



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

TALLES GOMES SANTOS

**TÉCNICAS DE GEOPROCESSAMENTO E DADOS NEOTECTÔNICOS PARA
IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS FAVORÁVEIS À CAPTAÇÃO DE ÁGUA
SUBTERRÂNEA (PORÇÃO CENTRO/NORTE DO ESTADO DO ESPÍRITO
SANTO, SUDESTE DO BRASIL)**

VITÓRIA

2019

TALLES GOMES SANTOS

**TÉCNICAS DE GEOPROCESSAMENTO E DADOS NEOTECTÔNICOS PARA
IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS FAVORÁVEIS À CAPTAÇÃO DE ÁGUA
SUBTERRÂNEA (PORÇÃO CENTRO/NORTE DO ESTADO DO ESPÍRITO
SANTO, SUDESTE DO BRASIL)**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia do Centro de Ciências Humanas e Naturais da Universidade Federal do Espírito Santo como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Geografia na área de Dinâmica dos Territórios e da Natureza

Orientadora: Prof^a. Dr^a Luiza Leonardi Bricalli

Aprovado em: __/__/__

COMISSÃO EXAMINADORA

Professora Dr^a. Luiza Leonardi Bricalli
Universidade Federal do Espírito Santo (UFES)
Orientadora

Professora Dr^o Eberval Marchioro
Universidade Federal do Espírito Santo (UFES)

Professor Dr^o Patrício José Moreira Pires
Universidade Federal do Espírito Santo (PPGEC)
(UFES)

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

S237t Santos, Talles Gomes, 1988-
Técnicas de geoprocessamento e dados neotectônicos para identificação de áreas favoráveis à captação de água subterrânea(Porção Centro/Norte do Estado do Espírito Santo,Sudeste do Brasil) / Talles Gomes Santos. - 2019.
155 f. : il.

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

1. Potencial Hídrico. 2. Fraturas. 3. Falhas. 4. Lineamentos. 5. Água Subterrânea. 6. Geoprocessamento. I. Bricalli, Luiza Leonardi. II. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro de Ciências Humanas e Naturais. III. Título.

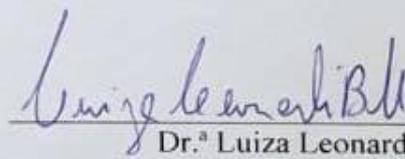
CDU: 91

**“TÉCNICAS DE GEOPROCESSAMENTO E
DADOS NEOTECTÔNICOS PARA
IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS FAVORÁVEIS À
CAPTAÇÃO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA
(PORÇÃO CENTRO/NORTE DO ESTADO DO
ESPÍRITO SANTO, SUDESTE DO BRASIL)”**

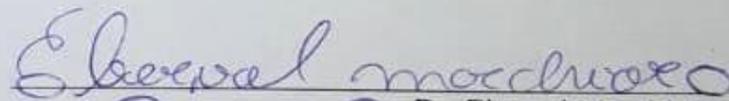
TALLES GOMES SANTOS

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.

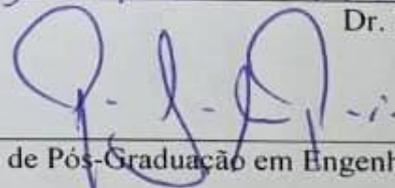
Aprovada em 29 de novembro de 2019.



Dr.^a Luiza Leonardi Bricalli (Orientadora)



Dr. Eberval Marchioro



Dr. Patrício José Moreira Pires (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - UFES)

DEDICATÓRIA

Dedico essa dissertação de mestrado ao meu eterno amigo Bruno Ricardo do Nascimento (*in memoriam*) pela luta por uma Geografia mais completa, profissional e acima de tudo Humana. Dedico também a minha mãe Jaciléa Gomes Santos e ao meu pai Luiz Fernando Barbosa Santos, pelo amor, pela paciência, confiança e por acreditarem que eu poderia chegar até aqui. Eles, com a coragem e paciência que tiveram comigo nesses anos e anos de educação, são a minha maior fonte de inspiração.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Deus, aos meus orixás que me guiam pelo caminho da luz e do bem e todas as pessoas que de alguma forma contribuíram para a execução deste trabalho, especialmente:

A minha família. Minha mãe, Jaciléa Gomes Santos, sem você no meu pé, acho que não chegaria até aqui. Ao meu pai, Luiz Fernando Barbosa Santos, espelho, mentor e meu maior incentivador para os estudos na geografia mesmo quando todos duvidavam; você é meu alicerce. Aos meus irmãos, Nabila Gomes Santos e Górgias Gomes Santos, vocês são meus pilares, sem vocês eu inexistiria.

Ao meu cunhado André Nicolau, que fazendo bem a minha irmã, por tabela me deixa bem. Agradeço também a um pequeno ser que entrou em minha vida para fazer dela um novo espetáculo, mesmo sem entender muito que está acontecendo, meu sobrinho Lucca Magalhães Gomes Santos é minha principal razão por eu buscar sempre mais.

Aos professores do Programa de Pós Graduação em Geografia – PPGG da Universidade Federal do Espírito Santo – UFES, especialmente a Eberval Marchioro e ao professor do Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil (PPGEC) Patrício José Moreira Pires.

A minha orientadora e professora, Luiza Leonardi Bricalli por ter aceitado o desafio de me orientar, principalmente pela paciência, pela amizade construída desde os tempos da graduação, e especialmente pelos conselhos profissionais, acadêmicos e humanos, pelas intermináveis análises geológicas, pelas orientações com o geoprocessamento e por fim pelos puxões de orelha nos momentos mais críticos desta pesquisa.

A Milena Valdetaro Fernandes, minha companheira, que sempre esteve ao meu lado em todos os momentos desta pesquisa, seja apoiando, me aconselhando, seja brigando, quando necessário, mas me dando o suporte essencial para que eu pudesse continuar nessa intensa luta da conclusão do mestrado.

A todos os amigos que construí ao longo da graduação de geografia em especial a geógrafa Thaishi Leonardo da Silva, minha amiga, e principal incentivadora para que eu prestasse o processo seletivo do PPGG-UFES e que

mesmo de longe, tem um orgulho imenso do acadêmico e profissional que me tornei. Ao grande amigo e geógrafo, Renato Sartório pelas inúmeras discussões geográficas e pelo apoio psicológico necessário para elaboração de uma dissertação.

Aos meus amigos, geógrafos, mestres e futuros doutores, James Rafael Ulisses dos Santos e Wesley de Souza Campos Correa, nossas conversas, devaneios geográficos sobre geomorfologia, climatologia e geoprocessamento, dicas para a qualificação, ajudas na formatação e simplesmente aquele café na sala de estudos tornaram menos maçante a elaboração desta pesquisa. Eu tenho orgulho de vocês.

Aos meus amigos do Laboratório, Cirila, Diego, Jane, Gustavo, Wemerson, Ricardo, sem vocês esta pesquisa não teria saído. Vocês foram grandes aliados à este turbilhão de coisas que passamos juntos no mestrado. Obrigado por me ajudarem nos momentos mais críticos.

As secretárias do PPGG, Izadora Ramos e Luciana Cruz pelo compromisso, dedicação e cafés nos intervalos, ao secretário Igor Glazar Teixeira pela paciência em disponibilizar documentos burocráticos e, sobretudo, pela amizade ao longo desses quase dois anos e meio de mestrado.

A equipe da cantina do Onofre, meninos batalhadores e que sempre estão ali pra dar aquele apoio no lanche, no cafezinho e no bate papo diário da Universidade.

Aos amigos da empresa Vale S.A. representados por minha supervisora Cleci Biedacha e gerentes Alexandre Queiróz e Ricardo Marcio Martins, que não mediram esforços para me ajudar na conclusão do mestrado, seja por compreenderem minha ausência ou nas simples palavras de motivação. Sou muito grato a vocês

Por fim, mas não menos importante à equipe de limpeza do CCHN, vocês não passam nunca despercebidas por mim. Agradeço por manterem o ambiente extremamente agradável para realizar nossas pesquisas e estudos.

A todas as pessoas que não citei aqui, mas que de forma direta ou indireta contribuíram para a realização desse trabalho.

RESUMO

Esta pesquisa teve como objetivo geral realizar um mapeamento de favorabilidade hidrogeológica na porção centro-norte do Estado do Espírito Santo, com a utilização de produtos gerados a partir de técnicas de Geoprocessamento e Neotectônica. A base metodológica utilizada integrou análises em gabinete e dados de campo disponíveis na literatura. Em gabinete, foram realizados: i) revisão bibliográfica; ii) extração manual de lineamentos na escala; iii) Densidade de lineamentos; iv) índice de fraturamentos; v) mapa de declividade vi) mapa de pluviosidade vii); espacialização de poços de perfuração e viii) análise de dados neotectônicos existentes na literatura. Com base nos produtos elaborados e integração dos dados e resultados obtidos observa-se que a área estudada apresenta um alto potencial hídrico subterrâneo, especialmente no Compartimento do Embasamento Pré-Cambriano. As áreas que apresentam alto potencial hídrico correspondem às áreas localizadas nas porções noroeste e central da área de estudo no compartimento geológico do Embasamento Pré-Cambriano e ao sul da área de estudo, ao longo do rio Doce no compartimento geológico dos Depósitos Cenozoicos e as que apresentaram baixo potencial hídrico foram as áreas à sudeste, ao norte e nordeste da área de estudo no compartimento dos Depósitos Cenozoicos. As variáveis falhas, fraturas e o alto índice de fraturamento foram imprescindíveis para apontar locais de armazenamento de água subterrânea juntamente com as técnicas de geoprocessamento utilizadas nesse trabalho que se apresentaram como ferramentas importantes para apontar as áreas com grande potencial hídrico.

Palavras-Chave: Potencial hídrico, fraturas, falhas, lineamentos, água subterrânea.

ABSTRACT

This research had the main objective a mapping of hydrogeological favorability in the north-central portion of the state of Espírito Santo, using products generated by geoprocessing and neotectonic techniques. The methodological basis used integrated cabinet analysis and field data available in the literature. In the cabinet were performed: i) literature review; ii) manual extraction of lineaments on the scale; iii) Linearity density; iv) fracture rate; v) slope map vi) rainfall map vii); drilling wells and viii) analysis of neotectonic data in the literature. Based on the elaborated products and data integration, it shows that the studied area has a high underground water potential, especially in the Pre-Cambrian Basement Compartment. . Areas that represent high water potential correspond to areas located in the northwest and central portions of the studied area in the geological compartment of the Pre-cambrian Basement and south of the studied area, along the Doce River in the geological Cenozoic Deposits Compartment and those areas with low water potential were the southeast, north and northeast areas of the study area in the Cenozoic Depot compartment. Faults, fracture and high fracture rates were essential to point out groundwater storage sites along with geoprocessing techniques used in this work as important tools to point out the areas with high water potential.

Keywords: Water potential, fractures, faults, lineaments, groundwater

LISTA DE SIGLAS

ABAS- Associação Brasileira de Águas Subterrâneas
ANA- Agência Nacional de Águas
AGERH - Agência Estadual de Recursos Hídricos
AHP (*Analytic Hierarchy Process*)
ASPE - Agência de Serviços Públicos de Energia do Espírito Santo
CESAN-Companhia Espírito Santense de Abastecimento e Saneamento.
CPRM - Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais
DNPM- Departamento Nacional de Produção Mineral
ESRI - *Environmental Systems Research Institute*
GDB - *Esri Personal Geodatabase*
IBGE- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDW- *Inverse Distance Weighted*
IJSN - Instituto Jones dos Santos Neves
MDE -Modelo Digital de Elevação
MMA-Ministério de Meio Ambiente
MPHS – Mapa de Potencialidade Hídrica Subterrânea
NASA- *National Aeronautics and Space Administration*
PAN-BRASIL- Programa de Ação Nacional de Combate à Desertificação
PPGEC- Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil
PPGG-Programa de Pós Graduação em Geografia
PRONAGEO- Programa Nacional de Geologia (CPRM)
RCSB– *Rift Continental do Sudeste do Brasil*
SGB- Serviço Geológico do Brasil
SIAGAS - Sistema de Informações de Águas Subterrâneas
SUDENE- Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste
SRH-Secretaria de Recursos Hídricos
SRTM- *Shuttle Radar Topography Mission*
SIG - Sistemas de Informações Geográficas
UFPR -Universidade Federal do Paraná

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1-Diferentes valores de fator z, de acordo com a latitude, segundo o software ArcGis™ 10.3.1	91
Tabela 2– Classes de declividade.....	96
Tabela 3– Localização geográfica dos pontos de coletas de dados estruturais	100
Tabela 4-Notas atribuídas às classes do índice de fraturamento	106
Tabela 5-Notas atribuídas às classes da variável densidade de lineamentos	106
Tabela 6- Notas atribuídas às classes da densidade de falhas/estrias neotectônicas.....	106
Tabela 7- Notas atribuídas às classes da variável litologia. (continua).....	106
Tabela 8- Notas atribuídas às classes da variável declividade.....	107
Tabela 9-- Notas atribuídas à níveis pluviométricos (NC 1968 à 2014).....	108
Tabela 10-Variáveis utilizadas para elaboração do Mapa de Potencialidade Hídrica Subterrânea e seus respectivos pesos.	109
Tabela 11 – Quantidade dos pontos de intersecção de fraturamento nos Compartimentos Geológicos.....	118
Tabela 12-Poços produtores de água subterrânea por compartimento geológico.....	126
Tabela 13 – Identificação dos pontos de medição de pares falha/estrias.....	128

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1- Principais cidades, rodovias do estado do Espírito Santo com destaque para área de Estudo (região sudeste do Brasil).	23
Figura 2 - Mapa de Precipitação Média Anual e Temperaturas Médias Anuais do Espírito Santo (Série Histórica de 1977 a 2006).	25
Figura 3- Mapa das províncias estruturais presentes na região Sudeste do Brasil, sobre modelo digital de elevação, associadas à evolução do paleocontinente Gondwana	27
Figura 4 - Mapa Geológico Orógeno Araçuaí.	27
Figura 5-Mapa de Geologia do Espírito Santo com destaque para as feições geológicas da área de estudo.	30
Figura 6-. Localização das bacias sedimentares brasileiras identificadas pelo tipo e pela idade geológica de seu preenchimento litológico.	31
Figura 7- Carta litoestratigráfica da Bacia do Espírito Santo.	33
Figura 8-Porção terrestre da bacia do Espírito Santo, subdividida em quatro regiões morfoestruturais	35
Figura 9- Seção geológica da Fazenda São Pedro, Escala 1:500. Notar que naquela época denominava-se Fm. Barreiras ao invés de Grupo Barreiras.	37
Figura 10-Mapa hipsométrico sobre hillshade com iluminação 315°, mostrando as principais classes altimétricas do estado do Espírito Santo.	48
Figura 11 -Mapa Geomorfológico do estado do Espírito Santo, com destaque para as unidades Geomorfológicas e destaque para a área de estudo.	51
Figura 12 – Relevo da unidade geomorfológica Complexos Deltaicos, Estuarinos e Praias ou Planícies Litorâneas, marcado por dunas no litoral do extremo norte Localidade: Município Conceição da Barra – Itaúnas (ES).....	54

Figura 13 – Relevo típico da unidade geomorfológica Tabuleiros Costeiros, marcado por falésias no litoral. Localidade: Município de Serra – Nova Almeida (ES).....	55
Figura 14- Potenciais de Água Subterrânea do Brasil.....	58
Figura 15-Mapa Hidrogeológico do Brasil ao Milionésimo com destaque para a área de estudo.....	60
Figura 16 - Mapa Hidrogeológico Simplificado do Estado do Espírito Santo-Espacialização Aquífero Rio Doce-Aerogeofísica e Ternário.....	62
Figura 17 - Mapa de Domínios Hidrogeológicos do estado do Espírito Santo	63
Figura 18 - Mapa de subdomínios Hidrogeológicos do estado do Espírito Santo.....	64
Figura 19 - Mapa de Produtividade Hidrogeológica do estado do Espírito Santo	65
Figura 20-- Representação esquemática do Ciclo Hidrológico: E=evaporação; ET=Evapotranspiração; I= Infiltração; R=escoamento superficial.	70
Figura 21-Representação da distribuição vertical da água no solo e subsolo mostrando as zonas de umidade	71
Figura 22-Classificação dos aquíferos conforme a porosidade da rocha	73
Figura 23 - Tipos de aquíferos em relação à pressão da água.	74
Figura 24 - Estruturas que controlam a ocorrência de águas subterrâneas em terrenos cristalinos:.....	77
Figura 25- Conceito de Riacho-Fenda visão da representação cartográfica.	78
Figura 26- Fluxograma apresentando a síntese das etapas seguidas no presente estudo. .	83
Figura 27- Modelo digital de elevação (Topodata processado-Shuttle Radar Topography Mission/SRTM-NASA)	85
Figura 28 - Modelo digital de elevação do estado do Espírito Santo, com aplicação de iluminações artificiais de 0°(A),elevação solar constante de 45°	87
Figura 29-Modelo digital de elevação do estado do Espírito Santo, com aplicação de iluminações artificiais de 45°(B), elevação solar constante de 45°	88

