

Análise de lineamentos e *trends* estruturais na região centro sul do estado do Espírito Santo.

Daniel Tonini Peterle¹

Hudson Costa Oliveira²

Ramon de Oliveira Aranda³

Paulo de Tarso Ferro de Oliveira Fortes⁴

¹Universidade Federal do Espírito Santo/Departamento de Geologia – UFES/DGEL

Caixa Postal 21 – 29500-000 – Alegre – ES, Brasil

¹danielpeterle@gmail.com

²hudsoncosta.o@gmail.com

³Ramon-aranda@hotmail.com

⁴paulo.fortes@ufes.br

Abstract. The following work sought to determine the main structural trends in the southern central region of the state of Espírito Santo, near the Shear Zone Guaçuí (ZCGu) which presents a major NNE-SSW trend. The lineaments were originally extracted from colored composition images with bands 5, 3 and 2 of the Landsat 8 and four shaded relief images that were generated from SRTM with lighting azimuth. Directional and densification maps were manufactured from the extraction of linear features regarding to ridges and valleys, this way, the analysis sought to determine the most expressive structural control of the area, which were the most important countenance and where are located the largest structural densifications. The methodology was presented by the following steps: image acquisition from Landsat 8 and SRTM; choosing and trimming the image of the study area; digital processing and generation of each image used; lineaments extractions; grouping of vectors and exploratory analysis; lineament classification by azimuths and density analysis; manufacture of directional and densification maps. The results showed that the area is strongly structurally controlled by NE-SW trend, mainly regarding the ZCGu and its structural damaged zone, previously described in the literature, and by the NW-SE trend being the most recurrent, mainly valleys, having its main features the Piúma Lineament, which makes it possible for a new field of studies that will explain the great expressiveness of the NW-SE trend.

Palavras-chave: structural control, *trend*, lineament, controle estrutural, *trend*, lineamentos.

1. Introdução

A elaboração de mapas de lineamentos e de densidade de lineamentos é uma importante etapa pré-campo, uma vez que as principais direções de lineamentos orientam os trabalhos de forma a encontrar e coletar dados estruturais concisos. Os mapas de lineamento, juntamente com dados coletados em campo, podem servir de base para uma compartimentação estrutural da área de estudo (Oliveira *et al.*, 2009).

O'Leary *et al.* (1976) descreveram o termo lineamento como feição linear simples ou composta mapeável de uma superfície, cujas partes são alinhadas em trama linear ou ligeiramente encurvados, os quais diferem do padrão de feições adjacentes e presumivelmente refletem algum fenômeno de subsuperfície.

Com isso, a região centro sul do estado do Espírito Santo foi escolhida para elaboração do trabalho, devido ao forte controle estrutural com *trend* NNE-SSW da Zona de Cisalhamento Guaçuí (ZCGu), inserida na porção central do Orógeno Araçuai com aproximadamente 320 km de extensão total com 5 km de largura e movimentação tectônica dextral (Silva., 2010).

Desta forma, este trabalho tem como objetivo, extrair as feições lineares e elaborar mapas direcionais classificados pelos azimutes e densidade de lineamentos a partir da interpretação visual de imagens do Landsat 8 e do SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), afim de determinar se o *trend* NE-SW, *trend* escolhido no trabalho como o representante do azimute da ZCGu, realmente é o mais expressivo na compartimentação estrutural da área.

1.1 Área de estudo

A área de estudo localiza-se na região centro sul do estado do Espírito Santo (ES) (Figura 1) e a centro-leste e nordeste da ZCGu, com aproximadamente 5.000 km² e compreendida entre as latitudes 20°10'55.90"S – 20°48'21.98"S e longitudes 41°35'17.33"W – 40°48'21,98"W (Datum SIRGAS 2000), na qual estão contidas as cidades de Alegre, Jerônimo Monteiro, Guaçuí, Muniz Freire, Venda Nova do Imigrante, Pedra Azul e Castelo.

