do Paraná: A propósito de uma comunicação do Sr. Reinhard Maack. **Revista Brasileira de Geografia**. Jan/Mar. p. 137-140. 1942.

MAACK, R. Breves notícias sobre a Geologia dos Estados do Paraná e Santa Catarina. **Arquivos de Biologia e Tecnologia**, v. II, Art.7, p. 67-153. 1947.

MAACK, R. A Serra do Mar no Estado do Paraná. **Boletim Geográfico**. v.31. n. 229, p. 79-105, 1972.

MINEROPAR 2005. **Mapa Geológico da Folha Curitiba**. SG – X – D. Escala 1:250.000. Curitiba (PR).

NASCIMENTO, E. R. **Morfotectônica e Origem das Morfoestruturas da Serra do Mar Paranaense**. Tese de doutorado (Doutorado em Geologia Ambiental) - Departamento de Geologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

NASCIMENTO, E. R. SALAMUNI, E; SILVA, P. A. H; SALVADOR, D. A; QUEIROZ, G. L. Morfoestruturas Cenozoicas da Serra do Mar Paranaense. *In: Anais do 46 CBG*. SBG, Núcleo São Paulo. Santos, CDRom. 2012.

KELLER, E.A.; PINTER, N. **Active Tectonics: Earthquakes, uplifts and Landscapes**. Prentice Hall. New Jersey, 338p. 1996.

SALAMUNI, E. Evidências da neotectônica na evolução da serra do Mar no Estado do Paraná. *In: X Simpósio Brasileiro de Estudos Tectônicos*, Curitiba, 10, Paraná: SBG Núcleo Paraná, 2005, p. 202-204.

SILVA P.G; GOYJ.L; ZAZO. C; BARDAJI. T. 2002. Fault-generated mountain fronts in southeast Spain: geomorphologic assessment of tectonic and seismic activity. **Geomorphology**. n. 50, p. 203–225. 2003.

SINGH, V; TANDON, S.K. The Pinjar dun (intermontane longitudinal valley) and associated active mountain fronts, NW Himalaya: Tectonic Geomorphology and morphotectonic evolution. **Geomorphology**, n. 102. p. 376-394. 2008.

TSODOULOS I.M; KOUKOUVELAS, I.K; PAVLIDES. S. Tectonic geomorphology of the easternmost extension of the Gulf of Corinth (Beotia, Central Greece). **Tectonophysics**, n. 453, p. 211–232. 2008.

VALERIANO, M. M. **Modelo digital de elevação com dados SRTM disponíveis para a América do Sul**. São José dos Campos, SP: INPE: Coordenação de Ensino, Documentação e Programas Especiais (INPE-10550-RPQ/756). 72p. 2004.

ZALÁN, P.V. & OLIVEIRA, J.A.B. Origem e evolução do Sistema de Rifts Cenozoicos do Sudeste do Brasil. **Boletim de Geociências da Petrobras**, Rio de Janeiro, v. 13, p. 269-300. 2005.