Figura 30-Modelo digital de elevação do estado do Espírito Santo, com aplicação de iluminações artificiais de 90°(C), elevação solar constante de 45°.....	89
Figura 31-Modelo digital de elevação do estado do Espírito Santo, com aplicação de iluminações artificiais de 315°(D), elevação solar constante de 45°.....	90
Figura 32- Processo de cálculo do comprimento em Quilômetros dos lineamentos no ArcGis 10.3.1 .Destaque para a coluna (campo) criada com a nomenclatura (Km)	92
Figura 33 - Processo de cálculo de densidade dos lineamentos no ArcGis 10.3.1 .Destaque para a o tipo de processamento gerando um raster.....	93
Figura 34– Erros Topológicos identificando as interseções	95
Figura 35-Etapa para exportar os erros topológicos para a feição ponto de interseção de lineamentos no ArcGis™ 10.3.1	95
Figura 36– Processo de tabulação do Banco de disponibilizado pela AGERH Declaração de Regularização do Uso de Águas Subterrâneas dos anos 2016 e 2017.....	98
Figura 37- Processo de cálculo do Kernel Density.....	102
Figura 38-Processo de cálculo de densidade kernel e sobreposição de vários pontos no ArcGis 10.3.1	103
Figura 39 - Escala Ordinal para ponderação das classes.	104
Figura 40-Organograma das variáveis e pesos atribuídos para elaboração do Mapa de Potencialidade Hídrica Subterrânea.....	110
Figura 41-Etapas do processo de elaboração do Mapa de Potencialidade Hídrica Subterrânea.....	112
Figura 42 - Mapa de lineamentos (extração manual) da porção Centro/Norte do estado do Espírito Santo, sobre a compartimentação geológica básica.	113
Figura 43 - Mapa de densidade de lineamentos (extração manual) da porção Centro/Norte do estado do Espírito Santo.....	115
Figura 44- Densidade de Lineamentos e Principais Trends Estruturais	117

Figura 45-Índice de fraturamento porção Centro/Norte do estado do Espírito Santo.....	120
Figura 46-Declividade da Porção Centro/Norte do Estado do Espírito Santo.....	122
Figura 47- Índice Pluviométrico da Área de Estudo	124
Figura 48 – <i>Distribuição dos poços produtores de água subterrânea por compartimento geológico</i>	127
Figura 49 - Localização dos afloramentos com dados estruturais coletados, distribuídos nos compartimentos do embasamento pré-cambriano e dos depósitos sedimentares cenozoicos na porção Centro/Norte do Estado do Espírito Santo.....	129
Figura 50-Densidade de falhas /estrias neotectônicas na porção Centro/Norte do Estado do Espírito Santo.	130
Figura 51- Potencialidade Hídrica Subterrânea da Porção Centro/Norte do Espírito Santo	133
Figura 52- Potencialidade Hídrica Subterrânea.....	133
Figura 53-Potencialidade Hídrica Subterrânea e Densidade de Lineamentos.....	135
Figura 54-Potencialidade Hídrica Subterrânea e Índice de Fraturamento	137
Figura 55-Potencialidade Hídrica Subterrânea e Litologia	139
Figura 56-Potencialidade Hídrica Subterrânea e Declividade	141
Figura 57- Potencialidade Hídrica Subterrânea e Pluviosidade.....	143
Figura 58-Potencialidade Hídrica Subterrânea e localização dos Poços.....	145
Figura 59-MPHS e Falhas Neotectônicas	148
Figura 60 - Densidade de falhas /estrias neotectônicas na porção Centro/Norte do Estado do Espírito Santo	149

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA	5
AGRADECIMENTOS.....	6
RESUMO	8
ABSTRACT	9
LISTA DE SIGLAS	10
ÍNDICE DE TABELAS	11
ÍNDICE DE FIGURAS.....	12
SUMÁRIO	16
1. INTRODUÇÃO	19
2. OBJETIVOS	21
2.1. OBJETIVO GERAL	21
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	21
3. ÁREA DE ESTUDO	22
3.1. LOCALIZAÇÃO E ACESSOS.....	22
3.2. CLIMA.....	24
3.3. GEOLOGIA.....	25
3.3.1. Geologia Regional	26
3.3.1.1. Embasamento Pré-cambriano.....	26
3.3.1.2. Bacia do Espírito Santo	31
3.3.1.3. Cobertura Detrítico-lateríticas.....	38
3.3.1.4. Depósitos Quaternários.....	39
3.3.1.5. Geologia Estrutural, Neotectônica e Lineamentos.....	41
3.3.2. Geologia da Área	42
3.3.2.1. Embasamento Pré-cambriano.....	42
3.3.2.2. Compartimento dos Depósitos Cenozoicos	43
3.3.2.2.1. Formação Barreiras.....	43
3.3.2.2.2. Cobertura Detrítico- Laterítico	44
3.3.2.2.3. Depósitos Quaternários.....	45
3.3.2.2.4. Bacia do Espírito Santo	46
3.4. GEOMORFOLOGIA.....	46
3.4.1. Geomorfologia Regional	46
3.4.2. Geomorfologia da área	49
3.4.2.1. Domínios Morfoestruturais, Regiões e Unidades Geomorfológicas.....	49
4. REFERENCIAL TEÓRICO E BASES CONCEITUAIS	56
4.1 ÁGUA SUBTERRÂNEA NO BRASIL	56

4.1.1	Hidrogeologia no Brasil e no Espírito Santo	56
4.1.1.1	ESTUDOS ANTERIORES DE HIDROGEOLOGIA NA ÁREA	66
4.2	ESTUDOS DE HIDROGEOLOGIA.....	68
4.2.1	CONCEITOS	68
4.2.1.1	ÁGUA SUBTERRÂNEA	68
4.2.1.2	Balanço de recarga e descarga.	70
4.2.1.3	Distribuição da Água no Subsolo	71
4.2.2	Tipos de Aquíferos	72
4.2.3	Águas Subterrâneas em Diferentes Substratos	75
4.3	Análise Estrutural Aplicado à Hidrogeologia	76
4.3.1	Neotectônica e Hidrogeologia	78
4.4	ESTUDOS DE CASO SOBRE HIDROGEOLOGIA	80
5.	MATERIAIS E MÉTODOS	83
5.1	ANÁLISES DE GABINETE	84
5.1.1	Análise de Lineamentos	84
5.1.2	Densidade de Lineamentos	92
5.1.3	Trends Estruturais	93
5.1.4	Diagrama de Rosetas	93
5.1.5	Índice de Fraturamento	94
5.1.6	Mapa de declividade	96
5.1.7	Mapa de Precipitação Pluviométrica	97
5.1.8	Poços de água subterrânea	97
5.1.9	Dados Estruturais de Neotectônica	99
5.1.10	Densidade de Falhas/Estrias neotectônicas	102
5.1.11	Mapa de Potencialidade Hídrica Subterrânea	103
5.1.11.1	Atribuição de notas para as classes das variáveis analisadas	105
5.1.11.2	Atribuição de valores de peso às variáveis analisadas	108
5.1.11.3	Integração das informações das variáveis analisadas (Análise Multicritério).....	110
6.	RESULTADOS	112
6.1	ANÁLISES DE GABINETE	112
6.1.1	Análise de Lineamentos	112
6.1.2	Densidade de Lineamentos	114
6.1.3	Trends Estruturais	116
6.1.4	Índice de Fraturamentos	118
6.1.5	Mapa de Declividade	121
6.1.6	Mapa de Precipitação Pluviométrica	123

6.1.7	Poços de água subterrânea.....	125
6.1.8	Dados Estruturais de Neotectônica.....	128
6.1.9	Mapa de Potencialidade Hídrica Subterrânea.....	131
7.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	134
7.1	MPHS e Densidade de Lineamentos	134
7.1.1	MPHS e Índice de Fraturamento.....	136
7.1.2	MPHS e Litologia	138
7.1.3	MPHS e Declividade.....	140
7.1.4	MPHS e Pluviosidade	142
7.1.5	MPHS e Poços.....	144
7.1.6	MPHS e Dados Neotectônicos	146
8.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	150
9.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	152

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos tem se observado uma crescente discussão e preocupação da comunidade científica e sociedade em geral sobre o tema hídrico e os problemas que impactam a água ao redor do mundo. A exploração de água subterrânea em grande escala acaba por tornar este recurso mais escasso a cada dia e as faltas de políticas públicas voltadas para o uso racional, acabam por contribuir com o uso desenfreado deste bem. Sendo assim, a discussão de novas formas de obtenção do recurso água, seu planejamento, conservação e sua recuperação, torna-se cada dia mais importante.

No Brasil, durante a primeira metade do século XXI, as ações desenvolvidas para hidrologia de águas subterrâneas concentravam-se quase em sua totalidade na região nordeste do país e restringiam-se apenas à perfuração de poços para ações emergenciais contra a seca (ANA,2012).Essas ações não se preocupavam em realizar estudos básicos para avaliação de recursos disponíveis e um planejamento de uma política que garantisse a administração e a convivência desta água nas regiões com seca permanente (ANA,2012).

Há uma escassa bibliografia a respeito de Água Subterrânea no estado do Espírito Santo, com os principais estudos realizados recentemente (EVANGELISTA, 1998; MOURÃO, 2002; MOURÃO *et al.*, 2002; CPRM,2007;CARDOSO *et al.*, 2012; CARDOSO e MARTINS, 2012).

A porção centro/norte do Espírito Santo apresenta características climatológicas que potencializam o déficit hídrico, devido, especialmente ao déficit pluviométrico e a irregularidade de chuvas. Em 2004 foi elaborado um documento pelo Programa de Ação Nacional de Combate à Desertificação (PAN-BRASIL) que classificou 23 municípios do norte/noroeste do Espírito Santo como áreas susceptíveis à desertificação, desses 23 municípios, 14 estão inseridos na área de estudo (PAN-BRASIL, 2004).

A Associação Brasileira de Águas Subterrâneas (ABAS) realiza anualmente um evento sobre água subterrânea onde são publicados diversos artigos. Destacam-se

os vários trabalhos estão sendo realizados no Brasil sobre o tema hidrogeologia (MATIUZZI e MARQUES, 2019; MARCUZZO, 2018; REBOUÇAS, 2011)

Os estudos sobre a gestão integrada dos recursos hídricos e a avaliação dos benefícios do uso conjunto de águas superficiais e subterrâneas ocorrem em todas regiões brasileiras (MATIUZZI e MARQUES, 2019). Exemplo destes estudos é a caracterização dos diferentes sistemas de aquíferos e hidroestratigráficos que estão sendo estudados nas bacias hidrográficas da região Sul do Brasil. (MATIUZZI e MARQUES, 2019).

Diante do exposto, observa-se a necessidade de utilizar outros meios para solucionar o déficit hídrico do centro/norte do estado do Espírito Santo, tais como: novos métodos de irrigação, políticas para o consumo consciente de água nas indústrias e lavouras podem contribuir para a redução da perda e consumo desenfreado dos recursos hídricos.

Outro método pode ser a perfuração de poços para a captação de água subsuperficial. Segundo a Agência Estadual de Recursos Hídricos (AGERH) a exploração de água subterrânea cresceu exponencialmente no norte do estado a partir das últimas secas no estado do Espírito Santo nos anos de 2014 e 2015, demandando assim uma necessidade emergencial de uma regulação (AGERH, 2017).

Um desafio enfrentado nesta pesquisa foi a determinação dos pesos das variáveis para elaboração do Mapa de Potencialidade Hídrica Subterrânea (MPHS), uma vez que as variáveis escolhidas nesse trabalho são importantes para análise de captação de água subterrânea. Um meio de contornar tal dificuldade foi privilegiar a análise de lineamentos, integrada à análise de dados estruturais, uma vez que essas variáveis correspondem diretamente, segundo as literaturas (CPRM, 2008) (MANOEL FILHO, 2008), (BRICALLI, 2011), locais de armazenamento de água, hidrocarbonetos, etc.

O apontamento de áreas favoráveis para a captação de água subterrânea para a população local foi um dos fatores de motivação para o desenvolvimento do presente estudo, ressaltando-se que os estudos para indicar tais áreas favoráveis à prospecção de águas subterrâneas são relevantes do ponto de vista socioeconômico, tendo implicações, por exemplo, no consumo humano,

dessedentação de animais, uso na pecuária e principalmente na irrigação de lavouras.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

Esta dissertação de mestrado possui como principal objetivo indicar áreas de favorabilidade hidrogeológica na porção centro-norte do Estado do Espírito Santo, com a utilização de produtos gerados a partir de técnicas de Geoprocessamento e dados Neotectônicos, a fim de contribuir com a temática da Hidrogeologia no Estado do Espírito Santo.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos da pesquisa correspondem a:

- Discutir a relação entre fraturamentos, falhamentos e aquíferos.
- Relacionar dados estruturais, drenagem, litologia e relevo.

3. ÁREA DE ESTUDO

Nesse trabalho, a área de estudo é caracterizada segundo os aspectos de clima, geologia e geomorfologia. Os três aspectos são considerados e analisados como de maior importância para o trabalho, sendo assim os mesmos são descritos com maior nível de detalhe.

3.1. LOCALIZAÇÃO E ACESSOS

A área de estudo está situada no centro norte Estado do Espírito Santo que por sua vez encontra-se na região Sudeste do Brasil. O mesmo faz divisas com os estados da Bahia ao Norte, Minas Gerais à oeste e noroeste, Rio de Janeiro ao sul e ao oceano Atlântico à leste. Conta com uma área de aproximadamente 46.089,390. km² segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE,2015). As vias de acesso são formadas por uma malha de rodovias federais e estaduais (Figura 1).

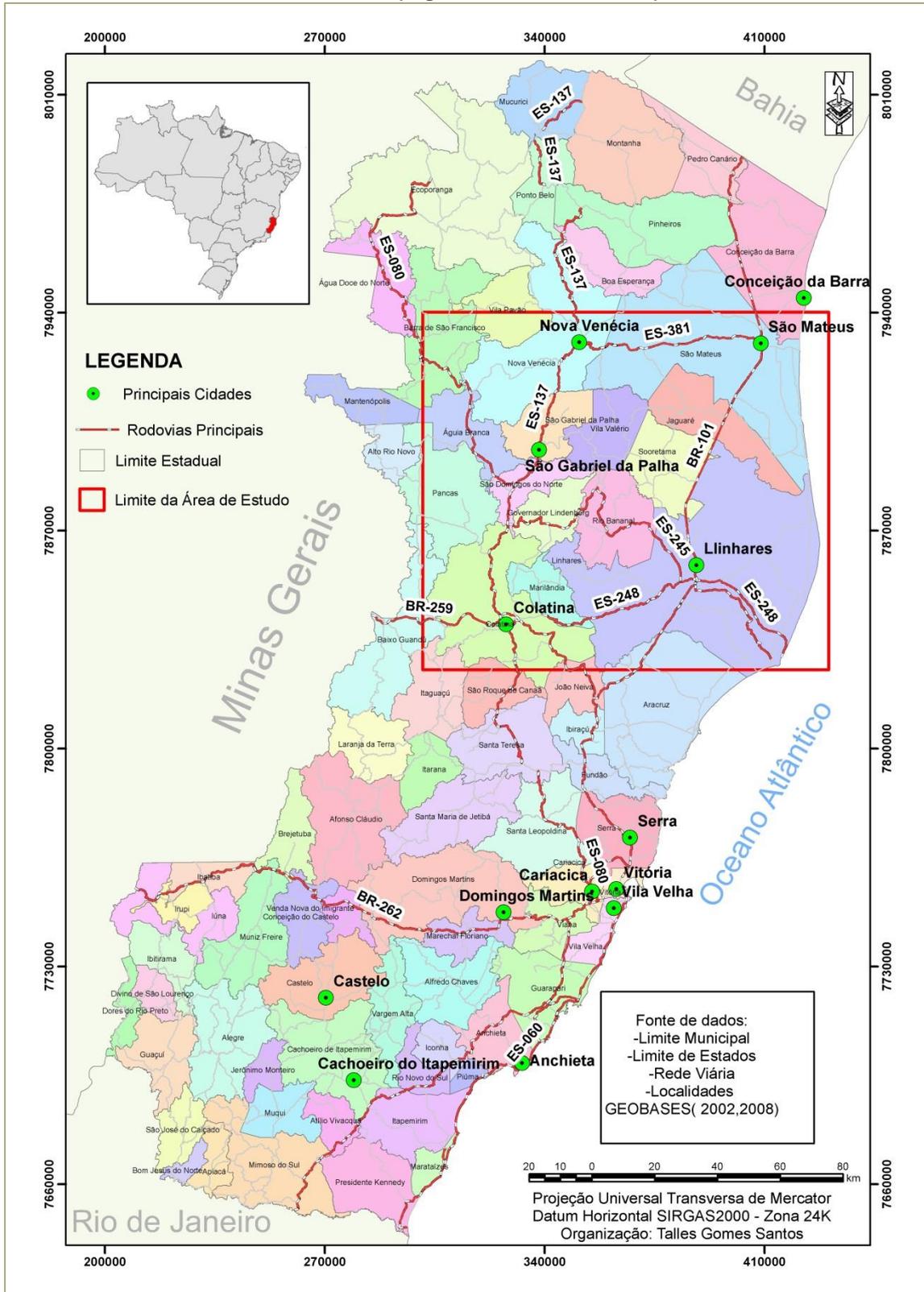
A rodovia federal BR-101, uma das mais importantes do país, atravessa o estado de norte a sul ligando os estados da Bahia e do Rio de Janeiro tornando-se uma importante ligação do estado com os demais estados vizinhos. Outra importante ligação do estado é a BR-259, que liga João Neiva a Colatina e a BR-262, que liga Viana à Ibatiba, e fazem a importante ligação com o estado de Minas Gerais. Estas por sua vez, tornam-se as principais rodovias federais do estado.

Existem diversas rodovias estaduais no estado do Espírito Santo, porém para este estudo são identificadas como principais as rodovias: ES-080 ligando o município de Colatina a São Gabriel da Palha, ES-137 ligando São Gabriel da Palha a Nova Venécia, ES-245/ ES-248 ligando Colatina a Linhares margeando o Rio Doce e ES-381 ligando São Mateus a Nova Venécia.

Podem ser destacadas as cidades de Vitória Vila Velha, Serra e Guarapari, na região da Grande Vitória; São Mateus, Linhares, Colatina e Nova Venécia, na região Norte/Noroeste do estado; Anchieta, Castelo, e Cachoeiro de Itapemirim, no

sul do estado. Cidades estas que representam pólos industriais e influência em outras importantes cidades e apresentam ascendência econômica expressiva.

Figura 1- Principais cidades, rodovias do estado do Espírito Santo com destaque para área de Estudo (região sudeste do Brasil).



