

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO  
CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS E NATURAIS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

GUSTAVO HENRIQUE TEIXEIRA DA SILVA

**CONTROLE ESTRUTURAL NO MACIÇO MESTRE ÁLVARO (SERRA,  
ESPÍRITO SANTO, SUDESTE DO BRASIL)**

VITÓRIA  
2019

GUSTAVO HENRIQUE TEIXEIRA DA SILVA

**CONTROLE ESTRUTURAL NO MACIÇO MESTRE ÁLVARO (SERRA,  
ESPÍRITO SANTO, SUDESTE DO BRASIL)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Geografia do Departamento de Geografia da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Geografia, na área de concentração Dinâmica dos Territórios e da Natureza.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Luiza Leonardi Bricalli

VITÓRIA  
2019

Ficha catalográfica disponibilizada pelo Sistema Integrado de  
Bibliotecas - SIBI/UFES e elaborada pelo autor

---

T266c Teixeira da Silva, Gustavo Henrique, 1985-  
Controle estrutural no maciço Mestre Álvaro (Serra, Espírito  
Santo, Sudeste do Brasil) / Gustavo Henrique Teixeira da Silva.  
2019.  
126 f. : il.

Orientadora: Luiza Leonardi Bricalli.  
Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal  
do Espírito Santo, Centro de Ciências Humanas e Naturais.

1. Geomorfologia. 2. Geologia. 3. Mestre Álvaro. I. Bricalli,  
Luiza Leonardi. II. Universidade Federal do Espírito Santo.  
Centro de Ciências Humanas e Naturais. III. Título.

CDU: 91

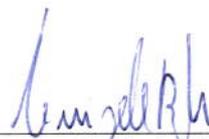
---

# **“CONDICIONANTES ESTRUTURAIS NO RELEVO DO MACIÇO MESTRE ÁLVARO (SERRA-ES)”**

**GUSTAVO HENRIQUE TEIXEIRA DA SILVA**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Espírito Santo como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Geografia.

Aprovada em 18 de outubro de 2019.



Dr.<sup>a</sup> Luiza Leonardi Bricalli (Orientadora)



Dr. Eberval Marchioro



Dr. Cláudio Limeira Mello (Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ)

## AGRADECIMENTOS

Graças ao Deus Triúno, Criador e Sustentador de todo o Universo.

Agradeço à minha esposa, Daniela, pelo amor e companheirismo, por caminhar comigo nessa jornada, às vezes difícil, mas sempre bela e engrandecedora. À Cecília, nossa filha, cujo sorriso é capaz de mandar embora todo o cansaço.

À minha mãe, pela contínua intercessão e cuidados; ao meu pai, por meio de quem o gosto pelos estudos floresceu; ao meu irmão, pela sabedoria, inteligência e por ter aumentado nossa família de forma tão graciosa; à minha avó Dirce, pela fé que abençoa toda a família.

Agradeço à Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Luiza Leonardi Bricalli, que desde o primeiro momento me acolheu entre os seus orientados e acreditou na pesquisa que poderíamos desenvolver. Foram anos de muito trabalho, mas sem dúvida, de imenso amadurecimento.

Aos amigos e colegas da UFES, que ajudaram a tornar o caminhar mais leve: Diego, Talles, Cirila, Jane, Simone, Renato, Wemerson, Wesley e James. Aos funcionários da UFES, especialmente ao Igor, que tão prontamente sempre nos atendeu.

Agradeço aos professores que compuseram a banca de avaliação: ao Prof. Dr. Cláudio Limeira Mello, pelo privilégio de ter se juntado a nós e contribuído de forma tão solícita e cortês ao trabalho; ao Prof. Dr. Eberval Marchioro, cujo amor pela ciência e pela natureza transparece e transborda em todas as suas aulas, dentro ou fora das quatro paredes.

Aos geofísicos Fábio Rodamilans, Thiago Nobre e aos estimados companheiros do setor de processamento geofísico da Petrobrás, que durante todos esses anos me apoiaram no enlouquecedor binômio Empresa/Universidade.

Se porventura me esqueci de alguém enquanto redigia esse texto, saiba que em algum momento, o/a agradei em oração.

*Existem pois o céu e a terra, e clamam que foram criados, mediante suas transformações e mudanças. Mas o que não foi criado em sua forma definitiva, e todavia existe, nada pode conter que antes já não existisse em sua forma potencial, e nisso consiste a mudança e a variação. Proclamam também, os seres, que não foram criados por si mesmos: "Existimos porque fomos criados. Não existíamos antes, de modo que pudéssemos criar a nós mesmos". E essa voz é a voz da própria evidência. És tu, Senhor, quem os criaste. E porque és belo, eles são belos; porque és bom, eles são bons; porque existes, eles existem. Mas tuas obras não são belas, não são boas, não existem de modo perfeito como tu, seu Criador. Comparados contigo, os seres nem são bons, nem belos, nem existem. Isso sabemos, e por isso te rendemos graças; mas nosso saber, comparado com tua ciência, é ignorância.*

*Confissões, Santo Agostinho (Livro XI, Capítulo IV)*

## RESUMO

Esta pesquisa tem como objetivo principal demonstrar a influência estrutural no relevo do Maciço Mestre Álvaro, que configura-se como uma das mais destacadas feições geológicas do estado do Espírito Santo, em virtude principalmente do contraste de altitude que apresenta com relação ao seu entorno. A origem das rochas que compõem o maciço está diretamente ligada aos eventos relacionados ao Orógeno Araçuaí, com destaque para sua fase final, onde numerosas intrusões graníticas pós-tectônicas foram geradas. Deve-se indicar também a presença do Feixe de Lineamentos Colatina, uma das mais importantes feições estruturais do estado, formada por lineamentos com orientações variando entre as direções NNW-SSE e NW-SE. A base metodológica utilizada para o desenvolvimento desta dissertação deu-se a partir de atividades de gabinete e campo. Em gabinete foram gerados diversos mapas, com destaque para a extração de lineamentos a partir de Modelos Digitais de Elevação (MDEs), ortofotos digitais e mapa aeromagnetométrico, com elaboração de rosetas de orientação. Em campo, foram realizadas análises geológicas: medidas estruturais de falhas, fraturas e orientação mineralógica, além da identificação das rochas constituintes do maciço, bem como verificação de suas características mineralógicas, texturais e estruturais; e geomorfológicas: identificação das principais feições de relevo. As análises das rosetas geradas com os lineamentos extraídos a partir das diferentes fontes mencionadas indicam que há uma clara predominância de feições com orientações variando entre NNW-SSE e NW-SE, com participação secundária de lineamentos com orientação NE-SW. Nos trabalhos de campo foram realizadas medidas de orientação de cristais porfiríticos de feldspato, presentes em diversos pontos do maciço. Observou-se que a maior parte destas medições indica orientação NNW-SSE a NW-SE, correspondentes à observação realizada para os lineamentos. Foram constatadas ainda fraturas e veios falhados, cujas orientações também correspondem às indicadas para os lineamentos e cristais orientados. Estas orientações encontram consonância com os estudos neotectônicos desenvolvidos por Bricalli (2011), que apresenta feições com evidências de esforço compressivo NNW-SSE, com conseqüente componente distensivo na direção ENE-SSW, em ponto localizado dentro do chamado Compartimento Colatina, onde localiza-se também a área de estudo. Desta forma, os resultados indicam que o Feixe de Lineamentos

Colatina é a estrutura geológica mais importante no condicionamento do relevo do Maciço Mestre Álvaro, influenciando a orientação de grande parte dos vales e cristas que o compõem, bem como na orientação da intrusão do próprio maciço granítico.

**Palavras-chaves:** Geomorfologia, Geologia, Mestre Álvaro.

## ABSTRACT

The main objective of this study is to understand how the structural elements may have influenced the relief formation of the Mestre Álvaro Massif, which is one of the most prominent geological features of the state of Espírito Santo, mainly because of the contrast of altitude that it presents in relation to its surroundings. The massif origin is directly related to the events related to the Araçuaí Orogen, with mainly in its final phase, when numerous post-tectonic granitic intrusions were generated. It is also necessary to emphasize the presence of the Belt of Lineaments Colatina (BLC), another important structural feature of the state, with associated lineaments varying between the NNW and NW directions. The methodological basis used for the development of this dissertation came from cabinet and field activities, highlighting the extraction of lineaments from Digital Elevation Models (MDEs), aerial photos and aeromagnetometric map, accompanied by the creation of rosettes for the respective analyzes. In the fieldwork, geological analyzes were performed: structural measurements of faults, fractures and mineralogical orientation, beyond the identification of the massif constituent rocks, as well as verification of their mineralogical, textural and structural characteristics; and geomorphological: identification of the main relief features. The analysis of the rosettes generated with the lineaments extracted from the different sources mentioned indicates that there is a clear predominance of features with orientations ranging from NNW-SSE and NW-SE, with secondary participation of NE-SW oriented lineaments. In the fieldwork, orientation measurements of porphyritic feldspar crystals were carried out, present in various points of the massif. It was observed that most of these measurements indicate NNW-SSE to NW-SE orientation, corresponding to the observation made for the lineaments. Fractures and failed veins were also found, whose orientations also correspond to those indicated for oriented lineaments and crystals. These guidelines are aligned with the neotectonic studies developed by Bricalli (2011), which presents features with evidence of compressive stress NNW-SSE, with consequent distensive component in the ENE-SSW direction, at a point located within the so-called Colatina Compartment, where it's located also the study area. So, the results indicate that the Belt of Colatina Lineaments is the most important geological structure conditioning the

relief of the Mestre Álvaro Massif, influencing the orientation of most of its valleys and ridges, as well as the intrusion orientation of the granitic massif itself.

**Key-words:** Geomorphology, Geology, Mestre Alvaro.

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Carta de setores topomorfológicos do Mestre Álvaro.....	29
Figura 2 – Mapa da Região Metropolitana de Vitória.....	34
Figura 3 – Mapa de localização da área de estudo.....	35
Figura 4 – Mapa de detalhe do Maciço Mestre Álvaro.....	36
Figura 5 – Mapa de identificação da Província Mantiqueira.....	38
Figura 6 – Recomposição do Orógeno Araçuaí-Congo Oeste.....	39
Figura 7 – Sequência de eventos no desenvolvimento do Orógeno Araçuaí.....	42
Figura 8 – Mapa geológico da Faixa Araçuaí e áreas cratônicas adjacentes.....	43
Figura 9 – Mapa esquemático do núcleo cristalino do Orógeno Araçuaí.....	45
Figura 10 – Mapa de localização das bacias sedimentares brasileiras.....	46
Figura 11 – Carta Estratigráfica da Bacia do Espírito Santo.....	50
Figura 12 – Mapa geológico com destaque para o Maciço Mestre Álvaro.....	52
Figura 13 – Mapa geomorfológico do estado do Espírito Santo.....	54
Figura 14 – Mapa geomorfológico da área de estudo.....	60
Figura 15 – Mapa de solos da área de estudo.....	63
Figura 16 – Modelos digitais de elevação (MDEs).....	67
Figura 17 – Mapa aeromagnetométrico do estado do Espírito Santo.....	69
Figura 18 – Mapa de pontos visitados no campo.....	73
Figura 19 – Mapa aeromagnetométrico e lineamentos magnéticos.....	79
Figura 20 – Mapa hipsométrico.....	84
Figura 21 – Lineamentos sobrepostos à imagem SRTM.....	85
Figura 22 – Polígonos das rochas graníticas e roseta dos lineamentos.....	86
Figura 23 – Polígonos das rochas metamórficas e roseta dos lineamentos.....	87
Figura 24 – Lineamentos da Fm. Barreiras e depósitos quaternários.....	88
Figura 25 – Detalhe do mapa hipsométrico para o Maciço Mestre Álvaro.....	91
Figura 26 – Mapa de declividades na área do Maciço Mestre Álvaro.....	94
Figura 27 – Mapa de declividades com principais <i>trends</i> .....	95
Figura 28 – Lineamentos extraídos de ortofotos e roseta de orientações.....	98
Figura 29 – Lineamentos selecionados para o Compartimento <b>a</b> do MMA.....	99
Figura 30 – Lineamentos selecionados para o Compartimento <b>b</b> do MMA.....	100
Figura 31 – Granito equigranular do ponto MA-06.....	103
Figura 32 – Granito porfirítico do ponto MA-08.....	103
Figura 33 – Mapa com os pontos visitados em campo na área do MMA.....	106
Figura 34 – Destaque para fratura observada no ponto MA-18.....	107
Figura 35 – Destaque para segunda fratura observada no ponto MA-18.....	107
Figura 36 – Veios de quartzo observados no ponto MA-20.....	108
Figura 37 – Vertente sudeste do MMA, próxima ao ponto MA-08.....	109
Figura 38 – Processo de esfoliação em rocha granítica no ponto MA-12.....	110
Figura 39 – Detalhe do processo de esfoliação no ponto MA-12.....	110
Figura 40 – Porção máfica em meio a matriz granítica.....	111
Figura 41 – Pedreira desativa, na porção leste do MMA.....	112
Figura 42 – Detalhe da Zona 1 da pedreira.....	113

Figura 43 – Detalhe da Zona 2 da pedreira.....	113
Figura 44 – Veio máfico observado na área da pedreira desativada.....	114
Figura 45 – Colina na porção noroeste do MMA, próximo ao ponto MA-01.....	115
Figura 46 – Vista geral do Maciço Mestre Álvaro.....	116
Figura 47 – Cascalheira observada na entrada no bairro de Pitanga.....	116

## LISTA DE TABELAS E QUADROS

Tabela 1 – Pontos visitados em campo.....	101
---	-----

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	17
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	19
2.1. OBJETIVO GERAL.....	19
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	19
<b>3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	20
3.1. DESENVOLVIMENTO DOS CONCEITOS SOBRE A FORMAÇÃO DO RELEVO.....	20
3.2. TEORIA DA TECTÔNICA DE PLACAS.....	23
3.3. ESTUDOS ANTERIORES.....	28
<b>3.3.1. Caracterização Geomorfológica do Mestre Álvaro</b> .....	29
<b>3.3.2. Evolução geomorfológica de um segmento do Mestre Álvaro</b> .....	31
<b>4. ÁREA DE ESTUDO</b> .....	33
4.1. LOCALIZAÇÃO E ACESSOS.....	33
4.2. GEOLOGIA REGIONAL.....	37
<b>4.2.1. Província Mantiqueira</b> .....	37
<b>4.2.2. Orógeno Araçuaí</b> .....	38
<b>4.2.3. Bacia do Espírito Santo</b> .....	45
4.3. GEOLOGIA LOCAL.....	51
<b>4.3.1. Rochas sedimentares e depósitos inconsolidados</b> .....	51
<b>4.3.2. Rochas metamórficas e ígneas</b> .....	52
4.4. CARACTERIZAÇÃO GEOMORFOLÓGICA.....	54
<b>4.4.1. Domínios Morfoestruturais</b> .....	55
4.4.1.1. Depósitos Sedimentares.....	55
4.4.1.2. Faixa de Dobramentos Remobilizados.....	55
4.4.1.3. Maciços Plutônicos.....	55
<b>4.4.2. Regiões Geomorfológicas</b> .....	56
4.4.2.1. Planícies Costeiras.....	56
4.4.2.2. Piemontes Inumados.....	56
4.4.2.3. Planaltos da Mantiqueira Setentrional.....	56

4.4.2.4. Piemontes Orientais.....	56
4.4.2.5. Compartimentos Deprimidos.....	57
4.4.2.6. Planaltos Soerguidos.....	57
<b>4.4.3. Unidades Geomorfológicas.....</b>	<b>57</b>
4.4.3.1. Planíces Costeiras, Estuários e Praias.....	57
4.4.3.2. Tabuleiros Costeiros.....	57
4.4.3.3. Colinas e Maciços Costeiros.....	58
4.4.3.4. Chãs Pré-Litorâneas.....	58
4.4.3.5. Maciços do Caparaó I e II.....	58
4.4.3.6. Patamares Escalonados do Sul Capixaba.....	58
4.4.3.7. Depressão Marginal.....	59
4.4.3.8. Bloco Montanhoso Central.....	59
<b>4.4.4. Geomorfologia Local.....</b>	<b>59</b>
4.5. SOLOS.....	61
<b>5. MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>64</b>
5.1. ANÁLISES DE GABINETE.....	64
<b>5.1.1. Revisão bibliográfica e de bases cartográficas.....</b>	<b>64</b>
<b>5.1.2. Análise De Lineamentos.....</b>	<b>65</b>
5.1.2.1. Análise de Lineamentos em MDE (escala 1:100.000).....	66
5.1.2.2. Análise de Lineamentos em Mapa Aeromagnetométrico (1:500.000).....	68
5.1.2.3. Análise de Lineamentos em Fotos Aéreas Ortoretificadas (1:25.000).....	70
<b>5.1.3. Análises Morfométricas.....</b>	<b>70</b>
5.1.3.1. Mapa hipsométrico.....	70
5.1.3.2. Mapa de Declividades.....	71
5.2. ATIVIDADES DE CAMPO.....	72
<b>5.2.1. Seleção de Áreas.....</b>	<b>72</b>
<b>5.2.2. Descrição litológica/estrutural.....</b>	<b>74</b>
<b>5.2.3. Descrição Geomorfológica.....</b>	<b>74</b>
<b>6. RESULTADOS.....</b>	<b>76</b>
6.1. ANÁLISES REGIONAIS.....	76
<b>6.1.1. Análise de Lineamentos Magnéticos.....</b>	<b>76</b>
<b>6.1.2. Mapa Hipsométrico.....</b>	<b>80</b>

<b>6.1.3. Lineamentos Extraídos de Modelo Digital de Elevação (MDE).....</b>	<b>84</b>
<b>6.2. ANÁLISES LOCAIS.....</b>	<b>90</b>
<b>6.2.1. Mapa Hipsométrico Local.....</b>	<b>90</b>
<b>6.2.2. Mapa de Declividades Local.....</b>	<b>92</b>
<b>6.2.3. Lineamentos extraídos de Ortofotos.....</b>	<b>96</b>
<b>6.2.4. Dados de Campo.....</b>	<b>101</b>
<b>7. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>117</b>
<b>8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>121</b>

## 1. INTRODUÇÃO

O Maciço Mestre Álvaro (MMA), objeto de estudo deste trabalho, configura-se como um dos principais maciços geológicos do estado do Espírito Santo e, conforme salientado por Borges (2015), referências a ele são encontradas desde a primeira metade do Século XVI, já à época considerada como ponto de referência para os navegadores europeus. Atualmente, configurando-se como uma Área de Preservação Ambiental (APA), passa a assumir relevância em tópicos como o turismo e planejamento urbano, incluindo as implicações econômicas advindas destes.

A história geológica do Mestre Álvaro encontra-se relacionada aos eventos que deram origem ao Orógeno Araçuaí, os quais, em suas fases finais, foram responsáveis por grande parte das intrusões graníticas presentes no estado do Espírito Santo (ALKMIM *et al.* 2007), como as que podem ser observadas na região da Grande Vitória, caracterizadas, em sua maioria, como pós-tectônicas.

Estudos relacionados a estruturas geológicas e relevos têm sido realizados no mundo e no Brasil (OLGEN, 2004; CAMPBELL, 2007; MIGÓN e VIEIRA, 2014; JACQUES *et al.*, 2014; BRICALLI e SOUZA, 2017; MAIA e NASCIMENTO, 2018), objetivando delimitar a origem das formas do relevo a partir do controle estrutural e litológico. A maior parte destes estudos envolvem a extração de lineamentos a partir de dados aeromagnetométricos, Modelos Digitais de Elevação (MDE's) e ortofotos, seguidos por análises por meio de rosetas de direções, buscando identificar as orientações predominantes das respectivas áreas.

Há uma escassa bibliografia a respeito da relação do relevo e estrutura geológica no estado do Espírito Santo, com os principais estudos iniciados recentemente por BRICALLI (2011), BUSATTO (2014) e BRICALLI e SOUZA (2016), onde foram identificados elementos fisiográficos que evidenciam prováveis controles neotectônicos e estruturais no relevo, podendo-se destacar, particularmente: rede de drenagem sobre os tabuleiros da Formação Barreiras com canais fluviais geometricamente organizados, observando-se, ainda, diversas anomalias de drenagem, como capturas fluviais; corpos lacustres alinhados, com limites retilíneos, também desenvolvidos em vales nos tabuleiros da Formação Barreiras.

Ao longo da área continental emersa adjacente à bacia do Espírito Santo, possui destaque uma feição estrutural regionalmente denominada Faixa Colatina (NOVAIS *et al.*, 2004) ou Feixe de Lineamentos Colatina (VIEIRA, 2015), de direção

NNW a NW, cuja reativação durante o Neógeno/Quaternário tem sido apontada em vários estudos (MELLO *et al.*, 2005; RIBEIRO, 2010; BRICALLI, 2011; BUSSATO, 2014), observando-se uma forte relação, em termos de controle estrutural, entre diversos elementos fisiográficos e o conjunto de lineamentos que constituem o Feixe de Lineamentos Colatina.

Apresenta-se então como problemática para este trabalho a compreensão de como os elementos geológicos, especialmente os estruturais, atuam no condicionamento do relevo do Maciço Mestre Álvaro. Para chegar a este objetivo, foram realizadas análises de lineamentos interpretados a partir de diferentes fontes (mapas aeromagnetométricos, Modelos Digitais de Elevação e ortofotos) em conjunto com mapas fisiográficos (hipsométrico e declividades), cujos resultados foram correlacionados aos dados coletados durante as atividades de campo.

Diante do exposto, pode-se afirmar que: i) estudos sobre o relevo e estruturas geológicas estão sendo realizados em todo o Brasil e têm apontado caminhos para o entendimento da evolução geomorfológica, apresentando uma carência de informações a respeito do tema para as feições capixabas; ii) o estado do Espírito Santo apresenta diversos registros sugestivos de controle neotectônico e estrutural no relevo, podendo apresentar-se como fundamento para discussões do entendimento da evolução dos maciços rochosos neste estado; e iii) a existência de um importante conjunto de lineamentos que compõem a Faixa Colatina, no estado do Espírito Santo, parece condicionar o relevo do estado do Espírito Santo e do Maciço Mestre Álvaro. Estes aspectos foram motores para a presente pesquisa, a qual contribuiu técnica e cientificamente com o entendimento da Geomorfologia e da Geologia de um dos Maciços mais importantes do estado do Espírito Santo.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. OBJETIVO GERAL**

O objetivo geral desta dissertação de Mestrado é analisar o possível controle estrutural no relevo do Maciço Mestre Álvaro (Serra, ES, sudeste do Brasil).

### **2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Os objetivos específicos constituintes da presente pesquisa são:

- identificar padrões de lineamentos presentes no Mestre Álvaro e adjacências;
- correlacionar os padrões de lineamentos locais com litologia, lineamentos regionais e faixas móveis;
- analisar possíveis correlações entre as estruturas presentes no maciço com dados estruturais (falhas e fraturas) de neotectônica em âmbito regional.

### 3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Descrições acerca de processos que ocorrem na natureza remontam a milhares de anos, como pode-se observar na seguinte passagem bíblica, com datação mínima estimada para o sexto século a.C.: “Mas, assim como a montanha sofre erosão e se desmorona, e a rocha muda de lugar; e assim como a água desgasta as pedras e as torrentes arrastam terra, assim destróis a esperança do homem” (Jó 14:18-19 – Nova Versão Internacional).

Entretanto, a sistematização do conhecimento de fenômenos desta natureza, incluindo a compreensão de como estes se processam e das características dos produtos gerados, tende a ser estimada para uma época muito mais recente. Desta forma, dentro da geomorfologia, os principais textos que em algum grau abordam o desenvolvimento histórico deste ramo da ciência, tais como Christofolletti (1979) e Burbank e Anderson (2012), tendem a indicar o final do século XIX como um período-chave para o desenvolvimento das principais teorias de desenvolvimento do relevo, indicando sistematicamente nomes como Davis, Penck, Hack, Gilbert e King, sendo os três primeiros usualmente utilizados como base para identificação dos principais modelos propostos.

#### 3.1. DESENVOLVIMENTO DOS CONCEITOS SOBRE A FORMAÇÃO DO RELEVO

O primeiro modelo usualmente descrito é o de William Davis, conforme proposto em seu artigo *The Geographical Cycle* (1899). Nele, advoga-se a ideia que a evolução do relevo dá-se a partir de um soerguimento tectônico relativamente abrupto, que desta forma efetua uma mudança no nível de base, propiciando o entalhamento das drenagens e o gradual rebaixamento do relevo, que em sua concepção, ocorreria de forma parcialmente homogênea por toda a área.

Com relação aos processos formadores de relevo, incluiu elementos como a ação química do ar e da água, bem como os mecanismos de ação dos ventos, calor, frio, chuva, neve, rios, ondas e correntes. Sumarizou desta forma os elementos exógenos, indicando conforme adiantado acima, que a agência destes dar-se-ia de forma relativamente homogênea, causando um rebaixamento uniforme de toda a área (DAVIS, 1899).

Convém indicar ainda que Davis dividiu seu modelo em três fases, mencionando, entretanto, que a passagem entre estas não se dava de forma abrupta. A fase inicial, denominada como juventude, incluiria o soerguimento abrupto que iniciaria o ciclo de evolução de determinada área, com proeminente escavação dos principais rios em direção ao nível de base. A fase seguinte, denominada como de maturidade, incluiria a participação significativa das demais drenagens (além das principais), com geração de vales mais alargados e rebaixamento notável do relevo. A fase final, ou senil, corresponderia ao período onde praticamente toda a área teria sido exumada, restando assim apenas colinas e rios meandrantés.

Uma outra observação muito interessante feita por Davis é a de que este ciclo devia ser compreendido como ideal, entretanto passível de alterações em virtude da ocorrência de um novo soerguimento e assim, conseqüentemente, início de uma nova fase juvenil. Outras situações que foram indicadas por ele como fatores perturbadores para o desenvolvimento do seu modelo foram as erupções vulcânicas e as mudanças climáticas, compreendidas por eles como “acidentes”, uma vez que as via como ocorrências aleatórias na natureza.

A segunda linha de explicação para a evolução da paisagem é atrelada a Walther Penck, tomando-se como referência o seu livro *Morphological Analysis of Land Forms* (1953). Em seu modelo, Penck trabalha com a ideia de que a movimentação tectônica não precisa se restringir à fase inicial do processo evolutivo de determinada área, sugerindo em seu lugar o conceito de que haveria um soerguimento gradual, que após atingir um pico, entraria também gradualmente em uma fase de arrefecimento (PENCK, 1953).

Grotzinger e Jordan (2013) indicam que a interação entre soerguimento e erosão pode ser melhor compreendida e mensurada a partir de técnicas modernas que incluem o uso do Sistema de Posicionamento Global (GPS) e interferometria por radar, produzindo mapas de deformação crustal e taxas de soerguimento, além de métodos recentes de datação, que permitem a determinação da idade de superfícies geomorfologicamente importantes, dando como exemplo os terraços fluviais.

Lester King é indicado como um dos pesquisadores responsáveis pela maturação dos conceitos de Penck, sendo que o seu modelo de pedimentos e pediplanos é apresentado em meados do século 20, como um desenvolvimento das

ideias geomorfológicas anteriores, destacando-se, por exemplo, o conceito de recuo paralelo das vertentes, que em contraste ao rebaixamento uniforme de Davis, trabalha com o recuo acentuado do relevo a partir do ponto principal do nível de base, em uma taxa acima da que seria observada para as cristas, mantendo portanto a inclinação das feições (Leite, 2011).

Um dos principais trabalhos de King é o artigo *A Geomorfologia do Brasil Oriental* (1956), publicado na Revista Brasileira de Geografia, sendo fruto de observações realizadas por ele durante longa viagem que fez pelo país, procurando apresentar uma correlação das paisagens observadas com as ideias de formação do relevo assistidas por ele, com destaque para as referências às superfícies de erosão cíclicas.

Sendo assim, realiza uma análise por meio da comparação das diversas feições encontradas com os ciclos de denudação considerados, seguindo assim através do tempo geológico, pontuando o desenvolvimento a partir do litoral em direção ao interior, com modelados que se sobrepõem para as diferentes épocas.

De acordo com o desenvolvimento das teorias geomorfológicas de sua época, aponta que a paisagem brasileira, representada pela região estudada, encaixa-se adequadamente no modelo de evolução a partir da regressão de escarpas e pedimentação, associando tal conclusão a situações análogas em todo o mundo. Em suas conclusões, propõe que a disposição das rochas, em suas diversas origens, podem ser correlacionadas àquelas encontradas na África, ajudando a compor a ideia de que a separação do continente Gondwana teria se dado no Mesozoico médio (KING, 1956).

Outro modelo de destaque na história das teorias de evolução do relevo é o do Equilíbrio Dinâmico, cujos principais nomes são o de G.K. Gilbert e J.T. Hack. Conforme costuma indicar a bibliografia sobre o assunto, tem-se como destaque a ideia que a evolução do relevo se dá em um sistema aberto, com constantes reajustes em função da complexa interação entre os processos e elementos. É interessante considerar que Gilbert foi contemporâneo a Davis, entretanto sua ênfase não foi adotada à época pelos pesquisadores da área. Ele expunha o conceito de que alterações em determinada porção de uma área podem afetar suas adjacências, reforçando a interdependência do sistema, colaborando assim com conceitos como o

da erosão diferenciada em estratos, onde a remoção de uma camada inferior, mais friável, permite o solapamento da camada superior e exposição diferenciada às intempéries (LEITE, 2011).

Christofolletti (1979), encerrando o capítulo de seu livro que trata acerca do desenvolvimento histórico dos modelos de evolução do terreno, aponta a importância de se compreender a separação que existe entre os elementos fatuais e o posicionamento destes a nível global. Com isso pretende comunicar que os fatores ligados aos estudos das características e mecanismos dos processos e das formas têm sua compreensão limitada dentro de contextos específicos, que podem então ser extrapolados a fim de proporcionarem o entendimento dos processos atuantes em maior escala. Desta forma, indica como é possível que os mesmos elementos presentes na natureza, possam constituir diferentes teorias, propondo que isto se dá em função das ênfases dadas por cada pesquisador diante dos fatos que têm diante de si.

Um exemplo acerca de como o estágio de conhecimento em áreas adjacentes podem influenciar as teorias propostas em cada uma delas encontra-se na esfera dos estudos climáticos. Conforme visto anteriormente, Davis incluiu a questão climática dentro de um grupo de elementos cuja atuação se daria de modo relativamente arbitrário, servindo assim como agente desorganizador no sistema.

Entretanto, conforme indicam Grotzinger e Jordan (2013), tem-se atualmente uma melhor compreensão de que muitos dos registros encontrados nas rochas e correlacionados a mudanças climáticas, obedecem a padrões, ou conforme costumam ser formalmente tratados, ciclos. Um dos exemplos mais representativos deste tópico são os ciclos de Milankovitch, cujo efeito é a variação no volume de radiação que a Terra recebe do Sol, em função de variações periódicas no movimento da primeira em relação ao segundo. Tal entendimento permite a correlação destes ciclos com as glaciações ocorridas em pelo menos uma parte da história terrestre, indicando por exemplo os máximos glaciais, correspondendo a períodos onde os volumes de gelo atingiram altos valores, acompanhados de baixas temperaturas globais.

### 3.2 TEORIA DA TECTÔNICA DE PLACAS

Reconhecendo assim a importância no progresso do conhecimento acerca das questões climáticas, deve-se seguir para outra esfera, cujas descobertas

representaram o surgimento de um novo paradigma, que compõe a base de nossa compreensão sobre a evolução dos relevos. Trata-se da Teoria da Tectônica de Placas, que conforme indica Albarede (2004), tem a capacidade de unificar os modelos geodinâmicos da crosta e do manto superior, proporcionando assim um reconhecimento muito mais profundo da atuação dos processos endógenos no desenvolvimento das formas dos terrenos.

A inserção deste elemento para a compreensão das variadas formas de relevo considera processos atuais, bem como passados, contextualizando-se assim diante dos diferentes estágios tectônicos pelos quais uma área passou ou ainda passa. Desta forma, é importante reconhecer as feições geomorfológicas características de cada fase e suas correlações com as litologias ordinariamente geradas em cada uma delas, possibilitando assim a compreensão histórica do desenvolvimento do relevo (SUMMERFIELD, 2014).

Wernicke (2004) apresenta em seu livro uma das principais sistematizações acerca da dinâmica da Tectônica de Placas, o Ciclo de Wilson. Nele, estão contidas as principais fases pelas quais a crosta terrestre tem passado desde a formação das placas litosféricas, estando estas diretamente ligadas a associações magmáticas e estruturais. Tomando uma destas etapas como exemplo, tem-se o estágio de rompimento litosférico (ou estágio *rift*), onde ocorre o rompimento da placa tectônica em um conjunto de longos vales alinhados em determinadas direções, com sucessão de blocos abatidos.

Este estágio relaciona-se assim a associações litológicas particulares, desde os depósitos sedimentares formados a partir do soerguimento do relevo e formação de bacias sedimentares adjacentes, bem como litologias magmáticas, originadas a partir de fluídos provenientes de intrusões ocasionadas pelo adelgaçamento crustal e alçamento do manto, conforme pode ser detectado atualmente por meio de métodos sísmicos e gravimétricos (WERNICKE, 2004).

Burbank e Anderson (2012) salientam a expressão geomórfica que as falhas podem assumir, vindo a constituir assim o relevo de determinada área. Desta forma, podem ser observadas feições como grandes alinhamentos, que são formadas por um grande volume de falhas relativamente pequenas, desconectadas e até mesmo

anastomosadas, mas que obedecem a um direcionamento proveniente da movimentação tectônica que lhes deu origem.

Hasui e Mito (1992), em livro acerca dos aspectos estruturais gerados a partir dos diferentes contextos geotectônicos, descrevem as chamadas linhas de forma estruturais, feições de larga escala formadas a partir de elementos menores, gerados durante a evolução da crosta. Para a definição destes lineamentos, indicam a utilização e extrapolação de dados de campo, tais como medidas de fraturas, falhas e foliações, bem como o uso de fotointerpretação, cujo desenvolvimento é conhecido hoje por meio das ferramentas e métodos de sensoriamento remoto.

Olgen (2004), em estudo na Planície do Baixo Bakırçay, realiza análise de lineamentos com objetivo de definir as orientações predominantes e posteriormente a relação destes com as estruturas geológicas, feições tectônicas e elementos geomorfológicas, considerando a possibilidade de determinação de novas falhas, que não haviam sido reconhecidas até então.

Goudie (2006) apresenta a definição de alguns conceitos que se tornaram importantes dentro dos estudos relacionados à relação entre os elementos endógenos e suas expressões no relevo, como por exemplo, as morfoestruturas, feições que podem assumir formas lineares ou circulares, características por serem controladas pela tectônica e consequente erosão diferencial.

Um conceito mais abrangente apresentado também em Goudie (2006) é o da morfotectônica, caracterizada como a relação entre geomorfologia e tectônica, sendo inclusive sinônimo de Geomorfologia Tectônica, como é apresentada em alguns livros norte-americanos. Indica ainda que, em termos práticos, faz uso das formas de relevo e outros elementos como padrões de drenagem, para inferir a existência de feições que sejam de origem tectônica, principalmente em áreas onde as movimentações crustais apresentam-se arrefecidas.

Queiroz *et al.* (2000) aponta que discussões importantes sobre esta temática foram alimentadas a partir da década de 1970, quando o imageamento da superfície terrestre por meio de satélites de sensoriamento remoto assumiu uma escala global. Tal disponibilidade de dados permitiu o estudo de numerosas áreas, sendo que a forte presença de feições lineares trouxe questionamentos sobre a validade das diversas interpretações que estavam sendo propostas para os mesmos.

Bricalli (2011), faz também uma recuperação histórica acerca dos lineamentos, definindo-os como '*feições geomórficas lineares da superfície terrestre relacionadas a cursos d'água retilíneos, segmentos alinhados de vales, segmentos de escarpas, alinhamento de cristas, trechos de rios e lagos*'. Pontua também que a ocorrência destes elementos em superfície pode estar vinculada à existência de condicionantes sub-superficiais, relacionadas diretamente à dinâmica endógena da Terra. Seu trabalho indica ainda a influência de estruturas neotectônicas sobre o relevo, principalmente quando relacionadas ao controle das drenagens.