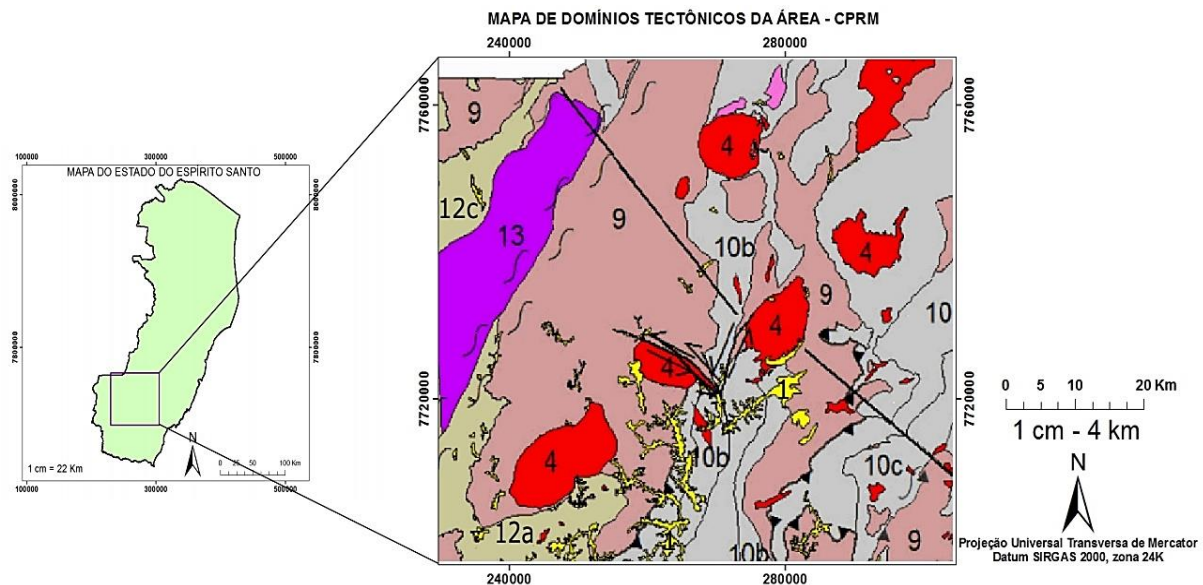


Figura 1. Localização da área de estudo na região centro sul do estado do ES e Mapa de Domínios Tectônicos com escala 1:400.000 do Serviço Geológico do Brasil (CPRM). Os domínios tectônicos da área estão representados na imagem como: Coberturas sedimentares (1); Granitóides pós-colisionais, tipo I (4); Granitóides pré-colisionais, tipo I (9); Bacias sedimentares do tipo Retroarco: Grupo São Fidélis (10a), Grupo Itálva com contribuição vulcanossedimentar (10b), Complexo Nova Venécia (10c); Bacia sedimentar do tipo Antearco: Grupo Bom Jesus do Itabapoana (12a), Grupo Rio Doce-Formação Palmital do Sul (12c); Inlier de embasamento paleoproterozóico retrabalhado no Brasileiro (13).

1.2 Contexto Geológico

O Orógeno Araçuai corresponde à parte brasileira da grande feição Neoproterozóica do Gondwana, denominada Orógeno Araçuai-Congo Ocidental, a qual faz parte da compartimentação do supercontinente Pannotia. Esta zona orogênica foi dividida durante a abertura do Oceano Atlântico (Pedrosa-Soares *et al.*, 2001).

De acordo com Pedrosa-Soares *et al.* (2007), o Orógeno Araçuaí-Congo Ocidental é identificado por um conjunto de componentes geotectônicos e representa estágios evolutivos da tectônica global, destacando-se na área da realização do trabalho um expressivo estágio orogênico “pós-colisional” (530 - 490 Ma), onde ocorreram processos deformacionais e plutonismo, relacionados ao colapso gravitacional (extensional) do Orógeno Araçuaí. Neste estágio formaram-se as suítes G4 e G5 que são constituídas por plútons intrusivos, teoricamente livres da foliação regional.

