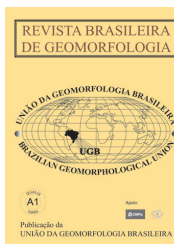




www.ugb.org.br  
ISSN 2236-5664

## Revista Brasileira de Geomorfologia

v. 14, n° 3 (2013)



# PADRÕES DE LINEAMENTOS RELACIONADOS À LITOESTRUTURA E AO FRATURAMENTO NEOTECTÔNICO (ESTADO DO ESPÍRITO SANTO, SE DO BRASIL)

## LINEAMENT PATTERN RELATED TO LITHOSTRUCTURAL AND NEOTECTONIC FRACTURING (STATE OF ESPÍRITO SANTO, SOUTHEASTERN BRAZIL)

**Luiza Leonardi Bricalli**

Universidade Federal do Espírito Santo (UFES) Av. Fernando Ferrari, 514, Goiabeiras | Vitória - ES – CEP 29075-910.  
E-mail: luizabricalli@gmail.com

**Claudio Limeira Mello**

Departamento de Geologia – Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ – Rua das Laranjeiras, 285/902 – CEP 22.240-004, Rio de Janeiro-RJ  
E-mail: limeira@geologia.ufrj.br

### Informações sobre o Artigo

Data de Recebimento:  
28/02/2013

Data de Aprovação:  
09/06/2013

### Keywords:

Morfotectônica; neotectônica;  
lineamentos.

### Palavras-chave:

Morphotectonics; neotectonics;  
lineaments.

### Resumo

O presente trabalho tem como objetivo identificar domínios de lineamentos no estado do Espírito Santo (região Sudeste do Brasil), a partir da análise de padrões de orientação, comprimento e de sua distribuição, como base para investigações sobre o condicionamento morfotectônico e neotectônico da evolução geomorfológica. O estado do Espírito Santo é geologicamente dividido em dois compartimentos principais: i) embasamento pré-cambriano, correspondente ao relevo de serras e colinas dissecadas; e ii) depósitos sedimentares cenozoicos (Formação Barreiras e sedimentos quaternários), correspondendo a colinas de topo tabular (tabuleiros costeiros) e à planície costeira. Foi realizada a análise de domínios de lineamentos (setores do terreno identificáveis por conjuntos com padrões particulares) em escala regional. Mapas de lineamentos foram confeccionados a partir da técnica de extração manual, utilizando ferramentas de edição do ArcGis™ 9.2, sobre um Modelo Digital de Elevação (MDE) com diferentes iluminações artificiais. Com base nos mapas de lineamentos elaborados, foi possível identificar dois compartimentos fortemente contrastantes, diretamente relacionados à subdivisão geológica básica do estado do Espírito Santo: i) Compartimento do Embasamento Pré-Cambriano, a oeste, onde as direções NE-SW e N-S predominam de forma marcante; e ii) Compartimento dos Depósitos Cenozoicos, a leste, onde as direções E-W, NE-SW e NW-SE ocorrem de maneira expressiva. Os padrões de lineamentos identificados podem ser associados a conjuntos de estruturas rúpteis gerados em três regimes tectônicos deformadores distintos: transcorrência sinistral E-W (de idade possivelmente neogênica), transcorrência dextral E-W (pleistocênica a holocênica) e distensão NW-SE (holocênica), correlacionáveis a eventos anteriormente descritos no sudeste do Brasil. O fato de os padrões de fraturamento verificados no Compartimento dos Depósitos Cenozoicos apresentarem semelhanças aos encontrados no Compartimento do Embasamento Pré-cambriano sugere que os padrões

de lineamentos nos domínios do embasamento possam também refletir a reativação neotectônica de estruturas preexistentes. Essa reativação pode ser atestada pela continuidade de *trends* estruturais que se prolongam desde os depósitos sedimentares até as rochas do embasamento, com a mesma orientação.

## Abstract

This study aims to identify domains of lineaments in the state of Espírito Santo (Southeastern Brazil), from the analysis of orientation, length and distribution patterns as a basis for investigations of morphotectonic and neotectonic controls on geomorphologic evolution. The state of Espírito Santo is geologically divided into two main compartments: i) Precambrian basement, corresponding to the relief of mountains and hills, and ii) Cenozoic sedimentary deposits (Barreiras Formation and Quaternary sediments), corresponding to tabular hills (coastal tablelands) and the coastal plain. The methodological approach was based on regional analysis of lineament domains (sectors of the terrain identified by distinct lineaments sets). Lineament maps were made by the interpretation of Digital Elevation Model (DEM) with different artificial illuminations using manual extraction and editing tools of *ArcGis*<sup>TM</sup> 9.2. Two strongly contrasting compartments were identified from lineaments analysis. They are directly related to the regional geological subdivision of the Espírito Santo State: i) compartment of Precambrian basement, at the western part of the studied area, where NE-SW and N-S lineaments are remarkable, and ii) compartment of Cenozoic deposits, at the eastern part of studied area, where E-W, NE-SW and NW-SE lineaments are most important. The lineament patterns can be associated with sets of brittle structures generated in three distinct neotectonic regimes: E-W left-lateral transcurrent regime (possibly Neogene), E-W right-lateral transcurrent regime (Pleistocene to Holocene) and NW-SE distensional regime (Holocene). These neotectonic stages are correlated to events previously described in Southeastern Brazil. Fracture patterns observed in the Cenozoic Deposits Compartment are very similar to patterns found in the Precambrian Basement Compartment. This fact suggests that tectonic patterns in the Basement Compartment may also reflect neotectonic reactivations of preexisting structures. This reactivation can be attested by the continuity of structural trends extending from the Cenozoic Deposits Compartment to the Precambrian Basement Compartment, with the same orientation.

## Introdução

Na literatura geológica, lineamentos são considerados feições lineares identificáveis no terreno e em imagens de sensores remotos, que podem ser associadas a estruturas de subsuperfície. Neste sentido, de acordo com O'Leary *et al.* (1976), lineamentos são feições mapeáveis da superfície da Terra, simples ou compostas, cujas partes encontram-se alinhadas de modo retilíneo ou suavemente curvo, refletindo um fenômeno de subsuperfície. Sabins (1978) define o termo lineamento como sendo uma feição linear topográfica ou tonal, que pode representar uma zona de fraqueza estrutural.

Em termos geomorfológicos, lineamentos representam comumente variações na elevação dos terrenos, alinhamento de cristas, segmentos de escarpas, trechos de drenagem e vales (Jordan & Schott, 2005), que, por refletirem as principais linhas de fraqueza regionais, podem indicar locais de ocorrência de estruturas geológicas importantes para comprovar a influência estrutural e/ou tectônica na evolução do relevo.

A análise de domínios de lineamentos (setores do terreno identificáveis por conjuntos de lineamentos com padrões particulares), em escala regional, tem sido mostrada como uma ferramenta útil para investigar a relação entre a Geomorfologia e a Neotectônica, utilizada em estudos realizados no Sudeste do Brasil por, entre outros, Gontijo (1999), Hiruma & Riccomini (1999), Hiruma *et al.* (2001), Modenesi-Gauttieri *et al.* (2002) e Hiruma (2007). Além disso, a análise de lineamentos pode ter implicações, entre

outros estudos, na pesquisa hidrogeológica, na exploração de hidrocarbonetos e em estudos ambientais (como, por exemplo, na detecção de áreas mais suscetíveis a processos erosivos).