Migón e Vieira (2014), em trabalho pertinente neste contexto, apresentam os controles geológicos na geomorfologia de uma área granítica na região de Serra da Estrela, em Portugal. Trata-se de um complexo formado por granitoides com diferentes texturas e composições, sendo tal heterogeneidade elemento importante na formação do relevo atual, junto aos soerguimentos diferenciais, compartimentados por grandes falhamentos que seccionam a área.

Os autores destacam a participação dos fatores estruturais e composicionais das rochas como agentes que influenciam a intensidade dos processos exógenos, indicando tal influência com relação às porções superficiais dos maciços rochosos, bem como em situações de intemperismo profundo, com destaque para os fluídos meteóricos infiltrados nas fraturas.

Buscando caracterizar a participação dos diversos agentes quanto às suas escalas de representatividade no relevo, apontam que o soerguimento diferencial é o principal responsável pelas grandes feições geomorfológicas da região, relacionando grandes variações de altitude e declividade, incluindo a inclinação regional dos blocos falhados. Reafirmando a importância das falhas para esta estruturação, indicam ainda que estas foram muito importantes no direcionamento dos elementos fluviais, bem como nas incisões glaciais.

Maia e Nascimento (2018) desenvolvem estes conceitos em trabalho sobre os relevos graníticos do nordeste brasileiro, abordando diversas áreas dentro da Província Borborema e mostrando como se efetuou e se efetua o condicionamento dos agentes erosivos sob influência dos elementos geológicos, tais como os aspectos mineralógicos, petrográficos e de fraturamentos, que direcionam especialmente a meteorização diferencial. Quanto à morfologia das intrusões graníticas em uma escala mais ampla, indicam que estas (destacando os granitos orogênicos) guardam

correlação com regiões distensionais associadas a estruturas tectônicas regionais e locais, onde a ascensão magmática ocorre por meio da crosta, ao longo destas descontinuidades (MAIA e NASCIMENTO, 2018).

Bricalli e Souza (2017) trazem esta temática para próximo da área de estudo ao realizarem a caracterização geológica e geomorfológica da bacia do rio Juara, localizada no município de Serra-ES. Apontam inicialmente o caráter heterogêneo encontrado, com presença de rochas graníticas, metamórficas e sedimentares, bem como de elementos estruturais marcantes em cada uma destas litologias.

O conjunto apresentado é então analisado em termos de sua expressão no relevo, destacando os lineamentos presentes nas áreas ígneas, bem como aqueles que influenciam a rede de drenagem que se desenvolve sobre o complexo metamórfico e sedimentar. Para este último, apontam ainda a importante influência da neotectônica, detectada a partir de compartimentações na Fm. Barreiras, bem como em determinadas anomalias de drenagem.

A conceituação de neotectônica configura-se como um problema de difícil resolução, uma vez que características observadas em diferentes áreas incorrem em determinadas ênfases na definição do termo. Desta forma, os dois agrupamentos principais de ideias acerca do tema tendem a se dividir entre aqueles que procuram destacar as movimentações da crosta ocorridas no regime tectônico vigente de determinada área (BLENKINSOP, 1986; PAVLIDES, 1989), sendo o segundo grupo relativo àqueles que procuram definir limites temporais iguais para todo o planeta, independentemente do histórico das tensões (OBRUCHEV, 1948; HANCOCK & WILLIAMS, 1986).

Goudie (2006) indica que a neotectônica trata de maneira bastante ampla os estudos das movimentações crustais verticais e horizontais, ocorridas no passado geológico e que podem estar vigentes ainda hoje, entendendo a existência de um limite bastante elástico quanto ao período considerado. Pontua-se ainda que ao contrário dos estudos clássicos de movimentação crustal, que consideram predominantemente a dinâmica da tectônica de placas, a neotectônica não assume necessariamente tal ênfase, incluindo também as deformações originadas a partir de outros mecanismos, como por exemplo as estruturas geradas a partir do degelo, soerguimento e reajuste isostático, originando feições de dobramentos e falhas.

Para o presente estudo, a neotectônica será considerada a partir da caracterização proposta pelos principais estudos realizados nas adjacências da área de estudo, sendo então apresentada por Bricalli (2011) como movimentos da crosta relacionados a um intervalo de tempo geológico envolvendo o Neógeno e o Quaternário. A construção deste conceito envolve proposições como a de Pavlides (1989), que correlaciona a neotectônica a eventos ocorridos após a reorganização tectônica mais significativa de uma área, que no caso do presente estudo, teria como importante marco o final do rifteamento continental do sudeste brasileiro.

Os estudos de neotectônica no estado do Espírito Santo podem ser exemplificados a partir dos trabalhos de Mello *et al.* (2005), Bricalli (2011) e Bricalli e Souza (2017). Nestas pesquisas são realizadas análises estruturais a partir de dados de falhas afetando depósitos cenozoicos, bem como horizontes saprolíticos. Destacam-se ainda as análises de anomalias de drenagem, principalmente no domínio da Fm. Barreiras, com forte presença de feições do tipo cotovelo, condicionando a morfologia dos canais fluviais.

### 3.3. ESTUDOS ANTERIORES

Neste tópico, serão apresentados sumariamente os dois trabalhos principais realizados na área do Maciço Mestre Álvaro (MMA): o primeiro deles apresentado aqui a partir do artigo Carta Geomorfológica e Morfogênese do Mestre Álvaro, Serra-ES-BR (Gimenes, 2002). O segundo faz referência ao trabalho de Bricalli (2006), em um estudo da evolução de uma depressão presente na porção interna do Mestre Álvaro.

#### 3.3.1. Caracterização Geomorfológica do Mestre Álvaro

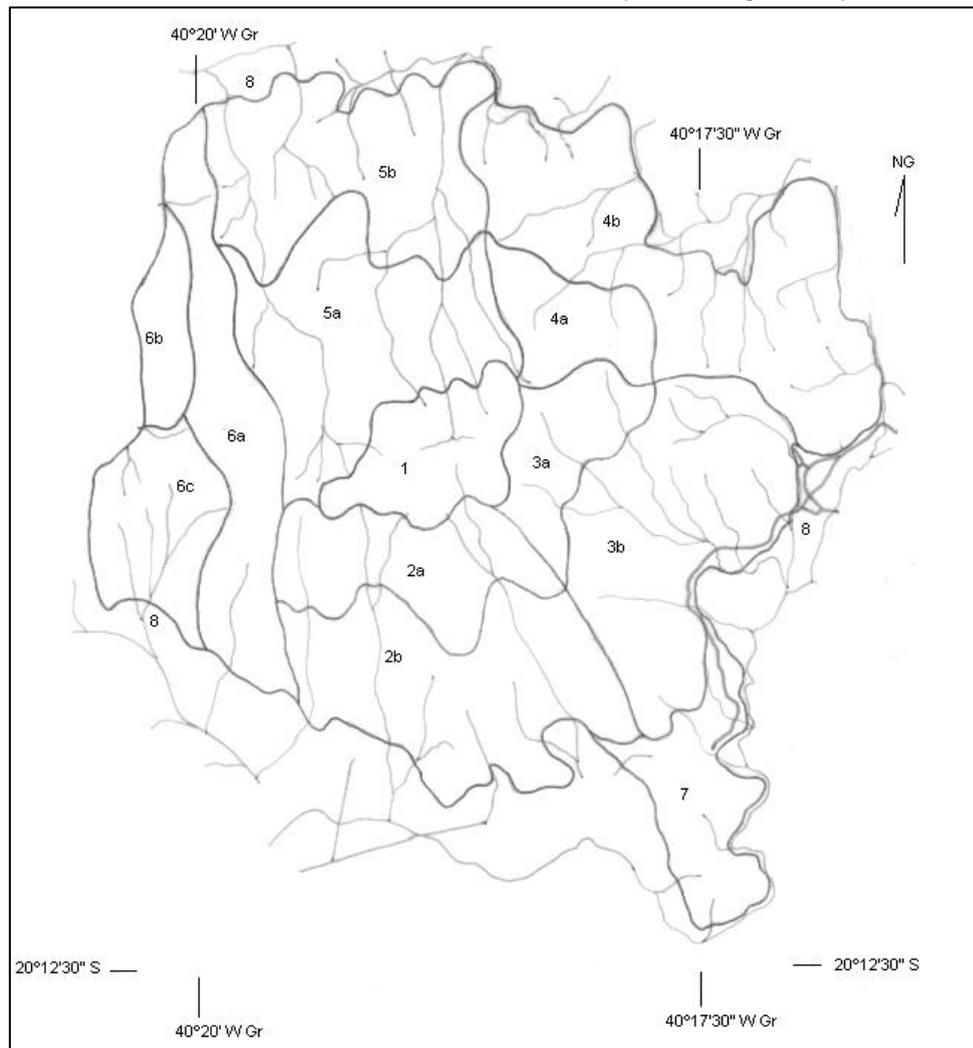
A pesquisa de Gimenes (2002) é formada por um extenso arcabouço de dados, coletados durante minuciosa análise cartográfica, por meio de fotos aéreas e trabalhos de campo, que ajudaram a compor um mapa detalhado de setores topomorfológicos (Figura 1), constituindo-se em uma representação bastante acurada da geomorfologia da área. Conforme indica a própria autora: *“Em atendimento a essas necessidades, propõe-se aqui a identificação e a delimitação do relevo em setores topomorfológicos (topo=diferenças altimétricas; morfológico =forma), o que concorre para uma caracterização genética, com base em relevos com rugosidades distintas percebidas desde o topo do compartimento geomorfológico Mestre Álvaro até a base”*.

Gimenes (2002) indica ainda que o Mestre Álvaro apresenta-se como um maciço rochoso com forma circular característica em planta, possuindo um

alinhamento na direção NW-SE. Aponta ainda tratar-se da cúpula de uma intrusão granítica, possuindo bordas gnaissificadas e evidências de perturbação tectônica, que teriam atuado na formação dos setores topomorfológicos propostos.

Campbell (2007), dissertando acerca das diferentes formas encontradas em áreas de substrato granítico na Austrália, indica como fatores importantes a constituição textural e estrutural das rochas, além da presença e características de fraturas e falhas. Tais itens são considerados em grande parte na pesquisa de Gimenes (2002), destacando-se entretanto o estudo específico dos solos encontrados na área de estudo, apresentando assim aqueles que são os produtos gerados a partir do intemperismo das rochas e que constituem um elemento importante na formação do relevo.

Figura 1 – Carta de setores topomorfológicos do Mestre Álvaro (Setores topomorfológicos Mestre Álvaro: 1; 2a; 2b; 3 a; 3b; 4a 4b; 5a; 5b; 6a; 6b; 6c. Setores Topomorfológicos adjacentes: 7; 8).



Fonte: Gimenes, 2002.

Desta forma, a área do Maciço Mestre Álvaro foi compartimentada em 8 principais grupos, sendo alguns deles subdivididos em unidades mais específicas. Expondo resumidamente os que mais se destacam, tem-se inicialmente o Setor 1, que corresponde a uma crista curta, representando a porção mais elevada, atingindo a cota de 833 metros e sendo formada por litologia granítica. O Setor 2 localiza-se no segmento sul, apresentando uma variação altimétrica expressiva, com cotas situadas entre 100 e 700 metros. Descreve-se a presença de solos formados a partir de dois litotipos diferentes – um granítico e outro gnáissico. É dividido em duas unidades, sendo a superior com vertentes mais íngremes que a inferior.

O Setor 3, localizado na porção sudeste-leste do Maciço, apresenta, de forma similar ao anterior, um acentuado contraste altimétrico (cotas entre 120 e 670 metros), destacando-se a presença de patamares que o compartimentam em duas unidades. A ocorrência de feições como estas é apresentada como sugestiva para influência tectônica na área, devendo-se pontuar também a observação de expressivos escorregamentos e movimentos de massa. O Setor 4 é igualmente subdividido em duas unidades, localizando-se no segmento norte-nordeste do Mestre Álvaro. Destaque especial é conferido à porção inferior deste, com indicação de vertentes erosivas e vertentes estruturais, acompanhando a foliação original da rocha gnáissica.

O Setor 5 localiza-se na área norte-noroeste do Maciço Mestre Álvaro, correspondendo a uma vertente bastante extensa, também compartimentada em dois segmentos. O primeiro, superior, apresenta uma quebra topográfica que o separa do Setor 1, possuindo um gradiente relativamente baixo de declividade, contrastando com o setor adjacente (Setor 6). O segmento inferior é bastante complexo, pois possui maior declividade, incluindo na porção intermediária uma depressão, limitada por uma elevação localizada próxima ao seu limite final. O Setor 6 é certamente um dos mais complexos, sendo dividido em três unidades. A primeira, superior e mais extensa apresenta uma alta declividade, com proeminente crista de direção N-S. Segue-se uma pequena unidade de transição, com declividade intermediária, fazendo limite com o Setor 8. O último segmento é adjacente ao mesmo setor, destacando-se por apresentar um destacado patamar, com cota próxima aos 60 metros.

O Setor 7 corresponde a uma colina alongada de sentido SE-NO, com ruptura de forma e declive abrupto. É limitada em um lado, por um vale estreito e alongado, e por outro por um vale largo e também alongado, em formação de planície alveolar. Finalmente, o Setor 8 representa todo o contorno do MMA, com planícies fluviais

diversas, incluindo de inundação, leques aluviais e aluviais coalescentes, bem como coluvionares-aluvionares, correspondendo assim aos depósitos sedimentares recentes.

### **3.3.2. Evolução geomorfológica de um segmento do Mestre Álvaro**

Conforme indicado anteriormente, outro projeto de pesquisa desenvolvido na área do Mestre Álvaro e que pode contribuir para a compreensão da evolução de relevo do mesmo faz referência a Bricalli (2006). Para este trabalho, foi selecionado como alvo de estudo uma feição geomorfológica específica, tratando-se assim de uma depressão aberta, denominada de depressão “L”, localizada no topo e vertente de uma colina de embasamento gnáissico envoltório do maciço granítico Mestre Álvaro.

A metodologia de desenvolvimento da pesquisa envolveu etapas de campo, laboratório e gabinete, abrangendo assim atividades como a pesquisa bibliográfica, com foco no embasamento teórico e exemplo de outros trabalhos similares, caracterização granulométrica e química das amostras de solo coletadas e que constituíam um dos focos do projeto, além dos trabalhos de campo, envolvendo a descrição geológica da área, bem como uma extensa atividade de análise *in-situ* do perfil pedológico, que exigiu a construção de trincheiras e tradagens.

Ainda com relação aos produtos gerados em gabinete, convém indicar os diversos mapas produzidos, pois alguns deles são análogos aos utilizados para o desenvolvimento desta dissertação de Mestrado. Citam-se assim o mapa hipsométrico, o mapa de declividades (ou clinográfico) e também o mapa de lineamentos. Para o primeiro, destaca-se a utilização de oito classes hipsométricas (0-20m, 20-60m, 60-80m, 80-200m, 200-400m, 400-600m, 600-800m e 800-900m), com o objetivo de diferenciar os diferentes compartimentos, com destaque para a planície aluvial, as colinas gnáissicas e sedimentares, além do próprio maciço granítico.

Diante dos dados coletados a partir desta metodologia, a área de estudo é apresentada em dois compartimentos geomorfológicos, *Colinas e Maciços Costeiros* e *Tabuleiros Costeiros*, onde o primeiro é dividido em dois sub-compartimentos: um como maciço “Mestre Álvaro” e o segundo como “Colinas Gnáissicas”. Para o segundo, é suficiente apresentá-lo como estando presente principalmente a leste do Mestre Álvaro, com curvas de nível espaçadas, indicando declividades baixas, com poucas curvas e baixas altitudes, possuindo topos planos e amplos, sem registro de solos

desenvolvidos.

Já para o Maciço Mestre Álvaro são apresentados vales mais encaixados e estreitos, uma grande amplitude altimétrica, contando inclusive com vales suspensos. Apresenta, a princípio, uma relativa homogeneidade litológica, embora deva-se ressaltar que tal caracterização não era foco do trabalho. Para a porção oeste, nota-se a maior proximidade das curvas de nível, indicando maiores declividades, com sugestão de relevo escarpado. Destoa-se assim do segmento leste, onde as curvas vão tendendo a um maior espaçamento, chegando finalmente à área de estudo proposta, onde localiza-se a depressão selecionada.

O último compartimento faz referência a um conjunto de colinas formadas por substrato gnáissico, que bordeja em diversos pontos o Maciço Mestre Álvaro, sendo inclusive denominadas como franjas do maciço. Apresenta predominantemente topos relativamente menores do que os observados nas colinas formadas em rochas sedimentares, contando com morfologia convexa a convexa-plana. Pontua-se ainda que estas colinas são extensamente cercadas por cursos d'água, que são em geral retilíneos, sugerindo forte controle estrutural.

Algumas indicações colocadas ao final da pesquisa sugerem então que a intrusão granítica do maciço Mestre Álvaro deve ter sido tectonicamente afetada até o Neogeno, contando com bordas metamorfizadas mais susceptíveis à erosão e intemperismo que os granitos, sendo assim rebaixadas e formando uma franja de colinas gnáissicas. O entalhe fluvial se deu ao longo de lineamentos estruturais, com instalação de drenagens nas colinas e formação de depressões, com destaque para a feição "L", já que as demais observadas posicionam-se sobre o substrato sedimentar.

Com relação a esta depressão, tem-se que sua forma côncava foi causada pela perda de material por erosão geoquímica, com dissolução desigual ao longo do perfil, havendo aprofundamento em locais mais susceptíveis, como por exemplo aqueles mais afetados por falhas ou fraturas. As áreas mais deprimidas proporcionaram ainda um fluxo mais lento de água, propiciando a formação de horizonte glei hidromórfico. Finalmente, propõe-se que sua evolução é provavelmente remontante em direção ao topo, constituindo assim um processo que pode levar à separação da colina ao meio.

## 4. ÁREA DE ESTUDO

Nesse capítulo serão apresentadas as características físicas regionais e locais da área de estudo: geologia, geomorfologia e solo.

### 4.1. LOCALIZAÇÃO E ACESSOS

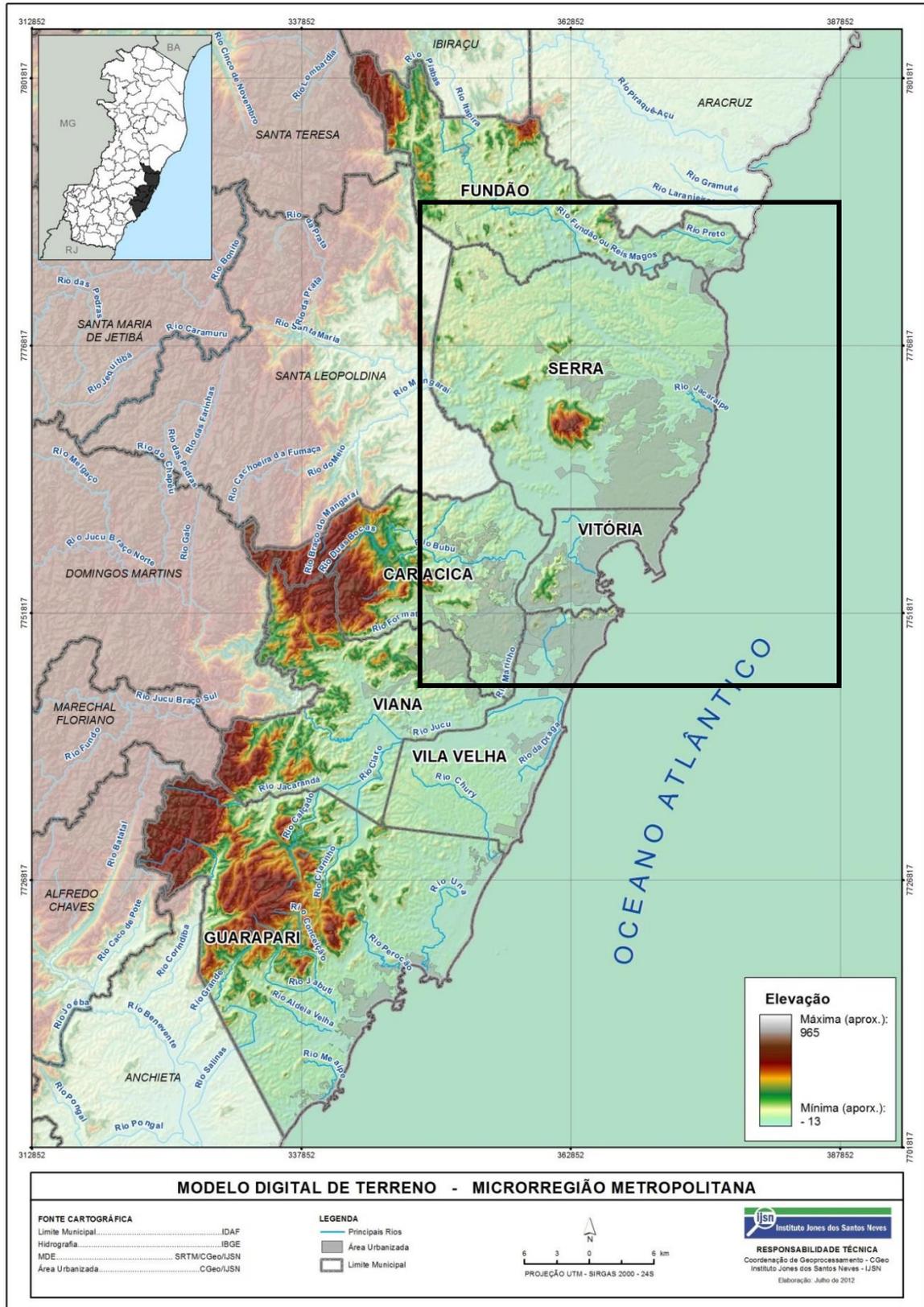
A área de estudo localiza-se na região metropolitana de Vitória, Espírito Santo (Figura 2), com área de 46.000 km<sup>2</sup>, pertencente à região Sudeste do Brasil, fazendo divisa com os estados do Rio de Janeiro (sul), Minas Gerais (oeste) e Bahia (norte).

A área de estudo localiza-se no município de Serra-ES, com população estimada de 494.109 pessoas, sendo o município mais populoso do estado (IBGE, 2018).

Durante o desenvolvimento deste trabalho, foram utilizadas 3 (três) escalas (regional, semi-regional e local), referentes a diferentes mapas utilizados e gerados. Pode-se referenciar duas destas como principais para o trabalho: a primeira, compreendida como semi-regional, correlaciona-se ao principal mapa geológico disponível para a região, abarcando parte dos municípios que compõem a Grande Vitória e perfazendo uma área com cerca de 1.500 km<sup>2</sup> (Figura 3). A segunda, de caráter local, é relacionada à caracterização detalhada do objeto de estudo, abrangendo assim apenas ao Maciço Mestre Álvaro e suas adjacências (Figura 3), perfazendo uma área com cerca de 86 km<sup>2</sup>. A escala regional refere-se ao mapa aeromagnetométrico e aos lineamentos gerados a partir dele, que contribuíram para a definição das grandes estruturas tectônicas regionais que abrangem a área de estudo.

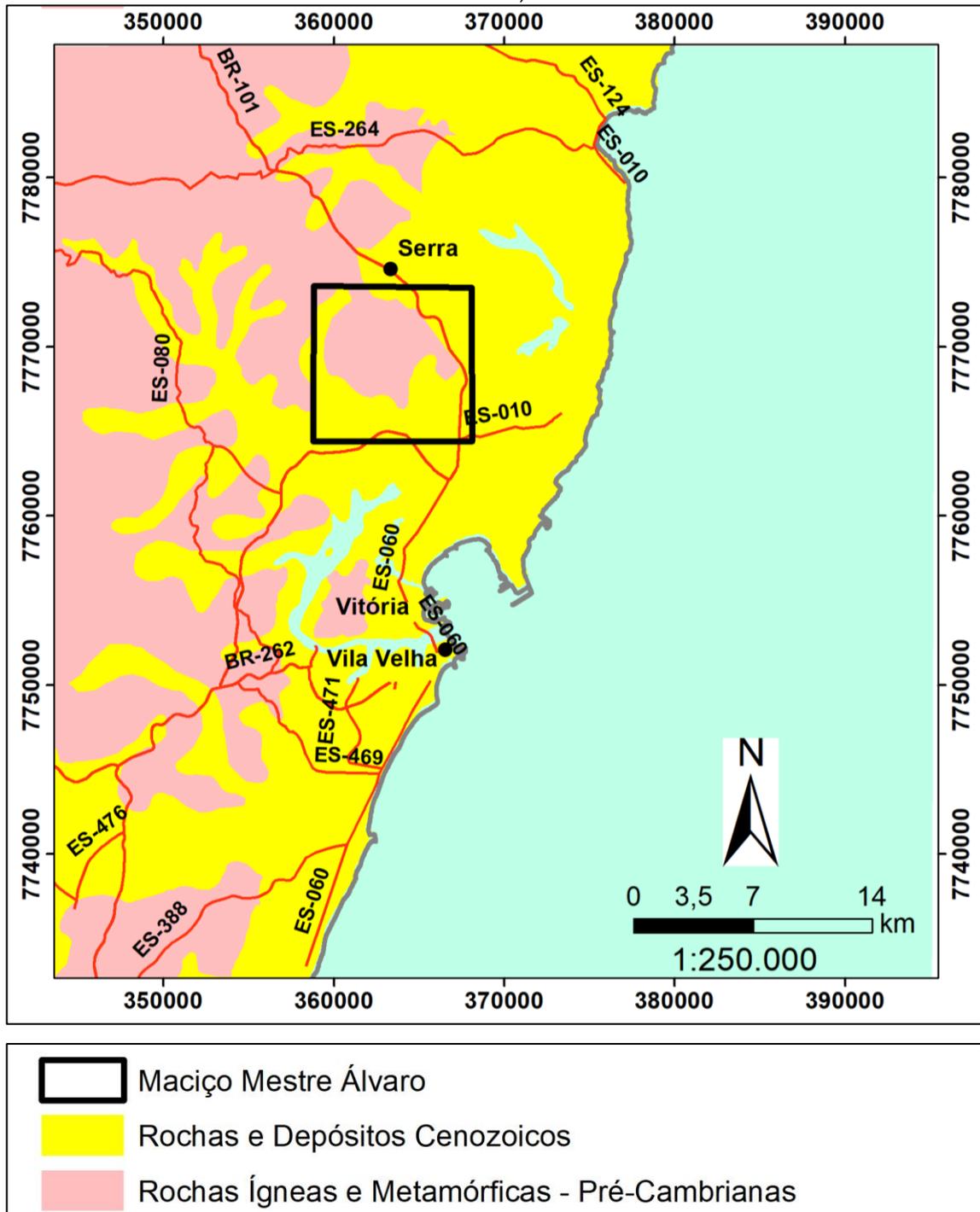
A principal rodovia presente no estado é a BR-101, fazendo ligação entre os estados do Rio de Janeiro e Bahia, sendo adjacente à área de estudo e constituindo-se como um dos principais acessos a ela. As rodovias estaduais mais importantes são a BR-262, BR-484 e ES-381, que passam pelas porções central e norte do estado. A via mais importante para acesso ao Maciço Mestre Álvaro é a BR-101 (Figura 4), a partir da qual pode-se ingressar nas ruas que passam pelo bairro de Pitanga e Serra-Sede, que, respectivamente, permitem a chegada às áreas sudeste/sul e norte/oeste.

Figura 2 – Mapa da Região Metropolitana de Vitória, com destaque ao polígono correspondente à região abrangida pelo mapa geológico disponível (escala de elevação em metros).



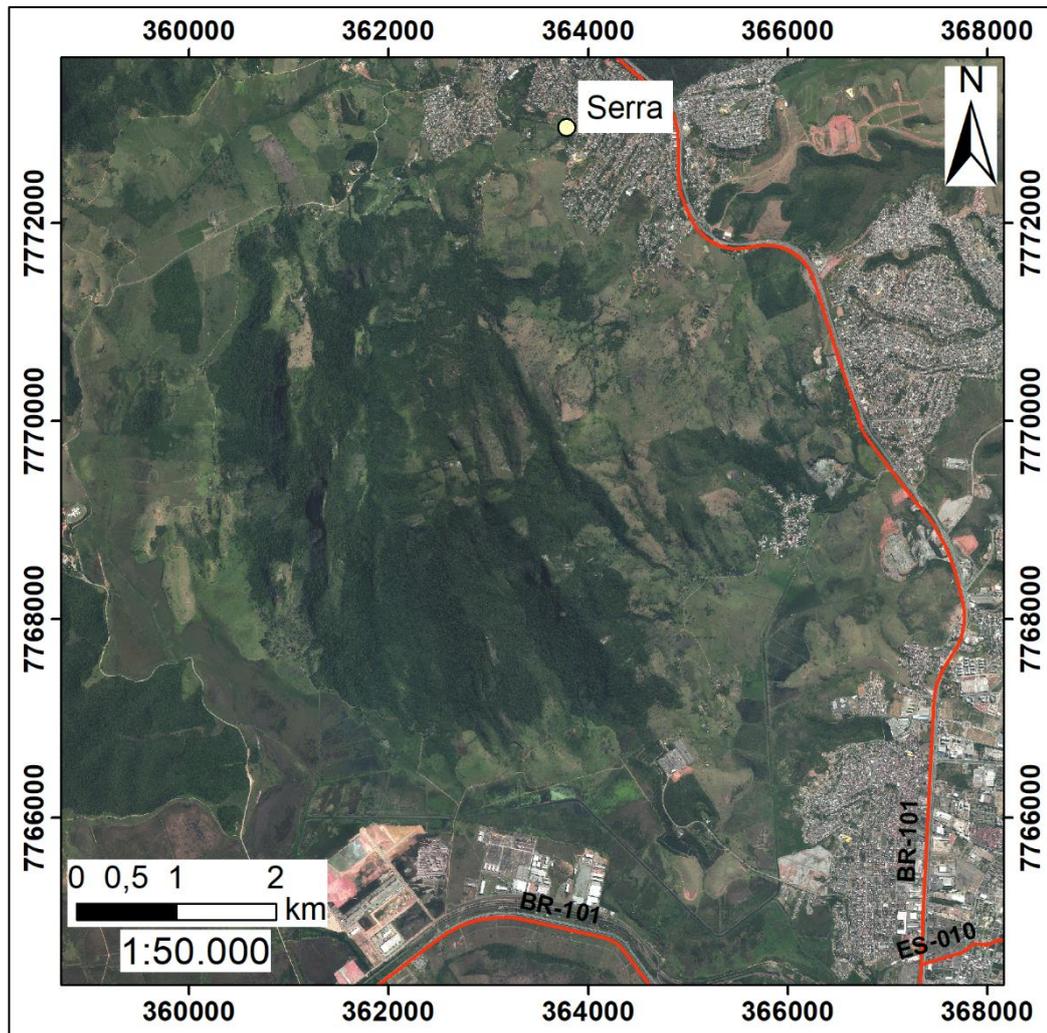
Fonte: Instituto Jones dos Santos Neves (IJSN), 2012.

Figura 3 – Mapa de localização da área de estudo (polígono destacando a área do Maciço Mestre Álvaro).



Fonte: Planos de informação geográfica disponibilizados pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM).

Figura 4 – Mapa de detalhe do Maciço Mestre Álvaro.



Fonte: Organizado pelo autor (ortofoto adquirida no biênio 2012-2013, com resolução de 25 cm e disponibilizada pelo IJSN).

## 4.2. GEOLOGIA REGIONAL

Diante da proposta de abordar o contexto geológico do estado do Espírito Santo, é importante referenciar o tema em diferentes escalas, partindo de uma caracterização regional para um detalhamento nas proximidades da área de estudo. Desta forma, tem-se como ponto inicial de explanação a Província Mantiqueira, um amplo e complexo sistema formado por orógenos que juntos constituíram parte do supercontinente *Gondwana*, cuja fragmentação iniciada no fim do período Jurássico deu origem ao Oceano Atlântico e ao continente sul-americano.

### 4.2.1. Província Mantiqueira

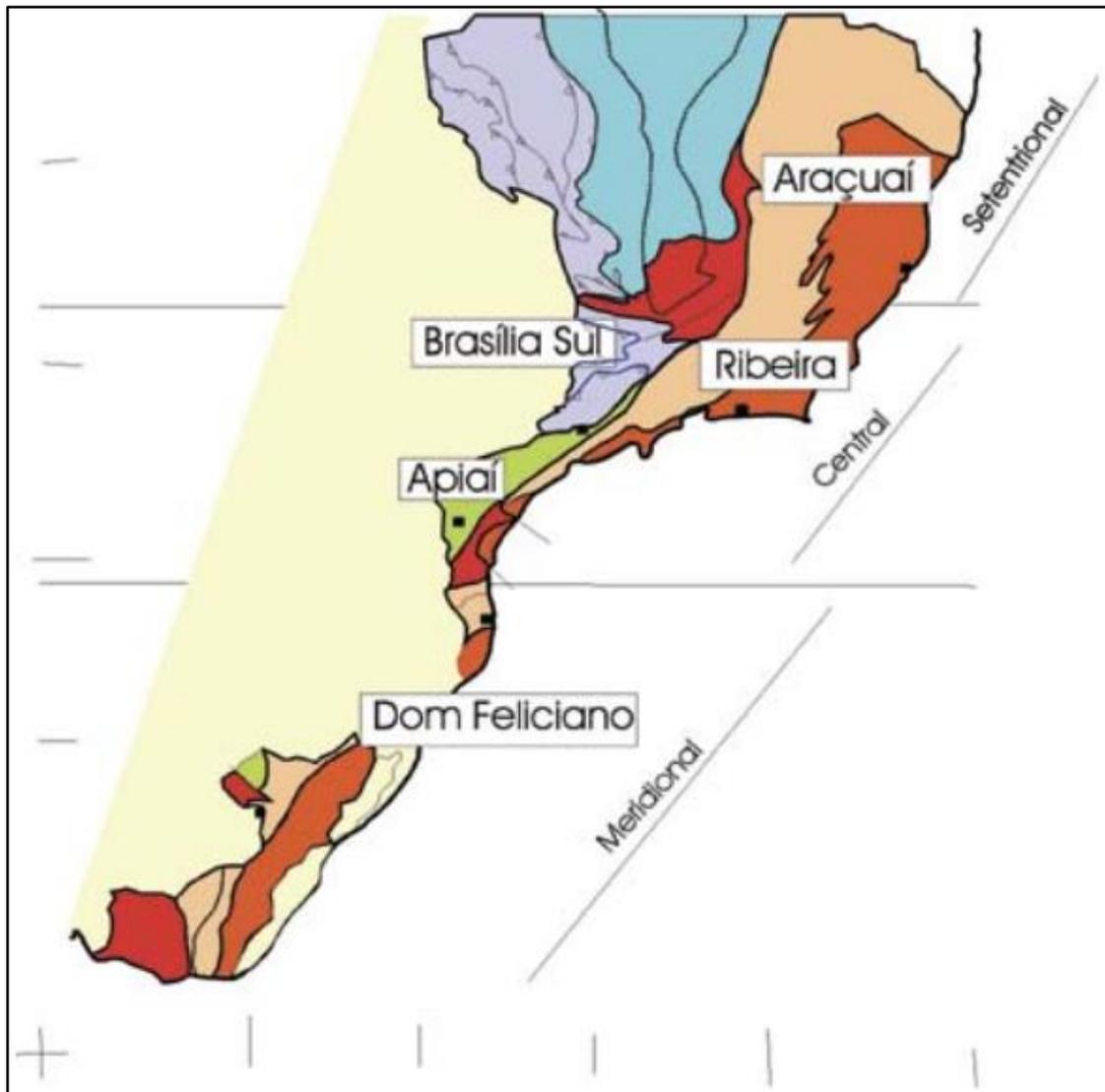
A Província Mantiqueira (Figura 5), é formada em sua porção setentrional pelo Orógeno Araçuaí, na parte central pelos Orógenos Ribeira, Brasília e Apiaí, e por fim, pelos Orógenos Dom Feliciano e São Gabriel na área meridional (HEILBRON *et al.*, 2007). O presente estudo situa-se na porção norte da Província Mantiqueira, apresentando-se um resumo acerca desta antes da focalização da área fim.