Outra feição tectônica associada ao estágio de colapso orogênico é a ZCGu (Fonseca *et al.*, 2012). Esta feição geológica é uma das mais importantes discontinuidades crustais do sudeste brasileiro, com aproximadamente 320 km de extensão, situada entre os paralelos 19°10' e 22° de latitude sul e os meridianos 40°30' e 42°40' de longitude oeste (Fonseca *et al.*, 2012). Regionalmente, a ZCGu corta principalmente as litologias do Complexo Paranaissico Nova Venécia, além de granitóides neoproterozóicos correlacionáveis às suítes G1 e G5 de Pedrosa-Soares *et al.* (2007).

2. Metodologia de trabalho

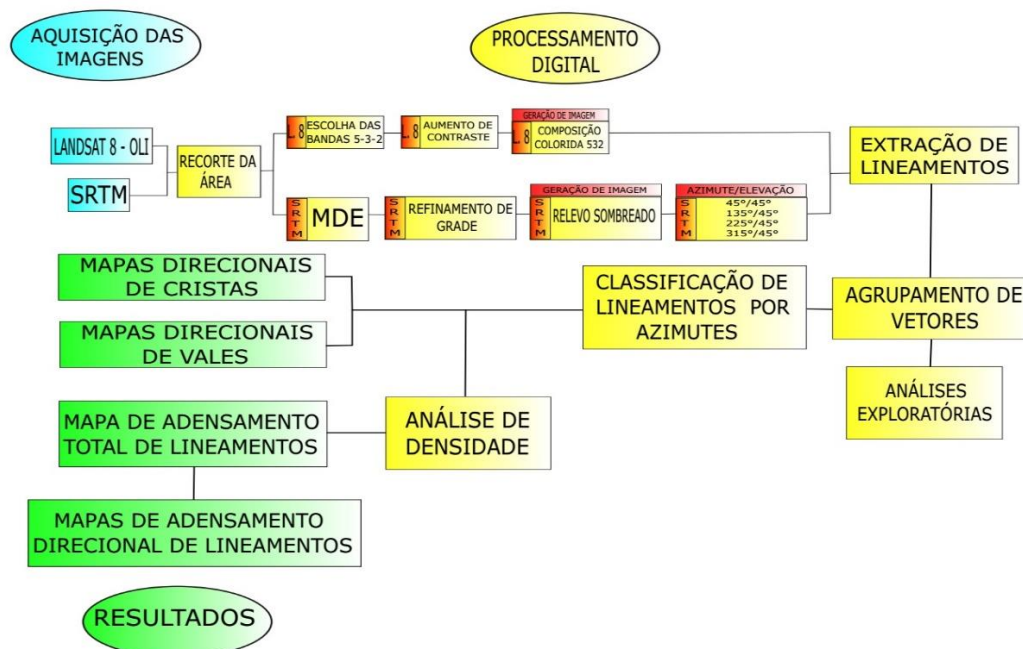


Figura 2. Fluxograma mostrando a metodologia utilizada na confecção dos mapas.

2.1 Aquisição das imagens

Na realização do trabalho foram utilizadas as imagens obtidas pelo satélite Landsat 8 com sensor OLI, correspondente à cena, órbita/ ponto - 216/ 074, com data de 16/ 06/ 2016 e o Modelo Digital de Terreno, obtidos a partir de dados do projeto SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), com resolução espacial de 90 metros e correspondente à cena 20s_42. As imagens do Landsat 8 foram obtidas gratuitamente no catálogo de imagens do INPE (<http://www.dgi.inpe.br/catalogo/>), enquanto que os dados do SRTM foram baixados gratuitamente do projeto TOPODATA (<http://www.dsr.inpe.br/topodata/acesso.php>).

2.2 Processamento de dados

Os softwares utilizados para o processamento de dados foram o *Spring* 5.4.3, no qual foi realizado todo o processamento digital dos dados iniciais, elaboração de rosetas e histogramas

de frequência e comprimento absolutos, além do *ArcMap* 10.3, o qual foi utilizado na construção dos mapas de densidade, classificação de lineamentos por azimutes e montagem dos layouts dos mapas.