O presente trabalho tem como objetivo identificar domínios de lineamentos no estado do Espírito Santo (região Sudeste do Brasil), a partir da análise de padrões de orientação e comprimento dos lineamentos e de sua distribuição, como base para investigações sobre o condicionamento morfotectônico e neotectônico da evolução geomorfológica.

O estado do Espírito Santo, localizado na região sudeste do Brasil, com uma área de aproximadamente 46.000 km<sup>2</sup>, representa um notável mosaico de aspectos geológicos e geomorfológicos bastante diversificados. Geologicamente, divide-se em dois compartimentos principais (Figura 1): um deles é caracterizado por rochas do embasamento pré-cambriano, de litologias diversas e com a presença de estruturas geológicas importantes regionalmente; o segundo compartimento corresponde, basicamente, à porção emersa da bacia do Espírito Santo, aflorando depósitos sedimentares cenozoicos (Formação Barreiras e sedimentos quaternários). Geomorfológicamente, o estado apresenta relevos de serras e colinas, desenvolvidas sobre as rochas do embasamento pré-cambriano; tabuleiros costeiros, associados aos depósitos da Formação Barreiras; e extensas planícies costeiras associadas à sedimentação quaternária (CPRM, 2004).

Diversos estudos têm documentado indícios de movimentação tectônica recente no estado do Espírito Santo (Gallardo *et al.*, 1987; Novais, 2005; Hatushika, 2005; Rodrigues, 2005; Mello *et al.* 2005; Bricalli, 2006; Miranda, 2007; Miranda, 2009; Ribeiro, 2010), que evidenciam controles tectônicos nas feições do relevo e na rede de drenagem (canais fluviais geometricamente organizados, diversas anomalias de drenagem, corpos lacustres alinhados, com limites retilíneos, e depressões suspensas relacionadas a cabeceiras de drenagem). A despeito da grande diversidade de aspectos geológicos e geomorfológicos, há uma escassa bibliografia referente à Geomorfologia do estado, em particular com enfoque na Geomorfologia Estrutural. O estudo de lineamentos aqui realizado busca suprir, parcialmente, esta carência de informações.

## Área de estudo

### Geologia regional

Como já mencionado, o estado do Espírito Santo apresenta dois compartimentos geológicos principais (Figuras 1 e 2): embasamento pré-cambriano, a oeste, constituído por rochas metamórficas e ígneas plutônicas proterozoicas a eopaleozoicas; e, a leste, depósitos sedimentares cenozoicos, representados pela Formação Barreiras e por sedimentos quaternários (CPRM, 2004).

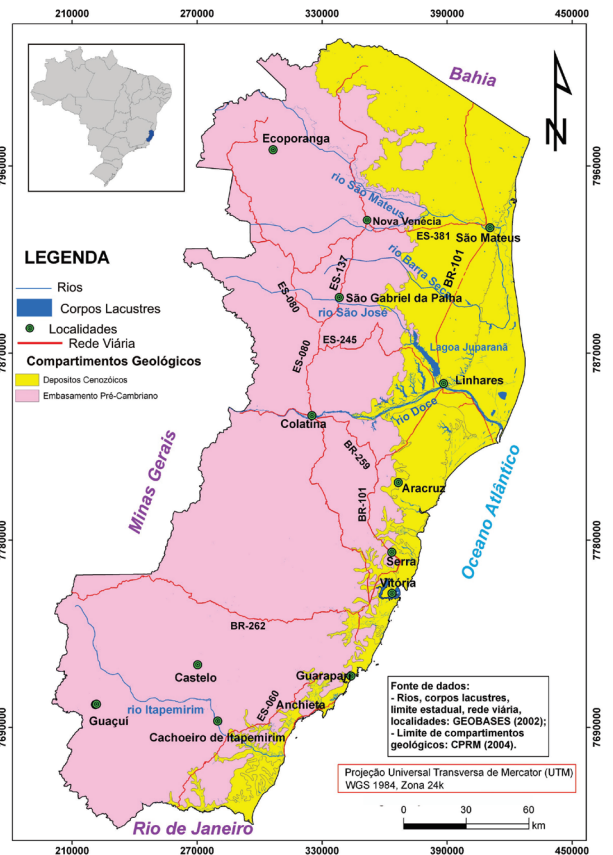


Figura 1 – Localização do estado do Espírito Santo na região sudeste do Brasil e compartimentação geológica básica.

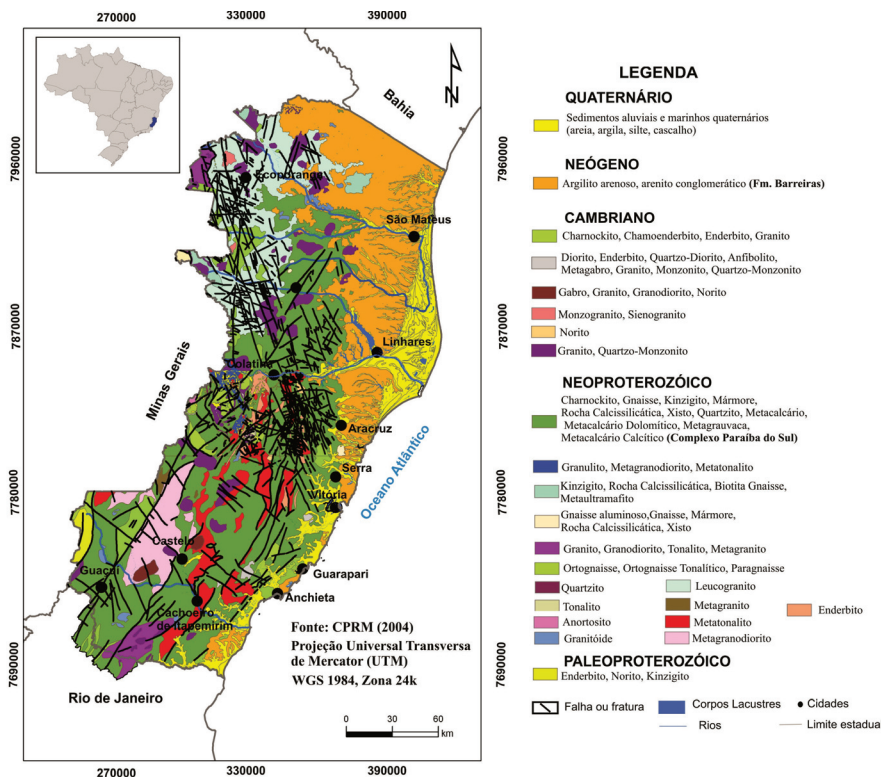


Figura 2 – Principais litologias do estado do Espírito Santo, destacando também a Faixa de Lineamentos Colatina. Fonte: CPRM, 2004

O embasamento pré-cambriano no estado do Espírito Santo consiste em uma associação de rochas metamórficas e ígneas plutônicas proterozoicas a eopaleozoicas, com o predomínio de biotita e/ou hornblenda-granada gnaisses, corpos graníticos, e secundariamente rochas calcossilicáticas, anfíbolitos e mármore, englobadas principalmente no Complexo Paraíba do Sul (Machado Filho *et al.*, 1983; Silva *et al.*, 1987). Relaciona-se à porção setentrional da Província Mantiqueira, correspondendo predominantemente a terrenos associados à Faixa Araçuaí (ou Orógeno Araçuaí) e também à Faixa Ribeira (porção sul do estado), desenvolvidas à borda sudeste do Cráton do São Francisco durante o Ciclo Brasileiro (Almeida, 1977; Heilbron *et al.*, 2004).