3.2. CLIMA

AMARANTE *et al.*,(2009) pela Agência de Serviços Públicos de Energia do Espírito Santo (ASPE), publicou o Atlas Eólico do Espírito Santo em que caracteriza e diagnostica o clima do Espírito Santo como predominante, o clima tropical quente, com claras exceções para Vitória e o litoral norte, onde encontra-se o clima tropical quente superúmido e para a região de maiores altitudes, constata-se a ocorrência do clima mesotérmico brando.

O relevo complexo do Espírito Santo é decisivo para a caracterização do clima, que apresenta as temperaturas mais amenas à oeste e as temperaturas máximas nas planícies costeiras.(AMARANTE,2009)

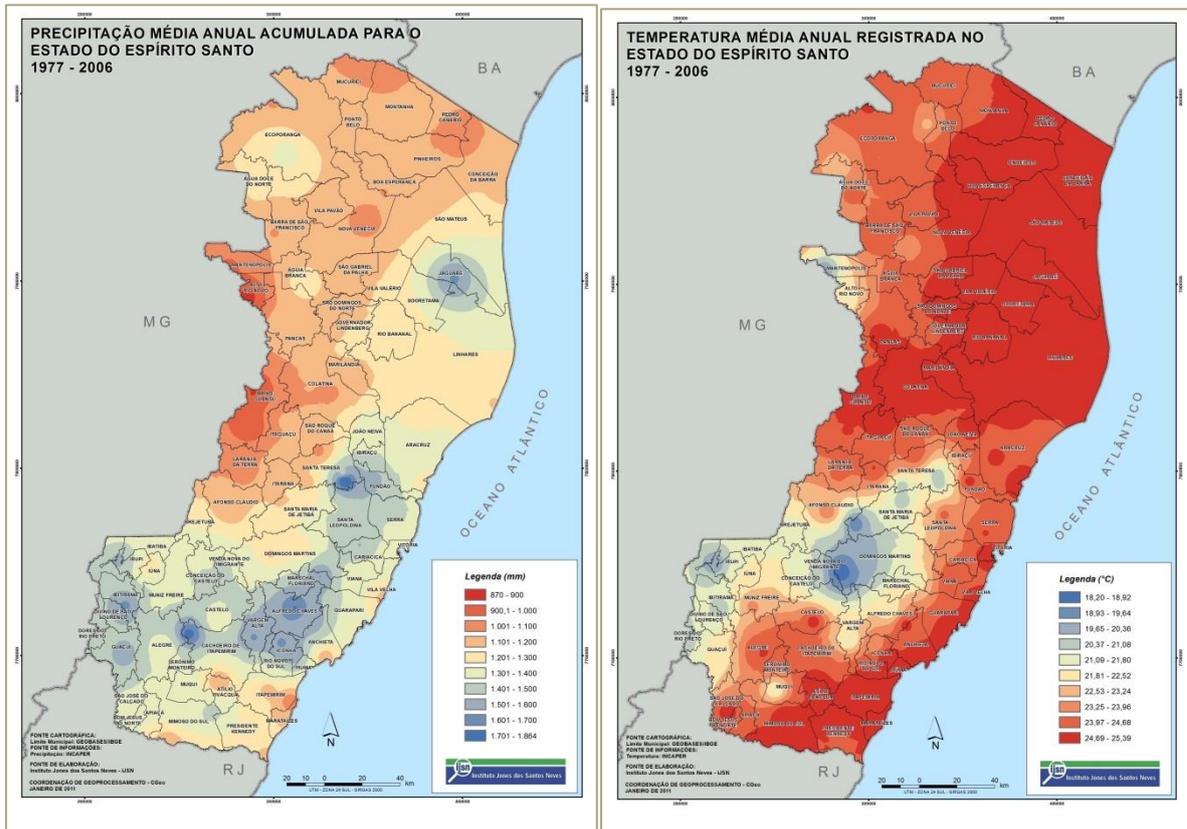
Na maior parte do território do estado, as temperaturas médias são superiores a 18°C durante todos os meses do ano. Excluindo-se as áreas mais elevadas da região serrana, onde o clima é mesotérmico mediano, com temperaturas atingindo médias inferiores a 10°C nos meses mais frios.

Para a região da área de estudo, o RADAMBRASIL (1997) caracteriza que a pluviosidade pode alcançar níveis médios pluviométricos anuais de 800mm a 1000mm. Em tal área, o período em que predominam as chuvas é o do final da primavera e do verão. Entretanto esta separação dos períodos chuvosos não é muito nítida à leste, onde encontra-se grande parte da área de estudo. Nesta área, de precipitação não concentrada em determinado período de tempo, é classificada como de clima úmido a subúmido e pode sofrer variações de pluviosidade e destacar-se por médias abaixo do normal.

Segundo Bricalli, (2011) o estado do Espírito Santo apresenta níveis pluviométricos variando de 860 a 1800 mm. A Serra da Mantiqueira influencia na precipitação devido a suas altitudes elevadas e por ter orientação paralela ao litoral, no sentido WSW-ENE, opondo-se à circulação das frentes polares e às linhas de sistema de circulação perturbada de oeste, com suas escarpas bloqueando as correntes de chuvas frontais de sul e sudeste, funcionando como obstáculo montanhoso à ascendência dinâmica, aumentando localmente as precipitações (IBGE, 1977 apud BRICALLI, 2011). A porção norte do estado é a que apresenta os menores índices pluviométricos e os maiores valores de deficiência hídrica, em

oposição à porção sul do estado, onde estão a Serra da Mantiqueira e a Serra do Caparaó. (Figura 2)

Figura 2 - Mapa de Precipitação Média Anual e Temperaturas Médias Anuais do Espírito Santo (Série Histórica de 1977 a 2006).



Fonte: Instituto Jones dos Santos Neves (IJSN,2011)

3.3. GEOLOGIA

Segundo Bricalli (2011) e Bricalli e Mello (2013) o estado do Espírito Santo pode ser dividido em 2 (dois) grandes compartimentos geológicos: i) Compartimento do Embasamento Pré-cambriano, a oeste do estado, composto por rochas ígneas e metamórficas plutônicas do proterozóico e; ii) Compartimento dos Depósitos Sedimentares Cenozoicos, composto por rochas sedimentares da *Formação Barreiras*

¹e pelos depósitos quaternários marinhos na porção emersa da Bacia do Espírito Santo.

A Geologia Regional será descrita conforme a gênese das rochas num contexto geotectônico, abordando a origem do Compartimento do Embasamento Pré-cambriano através do entendimento da Província Geotectônica e Faixa Móvel, além dos lineamentos e neotectônica.

3.3.1. Geologia Regional

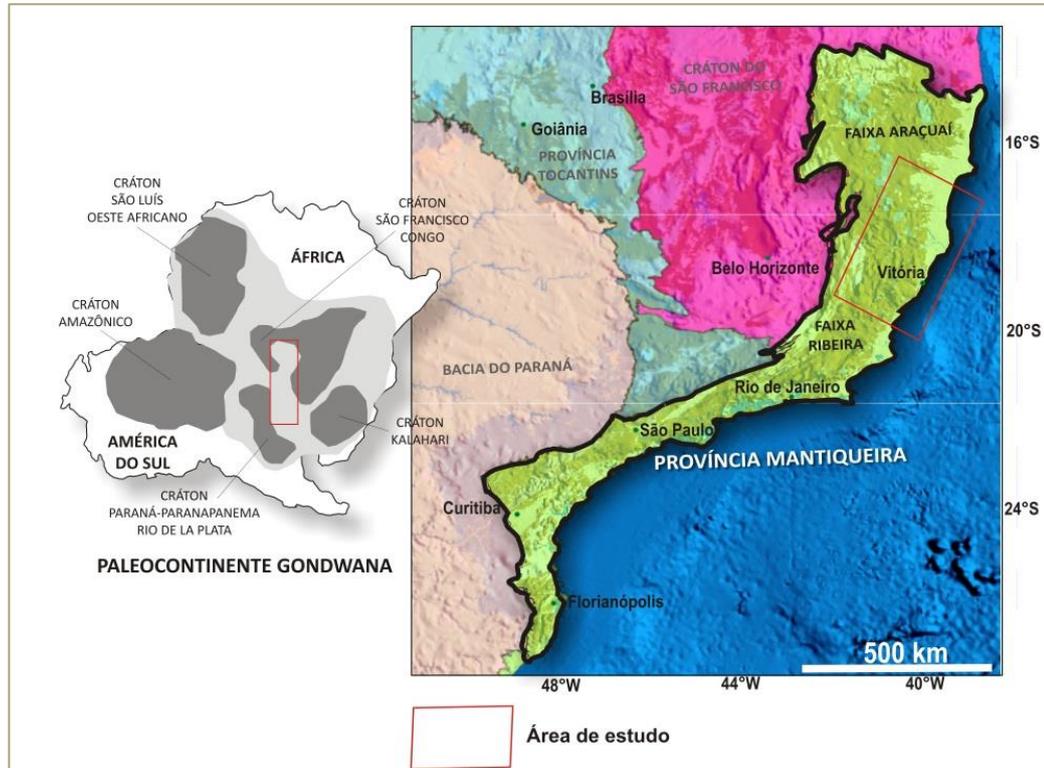
A geologia do Espírito Santo pode ser dividida em duas importantes partes: i) Embasamento Pré-cambriano constituído basicamente de rochas ígneas e metamórficas; e ii) Depósitos sedimentares cenozoicos, constituintes da Formação Barreiras e de depósitos quaternários da bacia do Espírito Santo. (Figura 5)

3.3.1.1. Embasamento Pré-cambriano

As rochas do embasamento Pré-cambriano no Espírito Santo pertencem à *Província da Mantiqueira*, onde, em sua porção setentrional corresponde ao Orógeno Araçuaí e no extremo sul ao Orógeno Ribeira (BRICALLI, 2011) desenvolvidas na borda sudeste do Cráton do São Francisco durante o Ciclo Brasileiro (Figura 3 e Figura 4) (ALMEIDA, 1977; HEILBRON *et al.* 2004)

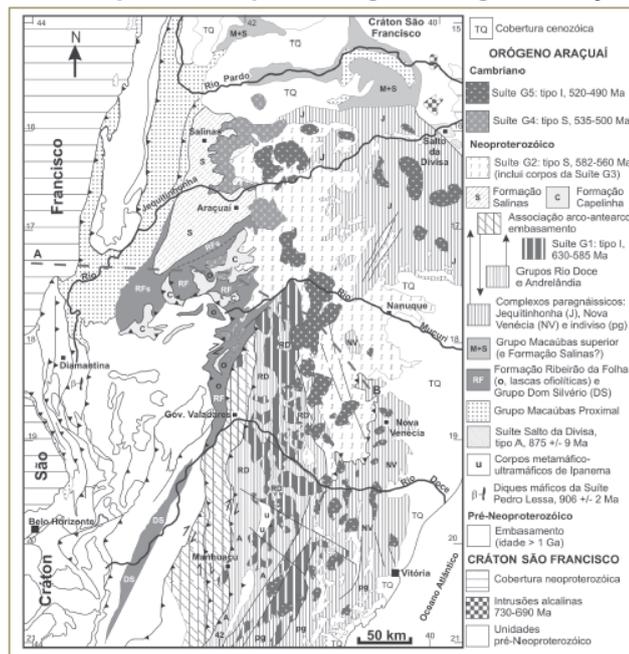
¹ Segundo Bezerra (2001), os sedimentos da *Formação Barreiras* se constituem na última rocha sedimentar terciária do Nordeste do Brasil formada na história da abertura do Atlântico, representada pela sequência sedimentar ao longo de mais de 4.000 km do litoral.

Figura 3- Mapa das províncias estruturais presentes na região Sudeste do Brasil, sobre modelo digital de elevação, associadas à evolução do paleocontinente Gondwana (O retângulo em vermelho delimita a Província Mantiqueira no paleocontinente Gondwana) (à esquerda). Destaque para a área estudo na Província Mantiqueira (à direita), abrangendo porções da Faixa Ribeira e da Faixa Araçuaí.



Fonte: Modificado de Bizzi et al., 2003). Extraído de Bricalli, (2011)

Figura 4 - Mapa Geológico Orógeno Araçuaí.



Fonte: (Pedrosa-Soares et al., 2007)

O Orógeno Araçuaí se estende do Cráton São Francisco até o litoral atlântico, está localizado entre os paralelos 15° e 21°, sendo que, no paralelo 21° se observa uma transição do Orógeno Araçuaí para o Ribeira, essa mesma transição tem como característica a mudança da estruturação que passa de uma direção NNE, a norte, para NE, a sul (Heilbron *et al.*, 2004 apud Bricalli ; 2011).

A compartimentação tectônica do Orógeno é subdivida em três domínios principais (Heilbron *et al.*, 2004 apud Bricalli ; 2011), são eles:

i) Domínio externo, que faz fronteira com o Cráton do São Francisco e tem como principal característica uma faixa de dobramentos e empurrões. Possui transporte tectônico contra o Cráton do São Francisco e no limite oriental faz fronteira com o Grupo Macaúbas, a oeste se localizam os níveis crustais mais profundos originados na Orogênese Brasileira;

ii) Domínio interno, núcleo metamórfico-anatético do orógeno e com ocorrência de grande quantidade de rochas originadas em diferentes estágios da Orogênese brasileira. À sul do paralelo 19° existe uma região com rochas de alto grau metamórfico; a norte desse mesmo paralelo existe uma zona de anatexia *sin* e pós-colisional, rica em granitos do tipo S e na parte ocidental do domínio predomina o transporte tectônico para sudoeste;

iii) Inflexão setentrional, caracterizada por feições tectônicas com estruturas brasileiras para leste. Apresenta característica dos dois domínios quanto a seu metamorfismo. O mesmo cresce em grau de norte para sul, começando na fácies xisto verde no dentro do limite cratônico, indo até a fácies anfibolito no território do núcleo metamórfico-anatético.

O Orógeno Araçuaí passou por estágios evolutivos orogênicos: Bacia precursora do Orógeno Araçuaí (fase rifte); estágio transicional entre as fases rifte e de margem passiva. Posteriormente, ocorreram os estágios orogênicos *pré*-colisional (630-565 Ma), *sin*-colisional (585-565 Ma), *tardi*-colisional (565-535 Ma) e *pós*-colisional (520-490 Ma) (HEILBRON *et al.*, 2004 apud Bricalli;2011).

O estágio *pré*-colisional ocorreu no Neoproterozóico (630-565 Ma) e caracteriza-se litologicamente por tonalitos e granodioritos, havendo também

dioritos subordinados e enclaves máficos, além da margem continental ativa formada em ambiente de arco magmático. O estágio *sin*-colisional data do Neoproterozóico tardio ao Cambriano (585-565 Ma), e sobressaem-se os compostos de granada-biotita granito, de características cálcio-alcálico.

O estágio *tardi*-colisional, datado do Neoproterozóico tardio ao Cambriano (565-535 Ma), com composição de granada-cordierita e leucogranito, de maneira predominante, e traços de plútons graníticos, com assinatura cálcio-alcálica de alto teor de "K". No Cambriano Tardio (520-490 Ma) ocorreu o estágio *pós*-colisional, cuja composição predominante varia do granito ao sienogranito, porfirítico a subporfirítico, com presença de enclaves máficos e xenólitos de rocha encaixante (BRICALLI,2011)

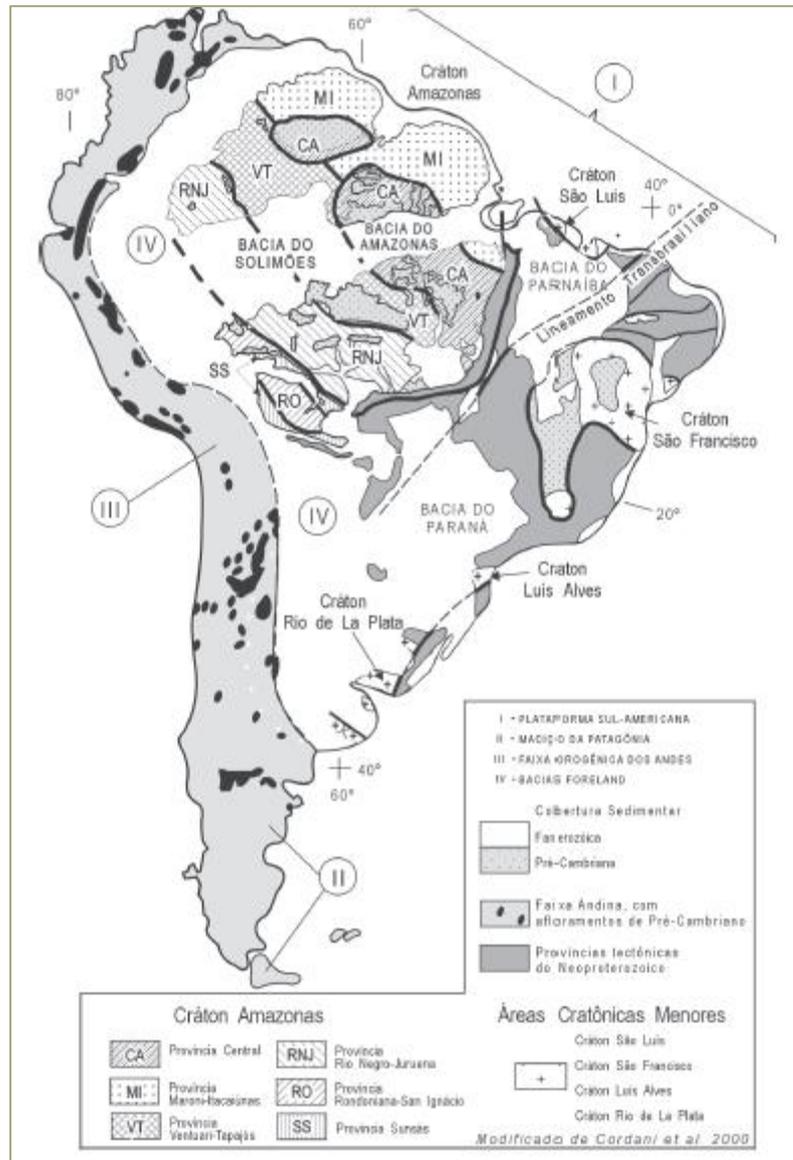
3.3.1.2. Bacia do Espírito Santo

Segundo Morais (2007) a Bacia do Espírito Santo (Figura 07) possui uma faixa alongada a sul, que é delimitada pelo Alto de Vitória; a oeste a mesma é delimitada pelo embasamento cristalino Pré-cambriano da Faixa Ribeira e a norte o limite é arbitrário. Possui uma área explorável de aproximadamente 41.500 km², dos quais 3.000 km² referem-se à bacia terrestre, considerando a fronteira leste coincidente como limite crosta continental/oceânica. No passado, a Bacia do Espírito Santo era descrita, costumeiramente, junto a Bacia de Mucuri. Entretanto, a individualização das duas bacias se dá mais por critérios geográficos do que por geológicos.