O procedimento inicial foi recortar as imagens com o polígono da área de trabalho compreendida entre as latitudes $20^{\circ}10'55.90''S$ – $20^{\circ}48'21.98''S$ e longitudes $41^{\circ}35'17.33''W$ – $40^{\circ}48'21,98''W$ (Datum SIRGAS 2000).

2.2.1 Imagens Landsat 8

Com a escolha das bandas 5, 3 e 2, foi realizado o aumento linear de contraste em cada imagem, reescalando a amplitude de cada pixel através de regra básica de expansão linear de histograma, na qual foi expandido os valores de brilho, sem alterar a quantidade de pixels. A seguir foi colocado a banda 5, infravermelho próximo, no canal do *red* para realçar sua textura, e as bandas do visível 3 e 2 respectivamente nos canais do *green* e *blue*. Com isso, novamente na função de contraste, foi gerada uma imagem sintética de composição colorida “RGB 532”.

2.2.2 SRTM

Após o recorte da área, foi criado um Modelo Digital de Elevação (MDE) com resolução espacial de 90 m. O MDE foi refinado em geração de grade retangular com interpolador bicúbico para 10 m de resolução espacial e, por fim, foram geradas as imagens de relevo sombreado com azimutes de 45° , 135° , 225° e 315° , todos eles com a mesma elevação de 45° e exagero de relevo de 6,34.

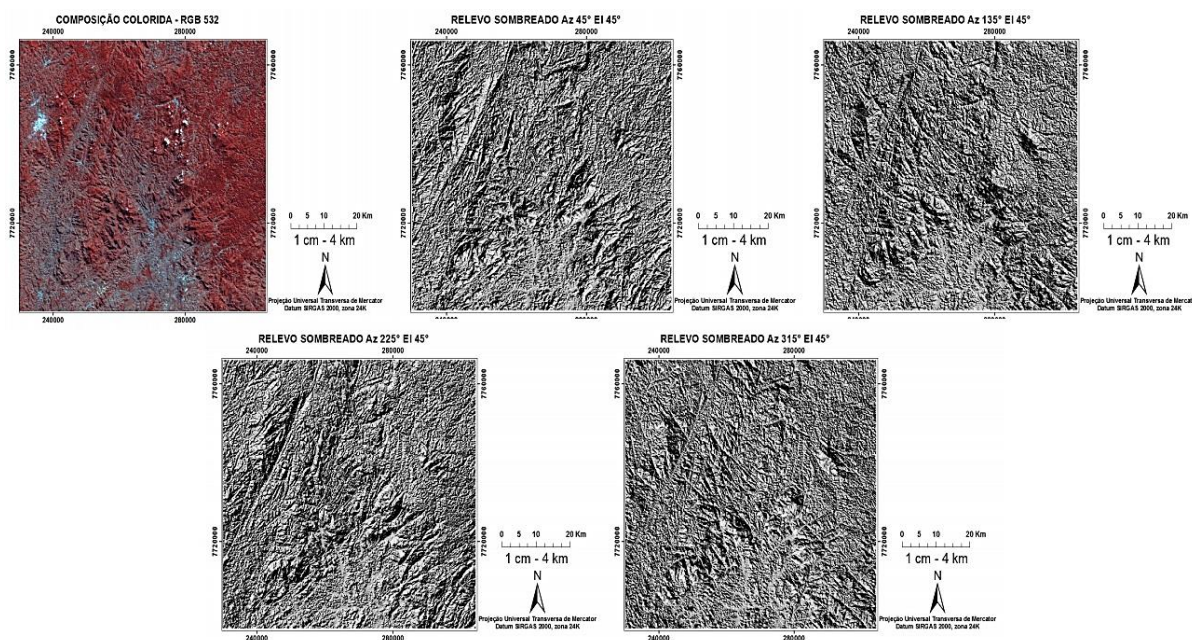


Figura 3. Resultados obtidos após processamento digital e geração das imagens: uma imagem composição colorida - RGB 532 e quatro imagens de relevo sombreado com variação do azimute de iluminação - Az 45° El 45° ; Az 135° El 45° ; Az 225° El 45° ; Az 315° El 45° .