Os depósitos sedimentares cenozoicos são representados pela Formação Barreiras, que corresponde à unidade estratigráfica cenozoica mais importante do estado, e por depósitos quaternários marinhos e continentais (Machado Filho *et al.*, 1983; Silva *et al.*, 1987; Martin *et al.*, 1997).

A Formação Barreiras, de idade Mioceno-Plioceno (Vieira *et al.*, 1994), é constituída litologicamente por arenitos quartzosos, cauliniticos, ora maciços, ora com estratificações, intercalados a lamitos, associando-se a depósitos de canais fluviais entrelaçados (Morais, 2007). Os depósitos dessa unidade são bastante ferruginizados, apresentando cores variadas (vermelho ao alaranjado). Esta ferruginização, quando muito intensa, ocorre como crostas ferruginosas.

Os depósitos quaternários incluem sedimentos marinhos e continentais (terraços arenosos pleistocênicos, terraços arenosos holocênicos, pântanos e mangues holocênicos, depósitos fluvio-lagunares holocênicos, depósitos aluvionares holocênicos), principalmente representados na planície sedimentar desenvolvida na desembocadura do rio Doce (Machado Filho *et al.*, 1983; Silva *et al.*, 1987; Martin *et al.*, 1997).

Há uma diferenciação litológica e de controle estrutural entre o norte e sul do estado (Figura 2). O norte do estado apresenta a predominância de três domínios: rochas do Complexo Paraíba do Sul, suítes graníticas e coberturas fanerozoicas amplamente distribuídas. Na porção sul do estado, há uma maior heterogeneidade litológica no embasamento pré-cambriano, com predominância areal do Complexo Paraíba do Sul ( fácies anfíbolito alto) e corpos graníticos mais localizados e em menor quantidade, estando as coberturas fanerozoicas presentes em uma faixa restrita ao longo da costa.

A mais importante feição estrutural no estado do Espírito Santo corresponde a um conjunto de fraturas de direção NNW e NW que se inicia a sul de Vitória, passando pela cidade de Colatina e terminando, a noroeste, no limite com o estado de Minas Gerais (Figura 2). Este conjunto é denominado Alinhamento Vitória-Ecoporanga (Machado Filho *et al.*, 1983; Silva *et al.*, 1987), Zona de Cisalhamento Colatina (Chang *et al.*, 1992) ou Faixa Colatina (Novais *et al.*, 2004; Novais, 2005). Segundo Silva *et al.* (1987) e Pedrosa-Soares & Wiedemann-Leonardos (2000), este alinhamento está associado a um processo de deformação dúctil

nas rochas do embasamento proterozoico, junto à borda leste do Cráton do São Francisco. Esta feição tectônica teria se originado no Neoproterozoico e, durante o Eopaleozoico, teria sido reativada, sofrendo movimentos de cisalhamento e controlando a intrusão de corpos plutônicos. No Mesozoico (Jurássico), teria ocorrido uma nova reativação, com a intrusão de diques básicos encaixados segundo a direção NNW-SSE, correlacionáveis às rochas vulcânicas da Formação Cabiúnas (120-140 Ma) da bacia do Espírito Santo. A reativação desta faixa estrutural durante o Neógeno e o Quaternário tem sido apontada em estudos recentes (Novais *et al.*, 2004; Novais, 2005; Mello *et al.*, 2005; Miranda, 2009).

Segundo o mapeamento elaborado por Silva *et al.* (1987), na porção norte do estado predominam falhas, fraturas e foliações com orientação NNW-SSE, principalmente concentradas ao longo da Faixa Colatina. Conjuntos de estruturas NE-SW ocorrem em setores particulares nessa porção do estado. Na porção sul do estado, há uma predominância de estruturas de direção NE-SW, correspondendo a falhas, fraturas e foliações presentes no embasamento pré-cambriano, cortadas quase que perpendicularmente por estruturas de orientação NW-SE (Machado Filho *et al.*, 1983; Pedrosa Soares & Wiedemann-Leonardos, 2000). Falhas de empurrão, ou zonas de cisalhamento dúctil, de direção NNE-SSW, limitam os maciços graníticos presentes em uma grande porção do extremo oeste-sul do estado. Falhas de grande extensão, de direção WNW-ESE, atravessam ortogonalmente a região sul do estado.

Diversos autores têm investigado a atuação de eventos neotectônicos no estado do Espírito Santo, através da análise cinemática dos conjuntos de pares falha/estria e das relações estratigráficas entre as unidades envolvidas (Hatushika, 2005; Rodrigues, 2005; Mello *et al.* 2005; Miranda, 2007; Miranda, 2009; Ribeiro, 2010; Bricalli, 2011). De maneira geral, estes autores têm reconhecido três eventos neotectônicos:

a) transcorrência sinistral E-W, de idade supostamente neogênica, associada a geração de falhas normais NE-SW, falhas dextrais NNE-SSW e falhas sinistrais E-W a ENE-WSW, afetando o embasamento alterado;

b) transcorrência dextral E-W, atribuída a uma idade pleistocênica a holocênica, associada a geração de falhas normais NW-SE, falhas dextrais NW-SE a E-W e falhas sinistrais NNE-SSW a NNW-SSE; e

c) distensão NW-SE, atribuída a uma idade holocênica, associada a geração de falhas normais NE-SW a ENE-WNW.

Esses eventos tectônicos condicionam diferentes feições geomorfológicas na área, tais como facetas triangulares, *shutter ridge*, alinhamento de vales, além de controlarem a rede de drenagem, refletida em capturas fluviais, lagos alinhados, cotovéis de drenagem (Rodrigues, 2005; Miranda *et al.*, 2008; Bricalli & Mello, 2009; Bricalli, 2011; Mello *et al.*, 2012).

## Geomorfologia Regional

De acordo com os estudos de Gatto *et al.* (1983) e Mendes *et al.* (1987), o estado do Espírito Santo apresenta uma grande diversidade topográfica e altimétrica (Figura 3), resultando em diferentes compartimentos geomorfológicos: i) Serras e Colinas Altas; ii) Colinas e Maciços Costeiros; 3) Tabuleiros Costeiros; e 4) Planície Costeira.

As Serras e Colinas Altas correspondem à unidade geomorfológica *Patamares Escalonados do Sul Capixaba* (Gatto *et al.*, 1983; Mendes *et al.*, 1987), desenvolvida sobre rochas do embasamento pré-cambriano, com destaque para a Serra da Mantiqueira e a Serra do Caparaó, no sul do estado (Figura 3). Apresenta morfologias controladas estruturalmente, tais como vales retilíneos e escalonamentos de blocos.

O compartimento Colinas e Maciços Costeiros, no limite entre os domínios do embasamento pré-cambriano e dos sedimentos cenozoicos, é marcado pela presença de maciços graníticos e colinas mais baixas, sobre rochas gnaissicas, predominando mais no sul do estado.

Os Tabuleiros Costeiros desenvolvem-se sobre os sedimentos da Formação Barreiras, correspondendo a colinas com topos alongados e tabulares, com altitudes variadas, de 30 a 200 m (Gatto *et al.*, 1983; Mendes *et al.*, 1987). As vertentes são geralmente abruptas e, no litoral, terminam sob a forma de extensos tabuleiros ou falésias de vários metros de altura. Este compartimento apresenta vales bem encaixados e a drenagem geralmente apresenta-se dendrítica/subdendrítica a paralela/subparalela. As diferenças altimétricas podem estar relacionadas ao controle neotectônico (Ribeiro, 2010), correlacionável ao que ocorre nesta mesma unidade em outras partes do Brasil (Nogueira & Bezerra, 2006; Lima *et al.*, 2006; Bezerra *et al.*, 2001; Bezerra *et al.*, 2007).