A Província Mantiqueira é formada pelo amalgamento de diferentes orógenos e terrenos, além da influência de áreas cratônicas adjacentes. A junção de todas essas peças ocorreu dentro da chamada Orogênese Brasileira, situada temporalmente entre o Neoproterozóico e o Cambriano, portanto, com início a aproximadamente 880 Ma e término a 480 Ma, iniciando-se ao sul e se prolongando para o norte. Um conceito bastante importante para a compreensão de toda esta dinâmica é o diacronismo, ou seja, o entendimento de que a colagem entre todas as partes citadas deu-se concomitantemente a uma variada gama de eventos geológicos, incluindo colisões continentais, oceano-continentais, formação de bacias sedimentares e magmatismo, tanto plutônicas quanto vulcânicas. Com isso quer-se indicar, por exemplo, que enquanto em determinada área já ocorria a formação de granitogênese sin-colisional, em outras ainda predominavam fases orogenéticas pré-colisionais (HEILBRON *et al.*, 2007).

Em termos geográficos, a Província Mantiqueira está posicionada entre o sul da Bahia e o Uruguai, perfazendo uma área de aproximadamente 700.000 km<sup>2</sup> e demonstrando assim a magnitude dos eventos correlacionados. Os estudos de todo esse sistema foram importantes não apenas para a compreensão da história geológica, mas auxiliaram também nos estudos de aproveitamento econômico dos diversos bens minerais relacionados aos eventos que atuaram nesse período, representando parte importante da produção mineral do país, contendo desde

mineralizações de chumbo e zinco e gemas obtidas em depósitos pegmatíticos, bem como o entendimento de como as estruturas geológicas herdadas deste período condicionaram a posterior abertura do Oceano Atlântico e a formação das bacias sedimentares da margem continental brasileira.

Figura 5 – Mapa de identificação da Província Mantiqueira.



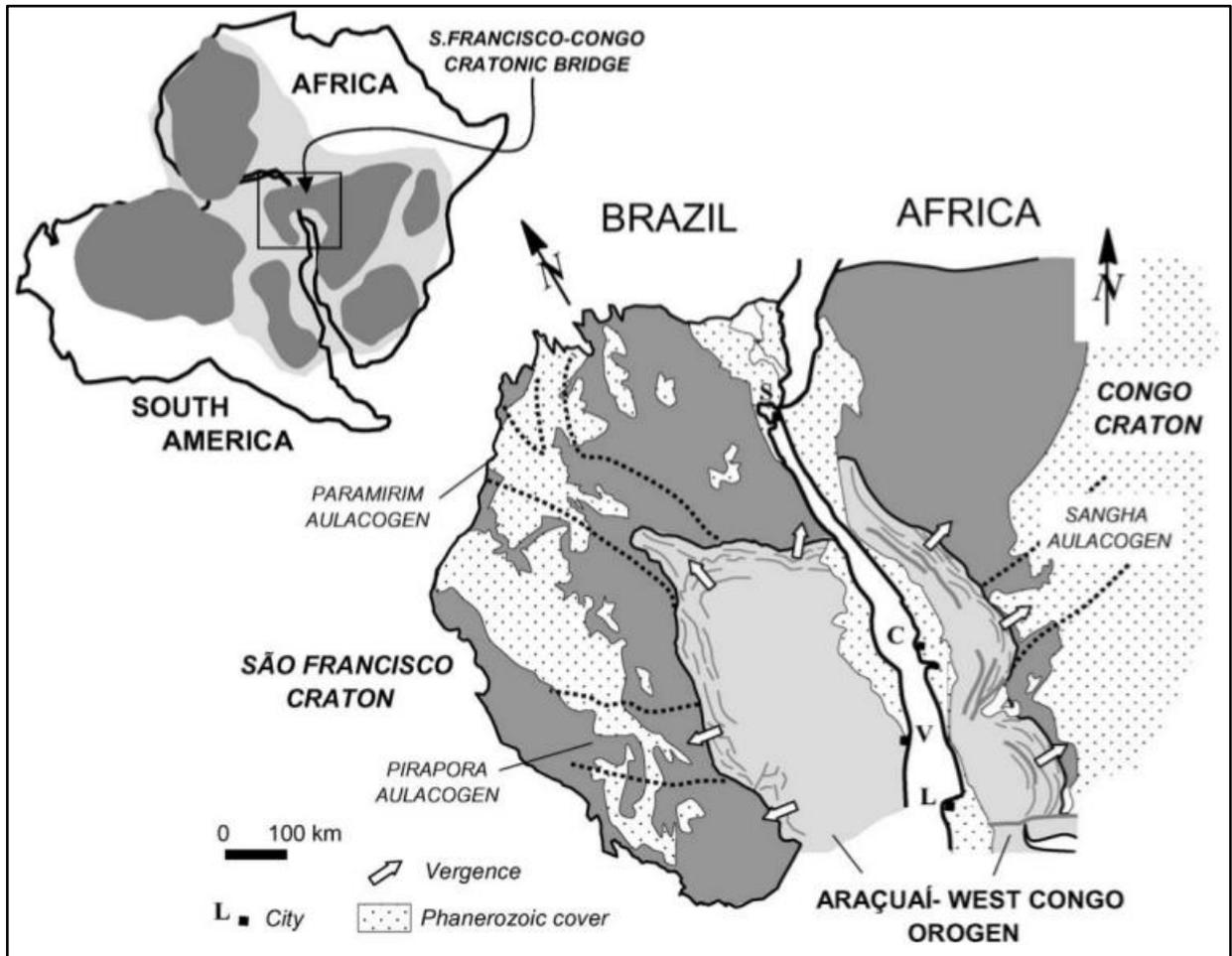
Fonte: Heilbron et al. (2007).

#### 4.2.2. Orógeno Araçuaí

Considerando que o estado do Espírito Santo está majoritariamente inserido dentro do Orógeno Araçuaí, a compreensão de pelo menos parte da evolução deste grande complexo geológico se coloca como ponto de partida para a caracterização regional da área de estudo (Figura 6). Sendo assim, tem-se em Alkmim *et al.* (2006; 2007), trabalhos de apresentação do estado da arte do conhecimento adquirido sobre

a área, bem como onde é proposto um modelo de evolução cinemático denominado como Tectônica Quebra-Nozes (*Nutcracker Tectonics*).

Figura 6 – Recomposição do Orógeno Araçuaí-Congo Oeste.



Fonte: Alkmim *et al.* (2006).

Será exposta brevemente a sequência de eventos proposta e suas principais características tectônicas (Figura 7), inserindo-se onde for conveniente, explicações sobre os aspectos litológicos e estruturais.

Começa-se então a história do Orógeno Araçuaí com a abertura da Bacia de Macaúbas (Figura 7a), incluindo o que viria a ser denominado como Aulacógeno Sangha, localizado no que tem-se hoje como o continente africano. Este evento relaciona-se a um estágio extensional iniciado a 880 Ma e que foi responsável pela reativação do sistema de riftes da Serra do Espinhaço (1,75 Ga), cujas rochas seriam posteriormente também afetadas pela continuação desta grande trama.

Além do Aulacógeno de Sangha, outras feições importantes a serem citadas e

que se fizeram presentes já nesse estágio são os aulacógenos de Paramirim e Pirapora, ambos compartimentando o Cratón do São Francisco, no limite oeste da referida bacia. Estima-se que esse estágio tenha atuado por pelo menos 100 Ma, com preenchimento da bacia por sedimentos predominantemente siliciclásticos, com ocorrências de arenitos e pelitos, além da geração de crosta oceânica na porção central e sul (PEDROSA-SOARES *et al.*, 2001). Ainda para este período, são registradas fácies interpretadas como diamictitos e tilitos, com os últimos representado uma fase glacial ocorrida durante o período.

O segundo estágio apresenta-se como um dos mais importantes, caracterizando-se por uma inversão tectônica, tendo como um de seus principais resultados, o início do fechamento da bacia de Macaúbas (Figura 7b). Tem-se então como proposta para este estágio, o conceito de uma colisão do bloco Paranapanema contra o Cratón do São Francisco, sendo o primeiro localizado a oeste do segundo. Tal interação teria resultado na movimentação do cráton no sentido anti-horário (sendo o Aulacógeno de Paramirim compreendido como uma espécie de eixo com relação ao Cráton do Congo), gerando um contexto que pode ser caracterizado como “orógeno forçado”, onde as rochas e sedimentos depositados na bacia de Macaúbas começam a ser comprimidos. Importante ainda citar que datam deste período as primeiras intrusões graníticas relacionadas a este sistema (625 Ma), apresentando estas características de formação pré-tectônicas e sendo classificadas por Pedrosa-Soares *et al.* (2001) como Suíte G1.

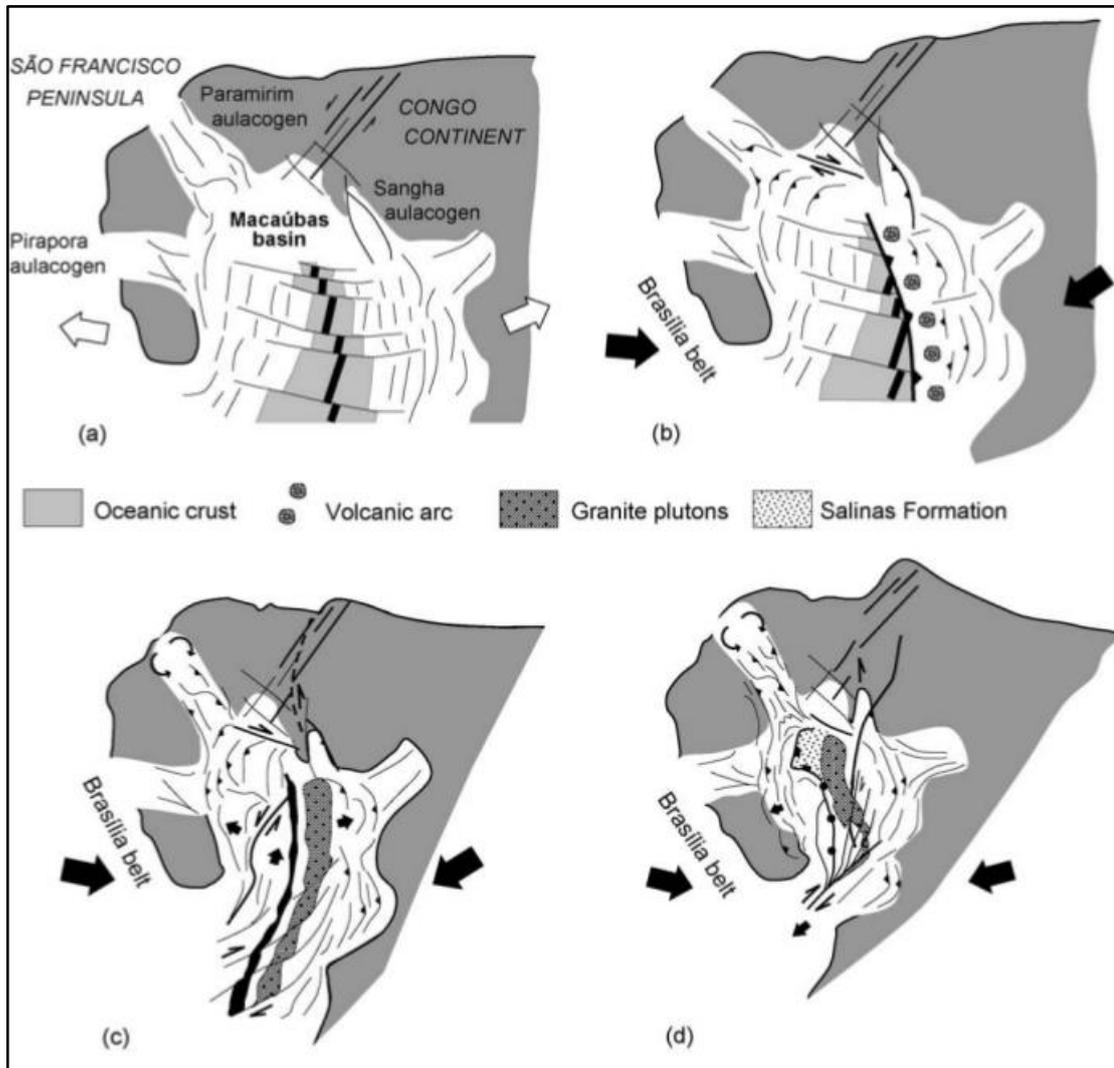
O desenvolvimento desta cinemática chegou então até o fechamento completo da bacia de Macaúbas, com geração de um amplo espectro litológico (Figura 7c). As rochas sedimentares, bem como as de composição básica, relacionadas à crosta oceânica pretérita, foram metamorfizadas em diversos graus, sendo o pico atingido entre 585 e 560 Ma, mesmo período onde houve a geração de intrusões graníticas sin-tectônicas, correspondentes à atualmente denominada suíte G2 (PEDROSA-SOARES *et al.*, 2001). Estas intrusões geraram uma espécie de arco com ângulo bastante suave, com direções variando entre N-S na porção setentrional e NNE-SSW na porção meridional. A intensa compressão atingida neste período resultou também em grande movimentação cisalhante, com destaque para um grande sistema sinistral na porção centro-norte, bem como uma de direção dextral na área sul. Ressalta-se também que desta fase resultam grandes cavalgamentos nos limites com os crátons circunvizinhos, com vergência para leste na porção próxima ao Cráton do Congo, e

vergência para oeste no contato com o Cráton do São Francisco.

A última fase do estágio colisional é representada por uma dinâmica bastante complexa e que ainda não foi completamente compreendida. Trata-se de um desenvolvimento avançado do sistema dextral localizado na região sul, onde houve o escape de parte do orógeno, como uma possível resposta ao choque ocorrido entre o bloco do Kalahari com o Cráton do Congo, bem como a movimentação de componentes do sistema Brasileiro/Pan-Africano. A idade estimada para esta etapa localiza-se entre 560-535 Ma, representando a proximidade do estágio terminal do referido sistema (Figura 7d).

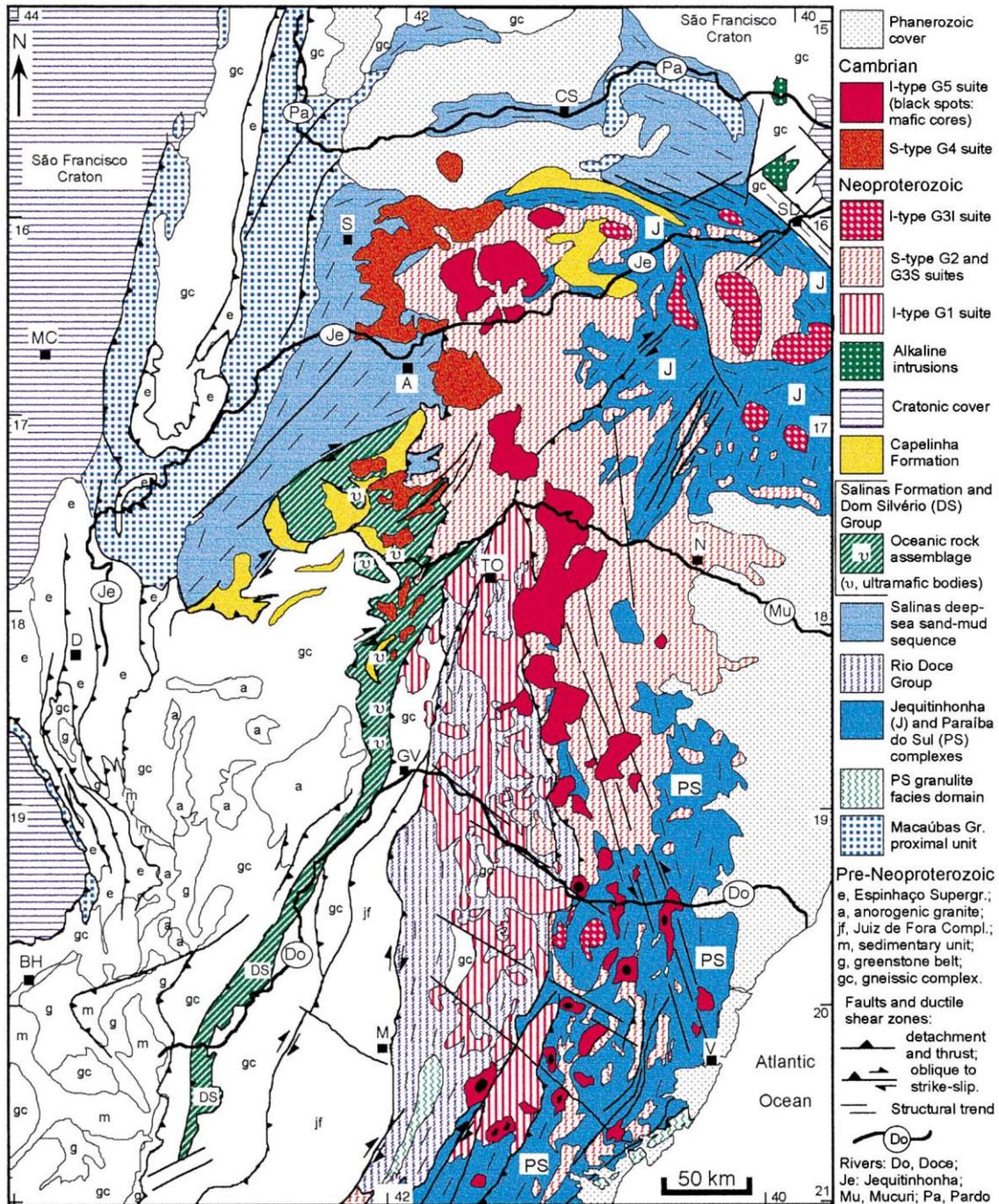
Encerra-se o sistema com um colapso orogênico da porção norte, resultado de seu grande espessamento, além da atuação de cisalhamentos sobre *normal-sense detachments* e sistemas de falhas normais, dando origem às zonas de cisalhamento de Virgolândia, Pedra Branca e Sabinópolis, inseridas dentro do Bloco Guanhães. Sugere-se ainda que tal colapso atuou como gatilho para atividades ígneas, dando origem às intrusões graníticas denominadas como suítes G4 e G5, conforme pode ser visto na figura 8 (PEDROSA-SOARES *et al.*, 2001).

Figura 7 – Sequência de eventos propostos no desenvolvimento do Orógeno Araçuaí (a – abertura da Bacia Macaúbas, b – início do fechamento da Bacia Macaúbas, c – fase final do fechamento da bacia, d – estágio terminal e colapso orogênico).



Fonte: Alkmim *et al.* (2006).

Figura 8 – Mapa geológico da Faixa Araçuaí e áreas cratônicas adjacentes, com destaque para as unidades neoproterozóicas e cambrianas. Cidades: A, Araçuaí; BH, Belo Horizonte; CS, Cândido Sales; D, Diamantina; GV, Governador Valadares; M, Manhuaçu; MC, Montes Claros; N, Nanuque; TO, Teófilo Otoni; S, Salinas; SD, Salto da Divisa; V, Vitória.



Fonte: Pedrosa-Soares et al. (2001).

Todo este complexo sistema resultou na formação de diversos compartimentos lito-estruturais, que estendem-se desde a porção centro-leste do estado de Minas Gerais, abrangendo praticamente todo o território capixaba. Diante disso, será exposta apenas a área correspondente ao último estado referido, focando então na

chamada Zona Interna de Alto Grau do Orógeno Araçuaí (ALKMIM *et al.*, 2006). Esta é composta predominantemente por paragneisses e suítes graníticas, com idades variando entre o neoproterozóico e o cambriano.

É possível compartimentar esta zona em duas regiões, considerando características estruturais preponderantes. O sub-domínio setentrional encontra-se afetado por zonas de cisalhamento com vergência para leste e oeste, enquanto o sub-domínio meridional contém uma grande sistema transpressional dextral, com destaque para as zonas de cisalhamento de Abre-Campo, Guaçuí e Batatal, sendo esta última a que mais se aproxima em termos geográficos, da região metropolitana da Grande Vitória.

Para a porção norte, tem-se o desenvolvimento de zonas de cisalhamento e foliações em um complexo paragneissico, com direção principal NNE e mergulho para WNW, com indicadores cinemáticos apontando movimentação predominantemente dextral. É reconhecido ainda um sistema de falhamentos tardio, de direção NNW, afetando estruturas pretéritas, denominado como Faixa Vitória, ou como também é chamada, Faixa Colatina (NOVAIS *et al.*, 2004).

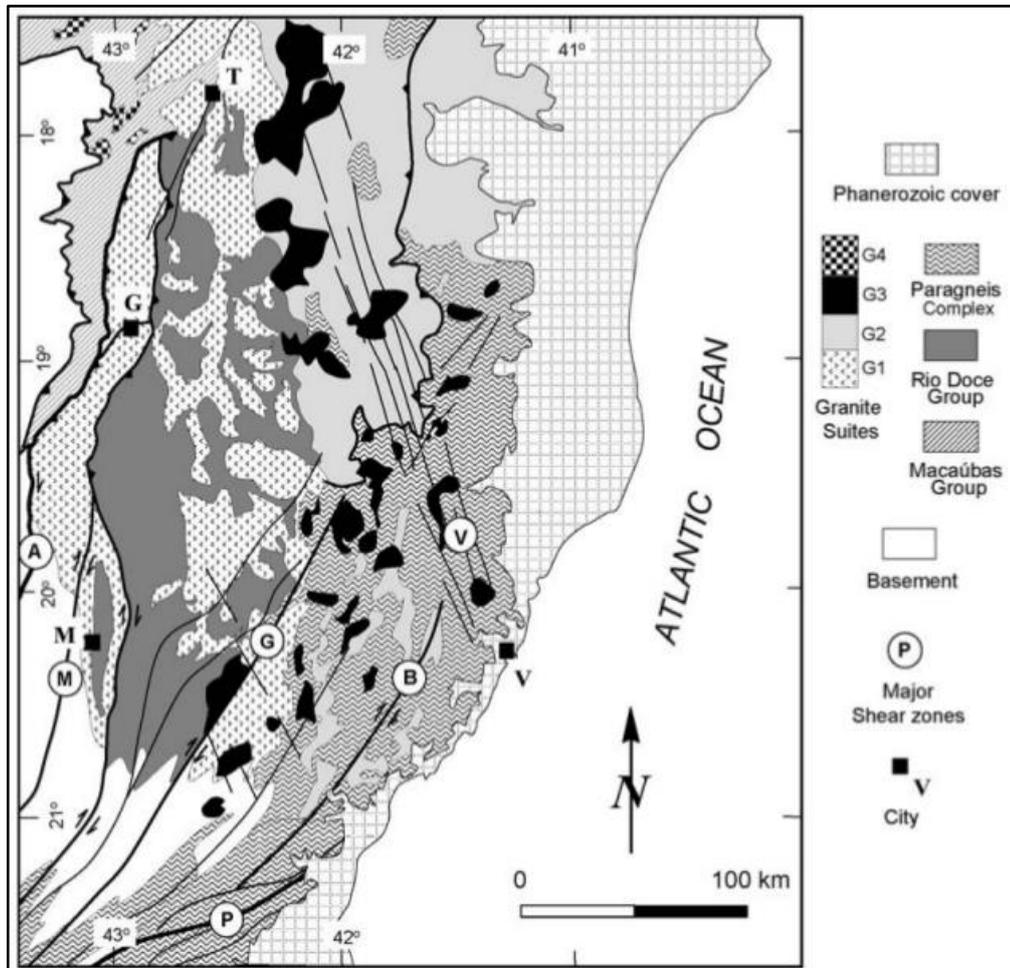
Com relação à Faixa Colatina, tem-se esta como uma das mais importantes estruturas geológicas da região Sudeste, sendo classificada por Machado *et al.* (1983) como uma faixa cataclasada, de idade neoproterozóica e com reativações durante o Fanerozoico, tendo cerca de 260 km de comprimento e 50 km de largura (Figura 9). Sua área de abrangência se situa então desde o limite noroeste do estado do Espírito Santo até a sua porção sudeste, com feições que a tornam reconhecida em imagens aéreas e de satélite.

Vieira (2015) faz uso do termo Feixe de Lineamentos Colatina (FLC), principal nomenclatura selecionada para este trabalho. O referido autor indica que o FLC afeta grande parte da granitogênese que ocorre no Estado do Espírito Santo, destacando-se ainda a presença de numerosos diques, orientados nas direções NNW-SSE a NW-SE.

Belém *et al.* (2013 apud Vieira, 2015), indica a partir da caracterização e datação destes diques, que as intrusões máficas estudadas e sua estrutura encaixante, originaram-se no Cambriano, muito antes da instalação do sistema de bacias da margem atlântica brasileira. Vieira (2015) aponta ainda que o FLC pode ser interpretado como tendo sido uma estrutura arqueada, alimentada por centenas de diques, comparando-o ao Arco de Ponta Grossa. Ambos são descritos como

aulacógenos, embora não tenham sido encontradas, no primeiro, vulcânicas ácidas de composição riolítica a dacítica.

Figura 9 – Mapa estrutural esquemático do núcleo cristalino do Orógeno Araçuaí. Principais zonas de cisalhamento: V – Vitória; B - Batatal; G - Guaçuí; A - Abre-Campo; P – Além-Paraíba; M – Manhuaçu. Cidades: V – Vitória; G – Governador Valadares; T – Teófilo Otoni.



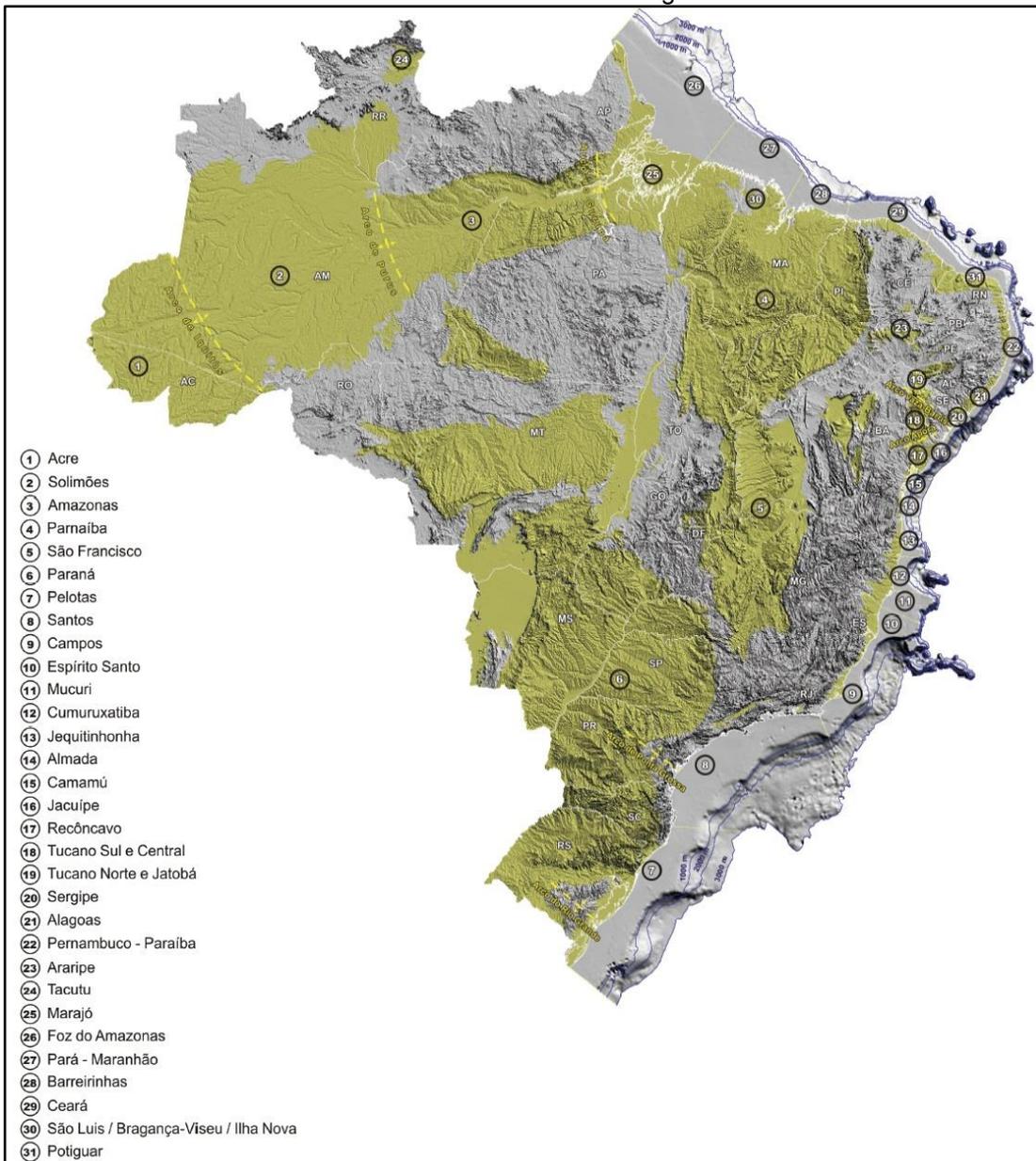
Fonte: Alkmim *et al.* (2006).

#### 4.2.3. Bacia do Espírito Santo

Outro aspecto importante na geologia regional da área de estudo é a ocorrência da Bacia Sedimentar do Espírito Santo, cujas principais características são sumarizadas em França *et al.* (2007), de onde se extraem as informações mencionadas neste tópico. A bacia é originada conjuntamente com as demais bacias da margem brasileira (Figura 10), a partir de evento que seccionou a porção oeste do paleo-continente Gondwana, iniciado no fim do Jurássico. O embasamento desta bacia é constituído por rochas do Orógeno Araçuaí, cuja evolução foi brevemente descrita anteriormente, bem como as rochas que compõem o setor correspondente à área de estudo e adjacências.

Com relação à interação entre o embasamento e a bacia propriamente dita, pode-se destacar o condicionamento estrutural da bacia, uma vez que as estruturas (direção de contatos litológicos e zonas de cisalhamento e fraturas) foram importantes durante o processo de separação do Gondwana, cuja fragmentação ocorreu, ao menos parcialmente, de acordo com feições pretéritas. Cabe ainda ressaltar que falhas pré-cambrianas continuaram ativas durante boa parte do processo que deu origem ao Oceano Atlântico, podendo ser observadas em camadas sedimentares formadas durante este período, bem como nas relações que possuem com os sistemas petrolíferos existentes.

Figura 10 – Mapa de localização das bacias sedimentares brasileiras, com a Bacia do Espírito Santo destacada com o código 10.



Fonte:

Para a sedimentação da fase continental, tem-se a Fm. Cricaré (aluvial/flúvio-lacustre), subdividida nos membros Sernambi e Jaguaré (Figura 11). Ambos representam essencialmente uma variação granulométrica em função da distância da área fonte, com presença de arenitos médios, grossos e conglomeráticos, com seixos de rochas do embasamento e matriz feldspática, caracterizando assim um sistema proximal (Mb. Jaguaré). Segue-se então para a porção mais distal a predominância de sedimentação mais argilosa, com alguns carbonatos e margas, correspondendo ao Mb. Sernambi. Para esta fase são interpretados diversos pulsos tectônicos, com contribuição aluvial e fluvial nas bordas dos falhamentos, além da ocorrência da Fm. Cabiúnas, representada por rochas vulcânicas (basaltos), com idades estimadas entre 118 e 136 Ma.

Com a continuidade na separação do Gondwana, tem-se o desenvolvimento de ambientes deposicionais propícios a novas sequências sedimentares. Tendo como base com relação à fase anterior uma discordância erosiva, o Mb. Mucuri é constituído por fácies representantes de deposição siliciclástica média e distal, com algumas intercalações de carbonatos. Este membro é ainda dividido em três sequências, onde o primeiro, na base, corresponde a leques aluviais e rios entrelaçados, com presença de ortoconglomerados polimíticos e arenitos arcoseanos grossos. A presença desta última litologia, além de indicar possíveis condições climáticas, sugere enfaticamente a atuação de tectônica remanescente. As sequências seguintes representam, primeiramente, um afogamento progressivo dos sistemas continentais descritos acima, com ocorrência de litologias mais finas, com presença de lagunas com planícies lamosas, além de ambiente evaporítico do tipo *sabkha*.

Encerrando a fase transicional (pós-rifte) tem-se o Mb. Itaúnas, formado por depósitos evaporíticos gerados em período de relativa quiescência tectônica, em condições de bacia restrita, com alta evaporação. Pequenas transgressões marinhas, representadas por delgadas camadas pelíticas subdividem a unidade em quatro sequências deposicionais, com calcários e anidritas preenchendo as porções mais proximais, e com halita nas áreas centrais da bacia. A espessura da sequência evaporítica varia entre 50 e 5000 m, com domos resultantes da movimentação halocinética iniciada desde os momentos iniciais de sobrepeso sobre as camadas. A taxa de deposição ainda é ignorada, entretanto o tempo para a deposição é estimado em cerca de 600 mil anos, correspondendo, portanto, a uma fração bastante restrita com relação ao período considerado para esta fase.

Segue-se então a fase de *drifte*, com sedimentação predominantemente marinha. O estágio inicial, representado pelo Grupo Barra Nova, situa-se em um contexto de mar epicontinental, com deposição de siliciclásticos na porção próxima (Fm. São Mateus) e carbonatos de baixa a alta energia nas seções médias e distais. É interessante observar que há o registro de diversas interdigitações entre estas formações, sugerindo controle cíclico na sedimentação, com componentes tanto estruturais quanto climáticos. Os arenitos da Fm. São Mateus possuem características bastante interessantes da dinâmica deste período, possuindo em sua composição quantidade significativa de material feldspático, além de serem afetados por grandes estruturas de *roll-over*, que condicionam alguns dos campos de produção de hidrocarbonetos na porção terrestre da Bacia do Espírito Santo.