2.3 Extração de lineamentos

As feições lineares foram extraídas manualmente, em escala de trabalho de 1: 150.000, com a separação de vetores correspondentes a cristas de vetores correspondentes a vales em todas as imagens geradas no processamento inicial.

2.4 Agrupamento de vetores

Com a extração de cada feição linear de crista e vale em cada imagem, foi gerado o *shape* com agrupamento de todas as cristas, o *shape* com agrupamento de todos os vales e o *shape* total de agrupamento de lineamentos com a ferramenta *Merge* do *ArcMap* 10.3. Assim, a partir deles, foi possível as análises exploratórias com rosetas e histogramas de frequência, comprimento e direção.

2.5 Classificação de lineamentos por azimutes

Para classificar cada vetor de lineamento em determinado azimute, foi utilizada a ferramenta *Easy Calculate* do *ArcMap* 10.3, com rotina de cálculo azimutal a partir do ponto inicial, médio ou final do lineamento. Essa rotina deve ser aplicada a *field* previamente criada na tabela de atributos do *shape* (ex.: Azimute) e após selecionado a categoria geométrica, a obtenção do azimute, o *shape* escolhido para análise e a determinação de qual ponto será analisado dentro dos campos do *Easy Calculate*, a *field* criada na tabela de atributos será preenchida com os valores azimutais de cada vetor extraído e, assim ocorre o agrupamento dos vetores e a criação de novos *shapes* com as respectivas características extraídas a partir da análise da tabela de atributos.

Os lineamentos, neste trabalho, foram agrupados em quatro classes azimutais: N-S, E-W, NE-SW (abrange NNE-SSW e ENE- WSW) e NW-SE (abrange NNW-SSE e WNW-ESE). Cada classe apresenta intervalo em graus definido arbitrariamente. As classes apresentam-se expressas na figura 4.

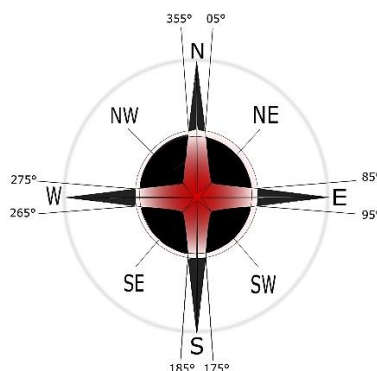


Figura 4. Roseta indicando classes azimutais utilizadas para classificação neste trabalho.

2.6 Análise de densidade

O mapa de adensamento total de lineamentos e os mapas de adensamento direcional de lineamentos, foram criados a partir da ferramenta *Line Density* do programa *ArcMap* 10.3. Segundo Oliveira *et al.* (2009) essa ferramenta calcula a densidade de cada forma linear nas redondezas de cada *pixel* do *raster* de saída. A densidade é calculada em unidades de comprimento por unidade de área (km/km²). Conceitualmente, este cálculo funciona da seguinte maneira: um círculo é desenhado ao redor de cada célula da imagem usando como raio o valor de “X” km (obs.: valor arbitrário informado nas propriedades da ferramenta). A porção do comprimento de cada lineamento que cai dentro da área circular é somada e o total é dividido pela área do círculo.

3. Resultados e Discussão

3.1 Mapas direcionais de cristas e vales

A análise dos mapas mostrou que foram extraídas 878 feições lineares de cristas e 1099 feições lineares de vales, agrupadas em seus respectivos intervalos azimutais, que posteriormente transformaram-se em mapas direcionais. É possível observar nos mapas

referentes aos vales, o aparecimento da ZCGu bastante definida com *trend* NE-SW e o Lineamento Piúma com *trend* NW-SE. Os mapas referentes as cristas não apresentam nenhuma feição geológica características.