A Planície Costeira relaciona-se aos depósitos sedimentares quaternários, com morfologia plana e extensa principalmente no norte do estado, nas proximidades da foz do rio Doce.

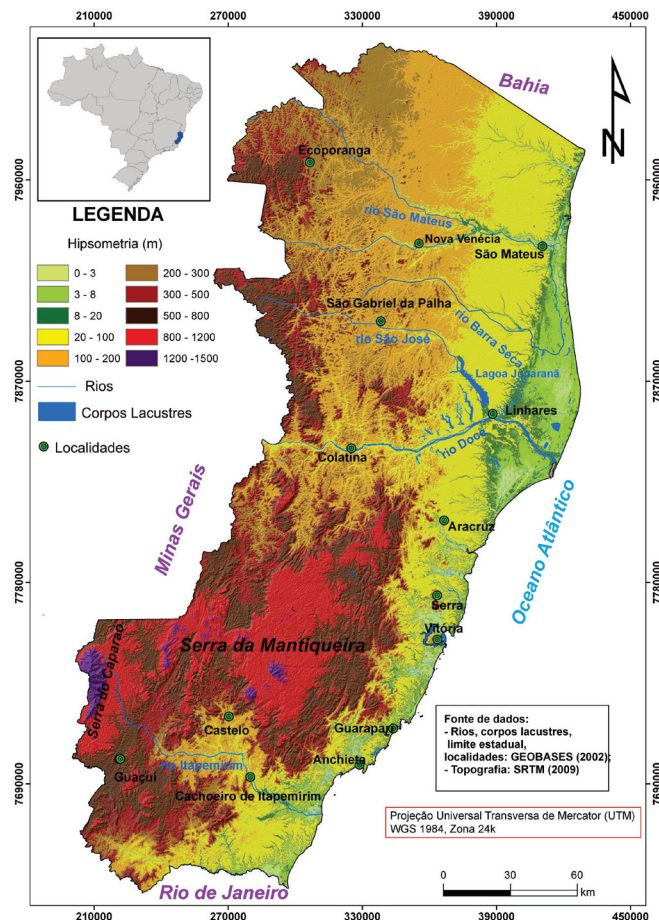


Figura 3 – Mapa hipsométrico sobre hillshade com iluminação 315°, mostrando as principais classes altimétricas do estado do Espírito Santo.

## Metodologia

O mapa de lineamentos foi confeccionado a partir de extração manual utilizando a técnica de edição do *ArcGis™* 9.2, sobre um Modelo Digital de Elevação (MDE) com diferentes iluminações artificiais.

O MDE foi obtido através do site <http://srtm.csi.cgiar.org/>, referente ao levantamento realizado entre 11 e 22 de fevereiro de 2000 pela *Shuttle Radar Topography Mission (SRTM-NASA)*, com resolução espacial de 90m. Estes dados são disponibilizados em formato executável em *ArcGis™* e georreferenciados em sistema de projeção geográfica com datum WGS-1984.

Em seguida, a imagem foi processada e preparada, incluindo:

- aplicação de quatro iluminações artificiais (000°, 045°, 090° e 315°), buscando destacar a maior quantidade de lineamentos possíveis. Essas iluminações foram obtidas a partir do cálculo do sombreamento do relevo, utilizando-se a ferramenta *hillshade*, presente no *Arctoolbox*;

- escolha da elevação solar de 45°, ângulo intermediário que facilita a análise em regiões heterogêneas, que apresentam áreas planas e montanhosas; e

- estabelecimento do *fator z* a ser utilizado (valor variável de acordo com a latitude em que a área em análise encontra-se no planeta), calculado a partir da média entre os valores das latitudes que abrangem o estado do Espírito Santo, estabelecidos pelo programa *ArcGis* 9.2, sendo utilizado o valor 0,00000934.

Com o uso de ferramenta de edição do *ArcGis™ 9.2*, os lineamentos foram traçados em cada uma das iluminações referenciadas, considerando os seguintes elementos para identificação de lineamentos, também sugeridos por Liu (1984): linhas de segmentos de escarpas, alinhamento de cristas, vales, trechos de rios e lagos, e depressões alongadas.

A análise de lineamentos foi feita em cinco etapas: 1) cálculo da direção de lineamentos; 2) cálculo do comprimento de lineamentos; 3) cálculo da densidade de lineamentos; 4) representação em diagrama de rosetas; e 5) interpretação dos domínios dos lineamentos.

Para o cálculo da direção de lineamentos, primeiramente foi criado, no *ArcGis™ 9.2*, um campo (coluna) na tabela de atributos. Em seguida, foram aplicadas fórmulas da ferramenta *Field Calculator* e os valores de direção foram criados automaticamente na tabela de atributos, nos campos previamente estabelecidos.

Para a determinação do comprimento de cada lineamento, utilizou-se a extensão *X-tools pro* (aquisição desta pode ser feita gratuitamente pela internet). O sistema de coordenadas deve estar em UTM, para que o resultado final seja em metros.

Os valores de direção e comprimento de lineamentos foram representados em diagramas de rosetas. Estes valores foram exportados do *ArcGis™ 9.2* para uma tabela no Excel 2007® e, em seguida, plotados em tabelas presentes no programa Oriana (versão 3.21), da *Kovach Computing Services*.

Foram construídas rosetas representativas da direção e do comprimento predominantes para cada compartimento geológico, além de uma roseta representativa da direção e do comprimento predominantes para a área total.

Para o detalhamento da análise dos lineamentos, foram elaboradas 31 (trinta e uma) rosetas de direções e comprimento de lineamentos, distribuídas por toda área. Primeiramente, foram plotadas cruzetas em toda imagem, sendo estabelecido um intervalo de 40 km entre cada cruzeta. Cada cruzeta foi tomada como o centro de 31 (trinta e uma) circunferências com raios iguais a 16 km, correspondendo à metade da distância entre as cruzetas centrais mais 30%, porcentagem essa para abranger áreas entre uma circunferência e outra, para se obter uma varredura completa da área.

Foi elaborado o mapa de densidade de lineamentos para todo estado do Espírito Santo, englobando todas as direções, utilizando-se a ferramenta *Line Density*, presente no *ArcToolbox*, com tamanho de célula 90 e unidade da área em km<sup>2</sup>.

## Resultados

No mapa de lineamentos elaborado (Figura 4), foram identificados 8.043 lineamentos.

Para a área total do estado do Espírito Santo, observa-se uma maior concentração de lineamentos N-S (NNE a NNW), NE e E-W (ENE a WNW), sendo predominantes as orientações N40-60E, N0-10E, N80-90E e N80-90W (Quadro 1). Os lineamentos de maior comprimento médio são os de orientação N40-70E e N10-20W (Quadro 1).

O mapa de densidade de lineamentos (Figura 5) mostra que as maiores densidades de lineamentos (0,48 a 0,85km<sup>2</sup>) encontram-se concentradas na porção norte do estado do Espírito Santo, em especial em uma faixa com orientação NNW-SSE correspondente à Faixa Colatina, e na área de ocorrência da Formação Barreiras, com *trends* estruturais NW-SE, principalmente, e NE-SW. Há concentrações de lineamentos orientadas segundo a direção NE-SW e NW-SE que se prolongam do compartimento das rochas pré-cambrianas para o compartimento dos sedimentos cenozoicos. No sul do estado, as densidades de lineamentos são significativamente menores, estando presentes em maiores concentrações segundo *trends* NW-SE.