O preenchimento da bacia é guiado por três fases evolutivas. São elas: *Rifte*, transição e marinha.

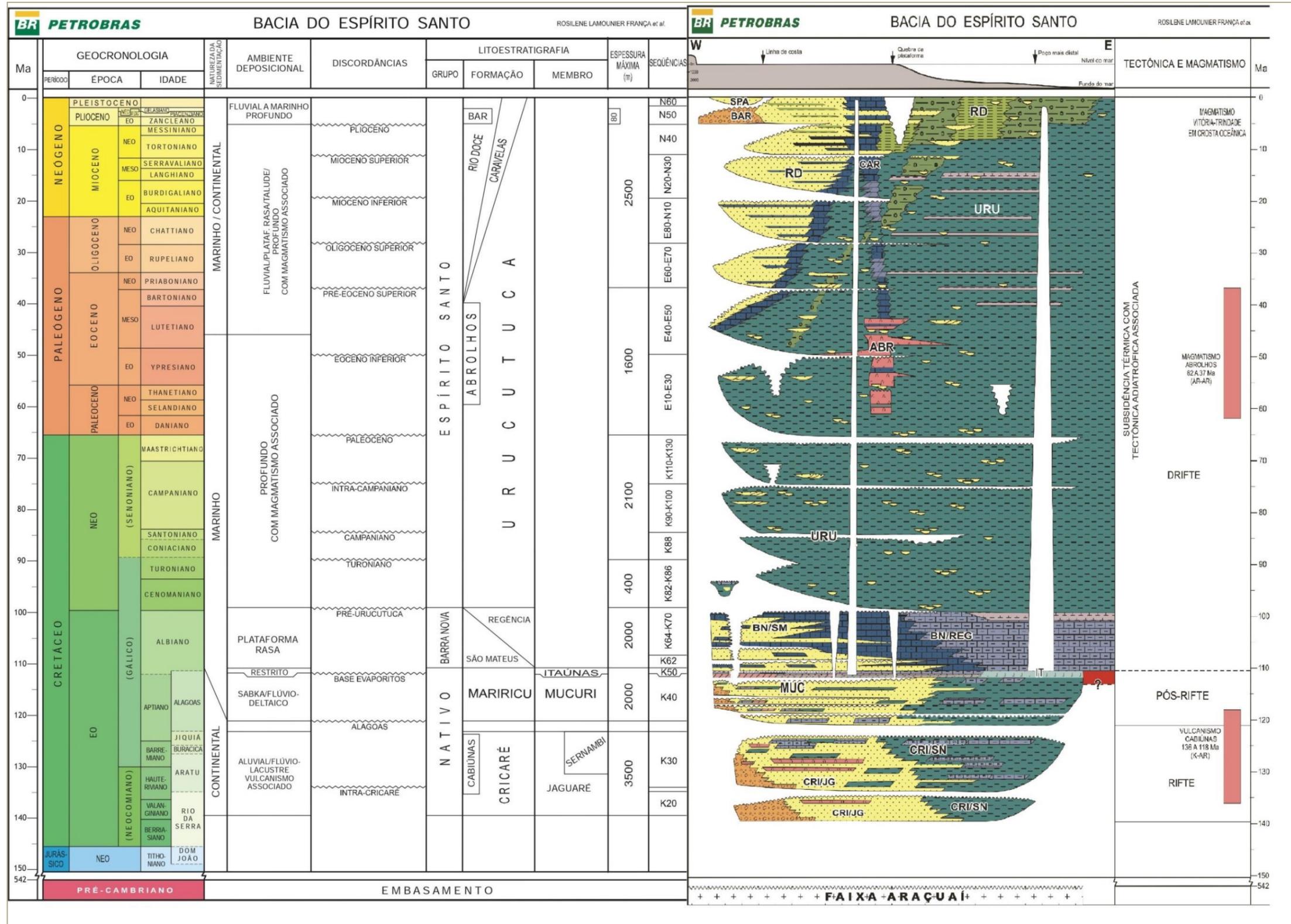
A existência do Banco de Abrolhos, a leste, atribui à bacia uma fisiografia particular, evidenciada por um alargamento da plataforma continental, que de uma média de 40 km de largura a sul alcança cerca de 240 km na porção centro-norte. (França *et al*; 2009)

Figura 6-. Localização das bacias sedimentares brasileiras identificadas pelo tipo e pela idade geológica de seu preenchimento litológico.



Fonte:(CPRM, 2003).

Figura 7- Carta litoestratigráfica da Bacia do Espírito Santo.



Fonte: França et al. (2007)

A fase *Rifte* (continental) corresponde ao início da formação da bacia do Espírito Santo, iniciando com a separação do supercontinente Gondwana no Jurássico. Essa fase é caracterizada por esforços distensivos predominantes, onde a crosta afina-se, sendo estirada, gerando falhas normais de direção N-S, N20-30E e NNW-SSE (França & Tokutake, 2004 apud Bricalli; 2011) (Figura 6).

Durante a geração dessas falhas formou-se uma importante feição estrutural denominada de Falha Cedro Rio-Doce (Novais, 2005 apud Bricalli; 2011). Com os movimentos das falhas, feições morfoestruturais foram formadas, como os horsts e grábens que condicionaram a sedimentação fluvio-lacustre e de leques aluviais.

A fase transicional, com idade desde o Aptiano tardio ao Albiano, é caracterizada, inicialmente, por sedimentos continentais, sucedidos por sedimentos evaporíticos em ambiente marinho restrito e clima árido (França & Tokutake, 2004 apud Bricalli, 2011).

A megassequência marinha marca o início da subsidência térmica, e é dividida em três principais intervalos: carbonático-clástico, marinho retrogradante e marinho progradante (França & Tokutake, 2004). Além da subsidência térmica, esta fase é caracterizada também por reativações de falhas NW-SE e E-W, oriundas da fase *rifte*, gerando estruturas *rollover* que se formaram em função da ocorrência de falhas lítricas.

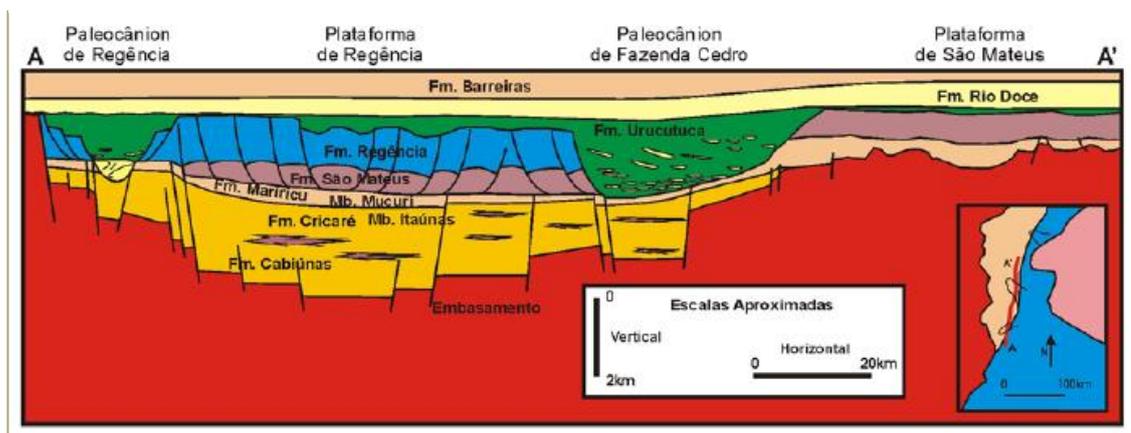
Estas, por sua vez, foram resultados do basculamento da bacia e consequente fuga do sal para porção leste e sudeste (Novais, 2005). Com o basculamento, a plataforma assume condições de mar profundo, onde foram depositadas as sequências de plataforma e talude marinho do Neocretáceo ao Quaternário.

A fase de progradação da bacia ocorre a partir do Mesoeoceno, onde acontece a maior atividade vulcânica nas regiões norte e leste da bacia. Nesse período se observa uma importante mudança na relação suprimento-subsidência/nível do mar.

A porção terrestre da bacia do Espírito Santo, recoberta por sedimentos continentais Cenozoicos, está subdividida em quatro regiões morfoestruturais: Plataforma de São Mateus, Paleocânion de Fazenda Cedro, Plataforma de Regência

e Paleocânion de Regência. Cortando essas regiões há uma importante feição estrutural de direção N-S, assinalada por falhas de grande rejeito vertical em alguns locais e brusca variação no pacote sedimentar, conhecida como sistema de falhas Cedro-Rio Doce (França & Tokutake, 2004 apud Bricalli). Na porção terrestre da bacia, afloram sedimentos paleogênicos e neogênicos relacionados às formações Rio Doce (Eoceno-Mioceno) e Barreiras (Mioceno-Plioceno), conforme discutido por Morais (2007) (Figura 8).

Figura 8-Porção terrestre da bacia do Espírito Santo, subdividida em quatro regiões morfoestruturais



. Fonte: Biassusi *et al.* (1990, modificado por Morais, 2007) in Morais (2007) apud Bricalli (2011)

A Formação Rio Doce foi definida por Asmus *et al.* (1971), ao estudar os sedimentos do poço ESS-2, perfurado na foz do Rio Doce. A denominação foi tomada do Rio Doce, que possui sua foz e seu curso inferior situado dentro dos limites da Bacia do Espírito Santo, onde se localizava o poço da Petrobras ESS-2. A seção sedimentar, provavelmente relacionada ao paleo-delta desse rio, atravessada pelo poço ESS-2, foi tomada como seção-tipo para esta formação, no intervalo entre 60 e 3.305 metros (Asmus *et al.*, 1971 apud Vieira 2015)

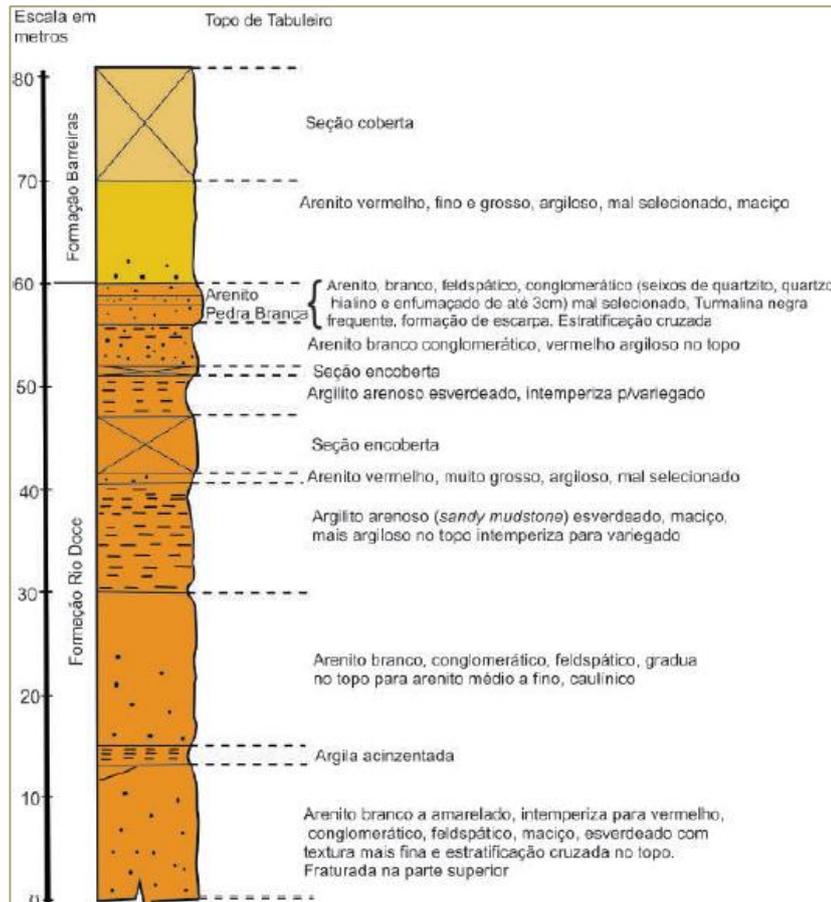
De acordo com Piazza & Araújo (1972), na superfície, esta unidade está mais amplamente exposta nas encostas marginais do Rio São Mateus, a partir de Nestor Gomes para leste, até a BR-101. Prolonga-se ao norte, indo aflorar nas encostas do Rio Itaúnas, 1 a 2 km a sul da localidade de Pedro Canário. Para sul, aflora na localidade de Barra Seca, em uma pequena vertente ao lado da estrada, 10 a 20 metros ao norte da baixada, voltando a expor-se na margem da Lagoa Juparanã, a 2

km a leste da Ilha do Imperador. A derradeira ocorrência sul da unidade foi encontrada no corte da BR-101, na localidade de Guaraná, logo ao norte da ponte que cruza o pequeno riacho lá existente. (Vieira *et al*;2015)

A Formação Rio Doce é formada por arenitos médios a muito grossos, quartzosos, feldspáticos, de cor cinza-esverdeada, maciços ou com estratificações cruzadas, mal selecionadas, pouco lamosas e silicificados. A Formação Rio Doce se encontra sotoposta à Formação Barreiras e pode ser interpretada como depósitos de rios entrelaçados arenosos, perenes e profundos com variação para um modelo de rios entrelaçados cascalhosos e profundos. Esses mesmos depósitos sofreram influência dos lineamentos da Faixa Colatina (Morais, 2007 *apud* Bricalli 2011).

De acordo com Piazza & Araújo (1972) a melhor e mais completa exposição desta unidade foi encontrada na Fazenda São Pedro, localizada a 33 km a oeste de São Mateus, onde foi medida e descrita em detalhe (Figura 9). Os autores não reconheceram o contato inferior da Formação Rio Doce em superfície. Em sísmica, o contato demonstra ser concordante com a Formação Urucutuca. Na região de Guaraná, a sul de Linhares, a Formação Rio Doce repousa discordantemente sobre o embasamento (Piazza & Araújo, 1972), o que sugere que, no sentido da borda oeste da bacia, ocorra um truncamento progressivo das unidades sotopostas.

Figura 9- Seção geológica da Fazenda São Pedro, Escala 1:500. Notar que naquela época denominava-se Fm. Barreiras ao invés de Grupo Barreiras.



Fonte: Vieira *et al*, (2015) adaptado de Piazza & Araújo, 1972.

A denominação Barreiras foi empregada pela primeira vez por Moraes Rêgo (1930, *apud* Morais 2006) para descrever depósitos arenosos e argilosos, de cores variadas, normalmente muito ferruginizados, identificados nos baixos platôs amazônicos e nos tabuleiros da costa do norte, nordeste e leste brasileiro. Vieira *et al* (2015)

Sendo assim, Moraes Rêgo (1930 *In*: Ramalho, 1984, *apud* Morais 2007) sugeriu chamar estes sedimentos de “série das barreiras”, descrevendo-os como “leitos de argilas de cores variadas, geralmente vivas, vermelhas, verdes, brancas ou mosqueadas, com leitos de areias inconsistentes e concreções ferruginosas, que formam blocos ou massas lenticulares e cuja origem explica-se por uma circulação de águas em condições climatológicas severas”.

Bricalli, (2011) define a Formação Barreiras como uma unidade estratigráfica descrita ao longo do litoral brasileiro desde o Rio de Janeiro até o Amapá,

recobrando as sucessões mesozoicas de diversas bacias costeiras em uma ampla extensão territorial. O termo “Barreiras” originou-se da morfologia de extensos tabuleiros cortados por falésias junto à linha de costa. No estado do Espírito Santo, a Formação Barreiras distribui-se descontinuamente ao longo da costa, com uma dominância na porção norte do estado, e ocorrência bem mais restrita a sul de Vitória.

Morais (2007 apud Bricalli, 2011) caracterizam a litologia da Formação Barreiras como de predominância em arenitos quartzosos, caulíníticos, podendo variar de maciços a estratificados com intervalos lamíticos. Os depósitos desta unidade são bastante ferruginizados, quando muito intensas podem ocorrer porções com formação de concreções ferruginosas.

3.3.1.3. Cobertura Detrítico-lateríticas

Vieira *et al.* (2015) aborda que as coberturas detrítico-lateríticas estão localizadas na porção oeste da margem sul do Rio Doce e são datadas do Cenozoico. A constituição litológica da mesma é caracterizada por sedimentos detríticos areno-argilosos friáveis, de cor avermelhada a marrom-avermelhada escura, com cascalhos rolados de espessura variando de centimétrica a métrica e solos lateríticos ferruginosos.

Litologicamente são compostas por sedimentos areno-argilosos a conglomeráticos, mal selecionados, de cor branca a branco-amarelada, com percolação de óxido de ferro, fazendo com que a cor assumam tonalidades variadas, de idade do Terciário tardio ao Quaternário (Machado Filho *et al.*, 1983; Silva *et al.*, 1987 *apud* Bricalli 2011).

Os depósitos se encontram entre as cotas 900 a 700 metros e entre 400 a 250 metros. As cotas mais baixas possuem relevo escarpado nas bordas, drenagem detrítica e vegetação arbustiva. Nas cotas mais elevadas existe escassez de drenagens e vegetação de mata densa (Vieira *et al.*, 2015).

Nas cotas mais elevadas é possível ver um relevo de textura lisa, pobre em drenagem, com uma vegetação predominantemente de mata densa, cuja grande parte cedeu lugar ao plantio de cafezais e pastagens.