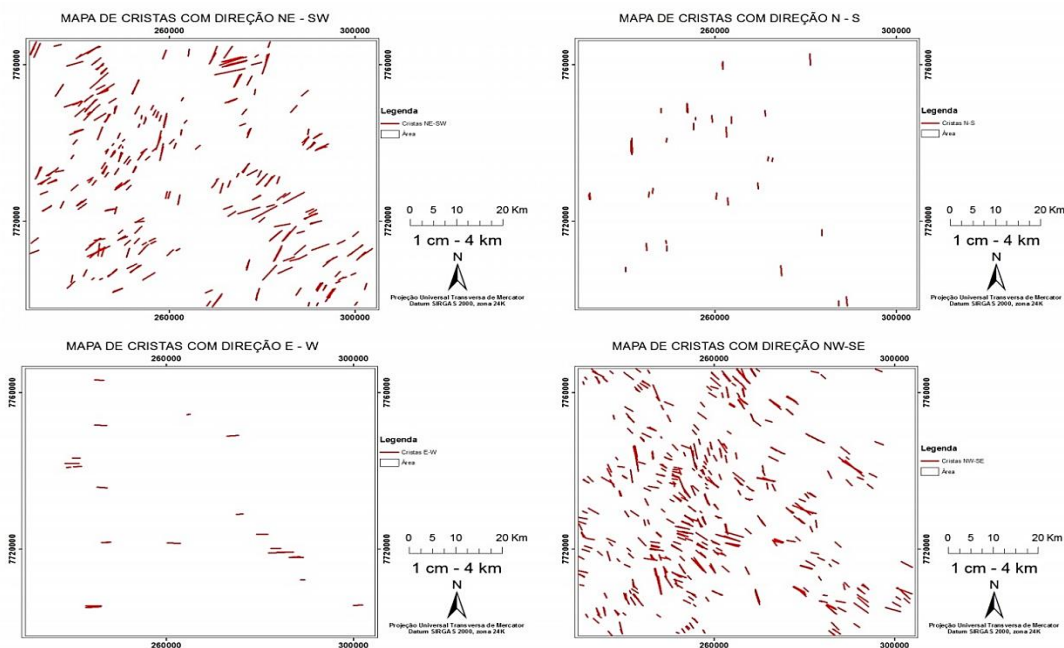


Figura 5. Mapas direcionais de feições lineares referentes as cristas, separadas por seus respectivos azimutes.

Tabela 1. Análise estatística de cristas por direção, população e azimute médio.

DIREÇÃO	POPULAÇÃO	AZIMUTE MÉDIO (grau)
N-S	34	184,5
E-W	27	89,2
NE-SW	318	66,9
NW-SE	499	140,9

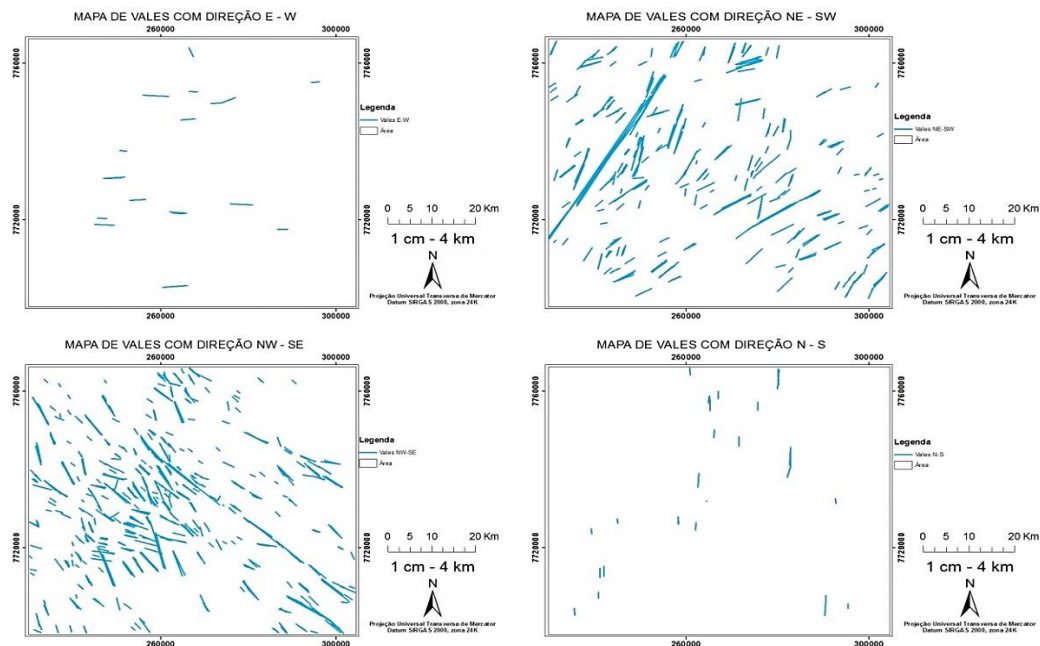


Figura 6. Mapas direcionais de feições lineares referentes aos vales, separados por seus respectivos azimutes.