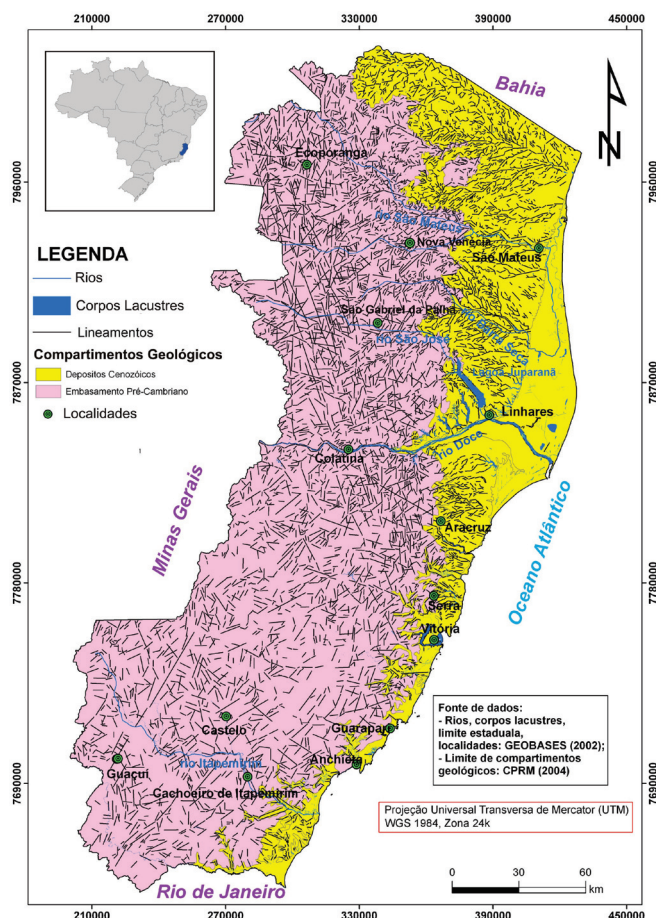


Figura 4 – Mapa de lineamentos do estado do Espírito Santo, sobre a compartimentação geológica básica do estado.

Quadro 1 – Rosetas de frequência por orientação e comprimento dos lineamentos para o estado do Espírito Santo e para os dois compartimentos geológicos principais.

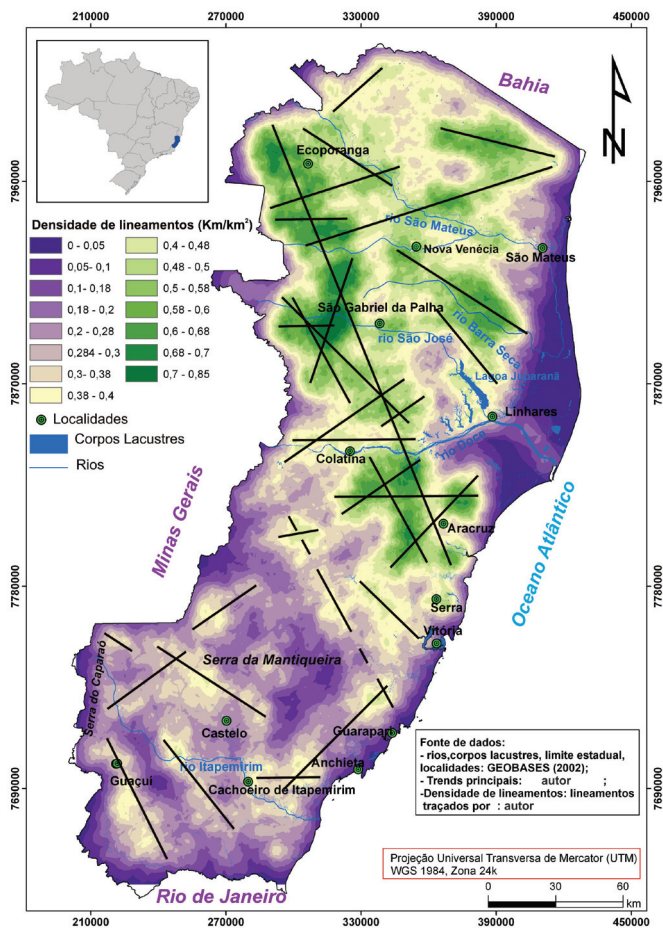
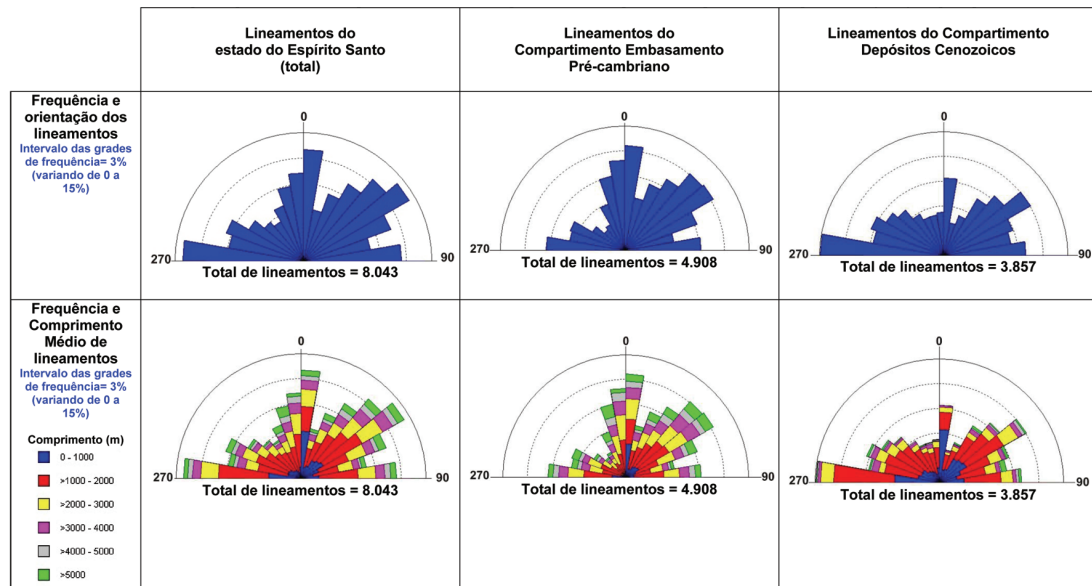


Figura 5 – Mapa de densidade de lineamentos, com destaque para os principais trends estruturais da área.

Os padrões de lineamentos identificados nos dois compartimentos geológicos principais do estado do Espírito Santo são bastante distintos (Quadro 1).