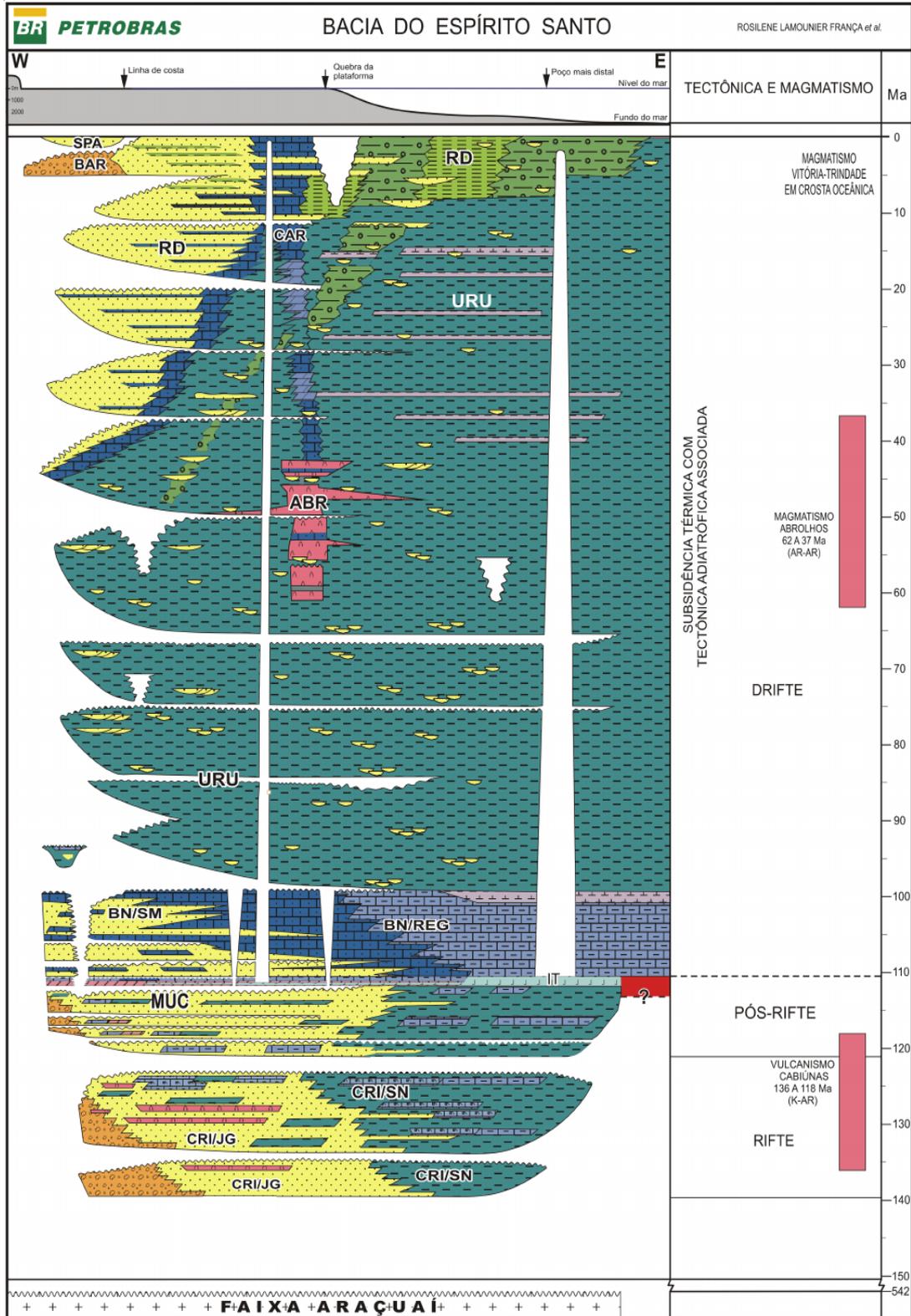
Uma importante discordância marca o final do período descrito acima, sendo conhecida como Discordância Pré-Urucutuca (DPU). Esta foi responsável pela erosão e formação de dois grandes cânions, que abrigam importantes reservas petrolíferas (cânions de São Mateus e Regência). Ambos são preenchidos predominantemente por sedimentos da Fm. Urucutuca, que representa a entrada na fase marinha franca. A mesma é composta por folhelhos e arenitos, sendo os últimos majoritariamente turbidíticos. Dada as fases de variação relativa do nível do mar, é interessante observar que em determinadas situações a área fonte era a própria “proto-Formação” São Mateus.

Os registros mais recentes da fase *drifte* apresentam ambientes deposicionais mais variados, contemplando desde sistemas fluviais, plataforma rasa, talude, marinho profundo, até vulcanismo. Este último tem como representante a Fm. Abrolhos, homônima ao arquipélago à qual deu origem. Com idade variando entre o final do Paleoceno e Eoceno, este evento magmático afetou estruturalmente a porção norte da bacia, chegando a gerar feições compressivas, com possível reativação de estruturas pretéritas de caráter normal.

Como representantes das sequências deposicionais iniciadas no Paleógeno, apresentam-se as formações Rio Doce, Caravelas e Urucutuca, onde a última passa a ficar concentrada cada vez mais nas porções profundas da bacia. A Fm. Caravelas é composta por calcarenitos bioclásticos, representação da seção média proximal. A Fm. Rio Doce apresenta relativa heterogeneidade, com presença de arenitos na porção proximal e fácies pelíticas localizadas após a quebra continental. Observa-se ainda a ocorrência da Fm. Barreiras, representante de depósitos formados em

ambientes flúvio/aluviais, com predominância de arenitos e conglomerados. Tanto a Fm. Rio Doce quanto a Fm. Barreiras são as únicas que apresentam-se aflorantes na porção emersa da Bacia do Espírito Santo, sendo portanto alvos crescentes de estudos que buscam compreender como se deu a deposição destas sequências, considerando as possíveis áreas-fonte de sedimentos e direções preferenciais de transporte.

Figura 11 – Carta Estratigráfica da Bacia do Espírito Santo (BAR – Fm. Barreiras; RD – Fm. Rio Doce; CAR – Fm. Caravelas; URU – Fm. Urucutuca; ABR – Fm. Abrolhos; BN/SM – Fm. São Mateus; BN/REG – Fm. Regência; MUC – Fm. Mucuri; CRI/JG-SN – Fm. Cricaré).



Fonte: França et al. (2007).

### 4.3. GEOLOGIA LOCAL

Buscando focar em aspectos mais proximais à área de estudo (Figura 12), pode-se observar por meio do mapa geológico da Folha Vitória (CPRM, 2014) a ocorrência de 3 (três) tipos litológicos principais: i) rochas plutônicas; ii) metamórficas; iii) sedimentares. Apresenta também uma cobertura de sedimentos holocênicos, condicionados a processos mais recentes de formação de depósitos aluvionares, colúvio-aluvionares e marinhos litorâneos. Dentre esses três, tem-se como elemento de maior representatividade aqueles de origem aluvionar, com destaque para os limites entre os municípios de Vitória e Serra, em área que inclui as fronteiras sul e oeste do Maciço Mestre Álvaro (MMA), CPRM (2014).

#### 4.3.1. Rochas sedimentares e depósitos inconsolidados

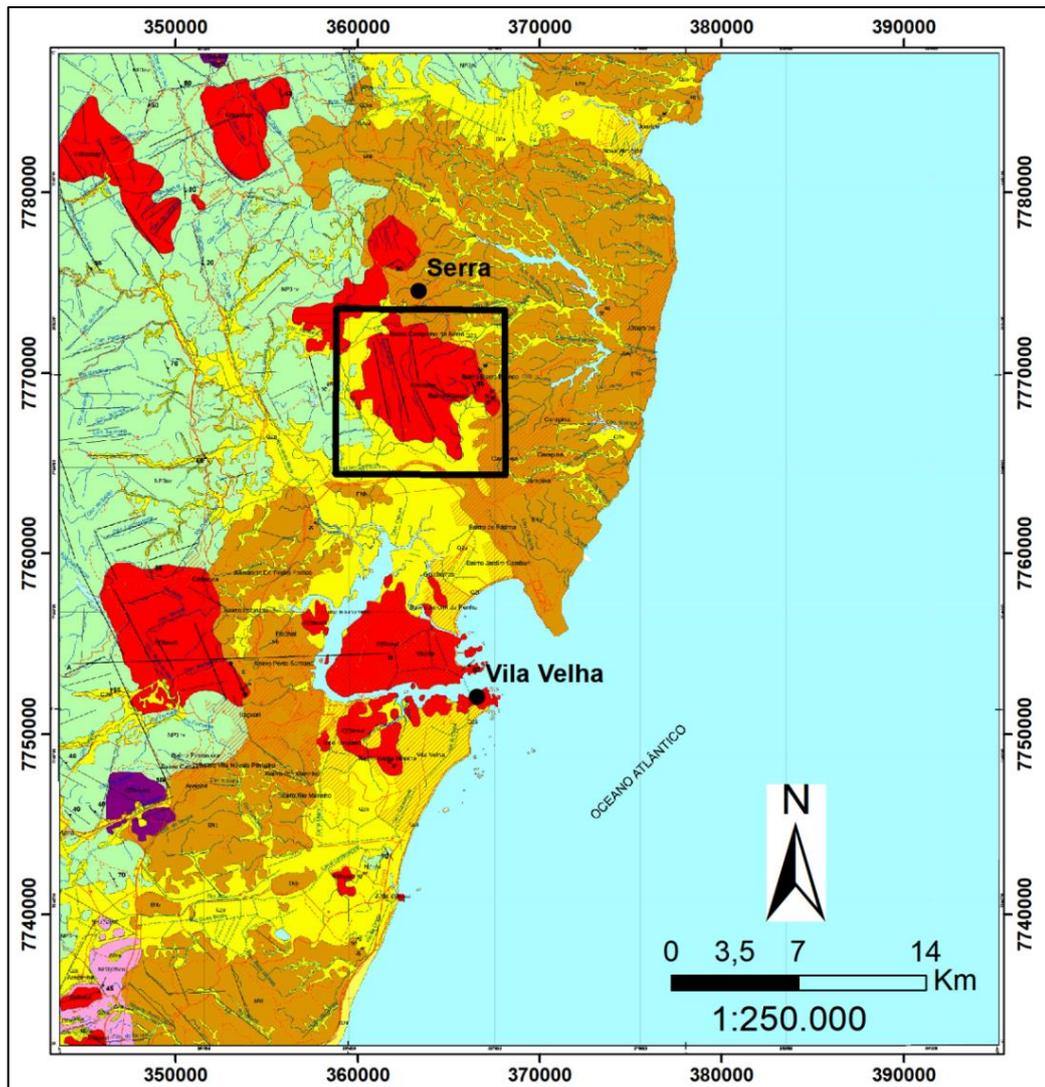
Os depósitos sedimentares de origem aluvionar podem ser localmente classificados em argilo-arenosos e arenosos, refletindo os aspectos deposicionais em que foram originados, tais como distância em relação à área fonte e processos de transporte. Desta forma, são denominados em dois tipos principais: depósitos aluvionares e areias brancas (VIEIRA, 2015).

O primeiro faz referência a depósitos de areias de granulometria grossa, com presença de grãos angulosos, mal selecionados e com frações argilosas. Relacionam-se aos depósitos de rios e as planícies de inundação adjacentes, servindo como registro da área de influência destes e de suas paleo-posições (VIEIRA, 2015).

Já as areias brancas (compostas basicamente por quartzo, conferindo o aspecto que lhes dá referido nome), têm sua ocorrência condicionada a porções onde recobrem a Fm. Barreiras, com espessuras que atingem até 3 metros, representando o que parecem ser antigos canais fluviais. Os sedimentos apresentam-se mal selecionados, com granulometria variando entre média e grossa, com ocorrência em uma faixa leste-oeste na porção nordeste do estado (VIEIRA, 2015).

Como representante da Bacia Sedimentar do Espírito Santo, apresenta-se na área a ocorrência da Fm. Barreiras, denominada desta forma em consonância à carta estratigráfica mais recente (FRANÇA *et al.*, 2007). De forma geral, a Fm. Barreiras é formada por arenitos, tipicamente mal selecionados, com coloração variando entre branca, amarela e vermelha, determinados em função da ocorrência de porções mais argilosas, bem como de concreções ferruginosas, chegando à formação de crostas.

Figura 12 – Mapa geológico com destaque para o Maciço Mestre Álvaro.



Legenda - Geologia	
	Depósitos Neogenicos
	Fm. Barreiras - Paleogeno
	Granitos - Cambriano
	Charnockitos - Cambriano
	Granada-biotita gnaisses - Ediacariano
	Granada-biotita leucogranito - Ediacariano

Fonte: Folha Vitória (CPRM, 2014).

#### 4.3.2. Rochas metamórficas e ígneas

Dentro deste tópico, o primeiro grupo a ser abordado é o das rochas metamórficas presentes na área de estudo, representadas pelo Complexo Nova Venécia, composto por paragneisses originados a partir do metamorfismo dos

sedimentos depositados na antiga Bacia de Macaúbas, onde, de acordo com Noce *et al.* (2004), este complexo representa principalmente a faixa de sedimentação pelítica em bacia de retroarco. Sendo assim, tem-se como representante principal granada-biotita-gnaïsse, subordinadamente com ocorrência de sillimanita e cordierita, com datações que apontam para idades em torno de 631 Ma (Pb-Pb) (VIEIRA, 2015).

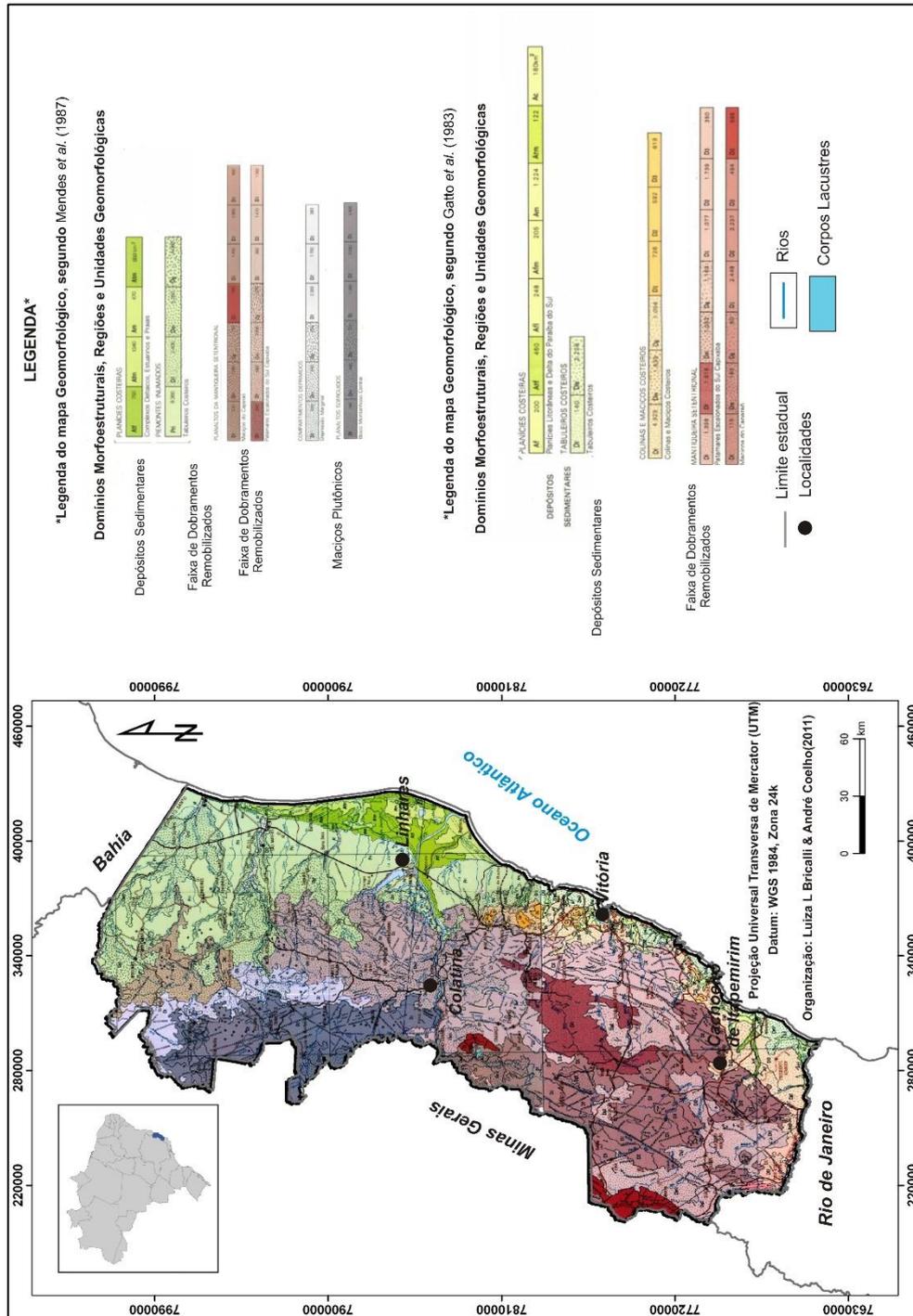
Uma série de maciços graníticos é observada na região, tendo-se o Mestre Álvaro destaque entre estes, principalmente em função de sua grande elevação. O mesmo é descrito como originado a partir de magmatismo pós-colisional, datado para o início do Cambriano. Trata-se então de um granito alcalino de granulação fina à média, por vezes porfírico, tipo I (VIEIRA, 2015).

Conforme pode ser visto na figura 8, a Região Metropolitana da Grande Vitória é indicada como estando posicionada na área de intersecção de lineamentos regionais de direção NE-SW e NNW-SSE, com destaque para o último, correspondente ao Feixe de Lineamentos Colatina. Este é compreendido como uma faixa cataclasada com cerca de 260 km de comprimento e 50 km de largura, estendendo-se desde o limite noroeste do Estado, até a sua porção leste (MACHADO *et al.*, 1983; ALKMIM *et al.*, 2006), onde localiza-se a área de estudo.

#### 4.4. CARACTERIZAÇÃO GEOMORFOLÓGICA

Para a caracterização geomorfológica do estado do Espírito Santo (Figura 13), foi utilizado a sistematização de Gatto *et al.* (1983) e Mendes *et al.* (1987), onde pode-se observar as características geomorfológicas de cada domínio, região e unidade, estabelecendo o estado da arte do conhecimento sobre estes tópicos.

Figura 13 – Mapa geomorfológico do estado do Espírito Santo.



Fonte: Bricalli (2011).

#### **4.4.1. Domínios Morfoestruturais**

Este primeiro tópico é definido dentro da ciência geomorfológica como a caracterização de áreas em função principalmente de suas macrofeições geológicas, ou seja, como os aspectos básicos como litologia e estrutura das rochas apresentase nas grandes estruturas do relevo. Desta forma, tem-se como representantes destes domínios os depósitos sedimentares, as faixas de dobramentos remobilizadas e os maciços plutônicos (GATTO *et al.*, 1983; MENDES *et al.*, 1987).

##### **4.4.1.1. Depósitos Sedimentares**

Este domínio tem como característica básica a composição predominante constituída por sedimentos inconsolidados, variando entre granulometria argilosa, arenosa e conglomerática, depositados a partir do Cenozoico, envolvendo no estado principalmente a Fm. Barreiras. A distribuição dentro da unidade federativa se dá sempre a partir do litoral, desde a porção sul até o norte, com destaque para a última, onde alcança uma extensão de até 80 quilômetros.

##### **4.4.1.2. Faixa de Dobramentos Remobilizados**

Este domínio também se apresenta desde o sul até o norte do estado, tendo, entretanto destaque a partir da porção central e predominância no setor sul. É composto basicamente por grandes complexos de rochas metamórficas, ainda que com presença também de corpos ígneos. Dada a predominância das primeiras, tem-se então a ocorrência de grandes estruturas de dobramentos e falhamentos, com destaque para as zonas de cisalhamento de Batatal e Guaçuí, que representam a dinâmica tectônica que atuou sobre o Orógeno Araçuaí.

##### **4.4.1.3. Maciços Plutônicos**

A área de ocorrência deste domínio dá-se basicamente na porção noroeste do estado, sendo caracterizada pela ocorrência predominante de maciços ígneos, principalmente de composição ácida. Tais rochas estão relacionadas ao magmatismo ocorrido durante os processos que resultaram no fechamento da antiga Bacia Macaúbas, com formação de rochas com características desde sin-tectônicas até pós-tectônicas.

#### **4.4.2. Regiões Geomorfológicas**

Neste tópico tem-se como principal característica a composição do relevo como função dos aspectos geológicos e climáticos, gerando feições próprias desta interação. Sendo assim, são apresentadas algumas subdivisões com relação aos Domínios Morfoestruturais (GATTO *et al.*, 1983; MENDES *et al.*, 1987).

##### **4.4.2.1. Planícies Costeiras**

Esta primeira região aparece como um elemento dentro do domínio Depósitos Sedimentares, situando-se preferencialmente na foz do Rio Doce, bem como a norte desta, onde são observados os chamados cordões litorâneos. Apresenta relevo plano, composto por sedimentos recentes, relacionados principalmente a deposições ocorridas no Quaternário, como os referidos cordões litorâneos, frutos da dinâmica de soerguimento e rebaixamento do nível do mar.

##### **4.4.2.2. Piemontes Inumados**

Segundo compartimento passível de ser discriminado dentro do domínio Depósitos Sedimentares, com abrangência por todo o litoral do estado. Composta predominantemente por sedimentos oriundos predominantemente da Fm. Barreiras, sendo estes depositados muitas vezes diretamente sobre o embasamento, existe a ocorrência de feições de relevo levemente ondulado, com abrangência expressiva na porção norte do estado.

##### **4.4.2.3. Planaltos da Mantiqueira Setentrional**

Constitui-se em uma das principais regiões em termos de área de abrangência, compreendendo grande parte da porção central e sul do estado. Trata-se da porção norte da Serra da Mantiqueira, com constituição majoritária de rochas metamórficas e zonas de cisalhamento, submetidas a diferentes fases de erosão e dissecação, com geração de compartimentos relacionados às diferentes respostas em função de heterogeneidades litológicas e estruturais.

##### **4.4.2.4 Piemontes Orientais**

Constitui a porção norte do Domínio de Dobramentos Remobilizados, sendo formada igualmente por rochas metamórficas, entretanto com relevo condicionado por uma dinâmica diferente, com intenso trabalhamento fluvial e apresentando feições convexas e tabulares, além de elevações residuais. Para a compreensão das

diferenças também faz-se importante citar as idades das rochas, que nesta porção são predominantemente neoproterozoicas, enquanto nos Planaltos da Mantiqueira Setentrional são em sua maioria paleoproterozoicas.

#### 4.4.2.5. Compartimentos Deprimidos

Localizados na porção leste do domínio dos Maciços Plutônicos, corresponde aos resultados de ações fluviais sobre complexos ígneos, com formação de grandes áreas de relevo plano. Estes compartimentos apresentam-se limitados na porção sul pelo rio São José e na porção norte pelo rio São Mateus, sugerindo então que variações climáticas e na dinâmica destes tiverem alguma relevância na composição desta região.

#### 4.4.2.6. Planaltos Soerguidos

Corresponde à porção oeste do domínio Maciços Plutônicos, com relevo constituído por grandes pontões, formados a partir da erosão sobre os complexos graníticos existentes na área, considerando um espectro de variações climáticas e nos níveis de base dos rios próximos.

### 4.4.3. Unidades Geomorfológicas

O último agrupamento correlaciona-se às feições de áreas mais restritas, com ênfase nos processos formadores de relevo (GATTO *et al.*, 1983; MENDES *et al.*, 1987).

#### 4.4.3.1. Planícies Costeiras, Estuários e Praias

Esta unidade corresponde principalmente à Região Geomorfológica de Planícies Costeiras, concentrando-se majoritariamente na foz do rio Doce e na área dos cordões litorâneos. Distribuem-se também outras faixas de praias e desembocaduras de rios, com feição resultante do suprimento fluvial de sedimentos e retrabalhamento por ondas, marés e ventos, com resposta vinculada também às variações destes processos.

#### 4.4.3.2. Tabuleiros Costeiros

Em termos areais, corresponde a uma das principais unidades do estado, relacionando-se à Região de Piemontes Inumados. Distribui-se do sul ao norte do

estado, sendo composto por sedimentos da Fm. Barreiras, possuindo, portanto, granulometria predominantemente arenosa, com porções secundárias de composição argilosa. O relevo tende a variar entre plano e de leves ondulações, tendo como limites os sopés das montanhas, correspondentes aos maciços plutônicos e faixas de dobramentos.

#### 4.4.3.3. Colinas e Maciços Costeiros

Segundo o RadamBrasil, corresponde a feições de relevo deprimidas, com baixos valores altimétricos e correção estreita com zonas de fraturamento e dobramentos. Característica adicional passível de ser identificada na justaposição com o mapa geológico é a ocorrência de altos relacionados a maciços graníticos localizados relativamente próximos ao litoral, contrastando em parte com a definição comum.

#### 4.4.3.4. Chãs Pré-Litorâneas

Esta unidade está basicamente restrita à porção noroeste do estado, correspondendo a feições de relevo de bastante dissecadas, com rampa na direção leste, no sentido da costa. Compõe-se predominantemente de rochas granitoides de origem sin a tardi-orogênicos, com foliação incipiente.

#### 4.4.3.5. Maciços do Caparaó I e II

Estas unidades abrangem grande parte da Região de Planaltos da Mantiqueira Setentrional, compreendendo um grande complexo de rochas ígneas e metamórficas, além de zonas de cisalhamento como a de Guaçuí. O relevo desta área é resultante da interação entre o clima úmido e as feições estruturais orientadas de acordo com os principais eventos tectônicos que afetaram a área. As altitudes alcançadas nesta região são da ordem de 600 metros, com elevações pontuais de até 2000 metros.

#### 4.4.3.6. Patamares Escalonados do Sul Capixaba

Diferente do que sugere o seu nome, esta unidade encontra-se mapeada desde a porção central até o sul do estado, sendo compartimentada por faixas representantes da Unidade Maciço do Caparaó. Os blocos que formam os patamares escalonados são resultantes de movimentações tectônicas, incluindo níveis de dissecação controlados pelas estruturas formadas nestes eventos.

#### 4.4.3.7. Depressão Marginal

Esta unidade compreende a mesma área da Região de Compartimentos Deprimidos, correspondendo a feições de reentrância resultantes de erosão fluvial remontante, localizando-as entre as vertentes das elevações mais proeminentes. A orientação desta unidade também se mostra como fato interessante, uma vez que se alinha à direção da Faixa Colatina, que se mostra persistente ainda nessa porção do estado.

#### 4.4.3.8 Bloco Montanhoso Central

Área com relevo montanhoso, resultante de diversos ciclos erosivos comandados por variações climáticas e no nível de base dos rios. Seu substrato é composto basicamente por rochas neoproterozoicas, com exceção de um núcleo paleozoico, relacionado ao magmatismo terminal do Orógeno Araçuaí.

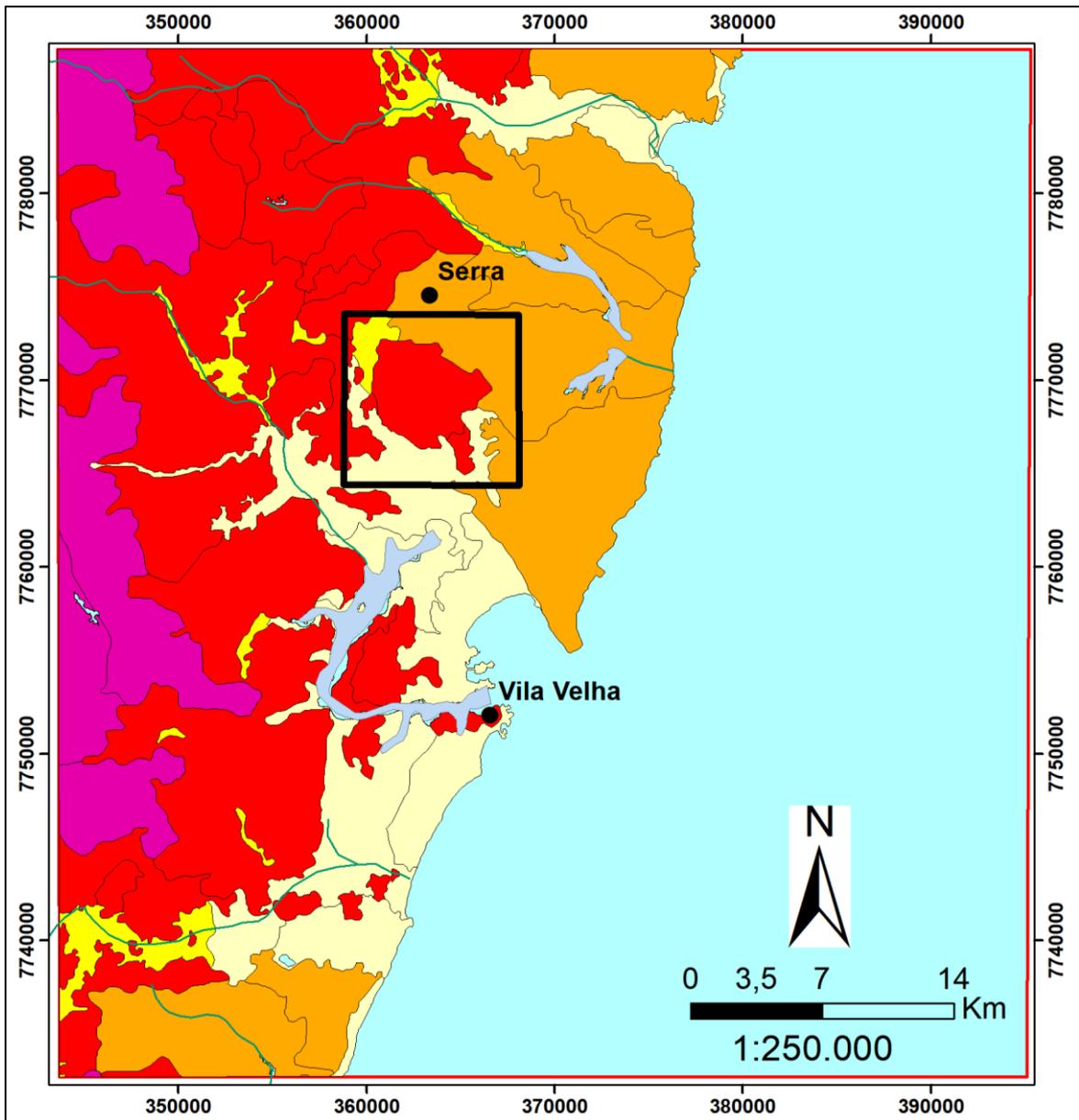
#### **4.4.4. Geomorfologia Local**

O maciço Mestre Álvaro, objeto deste estudo, é indicado como pertencente ao Domínio Morfoestrutural da Faixa de Dobramentos Remobilizados, na Região dos Piemontes Orientais e na Unidade de Colinas e Maciços Costeiros (Figura 14). O mesmo apresenta-se como uma elevação destoante no cenário (chegando a 833 metros de altura), marcado nas proximidades por colinas formadas sobre rochas gnáissicas e arenitos, além de acumulações fluviais, principalmente na porção sul.

Gimenes (2002) indica que o Mestre Álvaro apresenta-se como um maciço rochoso com forma circular característica em planta, possuindo um alinhamento na direção NW-SE. Aponta tratar-se da cúpula de uma intrusão granítica, possuindo bordas gnaissificadas e evidências de perturbação tectônica, que teriam atuado na formação dos setores topomorfológicos propostos pela referida autora em seu trabalho (Figura 1).

Bricalli (2006) contribui com a exposição acerca da existência de vales encaixados e estreitos, com grande amplitude altimétrica, contando inclusive com vales suspensos por todo o maciço. Na porção oeste do mesmo, aponta para a maior proximidade das curvas de nível, indicando maiores declividades, como indicação de relevo escarpado, destoando-se assim do segmento leste, onde as curvas vão tendendo a um maior espaçamento.

Figura 14 – Mapa geomorfológico da área de estudo, com destaque para o Mestre Álvaro.



Fonte: Vetorização do mapa geomorfológico do Espírito Santo disponível pelo Projeto RadamBrasil - Instituto Jones dos Santos Neves (2012).

#### 4.5. SOLOS

Quanto aos aspectos pedológicos, tem-se como referencial regional o capítulo correspondente dentro Projeto RadamBrasil (OLIVEIRA *et al.*, 1983), bem como do INCAPER (2016), que indicam como solos predominantes no estado os tipos: latossolos amarelos e argissolos, álicos e distróficos, com ênfase nas áreas de relevo plano e ondulações suaves, correlacionáveis em grande parte com a presença da Fm. Barreiras. Tem-se também latossolos vermelho-amarelos, álicos e distróficos, e luvisolos vermelho-escuro eutróficos em relevos ondulados e montanhosos, desta forma, abundantes nas áreas onde predominam rochas ígneas e metamórficas do embasamento cristalino.

Segundo a classificação adotada (SANTOS *et al.*, 2018), destaca-se a presença dos latossolos como solos minerais, não hidromórficos, normalmente profundos e com presença dos horizontes A, B e C. Pontua-se ainda a evolução muito avançada com atuação expressiva de processo de latolização (ferralitização), resultando em intemperização intensa dos constituintes minerais primários e concentração relativa de argilominerais resistentes e/ou óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio. Desta forma, tem-se o latossolo amarelo tendo como principais características sua cor (que pode variar suavemente para amarelo-avermelhado), apresentando-se bastante coesos, baixo teor de ferro, estrutura geralmente em blocos fracamente desenvolvidos, densidade aparente relativamente alta e porosidade total relativamente baixa (40-50%). Já os latossolos vermelho-amarelo e vermelho-escuro apresentam teores maiores de ferro, maiores concentrações de cálcio e baixas de alumínio e com textura bastante argilosa. São caracterizados também por horizonte A moderado, proeminente e fraco.

Para os argissolos, apresentam-se os que compreendem aqueles constituídos por material mineral, que têm como características diferenciais a presença de horizonte B textural de argila de baixa atividade ou alta conjugada por bases baixa ou caráter alítico. A coloração também é correlacionada aos teores de ferro, sendo que a abundância deste elemento confere a característica cor avermelhada.

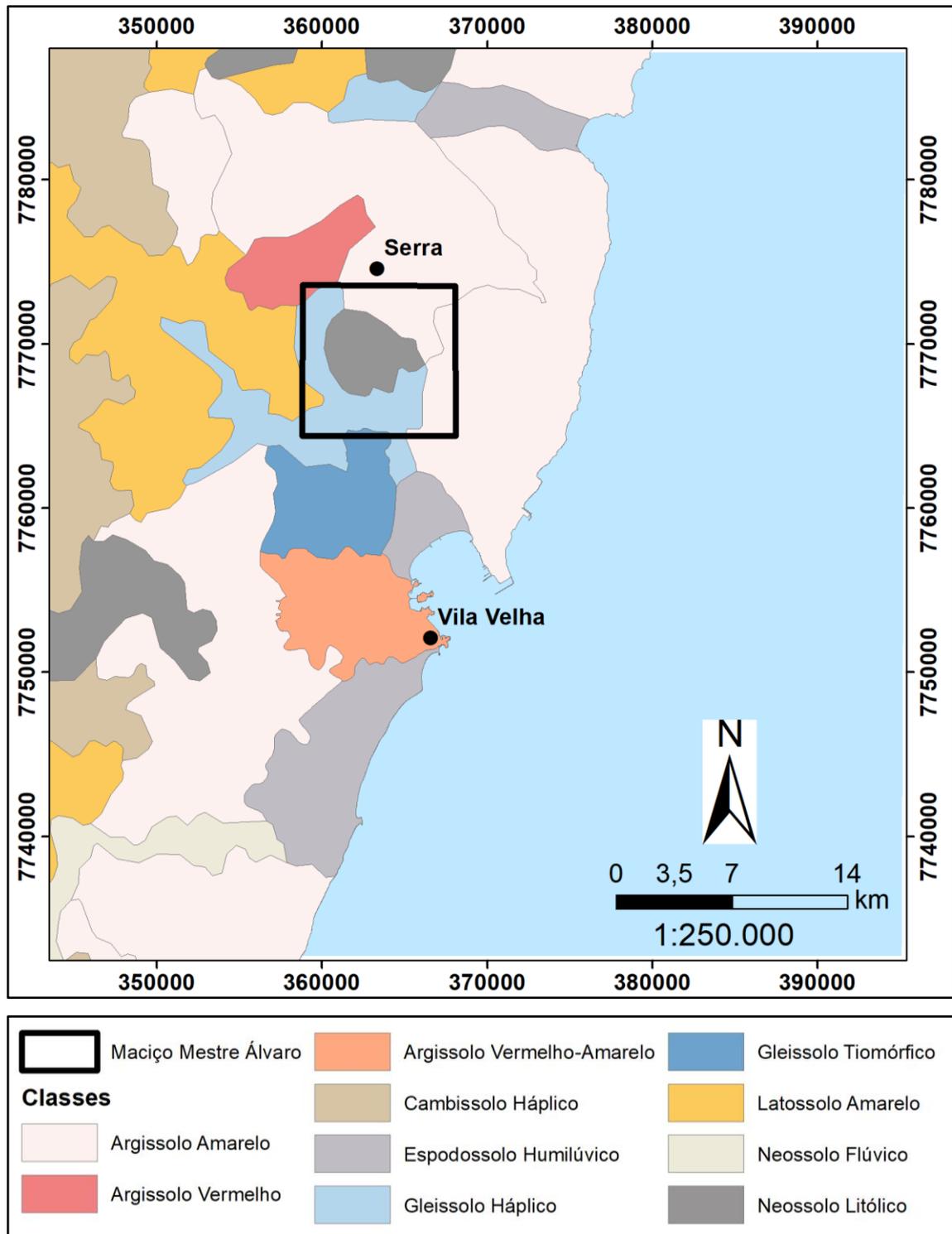
É ainda importante pontuar a ocorrência na área de estudo de gleissolos, de composição mineral, hidromórficos, desenvolvidos preferencialmente sobre sedimentos não consolidados. Sua cor característica acinzentada inicia-se no máximo até os 50 centímetros de profundidade, sendo resultante do regime de umidade redutor ao qual é frequentemente submetido, devido a encharcamentos constantes ou

periódicos.