Tabela 2. Análise estatística de vales por direção, população e azimute médio.

DIREÇÃO	POPULAÇÃO	AZIMUTE MÉDIO (grau)
N-S	29	148,9
E-W	19	138,18
NE-SW	387	75
NW-SE	666	153,3

3.2 Mapa total de adensamento de lineamentos

O agrupamento de vales e cristas gerou um mapa total de adensamento de lineamentos com 1997 feições lineares extraídas. Esse agrupamento permitiu identificar grandes feições lineares como o ZCGu e outras formadas pela conexão de menores feições, entre elas e bastante significativa, o Lineamento Piúma com um *trend* NW-SE. Nota-se forte controle estrutural de vales e cristas próximo ao ZCGu, o que já era esperado devido sua estruturação geológica. O *trend* NE-SW possui 705 feições lineares enquanto o *trend* NW-SE com 1165 é o mais representativo tanto em frequência absoluta quanto em comprimento absoluto.

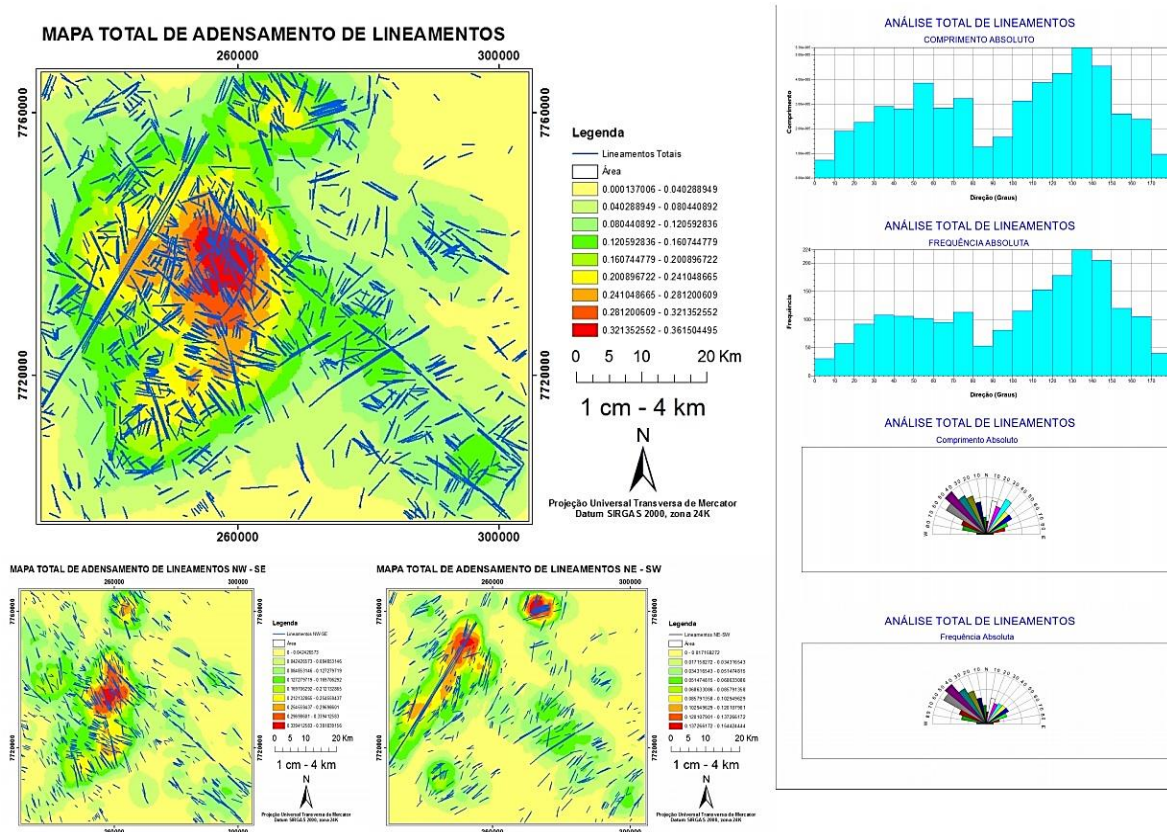


Figura 8. Mapa total de adensamento de lineamentos, mapa total de adensamento de lineamentos NW-SE e mapa total de adensamento de lineamentos NE-SW com raio de 8 km e análises exploratórias de comprimento e frequência absolutos.

4. Conclusão

A geração de imagem de composição colorida utilizando as bandas 5, 3 e 2 do Landsat 8 e as imagens de relevo sombreado com variação no azimute de iluminação obtiveram ótimos resultados no realce de vales e cristas para a extração de lineamentos. A extração das feições em cada imagem resultou em agrupamentos de lineamentos e, posteriormente, na confecção dos mapas direcionais e de densidade, os quais facilitaram na identificação dos *trends* que controlam as estruturas mais importantes, sendo essas interpretações dos mapas facilitadas pelas análises estatísticas de diagramas de rosetas e histogramas.

Os resultados mostraram que o maior adensamento de estruturas se situam nos Granitóides pré-colisionais de tipo I, o qual é fortemente controlado pelo *trend* NE-SW, referente principalmente a ZCGu e sua zona de dano estrutural, já descritos na literatura, e pelo *trend* NW-SE, sendo o de maior frequência principalmente de vales, com sua principal feição o Lineamento Piúma.