No Compartimento do Embasamento Pré-Cambriano, a oeste, observa-se um padrão similar ao descrito para a área total, exceto pela menor quantidade de lineamentos E-W. As direções N40-60E, N0-10E e N0-10W predominam de forma marcante. Os lineamentos que apresentam maior comprimento são os de direção N40-70E e N10-20W (Quadro 1). As maiores densidades de lineamentos neste compartimento associam-se à Faixa Colatina, desde Vitória até Ecoporanga, segundo um *trend* NNW-SSE, e em um *trend* NW-SE na porção norte do estado, que se prolonga até a área dos depósitos sedimentares, na mesma orientação do rio Barra Seca (Figura 5). No sul do estado, *trends* com orientação NW-SE estão presentes na região da Serra da Mantiqueira. Neste compartimento, puderam ser reconhecidos três domínios particulares de lineamentos (Figura 6):

a) domínio Mantiqueira: abrange a região mais alta do estado, na porção sul, correspondente à unidade geomorfológica *Patamares Escalonados do Sul Capixaba*, com relevo de serras e colinas altas, destacando-se as serras da Mantiqueira e do Caparaó. É marcado pelo predomínio de lineamentos com orientações NE-SW, com os maiores comprimentos. Feixes com maior concentração de lineamentos NW-SE resultam nas porções de maior densidade de lineamentos neste domínio;

b) domínio Faixa Colatina: estende-se em uma orientação NNW-SSE desde Vitória, passando por Co-

latina, até Ecoporanga, alcançando o estado de Minas Gerais, sendo marcado por lineamentos com orientações predominantes NNW-SSE, que apresentam os maiores comprimentos identificados na área de estudo. Este domínio apresenta as maiores densidades de lineamentos no estado do Espírito Santo, com forte controle estrutural, representado por vales retilíneos de grandes comprimentos e grandes trechos de rios alongados;

c) domínio de transição entre os compartimentos do embasamento pré-cambriano e dos depósitos cenozoicos: limita-se, a oeste, com o domínio Faixa Colatina e, a leste, com o Compartimento dos Depósitos Cenozoicos, sendo marcado por lineamentos com orientações predominantes NE-SW e NNE-SSW, relativamente curtos e com baixa densidade. Este domínio apresenta tanto relevo de serras altas, correspondendo à unidade geomorfológica *Bloco Montanhoso Central*, quanto de colinas altas e baixas, de topo alongado, representado pelos *Tabuleiros Costeiros*.

No Compartimento dos Depósitos Cenozoicos, a leste, os lineamentos foram extraídos basicamente sobre as rochas da Formação Barreiras, em uma área que se estende por todo estado, com maior predomínio na porção norte, com pequenos núcleos no sul do estado. Esta unidade relaciona a um relevo de colinas altas e baixas, com topo tabular e vales bastante escavados, associado à unidade geomorfológica *Tabuleiros Costeiros*. Foi identificado o predomínio das direções N80-90W e N50-60E, com distribuição significativa de lineamentos com orientações N40-70W, N0-10E, N40-70E e N80-90E (Quadro 1). Os lineamentos são caracteristicamente curtos, sendo os maiores orientados na direção N70-80E (Quadro 1). As maiores densidades de lineamentos neste compartimento concentram-se em *trends* NW-SE e também em *trends* NE-SW que se prolongam a partir das rochas do embasamento pré-cambriano (Figura 5).

Ao longo do Compartimento dos Depósitos Cenozoicos, verifica-se uma variação na distribuição das orientações de lineamentos, com presença constante dos lineamentos E-W (Figura 6):

a) na porção sul do estado do Espírito Santo, os lineamentos NE-SW e NW-SE ocorrem com a mesma importância;

b) na região de Vitória e Guarapari, destaca-se a ocorrência de lineamentos NNE-SSW;

c) na porção norte do estado, existem setores com maior presença de lineamentos NW-SE alternados com setores com predomínio de lineamentos NE-SW.

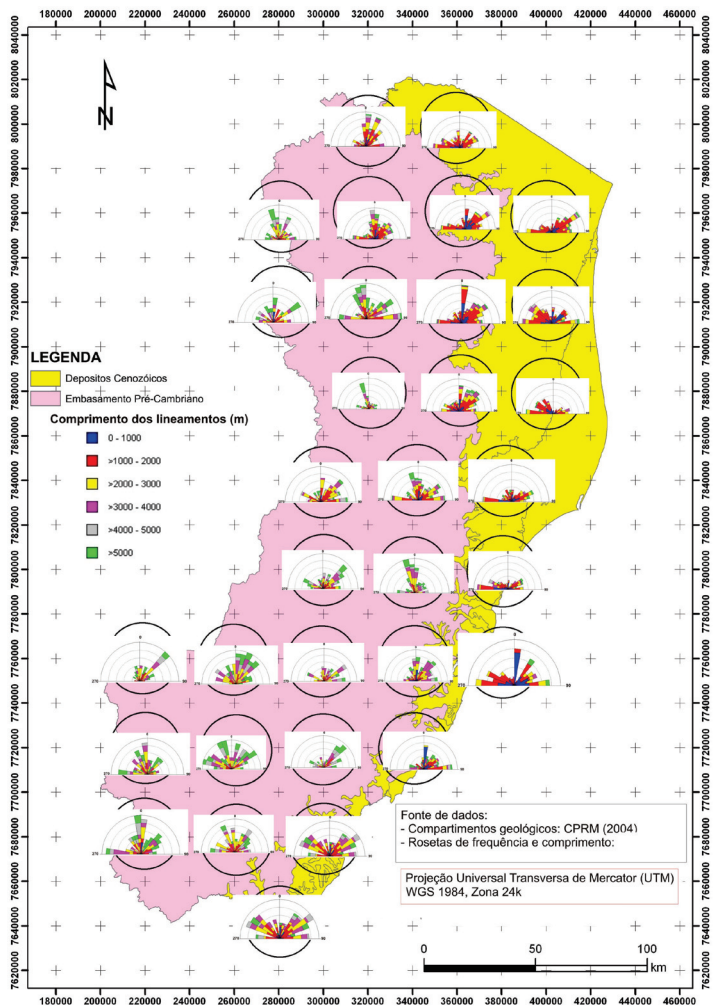


Figura 6 – Distribuição da frequência, orientação e comprimento de lineamentos ao longo da área de estudo.

## Considerações finais

Os padrões de lineamentos identificados no estado do Espírito Santo configuram dois compartimentos fortemente contrastantes, diretamente relacionados à compartimentação geológica básica do estado: i) Compartimento do Embasamento Pré-Cambriano, a oeste, onde as direções NE-SW e N-S predominam de forma marcante, os lineamentos apresentam maior comprimento e ocorrem as maiores densidades de lineamentos; e ii) Compartimento dos Depósitos Cenozoicos, a leste, onde as direções E-W, NE-SW, NW-SE e N-S ocorrem de maneira expressiva, os lineamentos são menores, mas a densidade de lineamentos é significativa.

Os padrões de lineamentos no Compartimento do Embasamento Pré-Cambriano estão claramente associados a controles litoestruturais, refletindo-se nos diferentes domínios identificados. No domínio Mantiqueira, na porção sul do estado, o predomínio de lineamentos com orientações NE-SW,



com a presença de feixes de lineamentos NW-SE, pode ser explicado pela predominância de falhas, fraturas e foliações de direção NE-SW, relacionadas à estruturação da Faixa Ribeira, cortadas quase que perpendicularmente por estruturas de orientação NW-SE (Machado Filho *et al.*, 1983; Pedrosa Soares & Wiedeman-Leonardos, 2000). O domínio Faixa Colatina, marcado pelas maiores densidades de lineamentos no estado do Espírito Santo, com orientações predominantes NNW-SSE, domina a porção norte do Compartimento do Embasamento Pré-Cambriano e está diretamente associado a esta que é a mais importante feição estrutural no estado do Espírito Santo.

Os padrões de lineamentos no Compartimento dos Depósitos Cenozoicos, por sua vez, podem ser atribuídos aos padrões de fraturamento neotectônico descritos por diversos autores (Hatushika, 2005; Rodrigues, 2005; Mello *et al.*, 2005; Miranda, 2007; Miranda, 2009; Ribeiro, 2010; Bricalli, 2011).