3.3.1.4. Depósitos Quaternários

A sedimentação quaternária representada neste estudo se concentra em sua maior expressividade nas planícies sedimentares dos rios Doce, São Mateus e Barra Seca que estão em grande parte inseridos na área de estudo. Uma vez que essa sedimentação está representada por sedimentos marinhos e continentais. (terraços arenosos pleistocênicos, terraços arenosos holocênicos, pântanos e mangues holocênicos, depósitos fluvio-lagunares holocênicos, depósitos aluvionares holocênicos) (Machado Filho *et al.*, 1983; Silva *et al.*, 1987; Martin *et al.*, 1997 *apud* Bricalli, 2011) que serão abordados com maior detalhe.

Terrenos arenosos pleistocênicos –

São formados por sedimentos arenosos brancos em sua superfície e gradativamente mais escuros em profundidade, atingindo um tom acastanhado. A cor escura se deve ao acúmulo de matéria orgânica. Apresentam estruturas sedimentares singenéticas como estratificações cruzadas de baixo ângulo e espinha-de-peixe (Vieira *et al* 2015).

➤ *Terraços arenosos holocênicos –*

Nas desembocaduras do rio Doce ocorrem terraços marinhos de areias holocênicas, os quais não se encontram impregnados de ácidos húmicos e exibem alinhamentos de cristas praias contínuos e poucos espaçados.

Em alguns trechos do litoral, principalmente na planície costeira do rio Doce, afloram por debaixo das cristas praias, arenitos de praia. Outros afloramentos são conhecidos ao sul da foz do rio Jucu e ao norte do Meaípe, onde ocorrem na zona de intermarés. Muehe & Ignarra (1984) *apud* Vieira (2015) descreveram a ocorrência de bancos de arenito de praia submersos em Itaipuaçu, testemunhando provavelmente uma fase de nível marinho mais baixo do que o atual.

➤ *Pântanos e mangues holocênicos –*

Caracterizado pela frequência de argilas com matéria orgânica, também se encontra areias quartzosas finas e grossas, mal e moderadamente selecionadas, assim como, siltes argilosos, areias silticas arenosas e turfa. Associados a sedimentos de lagos e pântanos, localizados quase que em sua totalidade na região de Linhares (Machado Filho *et al.*, 1983; Silva *et al.*, 1987).apud Bricalli (2011).

Quanto aos mangues, são caracterizados por sedimentos, em geral, pelíticos, localmente arenosos e quase sempre ricos em matéria orgânica, podendo conter fragmentos de madeira e conchas de moluscos.

São especialmente desenvolvidos na região de Conceição da Barra, no baixo curso do rio São Mateus. Logo ao sul, desenvolvem-se nas margens do rio Paricu, em virtude da abertura da Barra Nova.

Ao sul da planície costeira do rio Doce, os depósitos de manguezais são particularmente desenvolvidos na região de Santa Cruz, penetrando mais ou menos profundamente no continente. (Vieira *et al* 2015)

➤ *Depósitos fluvio-lagunares holocênicos –*

Os depósitos fluvio-lagunares estão distribuídos, principalmente, nas calhas dos rio Itaúnas, São Mateus e Doce, além de afluentes nas proximidades da foz . São representados essencialmente por areias e siltes argilosos ricos em matéria orgânica.

Durante uma fase de submersão ocorrida antes de 5.100 anos, o litoral foi invadido pelo mar, levando à formação de sistemas lagunares que se estabeleceram atrás de ilhas-barreiras situadas, principalmente, na foz do rio Doce. A regressão do nível relativo do mar, provocou a seca dessas lagunas, ao mesmo tempo em que eram colmatadas e substituídas por áreas pantanosas. A subida do nível do mar que ocorreu entre 3900 e 2500 anos promoveu a reocupação parcial dessas lagunas. (Vieira *et al*, 2015)

➤ *Depósitos aluvionares holocênicos –*

Os depósitos aluvionares são caracterizados como arenosos, uma pequena parcela se apresenta com presença de silte, argila e cascalho. Foram mapeados principalmente nos rios Doce e São Mateus. Entretanto, há a ocorrência em outros rios ao longo de todo o estado do Espírito Santo. (Machado Filho *et al.*, 1983; Silva *et al.*, 1987). *Apud* Bricalli (2011)

3.3.1.5. Geologia Estrutural, Neotectônica e Lineamentos.

A mais importante feição estrutural no estado do Espírito Santo corresponde a um conjunto de lineamentos de direção NNW e NW que se inicia a sul de Vitória, passando pela cidade de Colatina e terminando, a noroeste, no limite com o estado de Minas Gerais. Este conjunto é denominado Alinhamento Vitória-Ecoporanga (Machado Filho *et al.*, 1983; Silva *et al.*, 1987) *apud* Bricalli (2011), Zona de Cisalhamento Colatina (Chang *et al.*, 1992) *apud* Bricalli (2011) ou Faixa Colatina (Novais *et al.*, 2004; Novais, 2005).

Silva *et al.* 1987, junto ao projeto RADAMBRASIL, aborda que o alinhamento está associado a um processo de deformação dúctil nas rochas do embasamento proterozóico. Esse mesmo alinhamento tem origem no Neoproterozóico e é reativado durante o Eopaleozóico. Segundo o autor, no Eopaleozóico correlaciona a intrusão dos plútons das suítes Aimorés e Guaratinga, os mesmos teriam sido controlados pelos lineamentos. Já no Jurássico teria havido uma nova reativação com a intrusão de diques básicos da Suíte Intrusiva Fundão, obedecendo a direção NNW-SSE da Faixa Colatina.

A porção norte do estado responde a um *trend* estrutural de direção NNW-SSE sendo que a maioria das feições se concentra na Faixa Colatina, enquanto a porção sul responde a uma predominância de estruturas na direção NE-SW, correspondentes a estruturas do embasamento Pré-cambriano. As estruturas da

porção sul ainda se encontram cortadas por estruturas de direção NW-SE (Pedrosa Soares & Wiedeman-Leonardos, 2000) apud Bricalli (2011).

3.3.2. Geologia da Área

3.3.2.1. Embasamento Pré-cambriano

Conforme já foi citado quando apresentado a Geologia Regional (Figura 5) de acordo com Silva *et al.*(1987), o embasamento Pré-cambriano no estado do Espírito Santo consiste de uma complexa associação de rochas ígneas e metamórficas pertencentes à Província Mantiqueira. Vale ressaltar que na área de estudo evidencia-se os terrenos relacionados às faixas móveis Araçuaí (ou Orógeno Araçuaí).

A partir de Silva *et al.* (1987), sabe-se que o Embasamento Pré-cambriano tem incidência no oeste da área de estudo. Especificamente, representado pelo Complexo Paraíba do sul, conforme descrição do mesmo autor. Fica evidente na área de estudo a base limítrofe do embasamento Pré-cambriano confrontando-se à leste com as coberturas terciárias da Formação Barreiras.

Para a descrição geológica mais apurada, além das constatações de Silva *et al.*(1987), utilizou-se o Mapa Geológico do Estado do Espírito Santo elaborado pela Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais (CPRM, 2013), na escala 1:400.000 elaborado a partir de informações contidas nas cartas geológicas executadas em 1:100.000 do convênio do PRONAGEO(CPRM-2013) e Universidades Brasileiras, nas folhas Baixo Guandú, Colatina, Afonso Cláudio, Domingos Martins, Cachoeiro de Itapemirim e Piúma.

Utilizando o Mapa Geológico, foi possível realizar a descrição geológica da composição da parte de embasamento Pré-cambriano da região Centro/Norte do Espírito Santo de forma que se obteve a seguinte composição por período: i) Estágio Pós – Orogênico: a Suíte Intrusiva Aimorés, representada pelos Maciços Lagoa Preta - Charno-enderbito (ed), Maciço Itapina 535-520 Ma-Pb - Charnokito (ck) e, Maciço Itapina 535-520 Ma-Pb - Microlina granito (mgr); a Suíte Intrusiva do Espírito Santo, representada pelo Norito São Gabriel de Baunilha: notito médio e grosso,

metaluminoso, tholeiítico; ii) Estágio Tardi-Orogênico: Leucogranito do tipo S: leucogranito granatífero 499 MaU-Pb; iii) Estágio Sin a Tardi – Orogênico: Granitoides pouco foliados, peraluminosos, calcialcalinos, de alto K, tipo S: Suíte Ataléia: granada-biotita granito Ataléia (at) 591 Ma Pb-Pb; Granitoides pouco foliados, peraluminosos, calcialcalinos, de alto K, tipo S: Suíte Ataléia: leucogranito indeformado Ataléia (atlg) e; Granitoides pouco foliados, peraluminosos, calcialcalinos, de alto K, tipo S: Suíte Carlos Chagas: leucogranito Carlos Chagas (cc); iv) Estágio Pré a Sin – Orogênico: Granitoides foliados a gnáissicos predominantemente metaluminosos, calcialcalinos, tipo I; v) Estágio Pré-Orogênico: Complexo Nova Venécia: Silimanita-granada-cordierita-biotita gnaissé bandado com intercalações de calssilicástica (NP3nv) 631 Ma Pb-Pb; Complexo Nova Venécia: Silimanita-granada-cordierita-biotita gnaissé bandado com intercalações de calssilicástica (NP3nv) 631 Ma Pb-Pb: migmatito (m) e; Complexo Nova Venécia: Silimanita-granada-cordierita-biotita gnaissé bandado com intercalações de calssilicástica (NP3nv) 631 Ma Pb-Pb: diatexitito (d).

3.3.2.2. Compartimento dos Depósitos Cenozoicos

Ainda pela descrição de Silva *et al* (1987) apresentado na Geologia Regional, interpreta-se a parte centro-leste da área de estudo ocupada por sedimentos fanerozóicos sendo estes sobrepostos à Bacia do Espírito Santo.

Portanto as descrições geológicas a seguir são detalhadas dos compartimentos: i) Formação Barreiras ii) Coberturas Detríticas iii) Depósitos Quaternários e iv) Bacia do Espírito Santo.

3.3.2.2.1. Formação Barreiras

Conforme fora mencionado anteriormente, Bricalli, (2011) define a Formação Barreiras como uma unidade estratigráfica descrita ao longo do litoral brasileiro, desde o Rio de Janeiro até o Amapá, recobrando as sucessões mesozóicas de diversas bacias costeiras em uma ampla extensão territorial. O termo “Barreiras” originou-se da morfologia de extensos tabuleiros cortados por falésias junto à linha

de costa. No estado do Espírito Santo, a Formação Barreiras distribui-se descontinuamente ao longo da costa, com uma dominância na porção norte do estado, e ocorrência bem mais restrita a sul de Vitória.

Na área de estudo, a Formação Barreiras está limítrofe ao embasamento e à leste limítrofe aos depósitos quaternários. Destaca-se tectonicamente a presença de alinhamentos estruturais que formam estruturas do tipo *gráben*, como citado por Silva et al (1987), quando evidenciou tal estrutura como atuante na formação da lagoa Juparanã, no município de Linhares.

Vale ressaltar que Moraes (2007 apud Bricalli, 2011) caracterizam a litologia da Formação Barreiras como de predominância em arenitos quartzosos, caulíníticos, podendo variar de maciços a estratificados com intervalos lamíticos. Os depósitos desta unidade são bastante ferruginizados, quando muito intensas podem ocorrer porções com formação de concreções ferruginosas.

3.3.2.2.2. Cobertura Detrítico- Laterítico

Vieira *et al.* (2015) aborda que as coberturas detrítico-lateríticas estão localizadas na porção oeste da margem sul do Rio Doce e são datadas do Cenozoico. A constituição litológica da mesma é caracterizada por sedimentos detríticos areno-argilosos friáveis, de cor avermelhada a marrom-avermelhada escura, com cascalhos rolados de espessura variando de centimétrica a métrica e solos lateríticos ferruginosos.

Na área de estudo estas feições aparecem à Sudoeste da cidade de Colatina e são expressas, segundo Silva et al (1987), por extensos chapadões, com altitude variando entre cerca de 200m e 800m.

De acordo com (Machado Filho *et al.*, 1983; Silva *et al.*, 1987).

“Estas coberturas estão relacionadas geneticamente aos ciclos de aplainamento do final do Fanerozóico (Terciário e Quaternário).

(...) Formadas por materiais de origem sedimentar depositados em extensas áreas peneplanizadas, de composição areno-argilosa a conglomerática, às vezes cimentada por limonita. No entanto, (...) observou-se constituírem solos residuais, geralmente intemperizados e eventualmente lateríticos, produtos da decomposição de rochas subjacentes, localmente com a

presença e coluviões. Deste modo, esses platôs com feição inconfundível (...) correspondem na realidade, a material eluvionar e em parte coluvionar, acolá laterizados em vista das condições climáticas reinantes.”

3.3.2.2.3. Depósitos Quaternários

A sedimentação quaternária representada neste estudo se concentra em sua maior expressividade nas planícies sedimentares dos rios Doce, São Mateus e Barra Seca, que estão em grande parte inseridos na área de estudo.

Uma vez que essa sedimentação está representada por sedimentos marinhos e continentais. (terraços arenosos pleistocênicos, terraços arenosos holocênicos, pântanos e mangues holocênicos, depósitos fluvio-lagunares holocênicos, depósitos aluvionares holocênicos) (Machado Filho *et al.*, 1983; Silva *et al.*, 1987; Martin *et al.*, 1997 *apud* Bricalli, 2011).

Silva *et al.* (1987), para efeitos didáticos subdividiu os sedimentos quaternários em marinhos e continentais. Dentre os marinhos, apresentou os Terraços Arenosos Pleistocênicos, que ocupam a região leste da área de estudo, incluindo a foz do rio Doce.

Araújo e Bandeira Juniro (1974), *apud* Silva (1987), classificaram os depósitos quaternários desta região em Formação Monsarás e Formação Linhares. A Formação Monsarás é de idade pleistocênica, constitui-se de argilas marinhas, sobrepõe-se de maneira discordante à Formação Barreiras e não aflora na parte emersa da Bacia do Espírito Santo, sendo, portanto, definida por meio de poços estratigráficos que atingem a subsuperfície. A Formação Linhares é de idade holocênica, constituída de areias grosseiras da frente deltaica e sedimentos arenosíltico-argilosos de origem fluviodeltaica, de maneira que formam uma planície que se estende de Itaúnas à Santa Cruz, passando pela área de estudo.

Dentro do grupo dos depósitos quaternários continentais, definidos por Silva *et al.* (1987) para a área de estudo, encontram-se o depósito do Holoceno Fluvio-lagunar, de ocorrência na calha do rio Doce e constituído por areias e siltes argilosos ricos em matéria orgânica. Ainda entre os depósitos quaternários

continentais, encontram-se no rio Doce, os depósitos do Holoceno Aluvionar, de constituição predominantemente arenosa com contribuições menores de silte, argila e cascalho.

3.3.2.2.4. Bacia do Espírito Santo

Conforme explicitado sobre a Geologia Regional, Segundo Morais (2007) a Bacia do Espírito Santo (Figura 7) possui uma faixa alongada a sul, que é delimitada pelo Alto de Vitória; a oeste a mesma é delimitada pelo embasamento cristalino Pré-cambriano da Faixa Ribeira e a norte o limite é arbitrário.

Em sua parte continental, estende-se desde o Alto de Cumuruxatiba (17° 3' S), em sua extremidade norte, até o Arco da Vitória (19° 45'S), em sua extremidade sul, sendo recoberta pelos Depósitos Sedimentares Cenozoicos (SILVA et al,1987).

A porção terrestre da bacia do Espírito Santo, recoberta por sedimentos continentais Cenozoicos, está subdividida em quatro regiões morfoestruturais: Plataforma de São Mateus, Paleocânion de Fazenda Cedro, Plataforma de Regência e Paleocânion de Regência (Figura 9).

Cortando essas regiões há uma importante feição estrutural de direção N-S, assinalada por falhas de grande rejeito vertical em alguns locais, e brusca variação no pacote sedimentar, conhecida como sistema de falhas Cedro-Rio Doce (França & Tokutake, 2004 apud Bricalli). Na porção terrestre da bacia, afloram sedimentos paleogênicos e neogênicos relacionados às formações Rio Doce (Eoceno-Mioceno) e Barreiras (Mioceno-Plioceno), conforme discutido por Morais (2007).

3.4. GEOMORFOLOGIA

3.4.1. Geomorfologia Regional

Gatto *et al.*, 1983; e Mendes *et al.*, 1987 em supervisão do projeto RADAMBRASIL 1:1.000.000, classifica o estado do Espírito Santo dividindo-o em quatro compartimentos geomorfológicos principais: i) Serras e Morros; ii) Colinas e Maciços Costeiros; iii) Tabuleiros Costeiros; e iv) Planície Costeira. (Figura 10)

As Serras e Morros estão associados à unidade geomorfológica dos Patamares Escalonados do Sul Capixaba, com altitudes que variam entre 300 e 1500 metros, sobre as rochas do embasamento Pré-cambriano. Um fator que as difere das demais áreas são patamares escalonados bem definidos com frentes escarpadas adaptadas a falhas de direção NW-SE (Gatto *et al.*, 1983; Mendes *et al.*, 1987) apud Bricalli (2011).