Na área de estudo (Figura 15), conforme pode ser visto a partir do mapa disponível (INCAPER, 2016), tem-se para o Maciço Mestre Álvaro e suas adjacências a ocorrência de três grupos principais: gleissolos e organossolos relacionados aos depósitos quaternários; argissolos amarelos distróficos com influência da Fm. Barreiras; neossolos e afloramentos rochosos, relacionados diretamente ao corpo granítico.

Bricalli (2006) apresenta dois perfis pedológicos posicionados na porção nordeste do Maciço Mestre Álvaro, indicando classes de solos distintas daquela observada no mapa (neossolo), sugerindo assim que há espaço para estudos mais detalhados, que permitam uma compartimentação pedológica mais detalhada da área. Apresenta-se assim a existência de argissolo, gleissolo háplico e cambissolo, cuja existência está relacionada tanto a heterogeneidades litológicas, quanto à diversidade dos processos pedogênicos.

Figura 15 – Mapa de solos da área de estudo, com destaque para o polígono delimitando o Maciço Mestre Álvaro.



Fonte: Modificado de Geobases/Incaper, 2016.

## 5. MATERIAIS E MÉTODOS

Para o desenvolvimento desta dissertação de Mestrado foram necessárias atividades de gabinete e de campo, abrangendo assim um conjunto variado de técnicas e dados, descritos nos tópicos a seguir. Um ponto importante a ser destacado nesta pesquisa refere-se às diversas escalas utilizadas para a confecção deste trabalho, desde as análises até a elaboração de produtos de Sistema de Informação Geográfica (SIG) abrangendo aspectos regionais, semi-regionais e locais.

Para a escala regional, utilizou-se a escala de 1:500.000, com intuito de melhor representação das principais estruturas geológicas observadas no estado do Espírito Santo.

Na escala semi-regional, foi selecionada a escala de 1:100.000, que permitiu uma adequada correlação com o principal mapa geológico disponível para a área, correspondente à Folha SF-24-V-B-I Vitória (CPRM, 2014), além de permitir a identificação de importantes feições da área, presentes no MDE.

Finalmente, para as atividades voltadas à caracterização local, foi utilizada a escala de 1:25.000, satisfatória à interpretação de lineamentos em fotografias aéreas, bem como para a integração com os dados obtidos em campo. Na escala local utilizou-se também a proporção 1:1, relativa aos trabalhos de campo. Tal escala é indicativa da observação *in-situ* das diferentes litologias e estruturas presentes na área de estudo, com destaque para a identificação de amostras de mão, incluindo a composição mineralógica e aspectos texturais.

### 5.1. ANÁLISES DE GABINETE

#### 5.1.1. Revisão bibliográfica e de bases cartográficas

Esta etapa contou com o auxílio de plataformas digitais *on-line*, buscando referências em livros e revistas especializados da área de Geociências, tanto nacionais quanto internacionais, sendo possível destacar como exemplo os bancos de dados relacionados à Revista Brasileira de Geomorfologia e do Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Ressalta-se ainda a base de dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), por meio da qual foi possível acessar os volumes do Projeto RadamBrasil, que constituem o material basilar sobre a geologia e, principalmente, sobre a geomorfologia da área de estudo.

Quanto aos dados cartográficos (matriciais e vetoriais) obtidos para a formação da base cartográfica, dá-se destaque àqueles obtidos em CPRM (2014), GEOBASES (2017) e ortofotos digitais (IEMA, 2013).

Uma referência importante para o tópico de revisão bibliográfica é Bricalli (2011), em função de sua extensa apresentação de dados de lineamentos e estruturas neotectônicas para o estado do Espírito Santo. Os dados apresentados no referido trabalho serviram como base para as análises dos resultados obtidos nesta dissertação, onde buscou-se correlacionar os compartimentos estruturais definidos a partir dos lineamentos, bem como avaliar a correspondência com os dados de neotectônica.

### **5.1.2. Análise de Lineamentos**

A análise de lineamentos desta pesquisa foi realizada em diferentes escalas de trabalho (escala regional, semi-regional e local). Desta forma, para a extração de lineamentos de caráter regional, que pudessem colaborar com informações concernentes à compartimentação tectônica da área, foi escolhida a escala de 1:500.000, que mostrou-se adequada à análise do mapa aeromagnetométrico, cuja resolução permite a identificação das grandes feições geológicas presentes, apresentando assim as principais estruturas para as quais se buscariam correlatos em escalas maiores.

A análise de lineamentos em escala semi-regional faz referência a um dos principais tópicos relacionados à atividade, que é a extração de feições lineares a partir de Modelos Digitais de Elevação (MDE). A escala utilizada para esta interpretação foi de 1:100.000, selecionada em função da resolução da imagem, que permitisse a identificação dos lineamentos, por ser a escala de representação do mapa geológico da Folha Vitória (CPRM, 2014), bem como por mostrar-se adequada à visualização dos lineamentos com comprimentos correlacionáveis às estruturas obtidas na análise regional.

Foi realizado também o decalque de lineamentos a partir de fotos aéreas ortoretificadas, cuja escala de trabalho selecionada foi de 1:25.000. Esta escala apresentou-se representativa para identificação de lineamentos locais, permitindo a identificação não só de lineamentos de dimensão mais extensa, mas servindo também à visualização daqueles relacionados à rede de drenagem, encaixados em porções

de difícil visualização presentes no Maciço Mestre Álvaro, principalmente em função da cobertura vegetal.

A análise de lineamentos para esta pesquisa foi elaborada a partir das definições de Liu (1984, apud BRICALLI, 2011) e Bricalli (2011; 2016), que consideram as feições lineares da superfície terrestre relacionadas a cursos d'água retilíneos, segmentos alinhados de vales, segmentos de escarpas, alinhamento de cristas, trechos de rios e lagos.

#### 5.1.2.1 Análise de Lineamentos em MDE (escala 1:100.000)

Os lineamentos foram traçados sobre Modelo Digital de Elevação (MDE) do Projeto Topodata (2011), elaborado pelo Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE), a partir de dados *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) fornecidos pelo Serviço Geológico Norte-Americano (USGS), com resolução espacial de 30m.

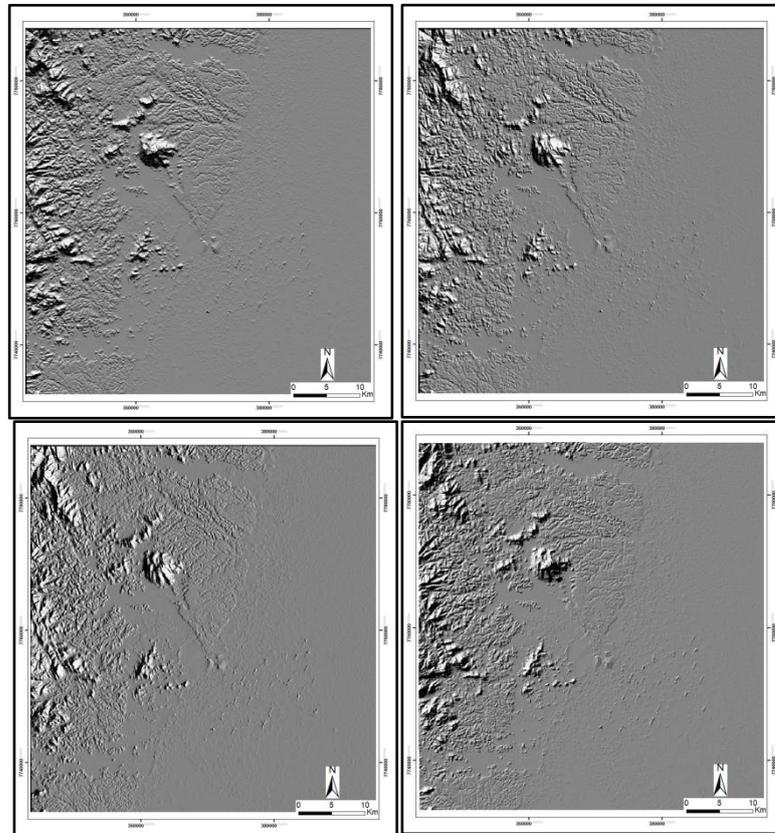
A extração de lineamentos foi realizada com utilização do *software* ArcGIS 10.1™ (ESRI, 2012), disponibilizado pelo Laboratório de Cartografia Geográfica e Geotecnologias da Universidade Federal do Espírito Santo (LCGGEO-UFES). Todos os mapas foram criados ou convertidos para a projeção Universal Transversa de Mercator (UTM), Datum Geodésico Horizontal SIRGAS 2000, Fuso 24k.

Primeiramente foi realizado o tratamento da imagem com aplicação de diferentes iluminações artificiais (Azimutes de iluminação), cuja variação tem como objetivo destacar as feições perpendiculares à direção indicada. Foram utilizados 4 valores de azimute de iluminação (0°, 45°, 90° e 315° graus) e altitude solar de 45° (BRICALLI, 2011; BRICALLI, 2016) para melhor representar a visualização e traçado das feições existentes na área (Figura 16).

Essas iluminações foram geradas a partir da ferramenta *Hillshade*, encontrada na *Spatial Analyst Toolbar*. Ainda nesta etapa, destaca-se a importância do estabelecimento do “Fator- Z” (*Z-Factor*), utilizado com valor diferenciado para diferentes latitudes do globo terrestre, como estabelecido pelo *software* ArcGIS. O valor utilizado nesta pesquisa corresponde a 0,0000934, oriundo da pesquisa de Bricalli (2011), onde a mesma apresenta a utilização desse valor para extração de lineamentos para todo estado do Espírito Santo.

Em seguida, criou-se um Plano de Informação (PI) de estrutura vetorial, do tipo linha e, a utilização da ferramenta de edição do programa para o decalque de lineamentos segundo a metodologia manual (BRICALLI, 2011; BRICALLI, 2016).

Figura 16 – Modelo Digital de Elevação (MDE) com aplicação da técnica de iluminação artificial (*hillshade*) da área correspondente à Folha Vitória, com diferentes ângulos de iluminação: superior esquerdo (0°), superior direito (45°), inferior esquerdo (90°), inferior direito (315°).



Fonte: organizado pelo autor.

O decalque dos lineamentos a partir do MDE foi realizado na escala 1:100.000, de modo que pudesse ser garantida a adequada representatividade das feições mapeadas e preservação da resolução da imagem.

Para a análise dos lineamentos traçados foi necessário inicialmente a exportação destes para um formato externo, adequado aos *softwares* de criação de rosetas (BELISARIO *et al.*, 1999; BRICALLI, 2016). Foi utilizado o *plugin* para ArcGIS™ desenvolvido pela Universidade Federal do Paraná (UFPR) *AzimuthFinder*, que gera, a partir das feições criadas, uma tabela contendo informações como comprimento e azimute, que podem ser posteriormente carregadas em programa externo, a partir da exportação do dado, que se deu em três etapas: i) abrangendo todos os lineamentos gerados nos diferentes compartimentos geológicos da área; ii) selecionando os lineamentos presentes nas rochas ígneas (granitos); iii) selecionando os lineamentos sobre as rochas metamórficas (Complexo Nova Venécia). O *software*

utilizado para a criação das rosetas foi o *Stereonet*, cujo produto de saída leva em consideração tanto a orientação das feições, como o número de ocorrências destas.

#### 5.1.2.2. Análise de Lineamentos em Mapa Aeromagnetométrico

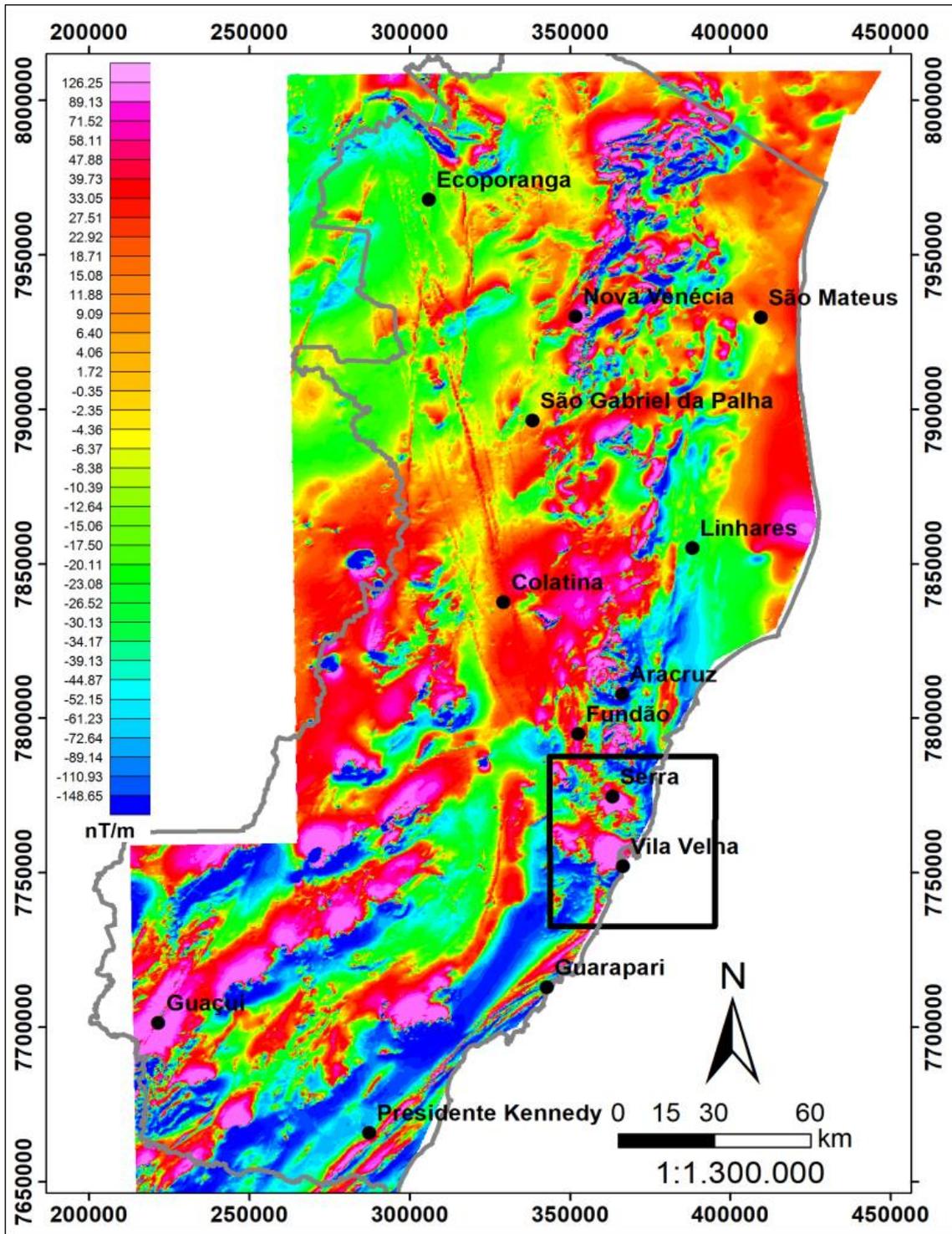
Para a extração de lineamentos de caráter regional foi utilizado o mapa aeromagnetométrico do CPRM (2010) disponibilizado para o Estado do Espírito Santo (Figura 17), que mostrou-se adequado ao decalque das grandes estruturas regionais, servindo assim para a correlação dos lineamentos obtidos nas outras escalas de trabalho.

Este mapa aeromagnetométrico foi obtido no site do CPRM, na plataforma própria GeoSGB ([www.geosgb.cprm.gov.br](http://www.geosgb.cprm.gov.br)). Os valores medidos e que dão origem a ele representam a susceptibilidade magnética das rochas, ou ainda, a capacidade destas em magnetizarem-se na presença de um estímulo magnético. Dada a ambiguidade do método geofísico, uma vez que os valores medidos podem representar as relações complexas de um determinado ponto, e não apenas a resposta pura do litotipo predominante, é importante que a interpretação venha a considerar tal limitação. Desta forma, para o propósito desta pesquisa, o mapa aeromagnetométrico foi utilizado apenas para a extração dos grandes lineamentos regionais, abstendo-se de considerações litológicas.

Para esta etapa, o conceito de lineamento assume um caráter particular, referindo-se a feições lineares observadas nos prolongamentos e limites dos corpos magnéticos. Desta forma, foram decalcadas estruturas lineares similares a diques (grande extensão e largura relativamente delgada), bem como feições relacionadas a áreas mais extensas, no contato entre zonas com diferentes valores magnetométricos.

De forma semelhante ao tratamento dos lineamentos obtidos a partir de MDE, foi feita a exportação das feições interpretadas por meio do *plugin Azimuth Finder* a partir da tabela gerada, foi criada a roseta de direções, por meio do programa *Stereonet*, de modo a permitir a identificação das principais direções estruturais em escala regional (BELISARIO *et al.* 1999, BRICALLI, 2016).

Figura 17 – Mapa aeromagnetométrico do estado do Espírito Santo (polígono destacando a área referente à Folha Vitória - CPRM, 2014).



Fonte: organizado pelo autor a partir de CPRM, 2010.

### 5.1.2.3. Análise de Lineamentos em Fotos Aéreas Ortoretificadas

Para o desenvolvimento da pesquisa em caráter local, foram utilizadas ortofotos adquiridas durante o biênio 2012-2013 (Bloco 13), disponibilizadas pelo Instituto Jones dos Santos Neves (IJSN) relativo ao levantamento do Instituto Estadual do Meio Ambiente (IEMA, 2013). As imagens possuem *pixels* com resolução espacial de 25 cm, entretanto é importante observar que a identificação satisfatória de feições só foi possível a partir da composição de um agrupamento de células, principalmente para situações onde os contrastes entre os materiais é relativamente pequeno.

A partir deste material foi realizada a interpretação de lineamentos no Maciço Mestre Álvaro e secundariamente em uma pequena área adjacente, com objetivo de identificar especialmente aquelas que de fato compõem a estrutura do maciço, além de permitir a identificação de feições menores, não observáveis no MDE. O decalque dos lineamentos se deu a partir da identificação de cursos d'água retilíneos, segmentos alinhados de vales, segmentos de escarpas, alinhamento de cristas, trechos de rios e lagos, seguindo a proposta mencionada anteriormente.

Os lineamentos traçados passaram pelo mesmo tratamento que aqueles mencionados na extração de lineamentos no MDE e no Mapa aeromagnetométrico, sendo exportados por meio da ferramenta *Find Azimuth* (UFPR) e inseridos no programa de geração de rosetas *Stereonet*.

### 5.1.3. Análises Morfométricas

#### 5.1.3.1. Mapa hipsométrico

O mapa hipsométrico foi gerado no ArcGIS 10.1™ (ESRI, 2012), a partir do MDE, por meio da classificação de classes altimétricas, onde foram estabelecidos valor mínimo e máximo para cada uma das classes. Para esta etapa foi utilizada a ferramenta *Reclassify (Spatial Analyst)*, que permite a criação e edição das referidas classes a partir do MDE original.

Para balizar as análises foram elaborados perfis topográficos abrangendo diferentes compartimentos geológicos e geomorfológicos da área, buscando assim identificar rupturas marcantes no relevo, bem como a ocorrência de porções predominantemente planas ou dissecadas, além de evidenciar os contrastes altimétricos. Tendo uma série de valores estimados a partir destes perfis, foram realizados testes de classificação, buscando-se intervalos que se mostrassem mais

fidedignos à representação do relevo da área. Atrelado a isso, analisou-se a menor e maior altitude da área, representada pelo MDE.

Com as classes altimétricas oriundas desta metodologia, uma nova série de testes foi realizada, buscando agora refinar os intervalos a partir de correlações com o mapa geológico. O objetivo foi então de estabelecer classes cujos limites se adequassem à litológica da área.

#### 5.1.3.2. Mapa de Declividades

O mapa de declividades foi elaborado no ArcGIS 10.1™ (ESRI, 2012), a partir do MDE *Advanced Land Observing Satellite* (ALOS), com auxílio das ferramentas *Slope* e *Reclassify*, sendo a primeira responsável pelo cálculo, em graus da declividade, enquanto a segunda foi utilizada para a reclassificação dos grupos em intervalos de valores estimados durante o trabalho.

O dado ALOS provém de um satélite japonês que operou entre 2006 e 2011, cuja resolução espacial é estimada em 12,5 m, sendo obtido a partir do site *vertex.daac.asf.alaska.edu*. Foram realizados testes e comparações deste com outros MDEs, chegando à conclusão de que o mapa gerado a partir do referido dado apresentava qualidade ligeiramente superior, ainda que de difícil percepção na escala selecionada para a representação.

Os dados disponíveis, conforme indicado acima, apresentam resolução espacial na ordem de 12,5 m, entretanto contam também com uma inconsistência crônica no limite entre a planície que circunda o Maciço Mestre Álvaro e a área de abrupta elevação. Para contornar esse problema, foram extraídos pontos a partir do MDE, que posteriormente foram interpolados por meio da ferramenta *Natural Neighbor*, do ArcGIS, com parâmetro estipulado em celas de 15 m. Foi criado então um novo *raster* a partir destes pontos, que por sua vez foi utilizado para o cálculo do mapa de declividades (*Slope*). Foi ainda realizado um ajuste na classificação, resultando em seis classes, que por meio de uma escala de cores, permitem a identificação das variações de declividade.

No Brasil existem dois sistemas de classificação de declividade mais conhecidos, sendo ambos em valores percentuais. O primeiro é vinculado a trabalhos desenvolvidos pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), com intervalos estipulados entre 0 a 2, 2 a 5, 5 a 15 e acima de 15 %. O segundo sistema de

classificação foi elaborado pela EMBRAPA (1979), com intervalos de 0 a 3, 3 a 8, 8 a 20, 20 a 45, 45 a 75 e acima de 75%. É interessante observar um número muito maior de classes, além de pontuar o seu uso em maior escala em estudos relacionados ao uso do solo para atividades agrícolas.

As duas classificações foram testadas para a área de estudo, com melhor resultado para os valores propostos pela EMBRAPA (1979), provavelmente em função de maior similaridade entre a área de estudos e aquelas consideradas para a estimada da referida empresa. Observou-se entretanto que em função do trabalho focar-se no Maciço Mestre Álvaro, seria necessária ainda uma adequação dos intervalos, redefinindo-os da seguinte forma: 0° a 5°, 5° a 15°, 15° a 25°, 25° a 35°, 35° a 45° e acima de 45°. É importante observar que ao contrário do padrão proposto pelo IPT (1981) e EMBRAPA (1979), o cálculo das declividades foi realizado em graus, não em porcentagem. Tal alteração se fez necessária em função de resultados espúrios que estavam sendo gerados com a metodologia padrão, com valores acima de 100%, provavelmente em função de inconsistência no cálculo a partir do MDE selecionado.

## 5.2. ATIVIDADES DE CAMPO

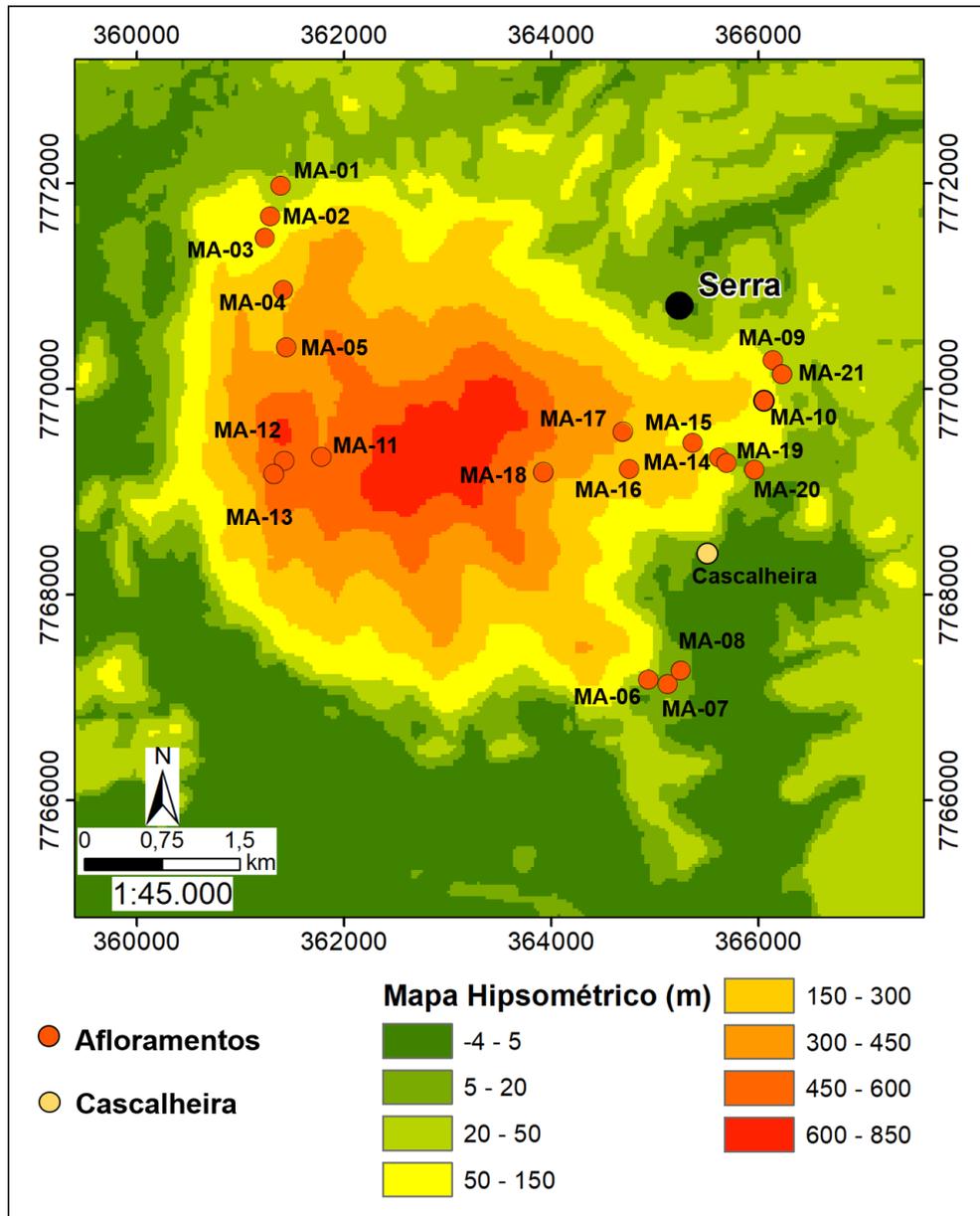
Considerando que o objetivo principal da presente dissertação é trazer à cena as possíveis influências estruturais no relevo do Maciço Mestre Álvaro, fez-se imprescindível a realização de atividades de campo, buscando analisar se as informações contidas na literatura e no mapa geológico da área podiam ser complementadas, fornecendo assim uma contribuição mais robusta ao problema colocado.

### 5.2.1. Seleção de Áreas

As áreas visitadas foram selecionadas a partir da análise de fotografias aéreas do Maciço Mestre Álvaro, buscando compreender pontos que pudessem ajudar no entendimento do relevo. Dessa forma, inicialmente foram considerados pontos ao redor do maciço, visando obter um panorama mais abrangente da área.

Em seguida, foram realizadas incursões em duas trilhas existentes na área, com auxílio de guias locais. Estas foram escolhidas em virtude tanto de facilitarem o acesso à área de estudo, quanto por localizarem-se em posições que apresentaram potencial para observações geológicas e geomorfológicas. A seguir, tem-se um mapa do Maciço Mestre Álvaro, com os pontos visitados em campo (Figura 18).

Figura 18 – Mapa de pontos visitados no campo, sobrepostos ao mapa hipsométrico.



No total, foram realizados quatro dias de campo, descritos sumariamente a seguir:

- 27/10/2017: nesta primeira oportunidade de ida ao campo, foi feito o reconhecimento das adjacências dos setores sudeste a norte do Maciço Mestre Álvaro, com coleta de pontos de afloramento e medição de direção de cristais orientados;

- 21/08/2018: este campo teve como foco o reconhecimento da porção inferior do MMA em seu setor leste, bem como retorno a alguns pontos do primeiro campo para corroboração de observações;

- 13/03/2019: neste dia foi percorrida a trilha que leva até a chamada Pedra das Três Marias, localizada a cerca de 600 metros de altitude, correspondente ao ponto mais alto do setor oeste do maciço. O trajeto possui traçado com direção predominantemente norte-sul, seguindo parte da estruturação dessa parte do MMA;

- 29/04/2019: neste dia foi percorrida a trilha que leva até a chamada Pedra do Ozônio, sendo que o trajeto possui traçado predominante na direção leste-oeste, cortando dois vales destacados no relevo do maciço. Esta trilha permitiu o reconhecimento da porção leste do maciço.

### **5.2.2. Descrição litológica/estrutural**

Durante os trabalhos foi realizada a identificação das rochas encontradas em afloramentos, considerando itens como mineralogia, granulação, textura e estrutura, além da medição com bússola da orientação de cristais porfiríticos de feldspato (JERRAM, 2014; NADALIN, 2016). A identificação dos litotipos foi acompanhada de registro das coordenadas dos pontos por meio de GPS, com posterior plotagem em ambiente SIG.

A bússola utilizada para as atividades de campo foi do tipo Clar, configurada de acordo com a declinação magnética calculada para a região. Seu principal uso se deu na medida de orientação de cristais, realizada através do alinhamento destes com a bússola, em seu sentido de maior comprimento. Para a medição adequada, é ainda importante efetuar o nivelamento da bolha presente no interior do equipamento, pois discrepâncias consideráveis podem surgir caso tal pré-requisito seja negligenciado.

Para a medição de fraturas a bússola foi posicionada perpendicularmente à feição, procurando estabelecer contato entre a tampa do equipamento e a superfície medida. O resultado desta metodologia foi a obtenção do sentido de mergulho e o valor em graus deste.

Para ajudar no posicionamento em campo, levou-se um mapa topográfico do Maciço Mestre Álvaro, a partir do qual era possível reconhecer a posição na qual a equipe encontrava-se, plotando os pontos amostrados de acordo com as coordenadas obtidas pelo GPS. Isto ajudou na compreensão da distribuição dos afloramentos, bem como na caracterização dos diversos compartimentos que compõem a área.

### **5.2.3. Descrição Geomorfológica**

Além da caracterização geológica, seja em termos litológicos ou estruturais, foi possível também observar em campo as feições de relevo que anteriormente

apresentavam-se apenas nas fotos aéreas e mapas topográficos, auxiliando assim as ideias de correlação entre os diversos elementos contemplados.

Tais observações concentram-se na observação da forma das feições encontradas, abrangendo secundariamente considerações acerca de elementos que poderiam ter atuado em suas respectivas formações. Incluem-se nestas observações as indicações dos limites de ocorrência de material alóctone/autóctone, bem como a sugestão de ocorrência de erosão diferencial, com preservação de determinadas porções.

Vales, vertentes e cristas também compõem o repertório de feições observadas em campo. Com relação aos vales, é possível mencionar que encontravam-se frequentemente relacionados a drenagens, evidenciando assim o potencial hídrico da área. Foi observada também forte correlação entre as cristas e afloramentos de grandes blocos rochosos, como por exemplo na 'Pedra das Três Marias', onde um proeminente corpo granítico destaca-se em meio à rocha aflorante.

## 6. RESULTADOS

Neste capítulo serão apresentados os resultados obtidos, com apresentação dos mapas gerados e indicações de correlações observadas entre eles. Serão consideradas duas escalas de análise: i) uma de caráter regional, abrangendo os lineamentos obtidos a partir das imagens aeromagnetométrica, Modelo Digital de Elevação (MDE) e mapa hipsométrico e; ii) outra de caráter local, comportando mapas de declividade, mapa hipsométrico, lineamentos extraídos em ortofotos e análises de campo.

### 6.1. ANÁLISES REGIONAIS

#### 6.1.1. Análise de Lineamentos Magnéticos

Estes lineamentos foram decalcados tendo como objetivo a visualização dos principais lineamentos magnéticos do estado do Espírito Santo, em uma escala mais regional, fornecendo insumo a elaboração de 4 rosetas de orientações, importantes para a caracterização regional da área de estudo (Figura 19).

Nos lineamentos magnéticos interpretados para todo estado do Espírito Santo, pode-se observar a existência de 3 (três) orientações principais: orientação NE-SW predominando, em seguida orientações N-S a NNE-SSW e, por último, mas não menos importante, orientação NE-SW. Essas orientações foram representadas graficamente em forma de diagramas de roseta.

As orientações N-S a NNE-SSW coincidem com a direção da estruturação brasileira do Orógeno Araçuaí (HEILBRON *et al*, 2004). A orientação NE-SW encontra forte correlação com o segmento setentrional da Província Mantiqueira, representada na área pelo Orógeno Ribeira (HEILBRON *et al*, 2004). Já para as orientações NNW-SSE a NW-SE, tem-se como principal correlação o Feixe de Lineamentos Colatina (VIEIRA, 2015).

Os lineamentos foram interpretados por compartimento, elaborando-se assim rosetas para cada um destes. São eles: i) compartimento Ribeira; ii) compartimento Colatina e; iii) compartimento São Mateus.

Os lineamentos magnéticos traçados no Compartimento Mantiqueira apresentam orientação marcante NE-SW, coincidindo com a Faixa Ribeira, que apresenta falhas, fraturas e foliações na referida orientação (HEILBRON *et al*, 2004). É possível indicar a correspondência com o Domínio de Lineamentos Mantiqueira, proposto por Bricalli (2011), onde mostra-se a importância da componente NE-SW,

correspondente na orientação das zonas de cisalhamento Batatal e Guaçuí, ambas faixas de transcorrência dextral com direção NE-SW (ALKMIM *et al*, 2006). Além disso, o conjunto de lineamentos NE-SW, predominantes nesse mapa, podem associar-se a padrões de fraturamento caracterizados por falhas normais NE-SW, relacionados ao regime tectônico de distensão NW-SE, de idade holocênica, identificado por Bricalli (2011), que apresenta afloramentos analisados sobre o ponto de vista da neotectônica na região, especialmente na região de Mimoso do Sul e Itapemirim e que comumente afetam o embasamento alterado e a cobertura sedimentar supostamente neogênica. Tal indicação reforça a correlação entre os lineamentos observados em diversas escalas, bem como sugerem reativações de zonas de fraqueza pré-cambrianas.