A presença constante dos lineamentos E-W em todo Compartimento dos Depósitos Cenozoicos e os lineamentos NW-SE, bastante significativos em alguns setores deste compartimento, podem ser relacionados a estruturas geradas no evento de transcorrência dextral E-W (Pleistoceno-Holoceno), relacionando-se a falhas dexas WNW-ESE a E-W e falhas normais NW-SE. As estruturas com orientação NW-SE controlam fortemente a rede de drenagem regional e os corpos lacustres da região de Linhares, o que foi destacado por Novais (2004), Hatushika (2005), Miranda *et al.* (2008), Bricalli & Mello (2009) e Miranda (2009), condicionando a presença de vales escavados nos Tabuleiros Costeiros da Formação Barreiras. O importante controle estrutural exercido pelo fraturamento de orientação NW-SE na porção norte do estado pode ser observado de modo particular nas bacias hidrográficas dos rios Barra Seca e São José, onde a orientação destes rios e de seus afluentes está fortemente condicionada segundo esta direção de fraturamento (Bricalli & Mello, 2009; Fornaciari, 2009).

Além disso, os lineamentos NE-SW presentes no Compartimento dos Depósitos Cenozoicos podem ser associados ao padrão de fraturamento gerado no evento de distensão NW-SE (Holoceno), relacionando-se a falhas normais NE-SW. Entre outros aspectos, estas estruturas são responsáveis pela barragem da lagoa Juparanã e demais lagos internos da região de Linhares (Hatushika, 2005; Hatushika *et al.*, 2005; Hatushika *et al.*, 2007).

O fato de os padrões de fraturamento verificados no Compartimento dos Depósitos Cenozoicos apresentarem semelhanças aos encontrados no Compartimento do Embasamento Pré-cambriano, especialmente no domínio de transição, sugere que os padrões de lineamentos nos domínios do embasamento possam também refletir a reativação neotectônica de estruturas preexistentes. Essa reativação pode ser atestada pela continuidade de *trends* estruturais que se

prolongam desde os depósitos sedimentares até as rochas do embasamento, com a mesma orientação. A este respeito, Rodrigues (2005), Mello *et al.* (2005), Miranda (2007) e Miranda (2009) documentaram reativações neotectônicas ao longo dos *trends* estruturais do domínio Faixa Colatina, relacionados, em especial, ao regime de transcorrência dextral E-W (Pleistoceno-Holoceno).

A hipótese de que os principais *trends* estruturais no estado do Espírito Santo correspondem a feições geomorfológicas (vales alinhados, *shutter ridges*, facetas triangulares, lagos alinhados) influenciadas e/ou condicionadas por mecanismos neotectônicos deve ser considerada para uma nova abordagem a respeito da compartimentação geomorfológica do estado.

### Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e ao Programa de Pós-graduação em Geologia da UFRJ, pelo apoio no desenvolvimento desse estudo.

### Referências bibliográficas

- ALMEIDA, F. F. M. O Cráton do São Francisco. Revista Brasileira de Geociências, São Paulo, v.7, p. 249-264, 1977.
- BEZERRA, F.H.R.; AMARO, V.E.; VITA-FINZI, C.; SAADI, A. Pliocene-Quaternary fault control of sedimentation and coastal plain morphology in NE Brazil. Journal of South American Earth Sciences, 14: 61-75. 2001.
- BEZERRA, F.H.R.; BRITO NEVES, B.B.; CORRÊA, A.C.B.; BARRETO, A.M.F.; SUGUIO, K. Late Pleistocene tectonic-geomorphological development within a passive margin – the Cariatá trough, northeastern Brazil. Geomorphology, p. 1-28, sep. 2007.
- BRICALLI, L. L. Evolução de uma depressão em embasamento cristalino e sua relação com os aspectos geológico-geomorfológicos regionais (Serra-ES). 2006. 142f. Dissertação (Mestrado em Geografia Física) – Programa de Pós-Graduação em Geografia Física, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.
- BRICALLI, L.L.; MELLO, C.L. Controle Neotectônico na rede de drenagem da bacia do rio Barra Seca (Porção emersa da Bacia do Espírito Santo). In: XII SNET (SIMPÓSIO NACIONAL DE ESTUDOS TECTÔNICOS), VI INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON TECTONICS, 12, 2009, Ouro Preto (MG). Anais...Ouro Preto: Xii Snet (Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos), VI International Symposium On Tectonics, 2009, p.55.
- BRICALLI, L. L. . Padrões de Lineamentos e Fraturamento Neotectônico no estado do Espírito Santo (sudeste do Brasil). Rio de Janeiro: Instituto de Geociências (UFRJ), 2011 (TESE DE DOUTORADO).