Tendo em vista o objetivo do trabalho, os resultados obtidos foram muito satisfatórios, principalmente na caracterização do controle estrutural da área, o que possibilita novos campos de estudos para a explicação da grande expressividade do *trend* NW-SE, já que este não é citado na literatura e a compreensão deste *trend* permitiria a determinação de novos campos de tensão atuantes nas estruturas geológicas da área.

Referências

- Fonseca, M.J.G.; Mendes, J.C.; Silva, Z.C.G.; Moura, J.C. Zona de sutura e organização do Orógeno Ribeira Setentrional. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 42, n.4, p. 812-823, 2012.
- O'leary, D.W.; Friedman, J.D.; Pohn, H.A. Lineament, linear, lineation: some proposed new standards for old terms. **Geological Society of America Bulletin**, v. 87, n. 10, p. 1463-1469, 1976.
- Olivera, D.B.; Moreno, R.S.; Miranda, D.J.; Ribeiro, C.S.; Seoane, J.C.S.; Melo, C.M. Elaboração de um mapa de lineamento estrutural e densidade de lineamento através de imagem SRTM, em uma área ao norte do rio Doce, ES. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 2009. **Anais...** Natal: INPE, 2009. Artigos, p.4157-4163. CD-ROM, Online. Disponível em: <<http://mart.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.17.23.12>>. Acesso em: 30 out. 2016.
- Pedrosa-Soares, A.C.; Noce, C.M.; Alkmim, F.F.; Silva, L.C.; Babinski, M.; Cordani, U.; Castañeda, C. Orógeno Araçuaí: síntese do conhecimento 30 anos após almeida 1977. **GEONOMOS**, v. 15, n.1, p. 1 - 16, 2007.
- Pedrosa-Soares, A.C.; Noce, C.M.; Wiedemann, C.M.; Pinto, C.P. The Araçuaí-West-Congo Orogen in Brazil: an overview of a confined orogen formed during Gondwanaland assembly. **Precambrian Research**, v.110, p. 307–323, 2001.
- SILVA, C.M.T. **O sistema transcorrente da porção sudeste do Orógeno Araçuaí e norte da Faixa Ribeira: geometria e significado tectônico**. 2010. 249f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Ouro Preto.