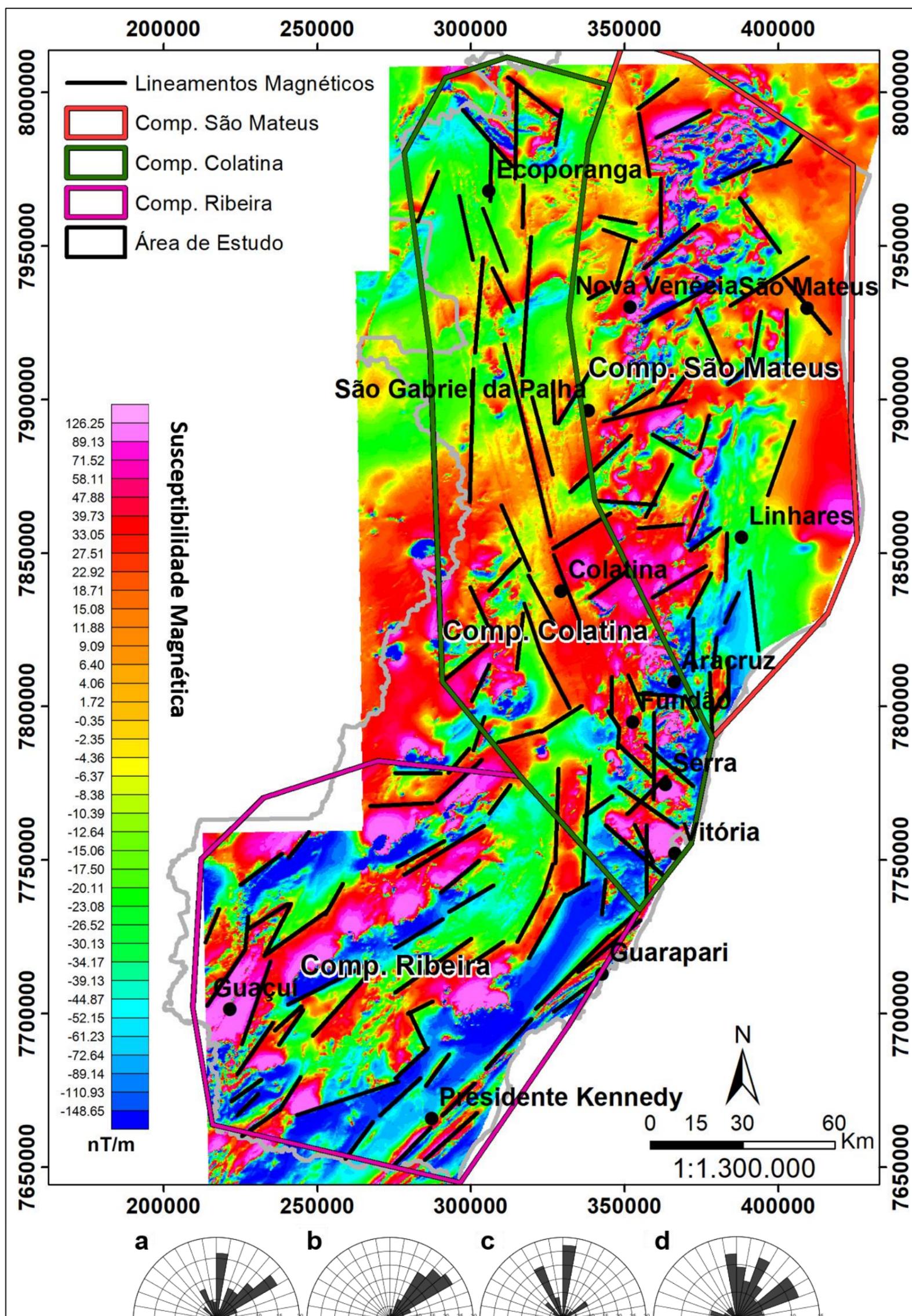
O Compartimento Colatina, que abrange a região central até o noroeste do estado, pode-se observar uma mudança no padrão dos lineamentos, que passam a assumir direções preferenciais NW-SE e, secundariamente N-S a NNE-SSW e com menos lineamentos na orientação NE-SW. Esta constatação é muito importante quando considera-se a presença do Feixe de Lineamentos Colatina na área (CPRM, 2015), que se constitui a principal estrutura geológica do estado do Espírito Santo. As ocorrências das feições de direção NE-SW ganham relevância diante da perspectiva de que possam ser prolongamentos dos lineamentos do Compartimento Ribeira.

O Compartimento São Mateus, com domínio de rochas sedimentares cenozoicas, de todos os domínios é o que apresenta a maior quantidade de lineamentos e uma distribuição mais abrangente no quadrante NE, com relação os domínios descritos anteriormente. Observa-se neste compartimento, o predomínio de orientações NE-SW (dominando todo quadrante), direção marcante N-S a NNE-SW e N-S a NNW-SSE e, por último, orientações NW-SE e E-W.

Para o Compartimento Colatina é possível apontar correspondência entre as feições magnéticas e os lineamentos apresentados, bem como com o chamado Domínio da Faixa Colatina, apresentado por Bricalli (2011). Trata-se de um complexo ígneo-metamórfico, podendo-se ressaltar a ocorrência maciça dos paragneisses do Complexo Nova Venécia, formados durante o grande evento denominado como Tectônica Quebra-Nozes, a partir de sedimentos depositados na antiga Bacia de Macaúbas (NOCE *et al.*, 2004). As direções preferenciais observadas, variando entre N-S, NNW-SSE e NW-SE, podem ser também correlacionadas com elementos do Orógeno Araçuáí, com destaque para o Feixe de Lineamentos Colatina, que possui

orientação geral NNW-SSE. É possível ainda observar a relevância de feições de direção NE-SW, sugerindo que lineamentos da porção setentrional da Faixa Mantiqueira se projetam até a porção central do estado. As orientações encontradas no Compartimento Colatina do Mapa Aeromagnetométrico apresentam correspondência com os dados estruturais de neotectônica em pontos analisados nesta área por Bricalli (2011), como por exemplo em afloramento localizado na rodovia ES-080, em direção a São Gabriel da Palha e distando cerca de 7 km do centro da cidade de Colatina (Ponto COL-07). A análise deste afloramento indica um esforço compressivo NNW-SSE, com consequente componente distintivo na direção ENE-SSW, sugeridos a partir de feições neotectônicas observadas em ambas as direções. O Maciço Mestre Álvaro está localizado neste compartimento, possuindo características correspondentes às indicadas acima, mencionadas a seguir.

Figura 19 – Mapa aeromagnetométrico e lineamentos magnéticos (Rosetas: a) Total; b) Compartimento Ribeira; c) Compartimento Colatina; d) Compartimento São Mateus.



### 6.1.2. Mapa Hipsométrico

O Mapa Hipsométrico gerado apresenta 8 (oito) classes de altitudes: -4 a 5m, 5 a 20m, 20 a 50m, 50 a 150m, 150 a 300m, 300 a 450m, 450 a 600m e 600 a 850 metros (Figura 20).

As altitudes predominantes, em termos territoriais na área, correspondem às classes distribuídas entre -4 e 150 metros, abrangendo, praticamente toda área. Desta forma, tem-se que as classes situadas entre as elevações de 150 a 850 metros são aquelas menos representativas em termos areais, mas que guardam importantes informações quanto ao desenvolvimento do relevo na área.

As altitudes referentes a -4 a 5 metros, distribuídas em toda área, correspondem aos depósitos sedimentares quaternários, relacionados diretamente às drenagens, tanto em termos de canais fluviais, quanto em planícies de inundação com contribuição flúvio-marinha (CPRM, 2014), podendo ser divididos em 2 (dois) grupos: i) o primeiro abrangendo extensas áreas de inundação, encaixados nos vales da Fm. Barreiras, presentes na porção nordeste, central e sul, da área; ii) o segundo referindo-se aos depósitos sedimentares encaixados em vales mais estreitos, localizados principalmente sobre o embasamento de rochas metamórficas (porção noroeste da área), mas também sobre a Fm. Barreiras, especialmente na porção nordeste.

O primeiro grupo, mencionado acima, abrangendo extensas áreas de inundação, encaixados nos vales da Fm. Barreiras, apresenta em sua porção norte uma extensa área sedimentar, localizada na planície fluvial do rio Fundão, que deságua no mar no distrito de Nova Almeida (Serra-ES). Trata-se de uma planície com cerca de 15 quilômetros de extensão e com largura média de 2 a 3,5 quilômetros, apresentando uma ampla intervenção antrópica, incluindo a construção de canais e plantações, que podem ser vistos em imagens aéreas da área.

Na porção central até o sul do mapa (Figura 20), é possível observar ainda um predomínio da classe relacionada aos depósitos quaternários, que no mapa geológico se apresentam posicionados no entorno e especialmente a sul do Maciço Mestre Álvaro, chegando até a ilha de Vitória, e continuando por grande parte da cidade de Vila Velha, com ênfase na porção próxima à costa e na planície de inundação do Rio Jucu. É importante observar que essa classe abrange uma área significativa da cidade de Vitória, incluindo sua parte insular, que no mapa geológico aparece apenas como uma intrusão granítica.

O segundo grupo, dos depósitos encaixados e presentes em áreas mais estreitas, são menos representativos quanto à abrangência territorial, no entanto, chamam atenção pela característica linear, com ângulos retilíneos bem marcados, encaixados, sugerindo controle estrutural e tectônico, corroborando com a hipótese da existência de controle neotectônico na área (RIBEIRO, 2010; BRICALLI, 2011). Neste sentido, Bricalli e Souza (2017), em estudo sobre a bacia do Rio Juara (município de Serra), próximo ao Maciço Mestre Álvaro, apontam evidências de controle lito-estrutural, litológico e neotectônico, condicionando assim as direções das principais drenagens nessa área.

Destaca-se ainda que essa retilinearidade dos depósitos está presente nas rochas sedimentares e nas rochas metamórficas, sugerindo interpretações de reativação de estruturas do embasamento, podendo representar novamente indícios de movimentação neotectônica na área, reativação de rochas do embasamento pré-cambriano também apontados por Bricalli (2011).

As altitudes correspondentes as classes de 5 a 20 e 20 a 50m, presentes na porção nordeste e sul da área, correspondem majoritariamente, às rochas sedimentares da Fm. Barreiras, que tem sido alvo de numerosos estudos, tanto em função de sua extensa distribuição pela costa brasileira, quanto pelo registro sedimentar e ocorrência de controle neotectônico. Com relação ao registro sedimentar e neotectônico, destaca-se os trabalhos de Ribeiro (2010) e de Bricalli (2011), onde são apresentados afloramentos com feições indicativas desta dinâmica, com destaque para falhas e estrias, correlacionadas ao último estágio representativo de movimentação da crosta no sudeste brasileiro.

Com relação à classe com valores entre 5 e 20 metros, é possível destacar sua ocorrência mais expressiva em 3 (três) áreas. A primeira está localizada na porção centro-nordeste da área de estudo, no limite da Fm. Barreiras junto ao oceano. Trata-se de uma abrangência relativamente delgada, mas com comprimento representativo, incluindo desde o limite norte do município de Vitória até o rio Fundão. A classe pode ser vista também nas adjacências do Maciço Vitória, na transição com setores mais elevados, aparentemente condicionada por uma interação entre a Fm. Barreiras e os depósitos quaternários. Por último, pontua-se ainda sua ocorrência na porção sudoeste da área, em uma posição onde foram cartografados depósitos cenozoicos sobre rochas ígneas e metamórficas.

A classe com elevações entre 20 e 50 metros configura-se como uma das principais em termos de distribuição, podendo ser observada desde a porção nordeste da área de estudo até grande parte da área sul. A principal correlação em termos litológicos se dá com a Fm. Barreiras, sugerindo que a gênese desta parte do relevo está fortemente vinculada aos processos erosivos atuantes sobre as rochas sedimentares da referida formação.

Esta classe pode ser observada secundariamente no limite entre a Fm. Barreiras e as rochas ígneas e metamórficas que compõem o embasamento cristalino, compondo parte do relevo inicial do referido agrupamento litológico. Trata-se assim de uma zona de transição entre os patamares inferiores, majoritariamente compostos por rochas e depósitos sedimentares, e os níveis superiores, principalmente na passagem para o Complexo Nova Venécia.

A sudeste do Maciço Mestre Álvaro, em direção à linha de costa, é notável a presença de uma feição similar a um degrau altimétrico, com cotas variando abruptamente entre as classes de 20 a 50m e -4 a 5m. Trata-se assim de uma importante feição geomorfológica, principalmente ao considerar-se seu proeminente caráter linear, com direção NW-SE (Figura 22).

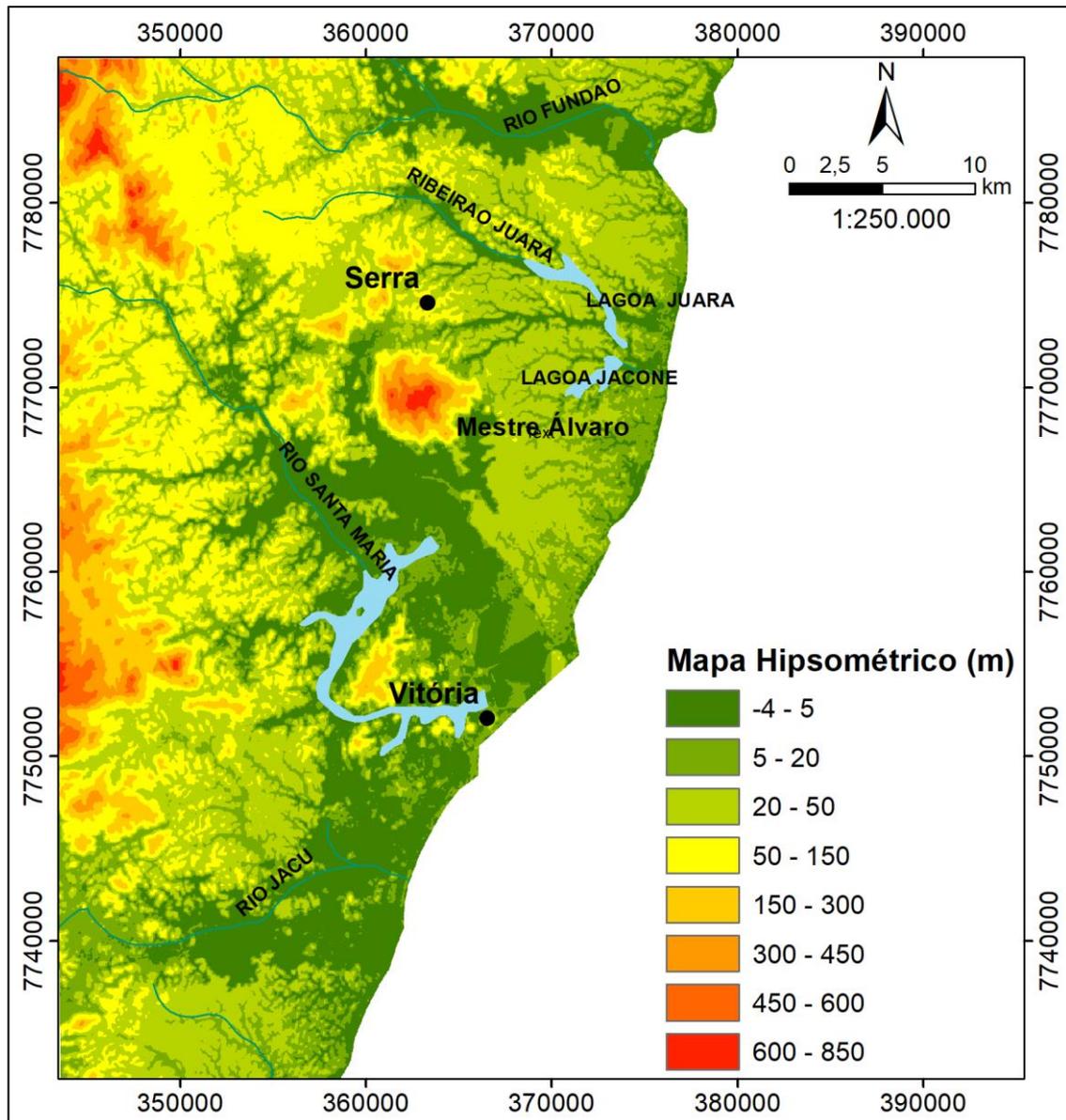
O intervalo de 50 a 150 metros apresenta-se como a principal classe, em termos de distribuição na área, no que refere-se à correlação entre os níveis topográficos e a presença de rochas metamórficas, constituintes do Complexo Nova Venécia, sendo que tal associação poder ser especialmente constatada na porção noroeste da área de estudo. Menção especial pode ser feita com relação ao Maciço Granítico de Fundão, que sendo cortado pelo rio de mesmo nome, está disposto majoritariamente dentro da classe em destaque, sugerindo assim uma ação erosiva proeminente, especialmente fluvial, sobre a área.

As classes com valores altimétricos superiores a 150 metros apresentam correlação preferencial com os maciços graníticos existentes na área, contando entretanto com uma anomalia na porção ocidental do Maciço Vitória, a oeste do município que lhe confere nome. Na porção insular de Vitória o maciço é abrangido por duas classes – 50 a 150m e 150 a 300m – destacando-se que seu relevo apresenta uma característica direção NE-SW. Em seu segmento oeste, o maciço encontra-se em contato com as rochas do Complexo Nova Venécia, sendo que as maiores cotas estão vinculadas às rochas metamórficas, em uma configuração com direção preferencial NW-SE.

É possível indicar também a correlação das classes altimétricas superiores a 150 metros com o segmento oeste do Maciço Fundão, localizado no extremo noroeste da área de estudo. Tanto no mapa geológico, quanto no hipsométrico (Figura 19), pode-se notar a importância da direção NW-SE na disposição do corpo granítico, direção esta que projeta-se em direção ao oceano por meio do alinhamento do rio Santa Maria, bem como da estrutura em degrau mencionada anteriormente.

Por fim, tem-se a abrangência das classes altimétricas superiores no Maciço Mestre Álvaro (MMA), em disposição que justifica seu destaque enquanto elemento geográfico. Mesmo na presente escala de observação, de caráter regional, é possível observar a existência de direções bem marcadas em seu relevo, como o limite ocidental, em nítida orientação N-S, bem como o alinhamento geral do maciço, seguindo a direção NW-SE. Outro ponto de destaque dá-se com relação ao contraste altimétrico entre o MMA e seu entorno, limitado a norte e leste pela classe associada à Fm. Barreiras, e a oeste e sul pela classe característica dos depósitos quaternários.

Figura 20 – Mapa hipsométrico.



Fonte: gerado pelo autor.

### 6.1.3. Lineamentos Extraídos de Modelo Digital de Elevação (MDE)

Um dos mais importantes produtos gerados para a caracterização da área de estudo é o mapa de lineamentos decalcados a partir do Modelo Digital de Elevação (MDE) (Figura 21), pois estes permitem a conexão entre as grandes estruturas regionais e aquelas presentes localmente no Maciço Mestre Álvaro. A separação dos lineamentos por compartimentos litológicos facilitou a compreensão da distribuição das diversas orientações encontradas (Figuras 22, 23 e 24), principalmente quando considerada a complexidade topográfica da área em função, muitas vezes, em função da distribuição das diferentes litologias e estruturas.

Figura 21 – Lineamentos sobrepostos à imagem SRTM.

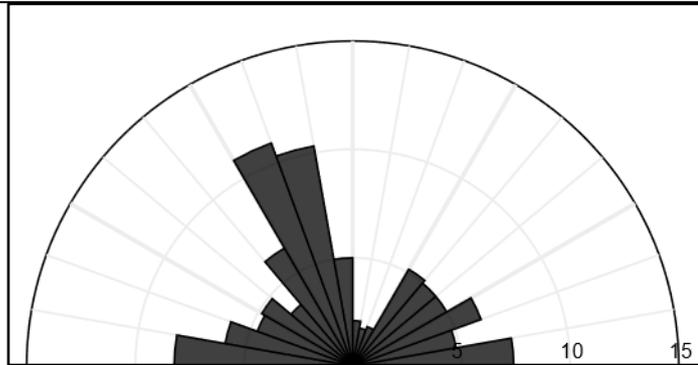
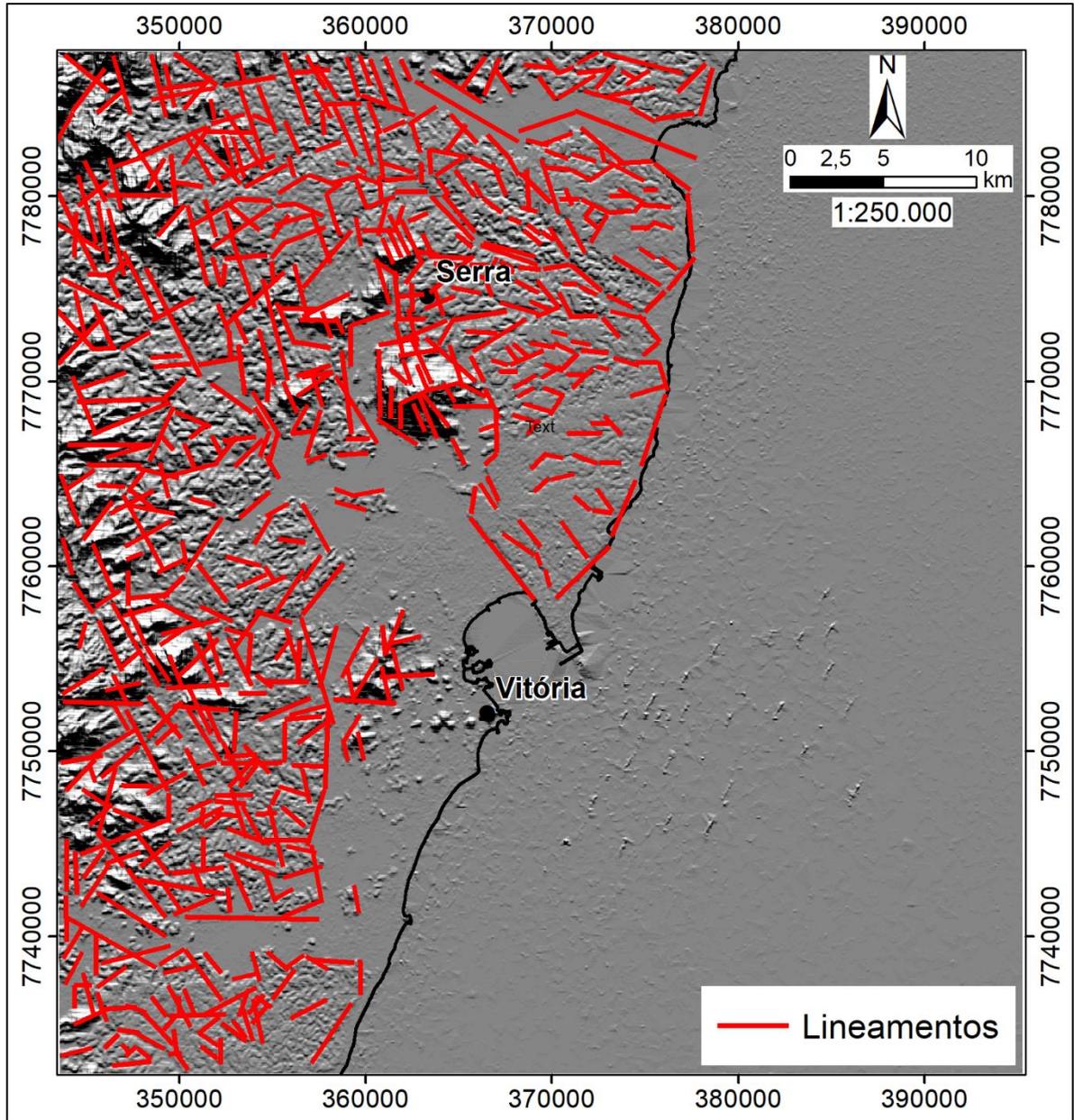


Figura 22 – Polígonos referentes às rochas graníticas e roseta dos lineamentos contidos neles.

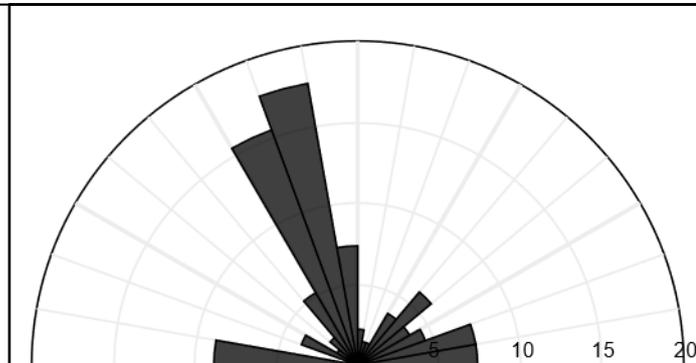
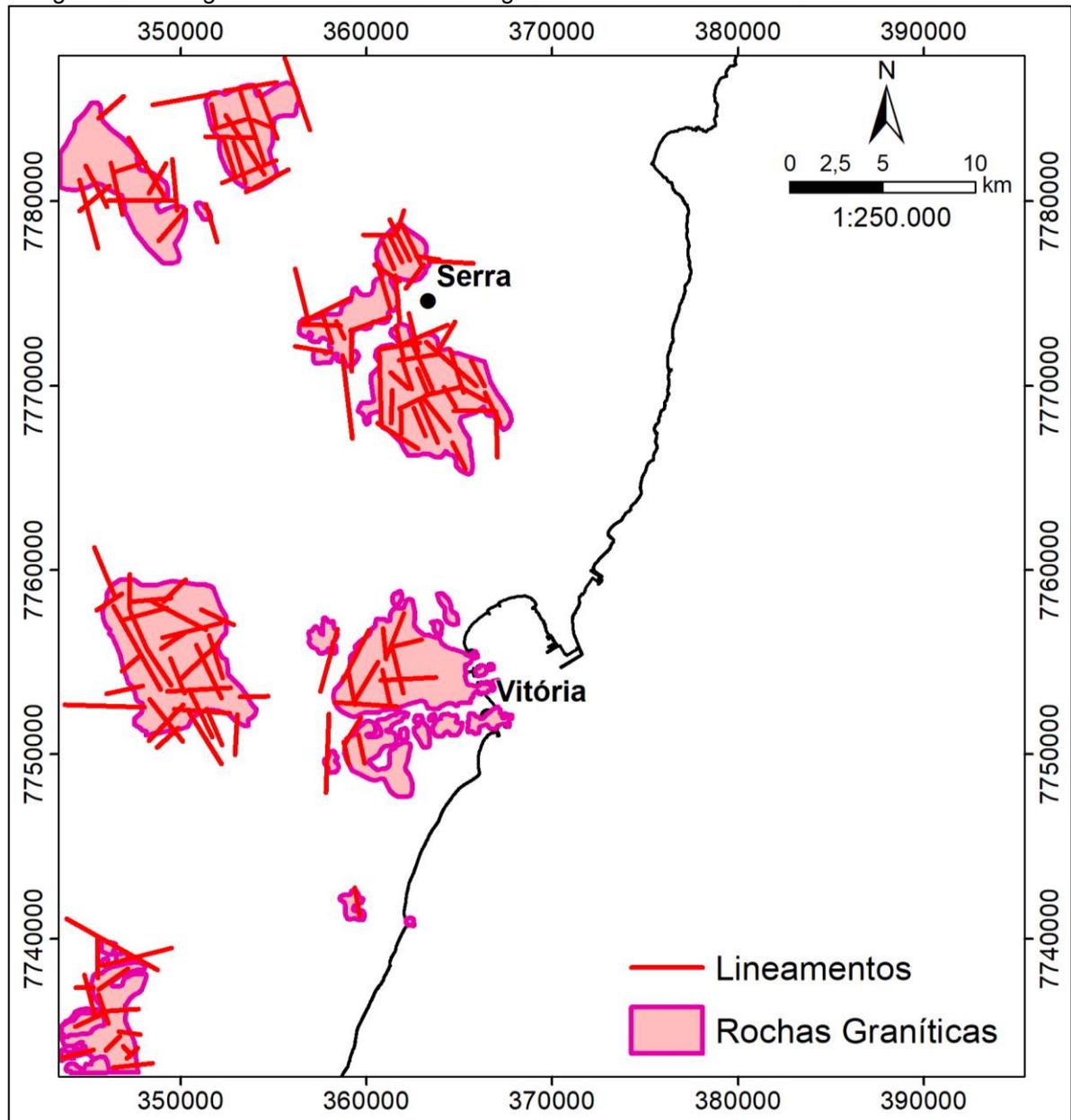


Figura 23 – Polígonos referentes às rochas metamórficas e estereograma dos lineamentos contidos neles.

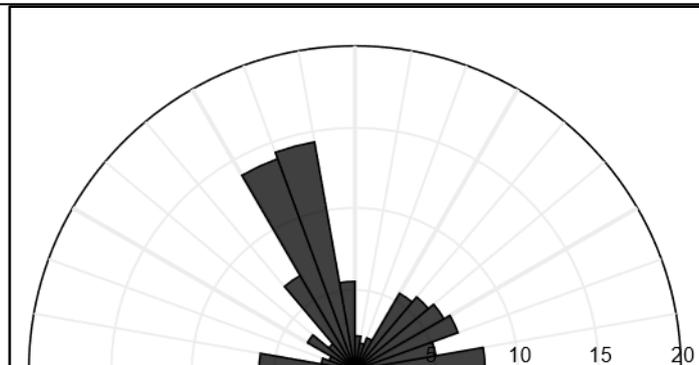
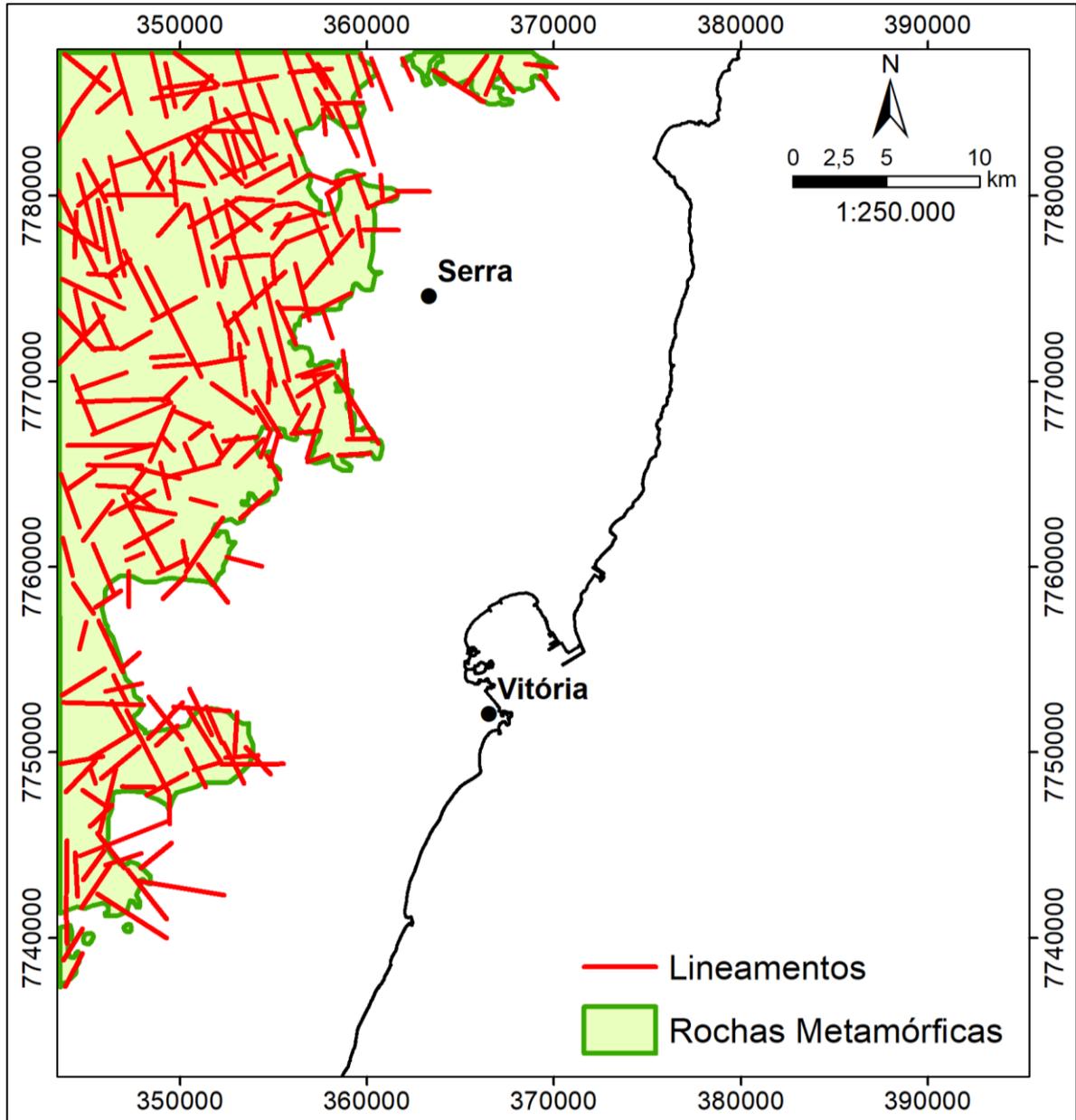
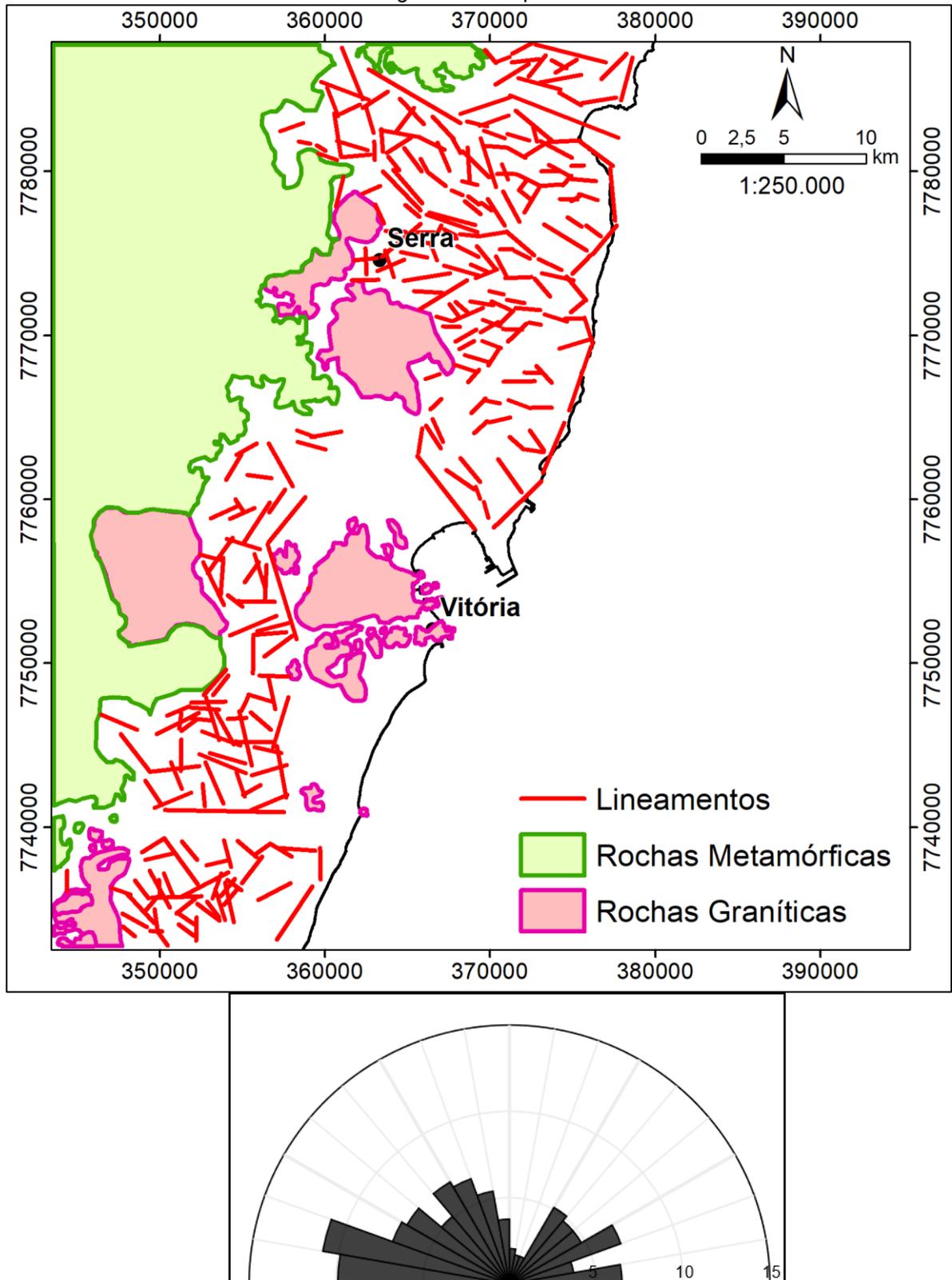


Figura 24 – Lineamentos selecionados nas áreas da Fm. Barreiras e depósitos quaternários e estereograma correspondente.



A roseta da figura 21 representa as direções de todos os lineamentos traçados a partir do MDE, indicando a predominância de orientações NNW-SSE e NW-SE, mas também com ocorrência de orientações NE-SW e E-W.

Para melhor detalhamento das orientações de lineamentos, levando em consideração a heterogeneidade litológica e atrelado a isso, a discussão dos diferentes tipos de estruturas geológicas, foram elaboradas rosetas para cada litotipo.