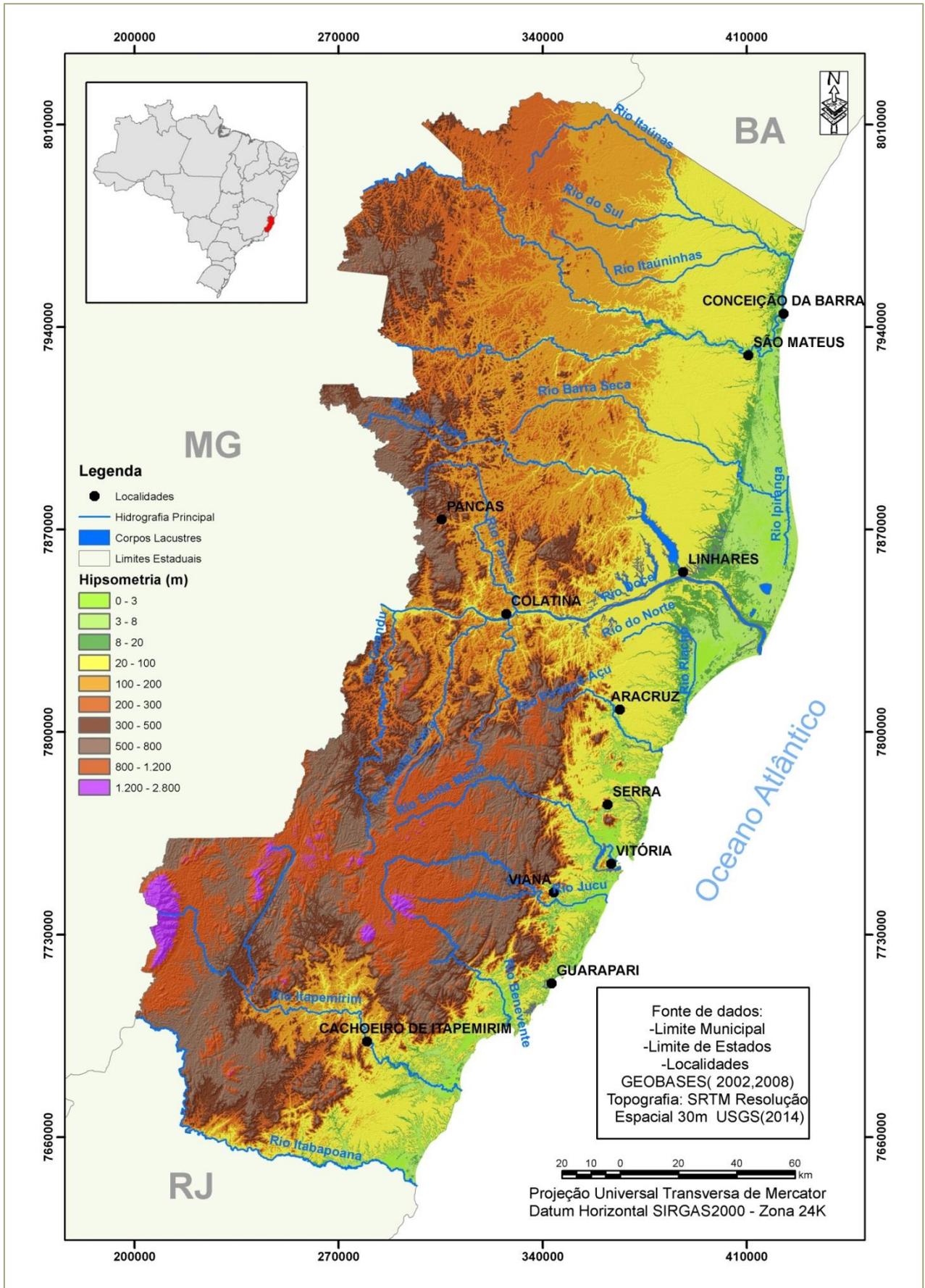
Bricalli (2011) discorre sobre a unidade Colinas e Maciços Costeiros, localizados entre altitudes que variam de 20 a 300 metros, sendo que os mesmos ocupam o limite entre os domínios do embasamento Pré-cambriano e dos sedimentos Cenozoicos. Concentrados na região sul do estado, Colinas e Maciços Costeiros tem composição litológica predominante de rochas gnáissicas sobre maciços graníticos e colinas baixas.

Tabuleiros Costeiros estão relacionados diretamente aos sedimentos da Formação Barreiras. Apresentam relevo plano e suave mergulhando em direção ao oceano. Ocupam altitudes em torno de 50 a 100 metros, sendo que de oeste para leste, se concentram entre o sopé das elevações de rochas cristalinas e as planícies quaternárias. O contato com as planícies quaternárias se dá por paleofalésias (Carvalho & Garrido, 1965). As vertentes são geralmente abruptas e, no litoral, terminam sob a forma de extensos tabuleiros ou falésias de vários metros de altura. Neste compartimento, os vales são bem encaixados e a drenagem geralmente apresenta-se dendrítica/subdendrítica a paralela/subparalela. (Bricalli , 2011)

Vale ressaltar que, Ribeiro (2010), sugere que tais diferenças altimétricas podem estar associadas à controle neotectônico, como ocorre em outras partes do Brasil desta mesma unidade(Nogueira *et al.*, 2006; Furrier *et al.*, 2006,Lima *et al.*, 2006; Bezerra *et al.*, 2001; Bezerra *et al.*,2007)apud Bricalli 2011.

Planície Costeira ocupa a faixa de altitude entre 0 e 20 metros e é caracterizada como depósitos sedimentares quaternários com morfologia plana e extensa. Estão concentrados na porção norte do estado, principalmente na foz do Rio Doce (Mendes *et al.*, 1987) apud Bricalli ;2011.

Figura 10-Mapa hipsométrico sobre hillshade com iluminação 315°, mostrando as principais classes altimétricas do estado do Espírito Santo.



3.4.2. Geomorfologia da área

3.4.2.1. Domínios Morfoestruturais, Regiões e Unidades Geomorfológicas

Segundo Mendes et al. (1987) e Gatto et al (1983) a área de estudo está inserida geomorfológicamente (Figura 11) nos seguintes domínios morfoestruturais: i) Maciços Plutônicos; ii) Faixas de Dobramentos Remobilizados; e iii) Depósitos Sedimentares.

- *Domínio Morfoestrutural Maciços Plutônicos*

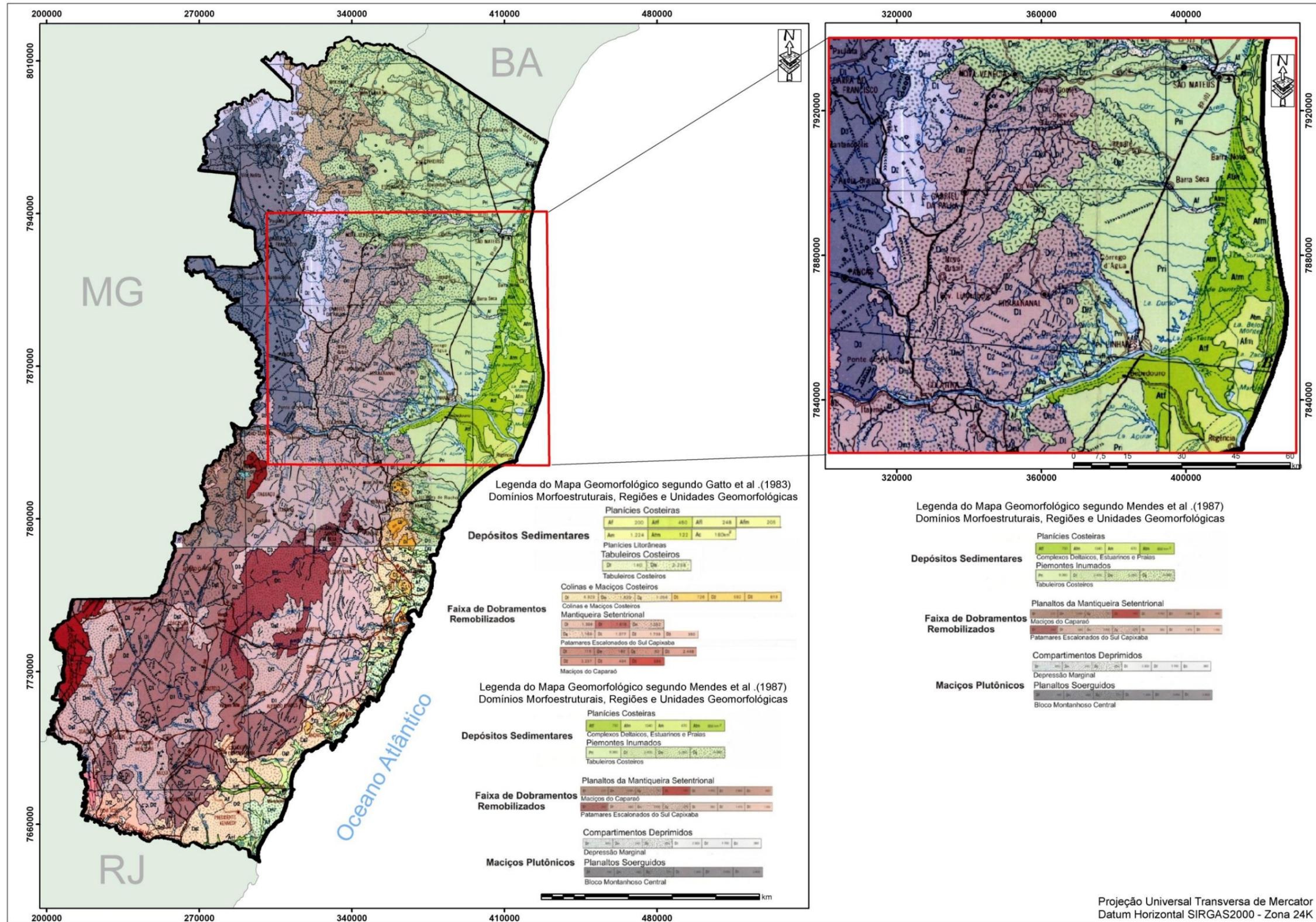
Este domínio, presente na porção noroeste da área em estudo, englobando as cidades de Barra de São Francisco, Pancas e Águia Branca, apresenta compartimentos planálticos separados por depressões estruturais e ocorrência de grandes massas intrusivas (Bricalli, 2011). Compreendem, na área em estudo, as seguintes regiões e unidades geomorfológicas: *Região Compartimentos Deprimidos*, que engloba a unidade geomorfológica *Depressão Marginal*; e *Região dos Planaltos Soerguidos*, que engloba a unidade geomorfológica *Bloco Montanhoso Central* (Mendes et al.,1987).

A Região Geomorfológica *Compartimentos Deprimidos* constitui uma faixa semicircular deprimida, que reflete diversos estágios de evolução do relevo comandados pela dinâmica fluvial, adaptando-se às fraquezas litológicas e estruturais e também às condicionantes climáticas (Mendes et al., 1987). A Unidade Geomorfológica *Depressão Marginal*, inserida nesta Região, apresenta feições dissecadas e setores deprimidos entre os divisores de algumas bacias, dentre elas dos rios Doce e São José, ambos inseridos na área de estudo, constituindo configurações irregulares, marcadas por reentrâncias, em decorrência de sua própria evolução geomorfológica comandada pela dissecação fluvial remontante (Mendes et al.,1987 *apud* Bricalli 2011).

A Região Geomorfológica *Planaltos Soerguidos* engloba relevos atingidos por retomadas erosivas relacionadas a oscilações climáticas ou variações dos níveis de

base dos rios, podendo ainda refletir implicações com movimentos tectônicos (Gatto *et al.*, 1983; Mendes *et al.*, 1987) apud (Bricalli;2011). A Unidade Geomorfológica *Bloco Montanhoso Central*, inserida nesta Região, apresenta configuração alongada e irregular, na direção N-S, sendo constituída de rochas proterozóicas. De acordo com Mendes *et al.* (1987), o aspecto montanhoso presente se deve ao realce dos diversos núcleos plutônicos a partir de retomadas erosivas, devido ao abaixamento dos níveis de base da drenagem, em consequência de oscilações climáticas e movimentações estruturais.

Figura 11 -Mapa Geomorfológico do estado do Espírito Santo, com destaque para as unidades Geomorfológicas e destaque para a área de estudo.



Fonte: Modificado de Gatto *et al* (1983) e Mendes et al (1987) Org Talles Gomes

O domínio morfoestrutural *Faixa de Dobramentos Remobilizados*, predominante na área de estudo, apresenta fortes influências estruturais, refletidas em grandes alinhamentos de cristas, de vales muito profundos e de escarpas adaptadas a falhas conforme direções predominantemente NNE e ESE (Mendes *et al.*, 1987) *apud* (Bricalli;2011). Compreende as seguintes regiões e unidades geomorfológicas:

Região da Mantiqueira Setentrional, que engloba as unidades geomorfológicas *Maçãos do Caparaó* e *Patamares Escalonados do Sul Capixaba* (Gatto *et al.*, 1983; e Mendes *et al.*, 1987);

Região Colinas e Maçãos Costeiros, que engloba a unidade geomorfológica *Colinas e Maçãos Costeiros* (Gatto *et al.*, 1983).

Região Geomorfológica *Mantiqueira Setentrional* apresenta altitudes variadas, geralmente em níveis altimétricos relacionados com as fases de dissecação comandadas pelos rios, adaptados a fraquezas litológicas e estruturais. A rede de drenagem demonstra um padrão subdendrítico marcado por angulosidades, encachoeiramentos e inflexões bruscas dos canais (Gatto *et al.*,1983; Mendes *et al.*,1987).

A Unidade Geomorfológica *Patamares Escalonados do Sul Capixaba*, presente nesta Região, engloba boa parte da área estudada nas cidades de Colatina, Marilândia, Governador Lindenberg. Possui características de um elevado bloco basculado para leste e um conjunto de relevos que funcionam e aparentam como degraus de acesso aos seus diferentes níveis topográficos, com morfologia de aspecto preferencialmente homogêneo. É caracterizada por evidências de movimentos crustais, com marcas de falhas, deslocamentos de blocos e falhamentos transversos, mostrando o controle estrutural sobre a morfologia (Gatto *et al.*,1983; Mendes *et al.*,1987).

O Domínio Morfoestrutural dos *Depósitos Sedimentares* inclui aluviões, compostos por areias, cascalhos, argilas inconsolidadas, sedimentos marinhos e fluvio marinhos, constituindo dunas, restingas, cordões litorâneos, planícies e terraço marinhos, atestando as ações de processos morfogenéticos recentes e variações do

nível do mar. Compreende as seguintes regiões e unidades geomorfológicas, na área em estudo:

Região Planícies Costeiras engloba a unidade geomorfológica *Complexos Deltaicos, Estuarinos e Praias* (Mendes et al., 1987) ou *Planícies Litorâneas* (Gatto et al., 1983); e *Região dos Piemontes Inundados* (Mendes et al., 1987) ou *Tabuleiros Costeiros* (Gatto et al., 1983), que engloba a unidade geomorfológica *Tabuleiros Costeiros* (Gatto et al., 1983; e Mendes et al., 1987). Bricalli (2011)

A Região Geomorfológica *Planícies Costeiras* caracteriza-se por apresentar feições planas e ocupar a maior parte da área de estudo. Estão situadas próximo à costa, com características geomorfológicas que refletem a diversidade de ambientes e processos genéticos e evolutivos.

Na Unidade Geomorfológica *Complexos Deltaicos, Estuarinos e Praias* ou *Planícies Litorâneas*, a proximidade com o litoral é marcada pela influência marinha na formação de mangues e por esta influência possui como material constituinte areias, siltes, argilas e cascalhos. As feições acumulativas mais representativas incluem os terraços holocênicos, situados entre 7 e 8 m acima do nível do mar, e datados em cerca de 6.000 anos, representados por areias, cascalhos, dunas, restingas e outros materiais inconsolidados (Gatto et al., 1983; Mendes et al., 1987). Apud Bricalli (2011) (Figura 12).

Figura 12 – Relevo da unidade geomorfológica Complexos Deltaicos, Estuarinos e Praias ou Planícies Litorâneas, marcado por dunas no litoral do extremo norte Localidade: Município Conceição da Barra – Itaúnas (ES).



Foto: Talles G. Santos (2012)

A Região Geomorfológica *Piemontes Inumados* ou *Tabuleiros Costeiros*, apresenta-se como colinas altas e baixas de topo tabular alongado, moldadas em arenitos e sedimentos areno-argilosos (Gatto *et al.*, 1983; Mendes *et al.*, 1987), associados à Formação Barreiras. Esses tabuleiros apresentam-se falhados em vários trechos, especialmente a norte do rio Doce, refletindo um forte controle neotectônico nessas rochas (Hatushika, 2005; Rodrigues, 2005; Mello *et al.*, 2005; Novais, 2005; Miranda, 2007; Miranda, 2009; Ribeiro, 2010; Bricalli, 2011). A Unidade Geomorfológica *Tabuleiros Costeiros*, presente no Espírito Santo e por sua vez na área de estudo, é constituída por depósitos argilo-arenosos da unidade geológica denominada *Formação Barreiras*.

Constitui-se de relevos dissecados de topos aplainados a convexizados, com aprofundamento dos vales variando de 21 a 42 m, em média, com altimetrias variando de 15 a 40 m de altitude, sendo que a área é controlada por um sistema de drenagem com padrão dendrítico a subdendrítico, com amplos vales (Gatto *et al.*, 1983; Mendes *et al.*, 1987) *apud* Bricalli (2011). O contato com as *Colinas e Maciços Costeiros* é feito de maneira gradual, sem que muitas vezes seja observada a passagem de uma unidade para outra, devido à dissecção dos *Tabuleiros Costeiros* ser semelhante à da unidade *Colinas e Maciços Costeiros*. Em direção ao litoral, apresentam-se marcados por falésias (Figura 13), que podem estar ou não em contato com o mar.

Figura 13 – Relevo típico da unidade geomorfológica Tabuleiros Costeiros, marcado por falésias no litoral. Localidade: Município de Serra – Nova Almeida (ES).



Foto: Talles G. Santos, (2012).