- CHANG, H.K.; KOWSMANN, R.O.; FIGUEIREDO A.M.F.; BENDER, A.A. Tectonics and stratigraphy of the East Brazil Rift system. *Tectonophysics*, v.213, p. 97-138, 1992.
- CPRM Serviço Geológico do Brasil. Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo. Folhas SF24 (Vitória) e SE 24 (Rio Doce), escala 1:1.000.000. 2004.
- FORNACIARI, F. Resposta da rede de drenagem a movimentação tectônica na bacia do rio São José. 2009. Monografia (Graduação em Geografia) – Departamento de Geografia, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2009.
- GALLARDO, C.; SERRÃO, M.; MUÑIZ, M. O intemperismo dos gnaisses do sistema montanhoso do litoral sudeste: um exemplo de atividade tectônica atual no Município de Nova Venécia, Espírito Santo. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA REGIONAL, 1., 1987, Rio de Janeiro-Espírito Santo. Atas...São Paulo: Sociedade Brasileira de Geologia, 1987, p. 465-466.
- GATTO, L.C.S.; RAMOS, V.L.S.; NUNES, B.T.A.; MAMEDE, L.; GÓES, M.H.; MAURO, C.A.; ALVARENGA, S.M.; FRANCO, E.M.S.; QUIRICO, A.F.; NEVES, L.B. Geomorfologia. Projeto Radam Brasil. Folhas 23/24 Rio de Janeiro/Vitória .V 32. Rio de Janeiro, 1983.
- GONTIJO, A.H.F. Morfotectônica do Médio Vale do Rio Paraíba do Sul: Região da Serra da Bocaina, Estados de São Paulo e Rio de Janeiro. Rio Claro (SP). 259 p. (Tese de Doutorado, Instituto de Geociências e Ciências Exatas – UNESP), 1999.
- HATUSHIKAR. S.; MELLO, C. I.; SILVA, C.G. Evidências de atuação neotectônica na formação do lago Juparanã-Linhares (ES). In: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS DO QUATERNÁRIO (ABEQUA), 10, Guarapari, 2005. Resumos expandidos, Guarapari, CD-ROM, 2005.
- HATUSHIKA, R. S. Investigação Sismoestratigráfica do Lago Juparanã - Baixo Curso do Rio Doce, Linhares (ES). 2005. 84 p. Monografia (Graduação em Geologia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.
- HATUSHIKA, R. S. ; SILVA, C. G. ; MELLO, C. L. . Sismoestratigrafia de alta resolução no Lago Juparanã, Linhares (Es Brasil) como base para estudos sobre a sedimentação e tectônica quaternária. *Revista Brasileira de Geofísica* , v. 25, p. 433-442, 2007.
- HEILBRON, M.; PEDROSA-SOARES, A. C.; CAMPOS NETO, M. C.; SILVA, L. C.; TROUW, R. A. J.; JANASI, V. A. Província Mantiqueira. In: MANTESSO-NETO, V. M.; BARTORELLI, A.; CARNEIRO, C. D. R.; BRITO-NEVES, B. B. (orgs.). *Geologia do Continente Sul-Americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*. São Paulo: Editora Beca, 2004. p. 203-234.
- HIRUMA, S.T & RICCOMINI. Análise Morfométrica em Neotectônica: o exemplo do Planalto de Campos do Jordão, SP. *Revista do Instituto Geológico, IG São Paulo*, 20 (1/2): 5-19, 1999.
- HIRUMA, S.T; RICCOMINI, C; MODENESI-GAUTTIERI, M.C. Neotectônica no Planalto de Campos do Jordão, SP. *Revista Brasileira de Geociências*. 31 (3): 375-384, 2001.
- HIRUMA, S.T. 2007. Significado morfotectônico dos planaltos isolados da Bocaina . 205p. Tese (Doutorado em Geologia) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 2007.
- LIMA, C.C.U. de; VILA-BOAS, G. S. da; BEZERRA, F.H.R. Faciologia e Análise Tectônica Preliminar da Formação Barreiras no Litoral Sul do Estado da Bahia, Brasil. *Revista do Instituto de Geociências-USP. Geol. USP Ser. Cient.*, São Paulo, v.6, n. 2, p. 61-70, 2006.
- JORDAN, G.; SCHOTT, B. Application of wavelet analysis to the study of spatial pattern of morphotectonic lineaments in digital terrain models. A case of study. *Remote Sensing of Environment*, 94. p. 31-38, 2005.
- LIU, C.C. Análise Estrutural de lineamentos em imagens de sensoriamento remoto: aplicação ao estado do Rio de Janeiro. Programa de Pós-graduação em Geociências, Universidade de São Paulo, Tese de Doutorado, 157p, 1984.
- MACHADO FILHO, L.M; RIBEIRO, M.W; GONZALEZ, S.R; SCHENINI, C.A; NETO, A.S; PALMEIRA, R.C.B; PIRES, J.L; TEIXEIRA, W; CASTRO, H.E.F. Geologia. Projeto Radam Brasil. Folhas 23/24 Rio de Janeiro/Vitória .V 32. Rio de Janeiro, 1983.
- MARTIN, L.; SUGUIO, K.; DOMINGUEZ, J. M.; FLEXOR, J. Geologia do Quaternário costeiro do litoral norte do Rio de Janeiro e do Espírito Santo. Belo Horizonte: CPRM, 1997, 112 p.
- MELLO, C. L.; RODRIGUES, H. B.; HATUSHIKA, R. S. Reativações tectônicas cenozóicas na Faixa de Lineamentos Colatina (ES). In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ESTUDOS TECTÔNICOS/IV INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON TECTONICS OF THE BRAZILIAN GEOLOGICAL SOCIETY, 10., Curitiba. Anais... Curitiba: SBG, p. 186-188, 2005.
- MELLO, C. L. ; RIBEIRO, C. S. ; BREDAS, T. C. ; MIRANDA, D. J. ; BRICALLI, L. L. . Deformação Neotectônica na porção emersa das bacias de Campos e do Espírito Santo, sudeste do Brasil. In: 46 CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 2012, SANTOS. 46 CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA e PRIMEIRO CONGRESSO DE LINGUA PORTUGUESA, 2012.
- MENDES, I.A; DANTAS, M; BEZERRA, L.M.M. Geomorfologia. Projeto Radam Brasil. Folha SE.24 Rio Doce .V 34. Rio de Janeiro, 1987.
- MIRANDA, D. J. Análise de estruturas rúpteis associadas a deformações neotectônicas na região centro-norte do estado do Espírito Santo. 2007. 58 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geologia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.
- MIRANDA, D. J.; MELLO, C. L.; BITTENTOURT, B.; BRICALLI, L. L.; GARCINDO, L. B.; RIBEIRO, C..

- Deformação neotectônica na região centro-norte do Espírito Santo e sua influência na organização da rede de drenagem. In: 44 CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 2008, Curitiba. 44 CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 2008.
- MIRANDA, D. J. Tensões e fraturamento neotectônico na área emersa da bacia do Espírito Santo. 2009.125p.Dissertação (Mestrado em Geologia) - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.
- MODENESI-GAUTTIERI, M.C.;HIRUMA, S.T;RICCO MINI,C.2002. Morphotectonics of a high plateau on the northwestern flank of the Continental Rift of southeastern Brazil. *Geomorphology* 43: 257-271.
- MORAIS, R.M.O. Sistemas fluviais terciários na área emersa da bacia do Espírito Santo (Formações Rio Doce e Barreiras). Programa de Pós-graduação em Geologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Tese de doutorado, 139 p, 2007.
- NOGUEIRA, F.C.C; BEZERRA, F.H.R; CASTRO, D.L. de. Deformação Rúptil em Depósitos da Formação Barreiras na Porção Leste da Bacia Potiguar. *Revista do Instituto de Geociências-USP. Geol. USP Ser. Cient., São Paulo, v.6, n. 2, p. 51-61. 2006.*
- NOVAIS, L.C.C; TEIXEIRA, L.B; NEVES, M.T; RODARTE, J.B.M; ALMEIDA, J.C.H; VALERIANO, C.M.Novas ocorrências de diques de diabásio na faixa Colatina-ES: estruturas rúpteis associadas e implicações tectônicas para as bacias de campos e do Espírito Santo. *B.Geoci.Petrobrás.12 (1):191-194. 2004.*
- NOVAIS, C.C.L. Lineamentos transversais nas porções centro e norte da bacia do Espírito Santo e na faixa proterozóica adjacente: influência na sedimentação e na compartimentação estrutural. Dissertação (Mestrado em m análise de bacias e faixas móveis) – Faculdade de Geologia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.
- O’LEARY, D.W., FRIEDMAN, J.D., POHN, H.A. Lineament, linear, lineation: some proposed new standards for old terms. *Geological Society of America Bull.*, 87:1463-1469. 1976.
- PEDROSA-SOARES, A.C & WIEDEMANN-LEONARDOS, C.M.2000.Evolution of the Araçuaí Belt and its connection to the Ribeira Belt, Eastern Brazil. IN: CORDANI,U.G; MILANI, E,J; THOMAZ FILHO, A; CAMPOS, D.A (ed.)Tectonic Evolution of South America.2000. p. 265-285.
- RIBEIRO, C.S. Influência da tectônica pós-deposicional na distribuição da Formação Barreiras entre o rio Paraíba do Sul (RJ) e o rio Doce (ES). 2010. 164 p. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.
- RODRIGUES, H. B. Aspectos geomorfológicos e reativação tectônica cenozóica na Faixa de Lineamentos Colatina (Espírito Santo). 2005. 58 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geologia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.
- SABINS, F.F. 1978. *Remote Sensing Principles and Interpretation.* 3 ed. W.H. Freeman and Company, New York, 494 p.
- SILVA, R.M.J; LIMA, C.I.M; VERONESE, V.F; JUNIOR, R.N.R; ROCHA, M.R; JUNIOR, S.O. *Geologia. Projeto Radam Brasil. Folhas se 24 Rio Doce, v.34. Rio de Janeiro, 1987.*
- SRTM. Shuttle Radar Topography Mission (SRTM-NASA). Modelo Digital de Elevação (MDE). Disponível em <http://srtm.csi.cgiar.org/>. Levantamento realizado entre 11 e 22 de fevereiro de 2000. Resolução espacial: 90m. 2010.
- VIEIRA, R. A. B.; MENDES, M. P.; VIEIRA, P. E; COSTA, L.A.R., TAGLIARI, C. V.; BACELAR, L. A. P.; FEIJÓ, F. J. Bacias do Espírito Santo e Mucuri. *Boletim de Geociências da PETROBRAS. Rio de Janeiro, v. 8, n. 1, p. 195-202, jan. 1994.*