Os lineamentos selecionados na área de rochas graníticas apresentam orientações bem marcadas NNW-SSE e NW-SE (Figura 22). Pode-se ainda apontar a direção E-W como secundária dentro da estruturação destas áreas e, por último, as orientações NE-SW. As orientações NNW-SSE e NW-SE – mais bem marcadas nas rochas graníticas – correspondem às orientações do Feixe de Lineamentos Colatina (FLC).

Para os lineamentos contidos dentro dos polígonos correspondentes às rochas metamórficas da área (Figura 23), é possível mais uma vez observar a expressiva relevância das orientações NW-SE e NNW-SSE, que se apresentam como feições relativamente extensas e representam cerca de 40% do total. Direções NE-SW são secundárias, mas não menos importantes, distribuindo-se por todo o quadrante. Orientações E-W também aparecem nesse litotipo.

Os lineamentos das rochas sedimentares da Fm. Barreiras apresentam uma distribuição abrangente em todos os quadrantes (Figura 24). No entanto, o quadrante noroeste é o que apresenta a maior quantidade de lineamentos, nas orientações NW-SE, WNW-ESE e E-W. Secundariamente tem-se orientações bem distribuídas no quadrante NE, com orientações NE-SW e E-W bem marcadas.

## 6.2. ANÁLISES LOCAIS

### 6.2.1. Mapa Hipsométrico Local

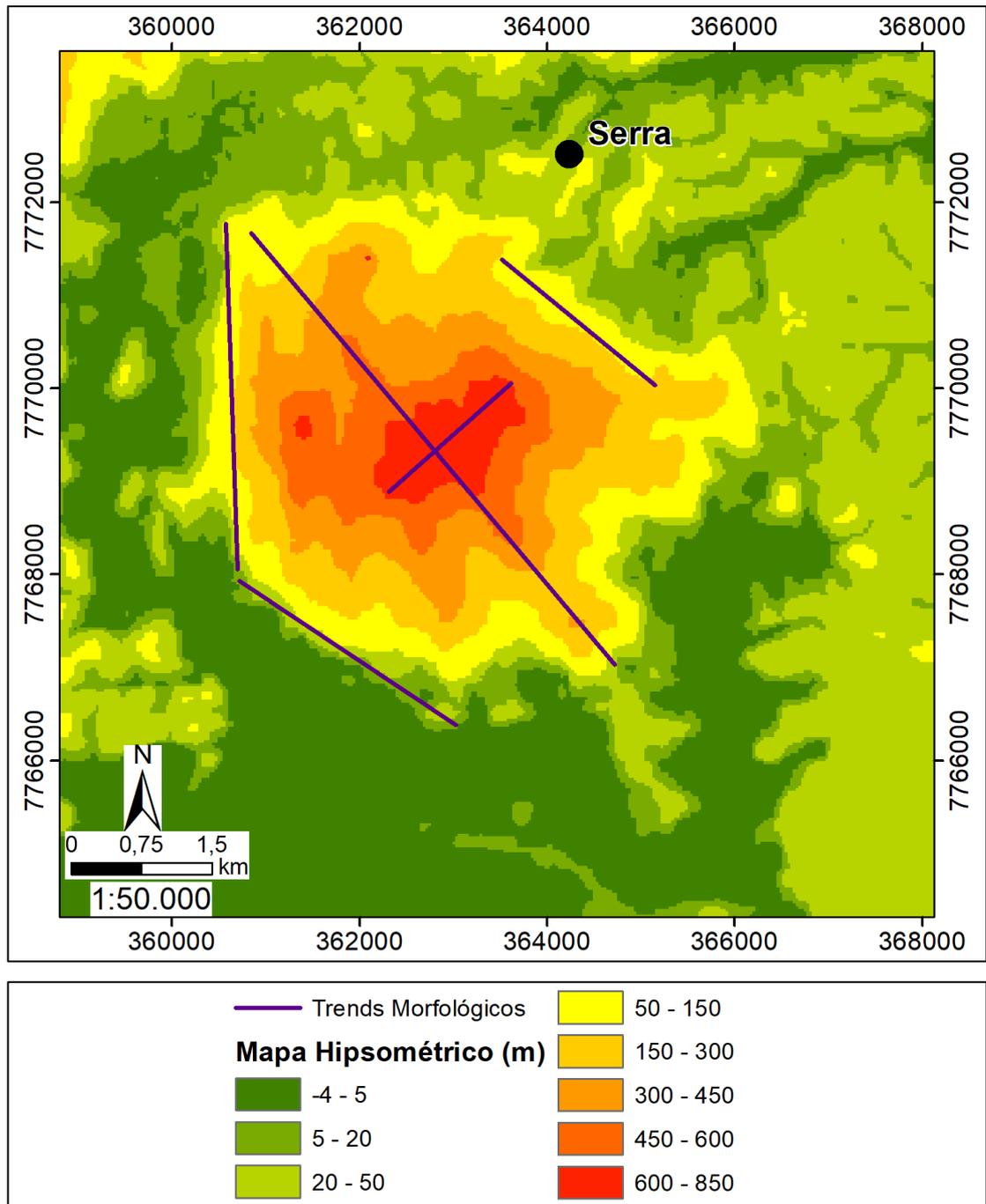
A título de possibilitar uma análise mais detalhada do mapa hipsométrico, foi gerado um mapa com foco no Maciço Mestre Álvaro (Figura 25), procurando assim identificar características que possam colaborar na caracterização geomorfológica do mesmo tais como *trends* de orientações preferenciais na morfologia do maciço.

Pode-se destacar inicialmente a morfologia geral do MMA, representada pelo *trend* NW-SE, que na figura é representado principalmente por um alinhamento que inicia-se deste a porção sudeste do maciço e prossegue até o seu limite noroeste. Nos limites sudoeste e nordeste do MMA também foram indicados *trends* na orientação NW-SE, salientando a importância desta em todo o relevo do maciço. Esta orientação pode ser associada ao Feixe de Lineamentos Colatina (FLC), em concordância com o que já foi observado nas análises de lineamentos regionais.

Há na sequência um destacado *trend* N-S no limite oeste do Maciço Mestre Álvaro, em uma área onde pode-se observar um contraste abrupto do relevo, com curvas hipsométricas bastante próximas. É interessante notar ainda que tal orientação parece condicionar também a planície de inundação localizada na porção oeste da área, confirmando assim a relevância desta estruturação.

O último *trend* observado posiciona-se destacadamente na porção central do maciço, sendo marcado pela orientação NE-SW. Feições com esta orientação foram observadas nas análises regionais de lineamentos, sendo associadas ao limite norte do Orógeno Araçuaí, cuja influência pode estar se fazendo presente também na morfologia do MMA.

Figura 25 – Detalhe do mapa hipsométrico para a área do Maciço Mestre Álvaro.



### 6.2.2. Mapa de Declividades Local

O mapa de declividades (Figura 26) foi elaborado com seis intervalos, sendo eles: 0 a 5 graus, 5 a 15 graus, 15 a 25 graus, 25 a 35 graus, 35 a 45 graus e 45 a 72 graus. Em seguida apresenta-se a descrição de como as classes estão distribuídas e o grau de abrangência daquelas que mais se destacam.

Inicialmente, tem-se como destaque a classe que compreende o intervalo entre 0° a 5°, correlacionada principalmente às áreas de depósitos quaternários, presentes nos canais fluviais e planícies de inundação. Esta classe circunda todo o Maciço Mestre Álvaro (MMA), especialmente nas porções oeste e sul, onde encontram-se em contraste mais abrupto com as classes superiores.

A classe que compreende os valores entre 5° e 15° pode ser observada com maior ênfase na porção nordeste da área, estando relacionada à Fm. Barreiras. Secundariamente, o intervalo está presente também no setor sudoeste, onde a correlação indicada pelo mapa geológico dá-se com rochas metamórficas do Complexo Nova Venécia.

A terceira classe, compreendendo valores entre 15° e 25°, configura-se como um dos intervalos com maior distribuição areal, dominando grande parte do relevo do MMA. Indica-se ainda que ela marca de maneira enfática o início dos afloramentos graníticos, em contraste com as rochas e depósitos sedimentares que circundam o maciço.

O intervalo com valores entre 25° e 35° restringe-se à área do MMA, indicando porções onde a declividade passa a assumir valores relativamente altos. Distribui-se de maneira ampla pelo maciço, sendo possível indicar algum destaque para a porção nordeste, já que nesta configura-se como a classe de maior declividade mais abrangente.

A classe que abrange valores entre 35° e 45° é a que apresenta menor distribuição areal, estando relacionada majoritariamente a alguns picos isolados, bem como a uma importante crista na porção sul do maciço, em um agrupamento de feições que ganha bastante destaque no mapa de declividades.

Por fim, tem-se a classe que compreende os valores entre 45° e 72°, apresentando distribuição areal relativamente reduzida, mas correspondendo a feições de grande destaque no relevo. Este intervalo representa as principais cristas do Maciço Mestre Álvaro, principalmente em sua porção sudoeste, onde correspondem a feições de grande comprimento e com orientações marcantes.

Conforme mencionado anteriormente, o mapa de declividades apresenta uma área onde as cristas graníticas com altos valores de declividade destacam-se, permitindo assim a sugestão de compartimentação do MMA em duas áreas (**a** e **b**). Adicionalmente, foram traçados os principais *trends* destas cristas, gerando feições que puderam ser incluídas em um gráfico de rosetas, permitindo assim uma compreensão mais acurada da distribuição do relevo.

A roseta que compreende os *trends* de lineamentos de toda área apresenta 4 (quatro) orientações principais, listadas a seguir: i) orientação NW-SE, com cristas destacadamente prolongadas, localizadas na porção sul do maciço; ii) orientação N-S, com cristas também longas, posicionadas no limite oeste do MMA; iii) orientação NE-SW, com cristas localizadas na porção central do maciço; iv) orientação E-W, correspondendo a uma pequena feição no setor norte do MMA.

No compartimento **a** destacam-se as cristas mais importantes do Maciço Mestre Álvaro, correspondendo a feições bastante alongadas e com orientações marcantes (Figura 27). A roseta correspondente destaca os *trends* NW-SE e N-S, passíveis de correlação com a direção do Feixe de Lineamentos Colatina (FLC).

Para o compartimento **b** tem-se a presença de cristas mais curtas, destacando tratar-se de uma área com relevo relativamente mais suave. A roseta indica a presença de feições com orientações NW-SE, NE-SW e E-W, indicando que a orientação NW-SE pode estar relacionada às orientações do FLC, a orientação NE-SW com a porção setentrional do Orógeno Ribeira e a orientação E-W pode estar relacionada a algumas orientações de rios importantes do estado do Espírito Santo, tais como rio Doce, rio São Mateus, rio Barra Seca.

Figura 26 – Mapa de declividades na área do Maciço Mestre Álvaro.

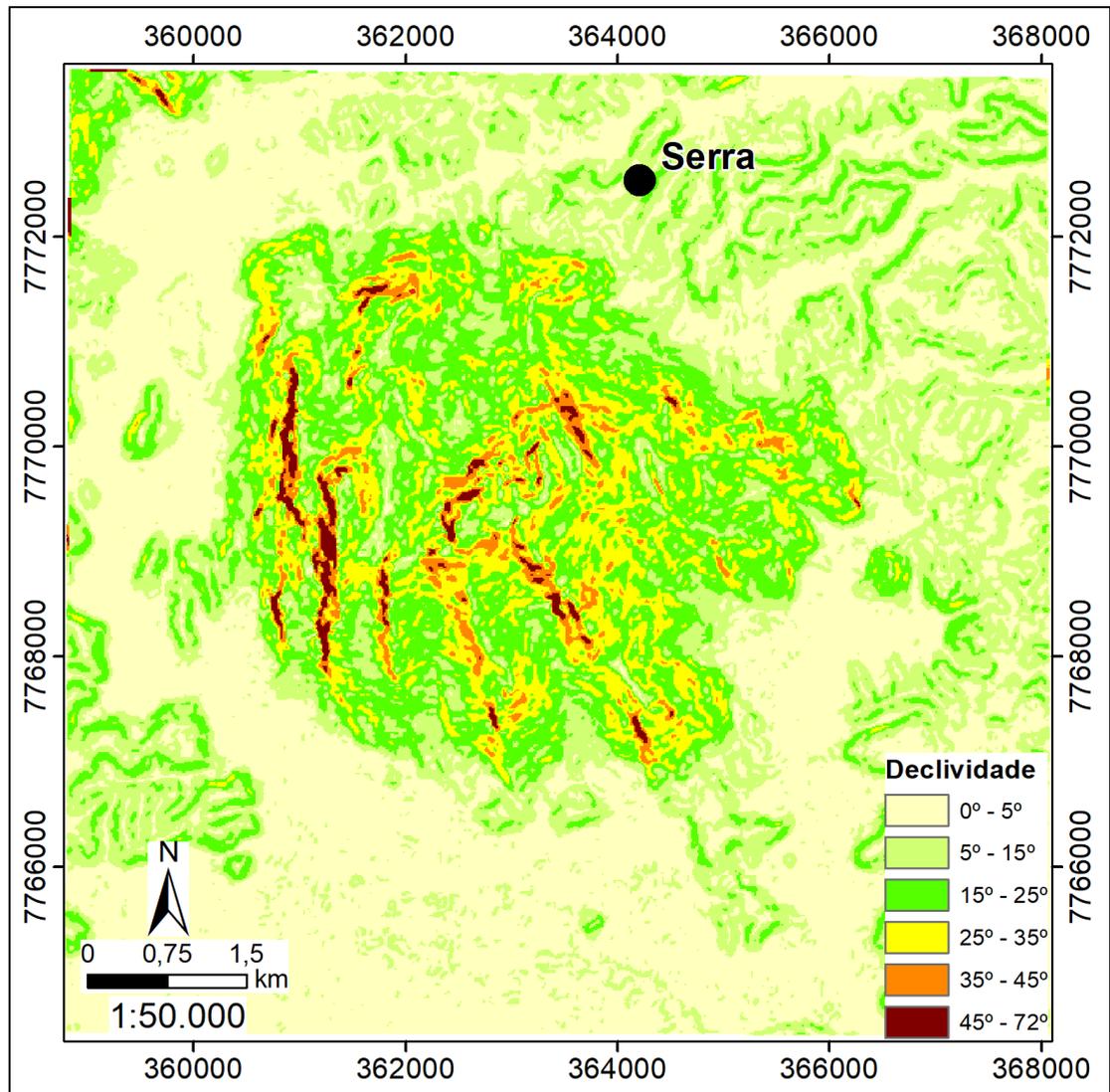
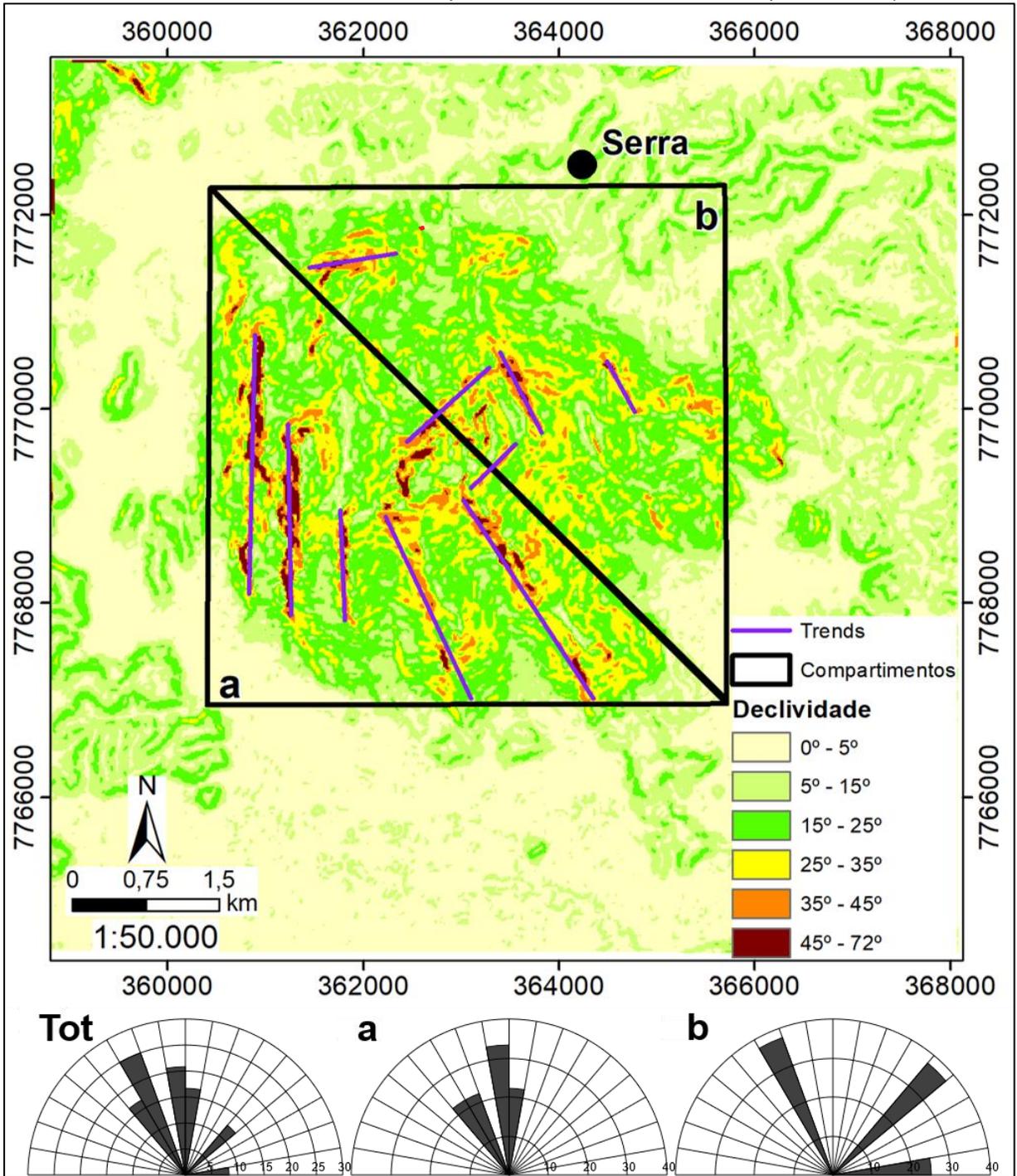


Figura 27 – Mapa de declividades com *trends* das principais cristas, compartimentos e rosetas (Tot – todos os *trends*; a – *trends* do compartimento a; b – *trends* do compartimento b).



### 6.2.3. Lineamentos extraídos de Ortofotos

Os lineamentos extraídos a partir de fotos aéreas ortoretificadas (Figura 28), possibilitam uma análise mais detalhada das orientações das feições que compõem o relevo do Maciço Mestre Álvaro e, de forma análoga ao que foi elaborado para as demais análises de lineamentos, foram geradas rosetas de orientações para auxílio na compreensão destes elementos.

Ao todo foram geradas três rosetas (Figuras 28, 29 e 30), dispostas da seguinte maneira: a) lineamentos compreendendo a área total; b) lineamentos selecionados no compartimento **a**; c) lineamentos selecionados no compartimento **b**. Estes compartimentos são os mesmos indicados no mapa de declividades e foram assumidos para análise de eventuais heterogeneidades em sua distribuição.

Observa-se assim que os lineamentos compreendendo a área total apresentam distribuição entre NW-SE e NNW-SSE, com feições que se destacam tanto em termos de ocorrência numérica, como também com relação ao comprimento destas. A orientação NE-SW também apresenta-se destacada na roseta, entretanto é difícil indicar com maior precisão a forma de distribuição, uma vez que as feições abrangem praticamente todo o quadrante. Por fim, é possível indicar ainda a ocorrência de feições NW-SE, com tendência para a direção E-W.

Considerando as feições selecionadas para o compartimento **a** e a roseta de correspondente, indica-se uma concentração destacada entre as orientações NW-SE e NNW-SSE, com ênfase para a segunda, cuja correspondência dá-se de maneira enfática junto ao FLC. Secundariamente é possível indicar a ocorrência de feições com orientações distribuídas no quadrante NE-SW, sendo difícil entretanto a definição de valores preferenciais.

A roseta representando as orientações dos lineamentos selecionados no compartimento **b** indica maior distribuição nas direções, sendo possível destacar três agrupamentos principais. O primeiro abrange as orientações NW-SE a NNW-SSE, com destaque para a primeira, inclusive no que diz respeito ao comprimento das feições correspondentes. Em seguida pode-se indicar outro componente NW-SE, salientando-se entretanto que este encontra-se mais próximo do setor E-W, podendo pertencer assim a uma família diferente de feições. Por fim, tem-se ainda a indicação da presença relevante de feições com direção NE-SW, em um agrupamento mais destacado do que aquele observado na roseta do compartimento **a**.

Observa-se assim que o compartimento **a** apresenta uma maior homogeneidade na orientação das feições, que se concentram de maneira enfática no quadrante NW-NNW. Já o compartimento **b** apresenta uma distribuição mais heterogênea das orientações, ainda que possa-se indicar a direção NNW como preponderante.

É possível indicar a partir destas considerações que o compartimento **b** dispõe de um relevo mais dissecado, com menores valores de declividade, bem como menor número de cristas proeminentes. Isso leva à sugestão de que a maior heterogeneidade nas orientações dos lineamentos é um fator importante no processo erosivo do MMA, sendo um dos agentes que influenciam a sua morfologia.

Com relação aos setores topomorfológicos sugeridos por Gimenes (2002), expostos na figura 1, pode-se correlacionar os setores 1,2,5, 6 e 7 ao compartimento **a**, no setor leste do MMA. As descrições da autora acerca dos altos valores de declividade e das orientações observadas indicam a correlação entre as duas propostas de compartimentação, destacando-se que os setores mencionados também foram classificados em virtude de suas quebras altimétricas, o que não foi feito para o presente trabalho.

O compartimento **b**, proposto nesta pesquisa, correlaciona-se aos setores topomorfológicos 3 e 4, incluindo as subdivisões de ambos. Trata-se da área com menores declividades, bem como presença diferenciada de lineamentos, quando comparada ao compartimento adjacente. Gimenes (2002) destaca para o setor 4 a presença de vertentes erosivas e estruturais, que podem ser correlacionadas em grande parte aos lineamentos extraídos nesta porção e que parecem atuar como importantes agentes no direcionamento dos processos erosivos.

Figura 28 – Lineamentos decalcados e sotopostos a ortofoto do MMA e roseta de orientações.

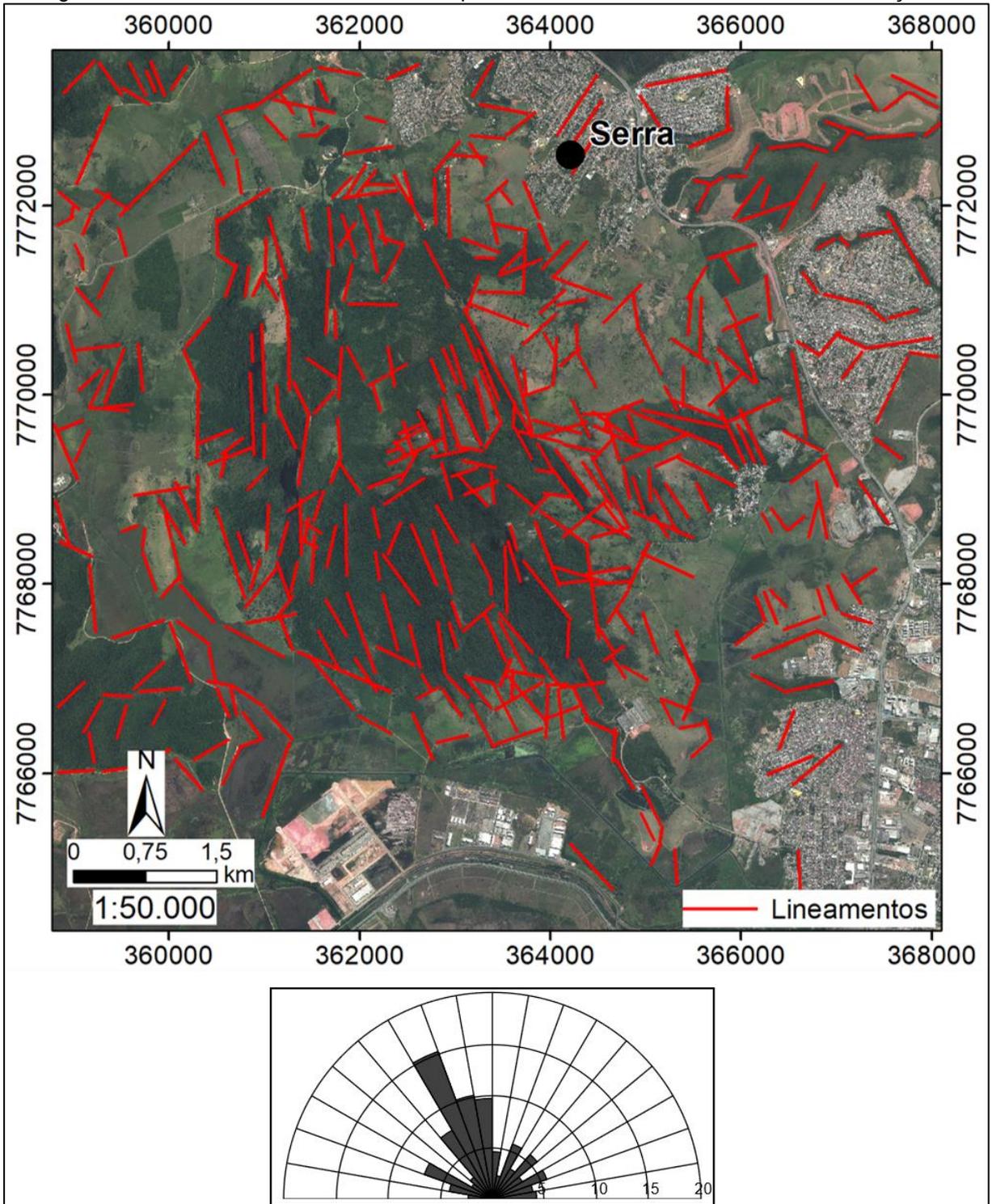


Figura 29 – Lineamentos selecionados para o Compartimento a do MMA e roseta de orientações correspondente.

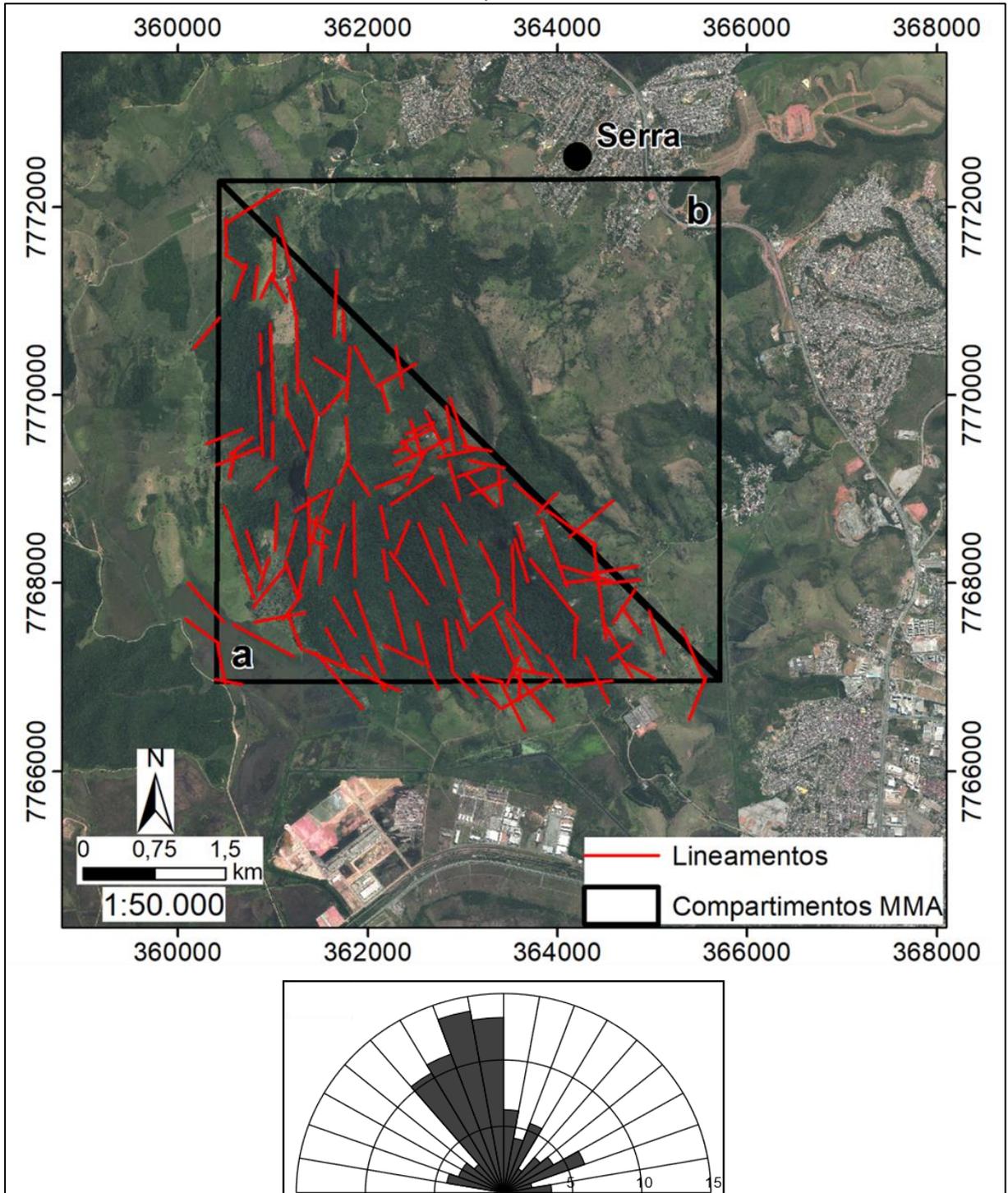
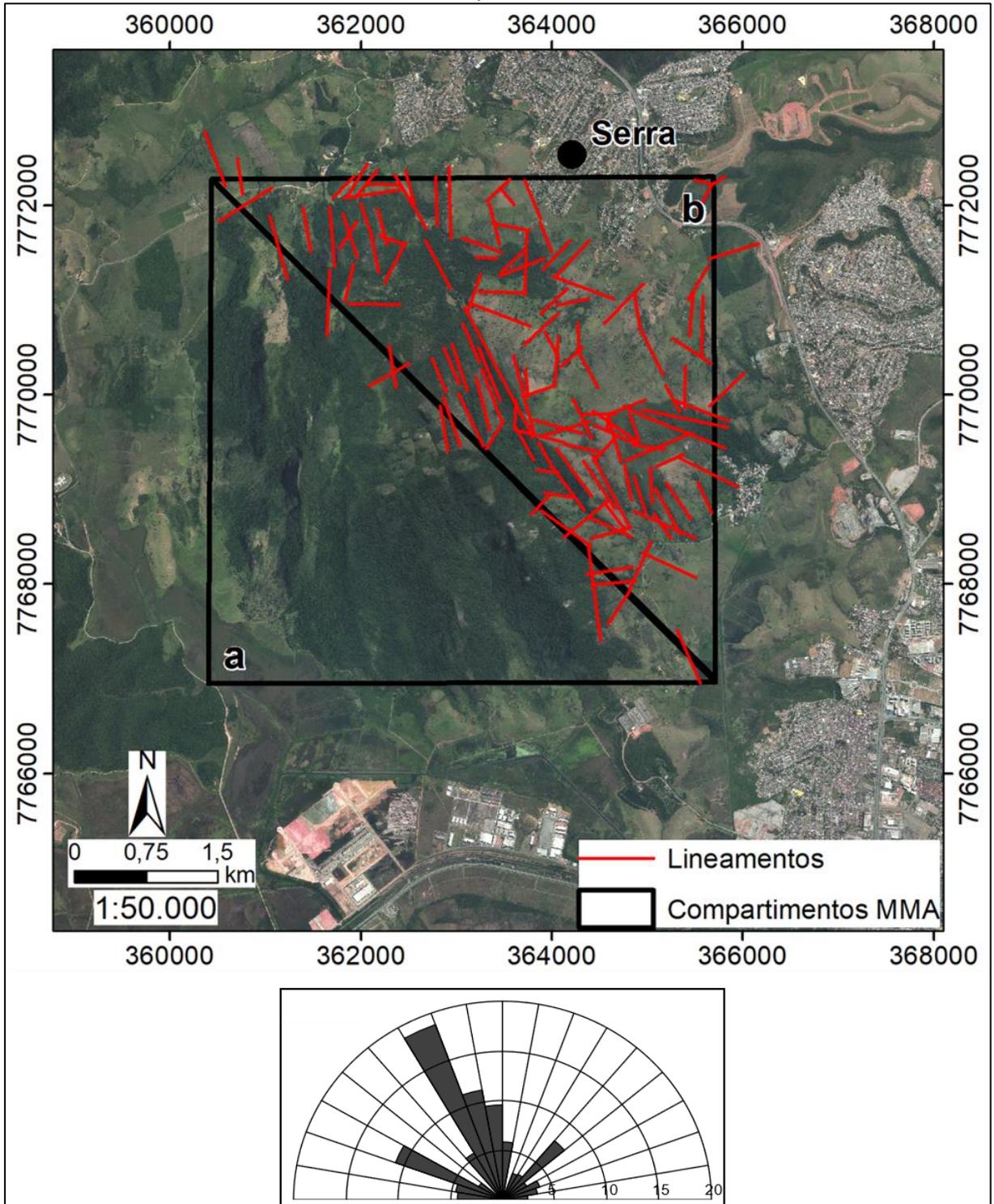


Figura 30 – Lineamentos selecionados para o Compartimento **b** do MMA e roseta de orientações correspondente.



#### 6.2.4. Dados de Campo

As atividades de campo desenvolvidas neste trabalho tiveram como principal objetivo a coleta de informações que pudessem colaborar com a compreensão acerca de como os elementos da geologia da área - litológicos e especialmente estruturais – atuam na formação e desenvolvimento do relevo do Maciço Mestre Álvaro.

Conforme pode ser visto na tabela de descrição dos pontos visitados (Tabela 1), a litologia encontrada pode ser dividida em basicamente dois grupos (Figuras 31 e 32): i) o primeiro referente a granitos com estrutura maciça, granulação média, equigranular; ii) o segundo grupo referente a granito porfirítico, com cristais de feldspato quase sempre orientados. Observa-se ainda que em um ponto (MA-19), foi observado um enclave similar a gnaiss, com origem não determinada.

Tabela 1 – Pontos visitados no campo.

Ponto	Coord. X	Coord. Y	Elev (m)	Descrição
MA-1	361387	7771970	32	Granito com estrutura maciça, granulação média, composto por quartzo, feldspato, plagioclásio e biotita.
MA-2	361288	7771673	55	Granito com estrutura maciça, granulação média, composto por quartzo, feldspato, plagioclásio e biotita.
MA-3	361224	7771470	120	Granito com cristais de feldspato orientados (N290), com comprimentos de até 2 cm.
MA-4	361410	7770959	229	Granito com cristais de feldspato orientados (N294), com comprimentos de até 2 cm.
MA-5	361442	7770400	319	Granito com estrutura maciça, granulação média, composto por quartzo, feldspato, plagioclásio e biotita.
MA-6	364934	7767169	29	Granito com estrutura maciça, granulação fina a média, composto por quartzo, feldspato, plagioclásio e biotita.
MA-7	365118	7767125	13	Granito com cristais de feldspato orientados (N334), com comprimentos de até 2 cm.
MA-8	365245	7767261	16	Granito com cristais de feldspato orientados (N329), com comprimentos de até 2 cm.
MA-9	366132	7770280	43	Bloco rolado de granito porfirítico (cristais de feldspato orientados). Dimensão das arestas de aproximadamente 2,5 m.
MA-10	366225	7770142	32	Pedreira desativada. Litologia predominante, granito com estrutura maciça, granulação média, composto por quartzo, feldspato, plagioclásio e biotita. Veio máfico (N320). Fraturas sub-horizontais (160/07).