4. REFERENCIAL TEÓRICO E BASES CONCEITUAIS

4.1 ÁGUA SUBTERRÂNEA NO BRASIL

4.1.1 Hidrogeologia no Brasil e no Espírito Santo

No complexo quadro geológico do Brasil (climático, litológico, tectônico e estrutural), pode-se identificar diferentes domínios onde as condições de estocagem (porosidade), de fluxo (permeabilidade) e de recarga natural (infiltração das chuvas) são relativamente similares. No caso dos domínios aquíferos de porosidade, existem dois tipos principais: sedimentos aluviais e dunas e as rochas sedimentares. (CPRM.,2008)

Nos depósitos aluviais e dunas, os aquíferos são, fundamentalmente, do tipo livre, freáticos ou rasos. Nas bacias sedimentares, os depósitos constituem camadas ou corpos rochosos, relativamente extensos e mais ou menos consolidados. Os aquíferos dominantes nestas áreas são do tipo confinado, os quais são captados, atualmente, por poços tubulares profundos. (CPRM, 2008)

Segundo Hirata *et al.*,(2010) os terrenos sedimentares ocupam cerca de 4,13 milhões de km² , ou seja, 48,5 % do país, associando-se às grandes bacias sedimentares do Proterozoico/Paleozoico, Proterozoico/Mesozoico e Paleozoico e às bacias menores do Mesozoico e Cenozoico. Nesses terrenos, encontram-se 27 sistemas aquíferos de porosidade granular e, subordinadamente, cársticos e fraturados, com área de afloramento ou de recarga de 2,76 milhões de km² (32 % do país).

A principal bacia sedimentar proterozóica brasileira é a do rio São Francisco, a qual compreende dois sistemas aquíferos importantes de dimensões regionais, o Sistema Aquífero Bambuí (Neoproterozoico) e o Sistema Aquífero Urucuaia-Areado (Cretáceo), totalizando 175 mil km².

O CPRM (2008) define o extenso domínio de rochas do embasamento geológico, de idade pré-cambriana, e o separa em dois grandes contextos hidrogeológicos bem diferentes. O primeiro com 600.000 km² de terrenos cristalinos

ou similares de idade pré-cambriana, as características de porosidade/permeabilidade são do tipo fissural, sendo assim as possibilidades de acumulação de água subterrânea ficam restritas às zonas de rochas fraturadas e às manchas aluviais que se formam ao longo dos principais rios que drenam as áreas de ocorrência dessas rochas.

No Nordeste semiárido do Brasil, as chuvas médias normais variam entre 400 e 800 mm/ano, sendo muito irregulares. Em contrapartida as taxas de evaporação média normal variam entre mais de 1.000 e 3.000 mm/ano.

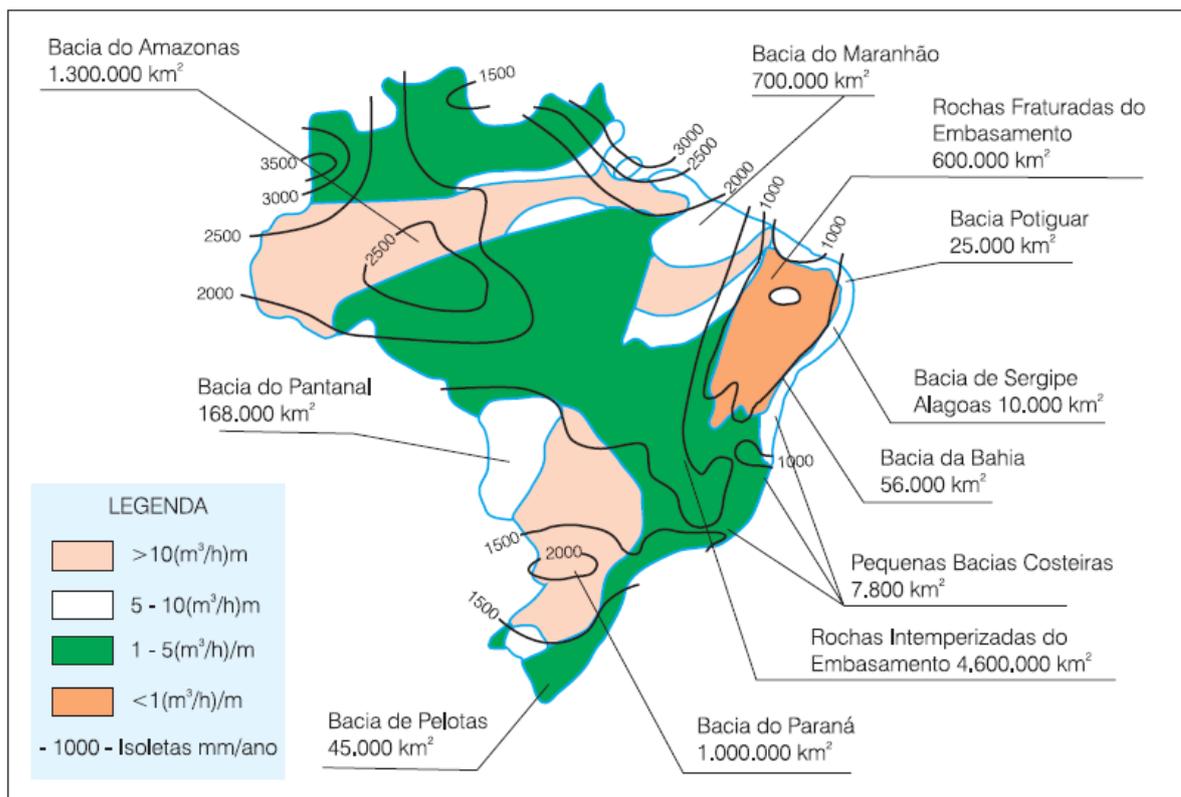
Portanto, estas condições climáticas impedem o desenvolvimento de mantos de intemperismo significativos, sendo poucos profundos; os poços captam diretamente a água acumulada nas discontinuidades existentes na própria rocha, tendo, portanto, baixas produtividades. (REBOUÇAS, 2002)

Ainda segundo o CPRM (2008), a outra situação se estabelece em condições de clima tropical úmido, com média pluviométrica de 800 mm/ano a mais de 3.000 mm/ano e temperaturas relativamente elevadas o ano inteiro.

Nestas circunstâncias, os processos químicos de alteração das rochas são extremamente intensos. Portanto, há um manto de rochas alteradas com espessuras de até 150 metros que cobre perto de quatro milhões de km² do território brasileiro. Neste quadro, os valores de porosidade e permeabilidade do tipo intersticial do manto de rochas alteradas aumentam, gradativamente, com a profundidade.

As características de porosidade/permeabilidade dominantes do tipo intersticial no manto de alteração evoluem para o tipo fissural em profundidades de até 250 metros (MANOEL FILHO, 2008). As taxas de recarga anual das águas subterrâneas acumuladas no manto de alteração são normalmente suficientes e importantes para alimentar o escoamento dos seus rios durante os períodos sem chuvas.

Figura 14- Potenciais de Água Subterrânea do Brasil

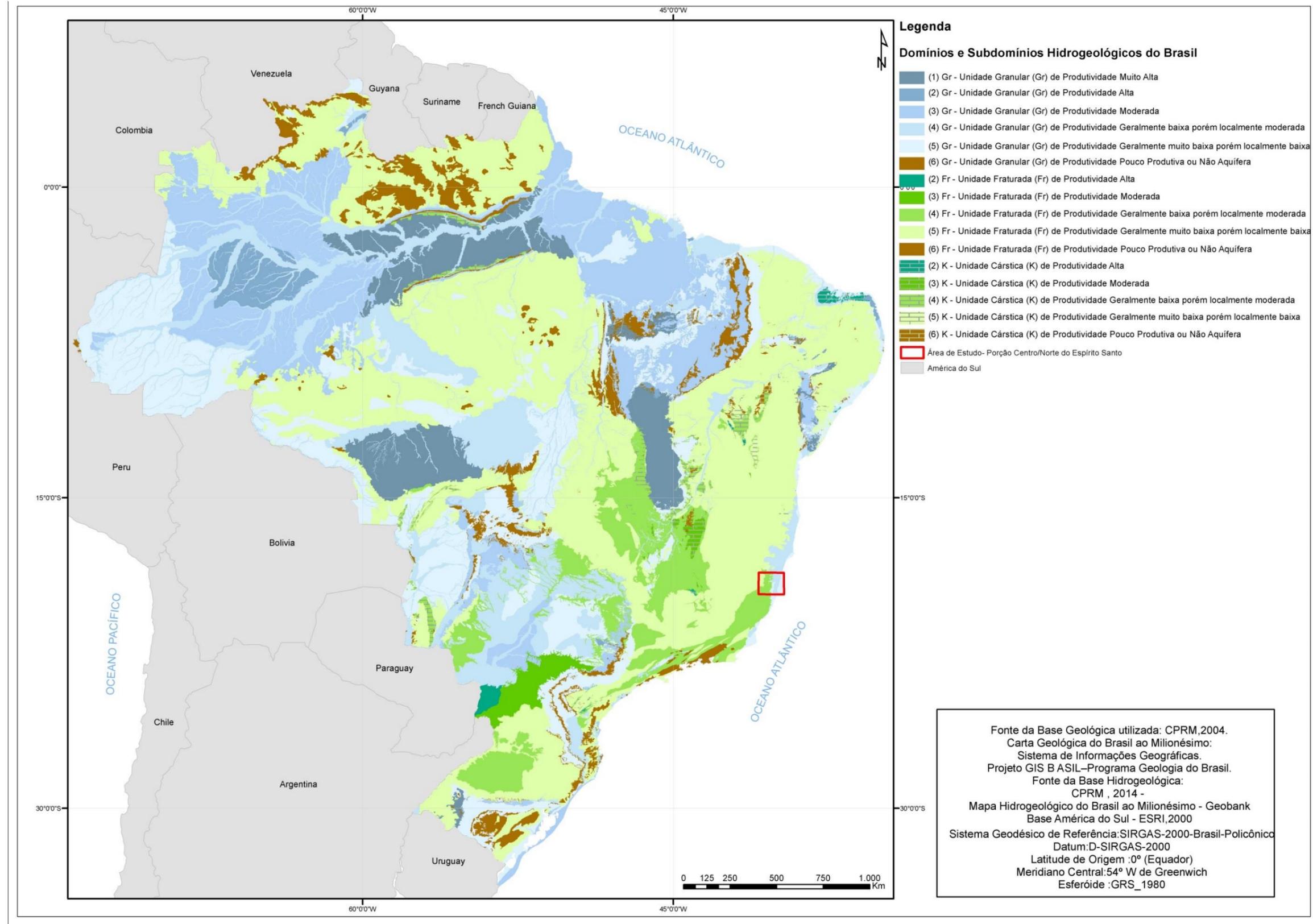


Fonte: (modificado de Rebouças, 1978; 1988; 1999) apud Manoel Filho.,(2008).

No ano de 2010 o Serviço Geológico do Brasil – (SGB-CPRM) elaborou o Mapa Hidrogeológico do Brasil ao Milionésimo em ambiente de Sistemas de Informações Geográficas (SIG). Em sua primeira fase, foi estruturado o Mapa de Domínios e Subdomínios Hidrogeológicos do Brasil na escala 1:2.500.000. O conceito de Domínio Hidrogeológico, tal como utilizado no mapa, foi definido como representativo de um conjunto de unidades geológicas com similaridades hidrogeológicas, tendo como base, principalmente, as características litológicas das rochas (Figura 14).

Ainda segundo CPRM (2010), essa importância das rochas como aquíferos foi definida através de suas propriedades (porosidade e permeabilidade), condições de ocorrência (Extensão, espessura e estrutura) e explotabilidade (fácil, regular, difícil). Portanto, a partir da segmentação e da apresentação de 11 classes de terrenos hidrogeológicos foram distribuídos em três grandes grupos ou domínios fundamentais de ocorrência de águas subterrâneas: Rochas Porosas, com importância hidrogeológica alta a baixa; Rochas Fraturadas, com importância hidrogeológica relativa média a baixa e Rochas porosas ou fraturadas, com importância hidrogeológica relativa muito baixa. (Figura 15)

Figura 15-Mapa Hidrogeológico do Brasil ao Milionésimo com destaque para a área de estudo



Fonte: Adaptado de Dinizi *et al.*, (2014) (CPRM 1:5.000.000) - Org Talles Gomes

Segundo Cardoso *et al.*,(2012) o Estado do Espírito Santo, possui uma extensão de aproximadamente 45.841,05 Km² (2012) e possui um potencial hidrogeológico relativamente baixo. A caracterização geológica do seu território possui diferenças litológicas que diferenciam basicamente dois tipos de aquíferos

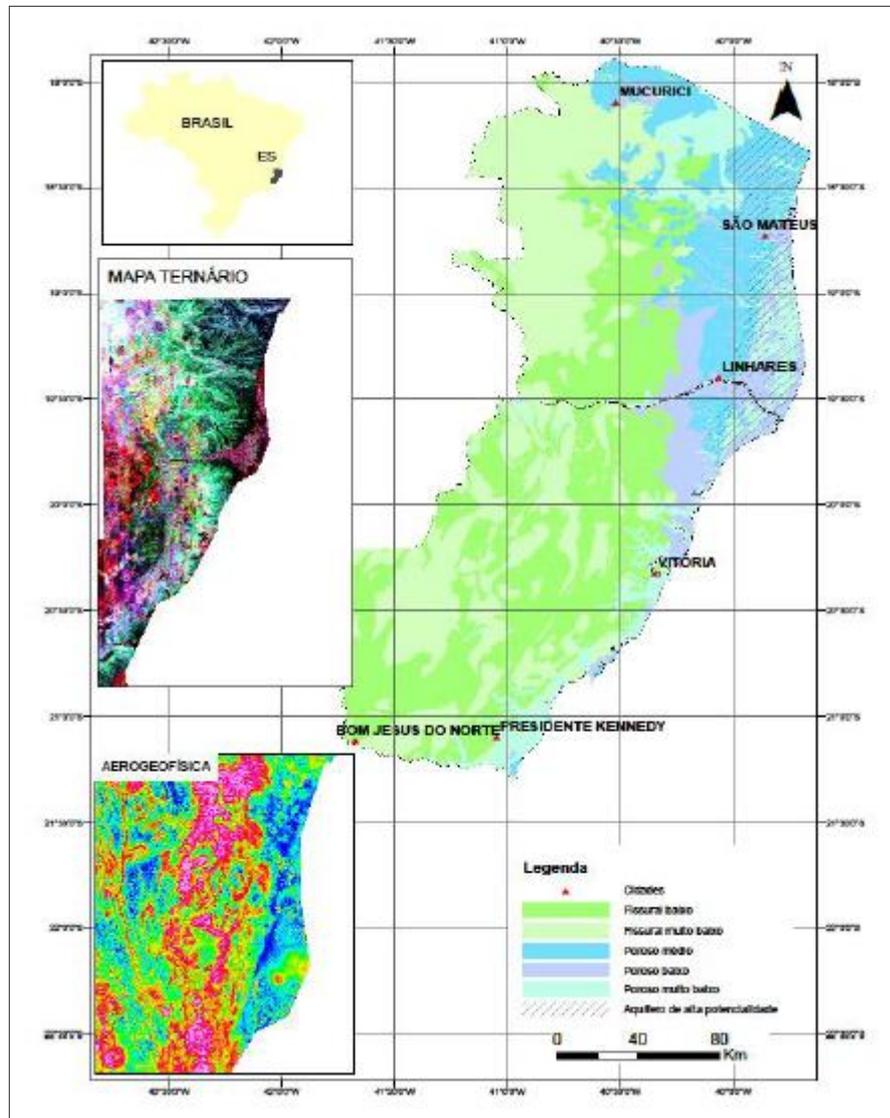
Nos 31.492,0 km² (68,70 %) deste território está representado por Aquífero Fissural, reconhecidamente de baixo potencial, associado com a baixa qualidade destas águas, sendo depósitos restritos e com condicionantes locais associados.

Os 14.348,25 km² (31,30%), restante de sua área, estão representados por Aquíferos Porosos. Estes apresentam produtividades desde muito baixas a médias e são associados em subsuperfície (não aflorante), sendo que na porção Leste - Nordeste do Estado ocorrem os aquíferos porosos de elevada potencialidade. A sua projeção em superfície representa 3.922,32 km² (8,56%), da área total do Estado e 27,34 % são de aquíferos porosos.

Estes sedimentos segundo Cardoso *et al.*,(2012), são representantes da Bacia do Espírito Santo, sendo que sua delimitação e reconhecimento foi feita através da Aerogeofísica e perfis de poços de petróleo na parte emersa da bacia, associados à dados de poços para captação d'água, existentes no Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS).

Devido à inexistência de parâmetros hidrogeológicos e dados mais apurados em sua grande maioria ainda incompletos, foram necessárias análises de perfilagens geofísicas com os dados do Projeto Aerogeofísico do Estado do Espírito Santo, no ano de 2010, e análise dos poços de petróleo e perfis integrados para visualizar espessuras aquíferas e caracterizá-las como de alta potencialidade. (Figura 16) (CARDOSO; MARTINS, 2012).