MA-11	361778	7769339	455	Granito porfirítico (cristais de feldspato orientados – N360)
MA-12	361420	7769294	580	Granito porfirítico (cristais de feldspato orientados – N355)
MA-13	361325	7769170	603	Afloramento ‘Pedra das Três Marias’. Granito porfirítico (cristais de feldspato orientados – N215). Ocorrência de esfoliação, com borda paralela à orientação dos cristais).
MA-14	365615	7769331	91	Granito porfirítico, cristais sem orientação preferencial.
MA-15	365362	7769474	156	Granito com estrutura maciça, granulação média, composto por quartzo, feldspato, plagioclásio e biotita. Fratura (210/85).
MA-16	364749	7769219	260	Afloramento da ‘Pedra dos Ventos’. Granito com estrutura maciça, granulação média, composto por quartzo, feldspato, plagioclásio e biotita.
MA-17	364682	7769580	297	Granito porfirítico (cristais de feldspato orientados – N330).
MA-18	363924	7769181	373	Afloramento da ‘Pedra do Ozônio’. Granito porfirítico (cristais de feldspato orientados – N305). Fraturas condicionando a drenagem – F1: 255/80; F2: 155/85.
MA-19	365690	7769275	95	Enclave com aspecto de gnaiss (bandamento composicional – alternância de camadas máficas e félsicas).
MA-20	365957	7769209	11	Veios de quartzo com aparente deslocamento (falha) – Veios pretéritos (N255) – Veio posterior (N300).
MA-21	366225	7770142	45	Pedreira desativada. Observação de duas zonas: 1) ausência de fraturas sub-verticais significativas, com destaque para fraturas de alívio sub-horizontais; 2) presença de uma família de fraturas sub-verticais, com formação de blocos com alta instabilidade.

---

Figura 31 – Granito equigranular do ponto MA-06.



Figura 32 – Granito porfírico do ponto MA-08.



Conforme pode ser observado no mapa dos pontos de campo (Figura 33), é difícil estabelecer um padrão para a ocorrência de granitos equigranulares e porfiríticos, mas é possível indicar uma concentração significativa do primeiro grupo na porção leste do maciço.

Os pontos onde foram reconhecidos granitos porfiríticos com cristais orientados aparecem no mapa com uma simbologia que permite observar a orientação dos pórfiros de feldspato, servindo assim como metodologia para a compreensão de sua distribuição. Desta forma, podem ser feitas algumas indicações acerca da ocorrência deste litotipo.

Inicialmente, pontua-se a predominância de orientações variando entre NW-SE e NNW-SSE, sendo esta última representada pelos pontos MA-07 e MA-08. Os pontos MA-02, MA-04, MA-17 e MA-18 apresentam cristais com orientação NW-SE, distribuídos de maneira ampla pela área do MMA.

Na porção centro-oeste do maciço tem-se a ocorrência de direções diferentes das indicadas acima, com os pontos MA-13 e MA-14 correspondendo a afloramentos onde os cristais de feldspato apresentam orientação N-S. Finalmente, para o ponto MA-12, a medida dos cristais segue a orientação NE-SW.

Uma correlação importante que pode ser indicada a partir da observação dos pontos visitados em campo sobre o mapa hipsométrico se dá entre a orientação dos cristais porfiríticos e a orientação do relevo onde eles estão presentes, sugerindo a possibilidade de que esta característica geológica (orientação dos minerais), guarda relação com a morfologia do relevo.

Esta correlação pode ser notada com maior proeminência em duas áreas do MMA. Primeiro, na porção sudeste do maciço, onde os pontos MA-07 e MA-08 representam cristais com orientação NNW-SSE, correspondente à direção da colina onde foram observados. Tal orientação tem-se mostrado extremamente importante no decorrer deste trabalho, pois corresponde ao Feixe de Lineamentos Colatina, cuja influência no relevo tem-se revelado de forma destacada.

A segunda área onde a correlação entre a orientação dos cristais e o relevo se mostra pungente é o segmento centro-oeste do MMA, onde estão localizados os pontos MA-13 e MA-14. Trata-se de uma região onde o relevo apresenta marcante

orientação N-S, conforme pode ser visto no mapa hipsométrico, destoando da orientação geral do maciço, NW-SE. Nas rochas graníticas encontradas nesta área observa-se a mesma orientação para os cristais de feldspato, marcando assim uma importante correlação entre a orientação dos cristais de feldspatos e o relevo.

Durante as atividades de campo foram observadas poucas feições estruturais, devendo-se destacar assim aquelas que puderam ser catalogadas. Inicialmente, destaca-se o ponto MA-18, localizado junto a uma drenagem adjacente a um grande afloramento de granito porfirítico, que forma uma gruta popularmente conhecida como Pedra do Ozônio.

Neste local foram observadas duas fraturas proeminentes, com atitudes 255/80 (orientação N345/80 - Figura 34) e 155/85 (orientação N245/85 - Figura 35), ambas condicionando a drenagem presente na área.

Figura 33 – Mapa com os pontos visitados em campo na área do MMA, sotopostos ao mapa hipsométrico.

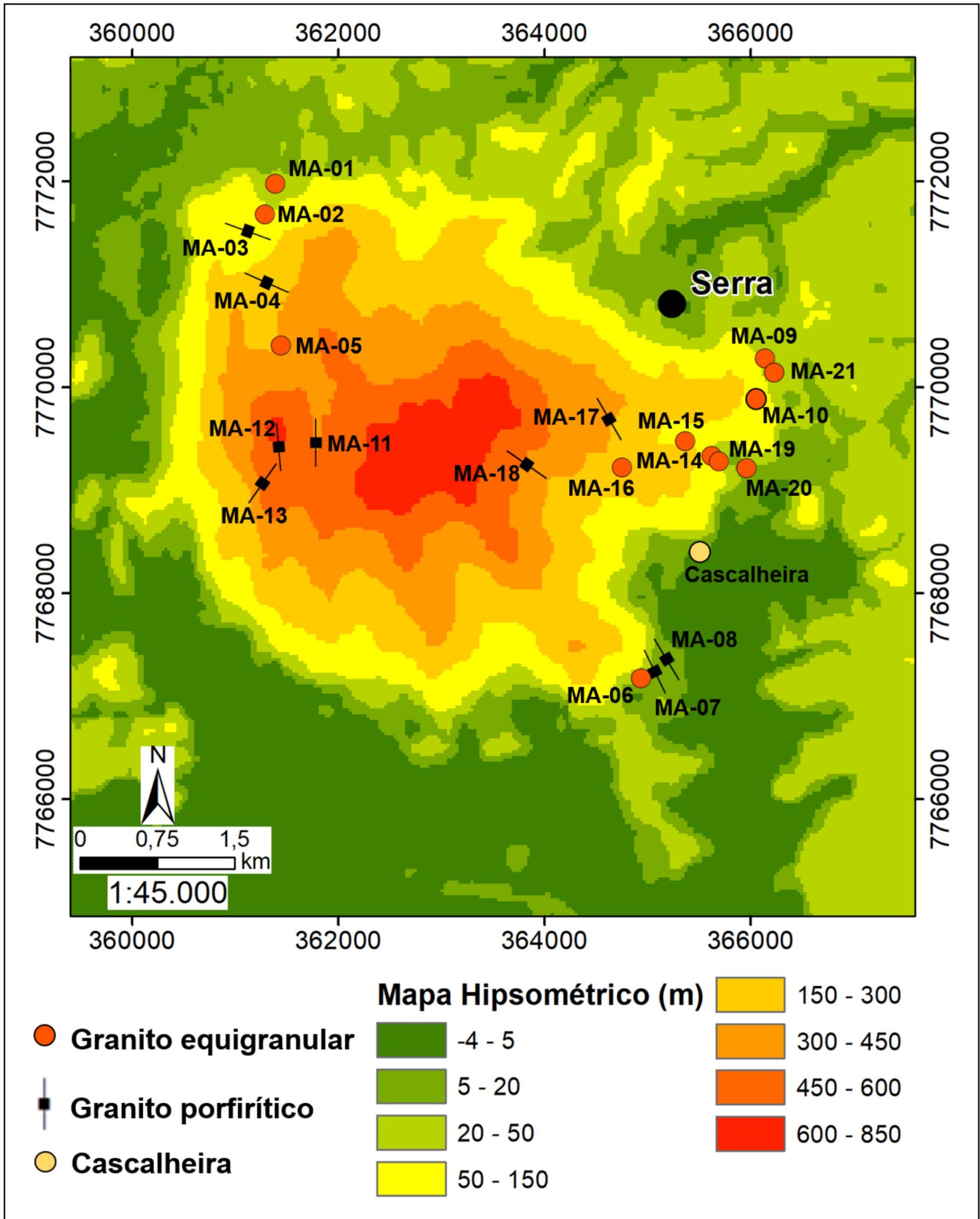


Figura 34 – Destaque para primeira fratura observada no ponto MA-18.

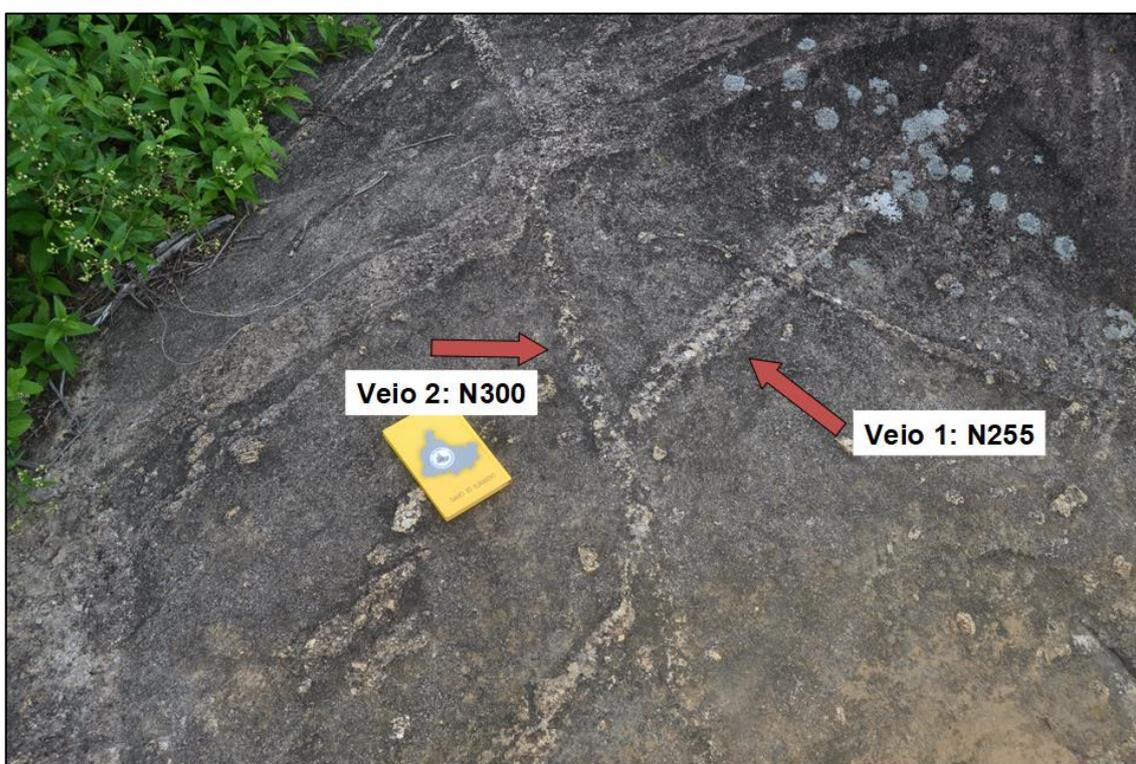


Figura 35 – Destaque para segunda fratura observada no ponto MA-18.



O segundo local onde foi observado um destacado elemento estrutural corresponde ao ponto MA-20, onde tem-se veios de quartzo (Figura 36) seguindo duas direções (N255 e N300), incluindo feição de deslocamento na intersecção entre eles. Tem-se assim um veio pretérito, com direção N255, afetado por uma injeção fluída posterior, que originou o veio com direção N300, causando movimentação da estrutura mais antiga. A orientação do veio mais jovem (NW-SE) mostra-se bastante interessante dentro do contexto da área, pois corresponde à direção preferencial do relevo do MMA.

Figura 36 – Veios de quartzo observados no ponto MA-20.



Na porção sudeste do Maciço Mestre Álvaro, em vertente próxima ao ponto MA-08, há um exemplo de como se dá a disposição dos afloramentos rochosos nesta área do MMA (Figura 37), destacando-se a presença de um bloco fraturado, com significativo espaço de abertura. A presença de feições deste tipo não se mostrou comum nos pontos visitados, tornando-se bastante notável quando detectada.

Figura 37 – Vertente sudeste do MMA, próxima ao ponto MA-08.



É possível indicar ainda a ocorrência de mais uma importante feição, cuja observação pode contribuir na compreensão dos fatores que condicionam o relevo do MMA. Conforme pode ser visto nas figuras 38 e 39, correspondentes ao ponto MA-12, onde ocorre uma feição do tipo esfoliação, cuja direção principal corresponde à orientação observada nos cristais de feldspato da rocha presente na área (N215).

Figura 38 – Processo de esfoliação em rocha granítica no ponto MA-12.



Figura 39 – Detalhe do processo de esfoliação em rocha granítica no ponto MA-12.



Próximo ao local da esfoliação foram observadas também aglomerados máficos destacando-se na estrutura do granito porfirítico (Figura 40), sendo possível destacar a diferenciação no processo intempérico com relação à rocha matriz.

Figura 40 – Porção máfica em meio a matriz granítica.



Foi visitada ainda uma antiga pedreira (Figura 41), próximo à área do Aterro Manancial, na porção leste do MMA (Ponto MA-21). Devido às condições de segurança da mesma, as medições estruturais foram limitadas, entretanto algumas considerações poder ser indicadas com os dados obtidos. Destaca-se inicialmente a possibilidade de compartimentação do afloramento em duas zonas (1 e 2), diferenciadas em função da presença marcante de fraturas, presentes em maior número na zona 2.

Figura 41 – Pedreira desativa próximo ao Aterro Manancial, na porção leste do MMA (Exagero vertical de 2 vezes).



Na área da Zona 1 (Figura 42), não foram observadas fraturas verticais passíveis de medição, destacando-se a presença de fraturas sub-horizontais. A feição em destaque apresenta orientação N154/07, correspondendo provavelmente ao produto originado do resfriamento do maciço, com geração de fraturas sub-paralelas à superfície.

A Zona 2 (Figura 43) apresenta-se mais fraturada que a Zona 1, com ocorrência de diversos blocos seccionados por fraturas sub-horizontais, típicas de resfriamento magmático, bem como fraturas sub-verticais, com orientação dominante N278.

Ainda na área da pedreira desativa, foi observado também um veio máfico (Figura 44), com orientação N320, posicionado em rocha granítica equigranular.

Observa-se novamente que devido às características desta área, bem como dos equipamentos disponíveis, considerou-se inseguro prosseguir com a aferição detalhada desta porção, restringindo-se à medida de direção de algumas das fraturas, com direção geral mencionada acima.

Figura 42 – Detalhe da Zona 1.



Figura 43 – Detalhe da Zona 2.



Figura 44 – Veio máfico observado na área da pedreira desativada.



Na porção norte/noroeste do MMA foram observadas algumas colinas na base do maciço, como a que é destacada na figura 45. É possível indicar a presença de proeminentes blocos rochosos, cuja ocorrência pode ser sugerida, ao menos parcialmente, como resultado de erosão diferencial.

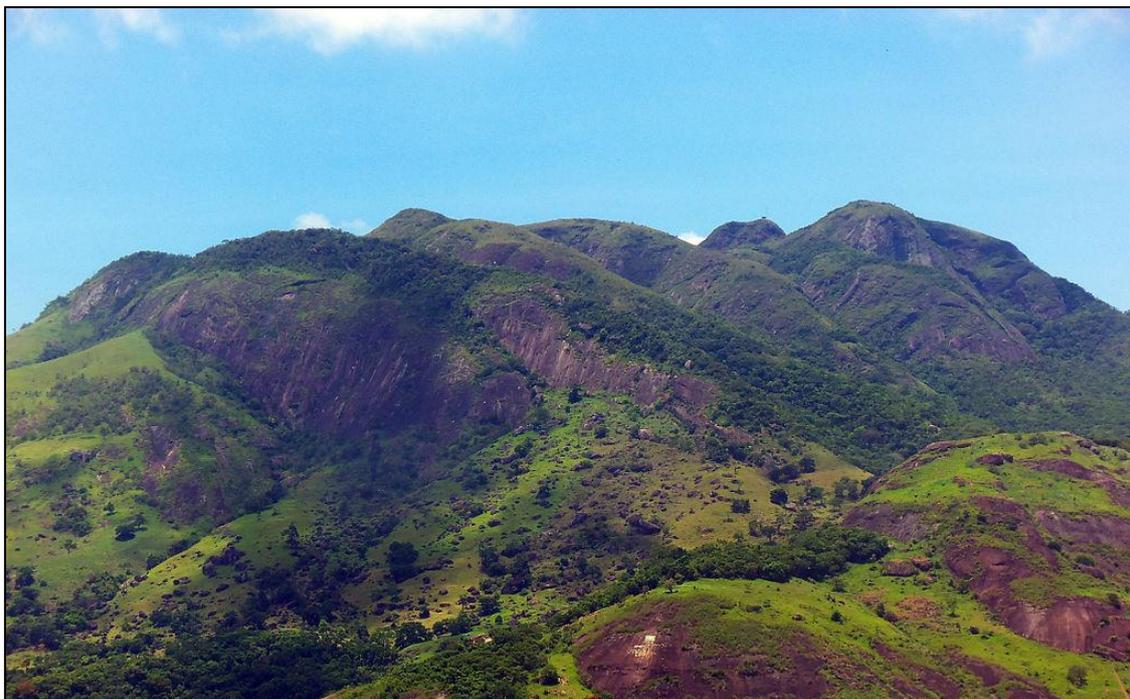
Figura 45 – Colina na porção noroeste do MMA, próximo ao ponto MA-01.



Além das colinas, as cristas do maciço também são notáveis em campo, conforme pode ser visto na figura 46. Na imagem em questão é possível observar não apenas as colinas que compõem a porção inicial do Maciço Mestre Álvaro, mas também as vertentes íngremes, repletas de blocos rochosos, e uma sequência de cristas alinhadas, formando as estruturas mapeadas como lineamentos no MDE e nas ortofotos.

No limite sudeste do Maciço Mestre Álvaro, próximo à entrada do bairro de Pitanga, foi observada uma cascalheira em afloramento adjacente à rua de acesso à referida localidade (Figura 47). Trata-se da única feição deste tipo encontrada na área estudada, entretanto sua presença, bem como características de posicionamento, podem ser indicativos de atividade neotectônica na área, cujo aprofundamento poderá se dar em trabalhos posteriores.

Figura 46 – Vista geral do Maciço Mestre Álvaro.



Fonte: Denis Rizzoli - <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=23296451>

Figura 47 – Cascalheira observada na entrada no bairro de Pitanga.



## 7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante dos resultados apresentados, é possível indicar que para a área do Maciço Mestre Álvaro as orientações NNW-SSE a NW-SE são as predominantes em todos os mapas elaborados – com exceção de determinadas áreas do mapa aeromagnetométrico, em função da escala de análise – e nas análises das estruturas rúpteis e orientações de minerais observados em campo.

Essas orientações NNW-SSE podem estar associadas a controles litoestruturais ou refletirem tensões neotectônicas, estando relacionadas a controles do Feixe de Lineamentos Colatina (FLC), com orientação predominante NNW-SSE (BRICALLI, 2011), sendo esta considerada a mais importante feição estrutural do estado do Espírito Santo.

Estruturas com orientação NE-SW são indicadas como feições secundárias na área de estudo, destacando-se entre os lineamentos traçados sobre o Modelo Digital de Elevação (MDE), principalmente no Complexo Nova Venécia. Tal orientação constitui-se como prolongamento da porção norte do Orógeno Ribeira, formando assim uma zona de convergência com o Feixe de Lineamentos Colatina na área de estudo.

Um último agrupamento de feições que merece ser mencionado diz respeito às estruturas com orientação E-W, distribuídas por toda a área de estudo, porém destacadamente presentes na porção norte. Afetam principalmente as rochas da Fm. Barreiras, localizadas a nordeste do Maciço Mestre Álvaro.

As orientações NNW-SSE e NW-SE correlacionam-se com o mapa apresentado na figura 8, onde Pedrosa-Soares (2001) indica as principais direções estruturais da Faixa Araçuaí, incluindo uma zona de convergência a noroeste da cidade de Vitória, onde os lineamentos com diferentes direções podem ser observados.

De acordo com as rosetas geradas a partir dos lineamentos traçados sobre o Modelo Digital de Elevação (MDE), selecionados em função dos principais grupos litológicos observados na área (Figuras 22, 23 e 24), tem-se que para as rochas graníticas a orientação dos lineamentos nas direções NNW-SSE e NW-SE apresentam-se com forte predominância, podendo indicar que estas orientações condicionam inclusive a morfologia das próprias intrusões.

A roseta representando os lineamentos do Modelo Digital de Elevação (MDE)

selecionados no domínio metamórfico volta a apresentar as direções NNW-SSE e NW-SE como protagonistas, trazendo entretanto à cena as feições com direção NE-SW, distribuídas de forma relativamente homogênea por todo o grupo considerado, constituindo-se assim como um destacado representante da intersecção entre os lineamentos regionais reconhecidos.

Os lineamentos extraídos do Modelo Digital de Elevação (MDE) nas áreas de domínio da Fm. Barreiras e dos depósitos sedimentares quaternários apresentam a roseta de direções mais peculiar, pois indicam uma distribuição mais homogênea. Nota-se que no quadrante NW concentram-se a maior parte das feições, com destaque para uma direção próxima a E-W, e em caráter secundário, a direção NNW-SSE/NW-SE.

É importante indicar ainda a importância dos lineamentos traçados sobre as ortofotos, que representam a escala de análise mais próxima do Maciço Mestre Álvaro no que diz respeito à observação de feições lineares. Considerando as duas rosetas geradas, com lineamentos selecionados nos dois compartimentos propostos para o maciço (compartimentos a e b – Figuras 29 e 30), com amplo destaque para as orientações que variam entre NW-SE e NNW-SSE, que aparecem de forma marcante em todas elas. Indica-se ainda que a distribuição dos lineamentos das duas áreas possuem características diferentes, destacando-se a roseta do compartimento **b**, onde é possível observar de forma clara três agrupamentos, dois no quadrante NW e um no quadrante NE.

Desta forma, observa-se que os lineamentos possuem uma importância em várias escalas de análise: i) a primeira escala relacionada às estruturas regionais, diretamente vinculadas às grandes zonas de cisalhamento do Orógeno Araçuaí; ii) a segunda escala concernente às feições observadas nos MDE's, considerada como escala semi-regional; iii) lineamentos extraídos a partir das ortofotos, com foco na área do Maciço Mestre Álvaro. Nas três escalas mencionadas há uma clara predominância das orientações NNW-SSE e NW-SE, com participação secundária de feições com orientação NE-SW.

Os pontos visitados em campo tiveram como grande destaque a observação da ocorrência de granitos porfíricos, cujos cristais encontravam-se frequentemente orientados. Tais orientações concentram-se no quadrante NW-SE, encontrando assim correspondência com a orientação geral das estruturas que formam o maciço.

As duas principais feições estruturais mapeadas também são significativas

quanto às orientações medidas. Destaca-se inicialmente duas famílias de fraturas, observadas no ponto MA-18. A primeira delas dispõe de orientação geral N345/80 (255/80) e a segunda segue orientação geral N245/85 (155/85). Com relação às orientações das fraturas, a primeira pode ser correlacionada com a orientação NNW-SSE, característica do FLC. Para a segunda fratura, com orientação NE-SW, observa-se correlação com os lineamentos de importância secundária indicados nas diversas rosetas geradas.

A segunda feição estrutural de destaque corresponde ao falhamento dos veios observados no ponto MA-20, sendo o mais antigo com orientação N255 e o mais recente com orientação N300. É possível observar que suas orientações estão próximas daquelas encontradas para as fraturas mencionadas no parágrafo anterior, destacando-se que a intrusão mais recente, com orientação NW-SE, estaria apta a ser correlacionada com o FLC.

Outra consideração relevante a ser proposta diz respeito às diferenças observadas na morfologia do MMA, conforme pode ser visto na compartimentação proposta a partir do mapa de declividades (Figura 26). Neste mapa pode-se observar a predominância de longas cristas no compartimento **a**, enquanto o compartimento **b** apresenta um número reduzido destas feições, que possuem comprimentos menores do que os observados no outro segmento.

Desta forma, tem-se que o relevo do Maciço Mestre Álvaro pode ser caracterizado a partir da morfologia da intrusão granítica, cuja orientação é predominantemente NW-SE, bem como também a partir dos lineamentos observados nas diferentes fontes (Modelo Digital de Elevação e ortofotos), correspondentes a cristas e vales com orientações majoritariamente NNW-SSE e NW-SE. As orientações N-S, NE-SW e E-W, observadas em caráter secundário, também são importantes para a compreensão do relevo do MMA, pois permitem a compartimentação do maciço em duas grandes áreas, uma caracterizada por altos valores de declividade e cristas proeminentes (compartimento **a**) e outra com menores valores de declividade e presença relativamente reduzida de grandes lineamentos (compartimento **b**).

Além das proeminentes cristas e vales que compõem o relevo do Maciço Mestre Álvaro, é possível indicar ainda a ocorrência de colinas que compõem as porções mais baixas do maciço. Nelas destacam-se a presença de grandes blocos rochosos

(Figuras 45 e 46), que sugerem a atuação de erosão diferencial sobre os mesmos, com erosão das porções mais susceptíveis.

Conforme indicado inicialmente, este trabalho teve como objetivo contribuir na compreensão dos fatores que condicionam a morfologia do Maciço Mestre Álvaro (MMA), com destaque para os elementos estruturais. Os resultados indicam que o Feixe de Lineamentos Colatina é a estrutura geológica mais importante dentro desta questão, condicionando a orientação da maior parte dos vales e cristas, bem como a orientação geral do próprio maciço. A presença de feições com outras orientações, principalmente no quadrante NE, sugerem que o MMA encontra-se em uma área de intersecção de importantes estruturas geológicas, uma vez que os lineamentos NE-SW podem corresponder a prolongamentos da porção norte do Orógeno Ribeira.

Destaca-se assim a importância da Zona de Cisalhamento Batatal, principal estrutura com orientação NE-SW próxima à área de estudo. É possível indicar ainda que a linha de costa proximal à área estudada também dispõe desta orientação, evidenciando assim a relevância destes lineamentos na configuração costeira, bem como para a própria plataforma continental.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBAREDE, F.; Tradução, ANDRADE, F. R. D. **Geoquímica, Uma Introdução**. Ed. Oficina de Textos, 2011.
- ALKMIM F.F., MARSHAK S., PEDROSA-SOARES A.C., PERES G.G., CRUZ S., WHITTINGTON A. **Kinematic evolution of the Araçuaí-West Congo orogen in Brazil and Africa: Nutcracker tectonics during the Neoproterozoic assembly of Gondwana**. Precambrian Research, 149, p. 43-64, 2006.
- ALKMIM F.F., PEDROSA-SOARES A.C., NOCE C.M., CRUZ S.C.P. **Sobre a evolução tectônica do Orógeno Araçuaí-Congo Ocidental**. Geonomos, 15, p. 25-43, 2007.
- BLENKINSOP, T.G. **Fractals and dynamic systems in geoscience**. Ed. Birkhauser, 1986.
- BORGES, C.J. **Colonização de Uma Cidade: História, Folclore, Cultura**. Serra. Ed. Canela Verde, 2015.
- BRICALLI, L. L. **Evolução de uma depressão em embasamento cristalino e sua relação com os aspectos geológico-geomorfológicos regionais (Serra-ES)**. 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. **Padrões de lineamentos e fraturamento neotectônico no estado do Espírito Santo (Sudeste do Brasil)**. Tese (Doutorado em Geologia) - Instituto de Geociências – UFRJ. Programa de Pós-graduação em Geologia, 2011.
- BRICALLI, L. L.; SOUZA, B. S. **Caracterização Geológica-geomorfológica da bacia do rio Juara (Espírito Santo, sudeste do Brasil)**. In: Archimedes Perez Filho; Raul

Reis Amorim. (Org.). Os desafios da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento. 1ed.Campinas: Instituto de Geociências, 2017.

BURBANK, D.W., ANDERSON R.S. **Tectonic Geomorphology**. Editora Wiley-Blackwell. EUA, 2011.

BUSATTO, C. **Landforms tectônicos e controle neotectônico na rede de drenagem da bacia do rio Piraquê-Acú (Espírito Santo - Sudeste do Brasil)**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geografia) – Universidade Federal do Espírito Santo, 2014.

CAMPBELL, E. M. 2007. **Granite landforms**. *Journal of the Royal Society of Western Australia*, v. 80. P. 101-112, 1997.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. Editora Edgar Blucher Ltda. São Paulo, 1980.

CPRM, Serviço Geológico do Brasil. **Folha SF-24-V-B-I Vitória**. Ministério de Minas e Energia. Secretaria de geologia, mineração e transformação mineral, 2014.

DAVIS, W.M. **The Geographical Cycle**. *The Geographic Journal*, v.14, p.481-504, 1899.

FRANÇA, R. L.; DEL REY, A. C.; TAGLIARI, C. V.; BRANDÃO, J. R.; FONTANELLI, P. R. Bacia do Espírito Santo. In: MILANI, E. J. (coord.); RANGEL, H. D.; BUENO, G. V.; STICA, J. M.; WINTER, W. R.; CAIXETA, J. M.; PESSOA NETO, O. C. **Cartas Estratigráficas. Boletim de Geociências da Petrobras**, Rio de Janeiro, v. 15, n. 2, p. 5101-509, maio/nov, 2007.

GATTO L.C.S., RAMOS V.L.S., NUNES B.T.A., MAMEDE L., GOES M.H., MAURO C.A., ALVARENGA S.M., FRANCO E.M.S., QUIRICO A.F., NEVES L.B. **Projeto Radambrasil. Folhas SF.23/24 Rio de Janeiro/Vitória, geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra**. Rio de Janeiro, Radambrasil. Vol. 32, 1983.

GEOBASES – Sistema Integrado de Bases Georreferenciadas do estado do Espírito Santo. **Plano de Informações: limite estadual, localidades, hidrografia, rede viária.** Departamento de Geografia (DGEP/UFES), 2017.

GIMENEZ, A.C.W. 2002. **Carta Geomorfológica e Morfogênese do Mestre Álvaro, Serra-ES-BR.** Revista Geografares, Vitória, no 3, p. 41-55, jun. 2002.

GROTZINGER, J.; JORDAN, T.; Tradução, ABREU, I.D. **Para Entender a Terra.** 6ª ed. Editora Bookman. Porto Alegre, 2013.

HANCOCK, P.L. WILLIAMS, G.D. **Neotectonics.** Journal of the Geological Society, v.143, p.325-326, 1986.

HASUI, Y.,MIOTO, J.A. **Geologia estrutural aplicada. Associação Brasileira de Geologia de Engenharia.** Sao Paulo, 1992.

HEILBROM 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., Bartorelli A., Carneiro C.D.R., Brito-Neves B.B. **Geologia do Continente Sul-Americano: Evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida.** São Paulo, 2004.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/es/serra/panorama>. Acesso em: 21 out. 2018.

IEMA - Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Estado do Espírito Santo. Ortofotos Digitais, 2013.

JACQUES. P.D., MACHADO, R., OLIVEIRA, R.G., FERREIRA, F.J.F., CASTRO, L.G., NUMMER, A.R. **Correlação de lineamentos (magnéticos e topográficos) e estruturas rúpteis Fanerozoicas com zonas de cisalhamentos Pré-cambrianas do embasamento da Bacia do Paraná, Estado de Santa Catarina, Brasil.** Brazilian Journal of Geology, v.44, p. 39-54, 2014.

JERRAM, D., PETFORD, N. **Descrição de rochas ígneas (Guia geológico de campo)**. Editora Bookman, 2014.

KING, L.C. **A Geomorfologia do Brasil Oriental**. Revista Brasileira de Geografia, num.2, 1956.

LEITE, A.F. **Análise teórico-filosófica dos modelos de evolução da paisagem: tendências passadas e atuais**. Revista Geográfica de América Central. II Semestre, p. 1-17. Costa Rica, 2011.

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.

MAIA, R.P., NASCIMENTO, M.A.L. **Relevos Graníticos do Nordeste Brasileiro**. Revista Brasileira de Geomorfologia, v.19. p. 373-389, 2018.

MELLO, C.L., RODRIGUES, H. B., HATUSHIKA, R. S. **Tectônica quaternária e anomalias de drenagem na região Centro-Norte do Espírito Santo**. Anais do IX Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário. Guarapari (ES), 2005.

MIGON, P., VIEIRA, G. **Granite geomorphology and its geological controls, Serra da Estrela, Portugal**. Geomorphology, v.226, p. 1-14, 2014.

NADALIN, R.J., BESSER, M.L., SALAMUNI, E., HINDI, E.C., SANTOS, F.A., NADALIN, L.F., MONASTIER, M.S., SOUZA, M.C. **Guia geológico de campo**. Editora Oficina de Textos, 2018.

NOCE C. M, PEDROSA-SOARES A. C., PIUZANA D., ARMSTRONG R., LAUX J H ; CAMPOS C., MEDEIROS S. R. **Ages of sedimentation of the kinzigitic complex and of a late orogenic thermal episode in the Araçuaí orogen, Northern Espírito**

**Santo state, Brazil: Zircon and monazite U-Pb SHRIMP and ID-TIMS data.** Revista Brasileira de Geociências, v.34, p. 587-592. 2004.

OBRUCHEV, V.A. **Osnovnye cherty kinetiki i plastiki neotektonik.** Akad. Nauk. Izv. Serv. Geol., 5:13-24, 1948.

OLGEN, M.K., **Determining lineaments and geomorphic features using Landsat 5-TM data on the lower Bakırçay Plain, western Turkey.** Aegean Geographical Journey, v. 13, p. 47-57, 2004.

OLIVEIRA, V., COSTA, A.M.R., AZEVEDO, W.P. **Pedologia. Projeto Radam Brasil. Folhas 23/24 Rio de Janeiro/Vitória .v. 32.** Rio de Janeiro, 1983.

NOVAIS, L.C.C., TEIXEIRA, L.B., NEVES, M.T. RODARTE, J.B.M., ALMEIDA, J.C.H., VALERIANO, C.M. **Novas ocorrências de diabásio na faixa Colatina-ES: estruturas rúpteis associadas e implicações tectônicas para as bacias de Campos e do Espírito Santo.** Boletim de Geociências da Petrobras, v. 12, p. 191-194, 2004.

PEDROSA-SOARES, A.C., NOCE, C.M., WIEDEMANN, C., 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.

QUEIROZ, C.L.; MENESE, P.R.; JOST, H. 2000. **Lineamentos em imagens de sensores remotos e seu significado estrutural nos terrenos granito-greenstone belt de Orixás (GO).** Revista Brasileira de Geociências. v. 30, p. 655-662. São Paulo, 2000.

RIBEIRO, C.S. **Influência da tectônica pós-deposicional na distribuição da Fm. Barreiras entre o rio Paraíba do Sul (RJ) e rio Doce (ES).** Dissertação (Mestrado em Geologia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2010.

SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; ARAUJO FILHO, J. C. de; OLIVEIRA, J. B. de; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. EMBRAPA, 2018.

SOUZA, I.A., EBERT H.D., CASTRO, J.C., SOARES JR., A. V., SILVA, G.H.T.S., BENVENUTTI, C.F. **Caracterização das falhas de transferência na porção Norte da Bacia de Santos a partir da integração de dados geológicos e geofísicos**. Boletim de Geociências da Petrobras, v.17, p.109-132, 2009.

VIEIRA, V. **Geologia e Recursos Minerais do estado do Espírito Santo**. CPRM, 2015.

WERNICKE, E. **Rochas Magmáticas: Conceitos fundamentais e classificação modal, química, termodinâmica e tectônica**. Editora UNESP, 2004.