Figura 16 - Mapa Hidrogeológico Simplificado do Estado do Espírito Santo-Espacialização Aquífero Rio Doce-Aerogeofísica e Ternário

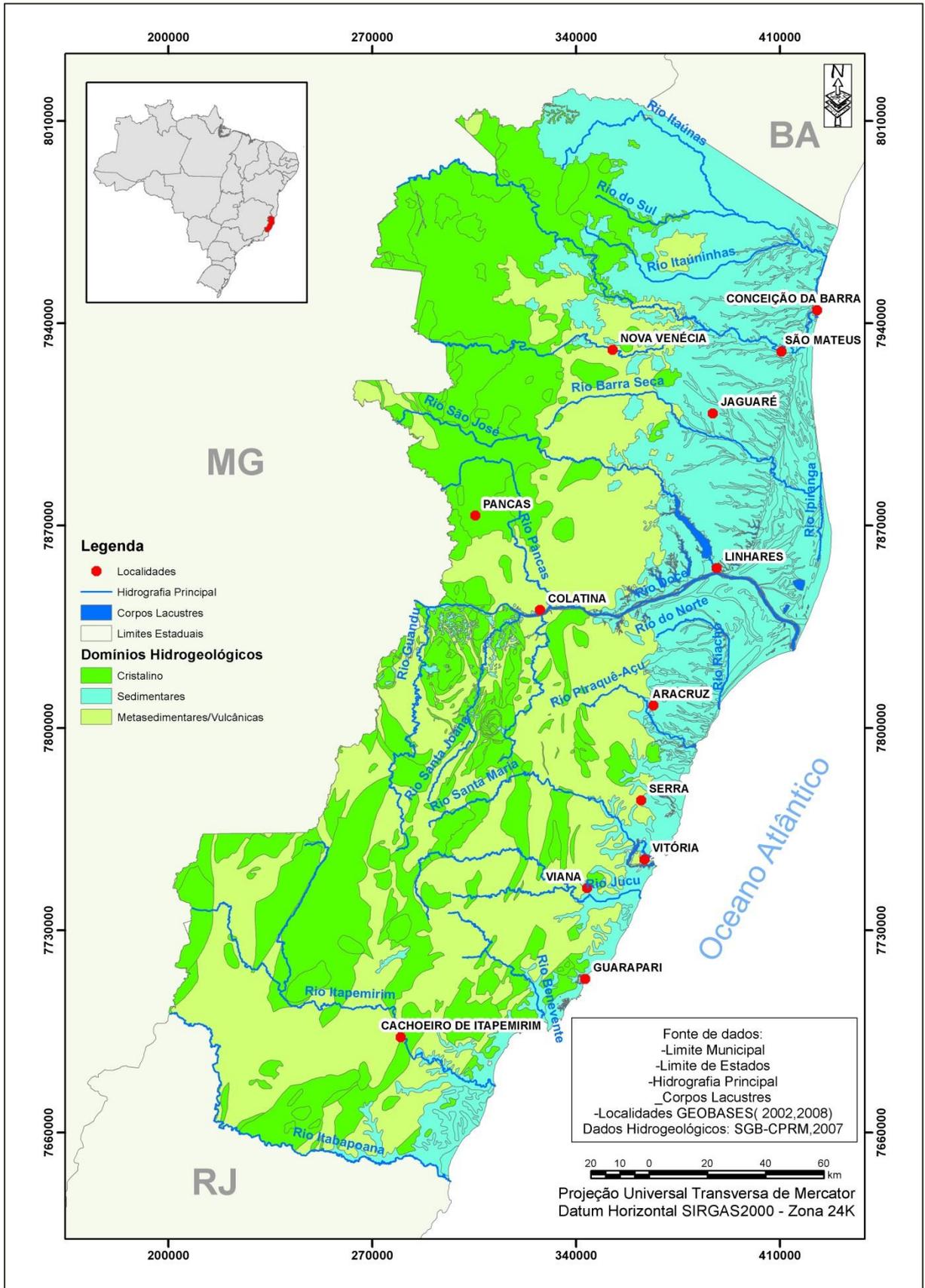


Fonte: Cardoso; Martins, 2012.

De acordo com a classificação do CPRM, 2007 o Estado do Espírito Santo possui 3 (três) domínios hidrogeológicos, divididos em I) Cristalino, II) Sedimentares e III) Metasedimentos/Vulcânicos e subdivididos em 6 (seis) subdomínios, de acordo com as características litológicas onde o aquífero se encontra. (Figura 17).

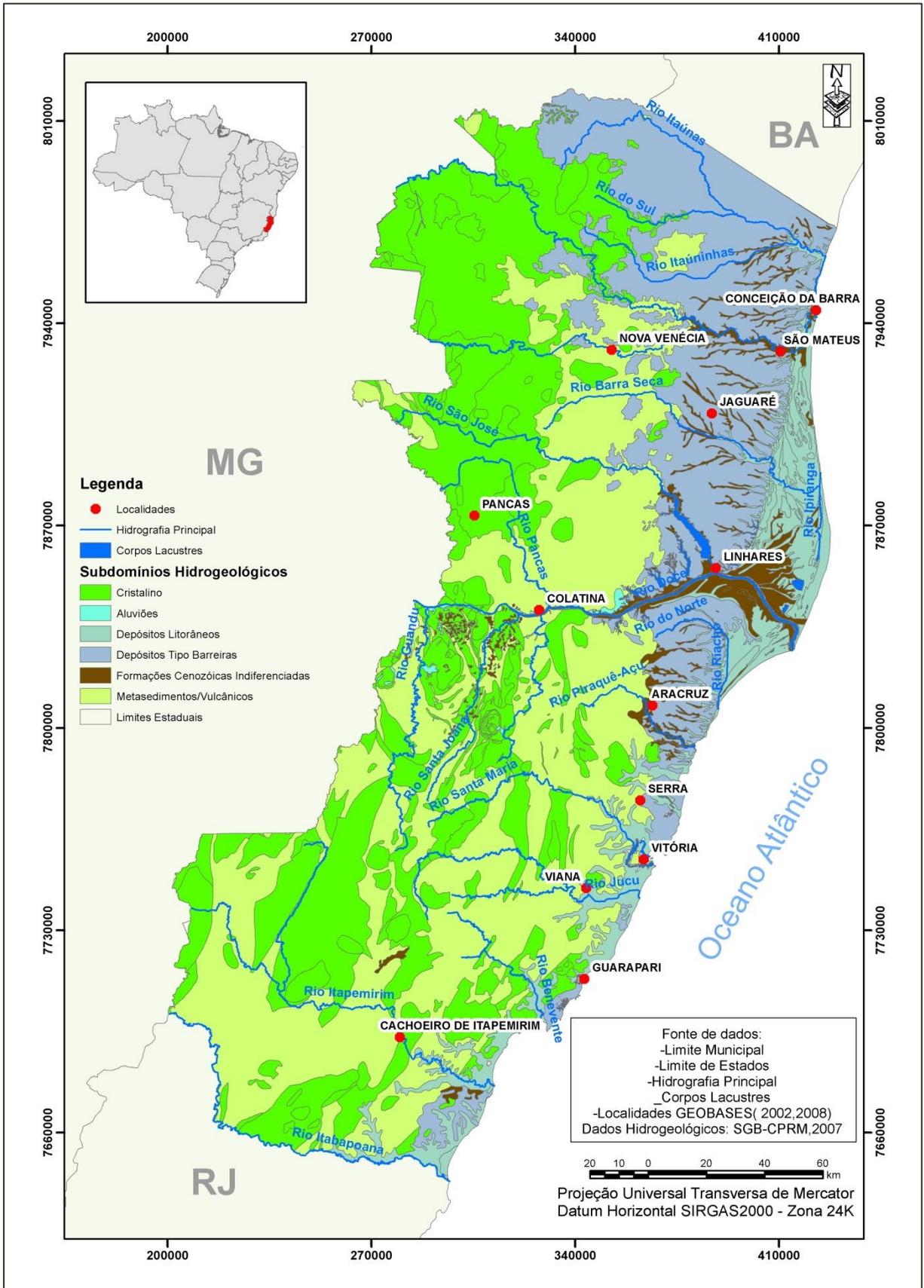
Após estes estudos de caracterização hidrogeológica do Espírito Santo, o CPRM, (2010) divulgou uma série de mapas em escala 1:2. 500.000 com as definições dos aquíferos e sua produtividade, classificando-os de acordo com suas características. (Figura 18)(Figura 19)

Figura 17 - Mapa de Domínios Hidrogeológicos do estado do Espírito Santo



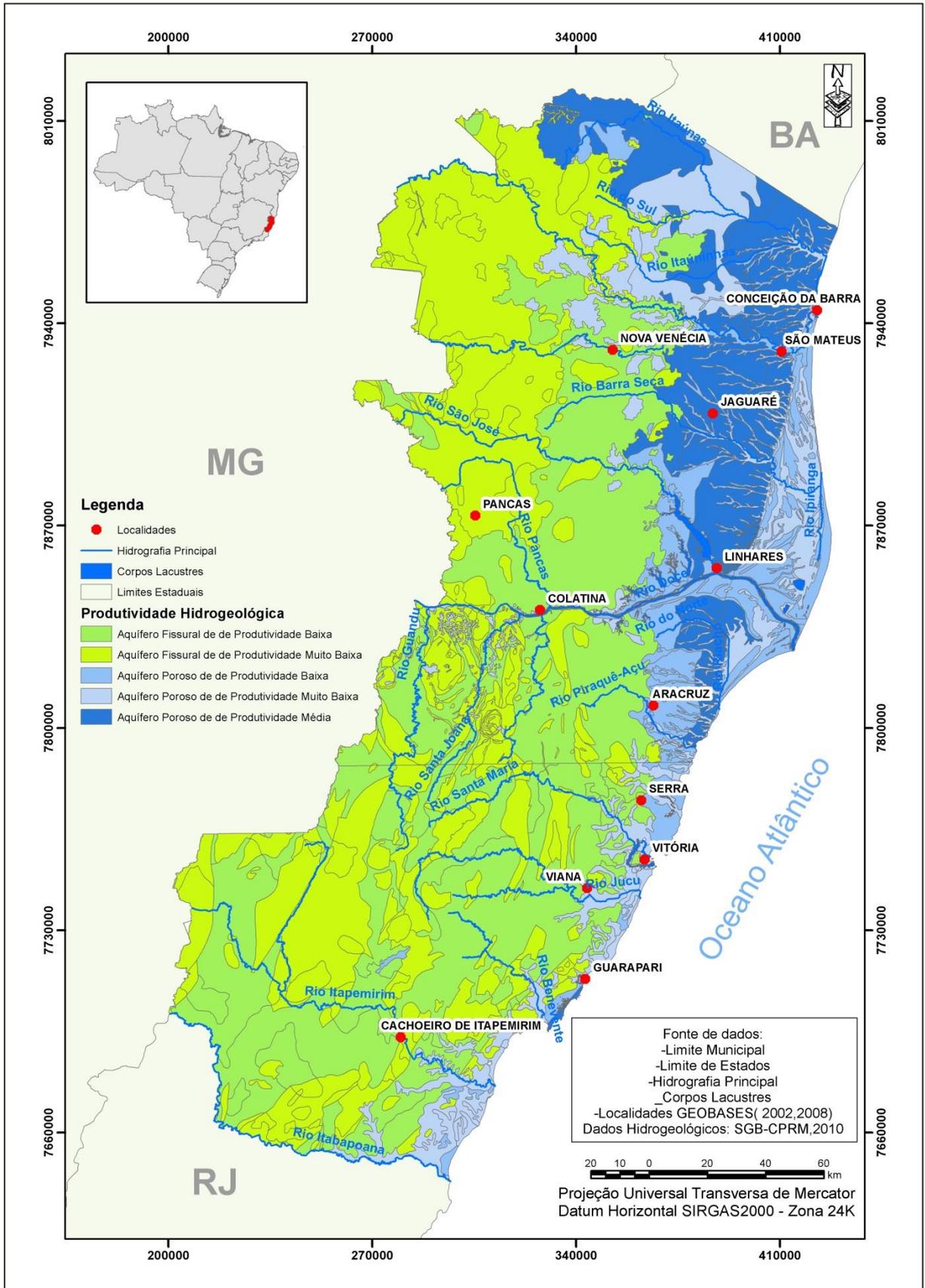
Organização: Talles G. Santos (2018)

Figura 18 - Mapa de subdomínios Hidrogeológicos do estado do Espírito Santo



Organização: Talles G. Santos (2018)

Figura 19 - Mapa de Produtividade Hidrogeológica do estado do Espírito Santo



Organização: Talles G. Santos (2018)

4.1.1.1 ESTUDOS ANTERIORES DE HIDROGEOLOGIA NA ÁREA

No Brasil, durante a primeira metade do século XXI, as ações desenvolvidas para hidrologia de águas subterrâneas concentravam-se quase em sua totalidade na região nordeste do país e restringiam-se apenas à perfuração de poços para ações emergenciais contra a seca. Essas ações não se preocupavam em realizar estudos básicos para avaliação de recursos disponíveis e um planejamento de uma política que garantisse a administração e a convivência desta água nas regiões com seca permanente. (CPRM, 2001)

As reservas renováveis de água subterrânea no Brasil, ou seja, suas recargas efetivas alcançam 42.289 m³/s (1.334 km²) e correspondem a 24 % do escoamento dos rios em território nacional (vazão média anual de 179.433 m³/s) e 49 % da vazão de estiagem (considerada como a vazão de estiagem com 95 % de permanência). Somente os 27 principais aquíferos sedimentares, que ocupam 32 % da área do país, totalizam 20.473 m³/s (ANA 2005a, 2005b, HIRATA *et al.*, 2006).

Essa expressiva vazão de água é distribuída, de forma simplificada, em dois grandes grupos: i) aquíferos de rochas e materiais sedimentares e; ii) aquíferos de rochas fraturadas (ANA 2005a, 2005b, HIRATA *et al.*, 2006).

A partir da década de 1960, com a criação da Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE), iniciou-se um ciclo de missões de cooperação técnica, para estudo dos recursos minerais da região nordeste, dando início ao estudo da Hidrogeologia brasileira. Sendo assim, os poços anteriormente perfurados sem pessoal especializado, passaram a ser conduzidos por pessoal com capacidade técnica e deram lugar a muitos estudos de caráter exploratório e de semidetalhe. (ANA, 2012).

Estudos de natureza técnica sobre hidrogeologia começaram a ser realizados na década de 60, tais como o de Pioger (1964), na Hidrologia Subterrânea, o Inventário Hidrológico Básico do Nordeste, previsto para cobrir toda a área em jurisdição da SUDENE. Este trabalho, pioneiro no país e na América Latina, descreve de maneira detalhada os aquíferos da região nordeste avaliando suas potencialidades e disponibilidade hídrica. (MANOEL FILHO, 2008)

Durante os anos 1970, ações semelhantes se espalharam por todo o Brasil, principalmente no Sudeste. Nos últimos anos, todavia, com os Planos Estaduais de Recursos Hídricos que estão sendo elaborados e implantados, renascem, mais uma vez, as esperanças de novos progressos na Hidrogeologia, tanto em métodos exploratórios, como em termos de métodos de exploração e de gerenciamento das águas subterrâneas (CPRM, 2008).

A descrição sobre águas subterrâneas das províncias no Brasil é baseada principalmente, nos resultados obtidos na elaboração do Mapa Hidrogeológico na escala 1:2. 500.000, de janeiro/79 a março/81 (Mente & Mont Alverne, 1981) e 1:5.000.000, durante o ano de 1982. Apenas o último foi publicado pelo Departamento Nacional da Produção Mineral (DNPM), em 1983 (DNPM; CPRM, 1983).

Os primeiros estudos hidrogeológicos em escala regional no Estado do Espírito Santo devem-se ao Projeto Hidrogeologia do Centro de Minas Gerais e Norte do Espírito Santo (COSTA, 1980), realizado pelo CPRM-Serviço Geológico do Brasil, em convênio com o DNPM – Departamento Nacional da Produção Mineral. No ano de 1997, foi elaborado o Plano Diretor das Bacias do Leste (MMA/FUNARBE, 1997).

Segundo Mourão *et al.*, (2002) a intensificação do uso da água subterrânea no Espírito Santo, principalmente ao Norte, ocorreu no final da década de 90 como consequência da redução das disponibilidades dos recursos hídricos superficiais devido à utilização crescente, em especial na agricultura, e a ocorrência de evento rigoroso de estiagem.

O Levantamento Hidrogeológico do Norte do Espírito Santo ocorreu em 1999, como resultado do convênio firmado entre o Ministério de Meio Ambiente MMA /SRH-Secretaria de Recursos Hídricos e a CPRM – Serviço Geológico do Brasil. Este projeto teve como propósito dotar a região de um conhecimento básico suficiente para subsidiar o estabelecimento de uma política racional de aproveitamento e proteção dos recursos hídricos subterrâneos e superficiais. Este trabalho sintetiza o conhecimento hidrogeológico obtido neste levantamento em uma área de aproximadamente 30.000 km², abrangendo 28 municípios na porção norte

do Estado do Espírito Santo, em parceria com a Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste e CESAN-Companhia Espírito Santense de Abastecimento e Saneamento. (MOURÃO *et al.*,2002)

A partir deste documento elaborado pelo CPRM e associações de outros órgãos, iniciaram-se estudos mais abrangentes sobre água subterrânea na porção Norte do Espírito Santo. Em 2002, MOURÃO *et al* (2002) expõe um artigo junto à Associação Brasileira de Águas Subterrâneas sobre *Os Sistemas Aquíferos do Norte do Estado do Espírito Santo: Potencial de Exploração e Diagnóstico Atual de Aproveitamento*, um diagnóstico preliminar da potencialidade, qualidade e usos das águas subterrâneas no Norte do Espírito Santo. Vale ressaltar neste estudo, a aplicabilidade dos lineamentos estruturais aplicados à hidrogeologia, uma vez que o entendimento da Neotectônica, tipo de rocha e a maneira que esta irá responder ao esforço aplicado sobre a crosta e as direções estruturais existentes, são escopo desta atual pesquisa.

4.2 ESTUDOS DE HIDROGEOLOGIA

4.2.1 CONCEITOS

4.2.1.1 ÁGUA SUBTERRÂNEA

Manoel Filho *et al* (2008), define água subterrânea como aquela que ocorre abaixo do nível de saturação ou nível freático, presente nas formações geológicas aflorantes e parcialmente saturadas e nas formações geológicas profundas totalmente saturadas.

A Associação Brasileira de Águas Subterrâneas (ABAS, 2018) define como toda a água que ocorre abaixo da superfície da Terra, preenchendo os poros ou vazios intergranulares das rochas sedimentares, ou as fraturas, falhas e fissuras das rochas compactas, e que sendo submetida a duas forças (de adesão e de gravidade), desempenha um papel essencial na manutenção da umidade do solo, do fluxo dos rios, lagos e brejos. As águas subterrâneas cumprem uma fase do ciclo hidrológico, uma vez que constituem uma parcela da água precipitada. É importante ressaltar que, mais que um recurso natural, a água subterrânea é característica essencial do ambiente e faz parte do ciclo hidrológico e, por este motivo, entender o seu papel nos estudos integrados com águas superficiais em bacias hidrográficas é fundamental, uma vez que nos processos geológicos a água subterrânea exerce

uma importante influência, dentre outros, nos problemas de geotecnia como estabilidade de taludes, subsidência de terra, na migração e acumulação de petróleo, por exemplo.

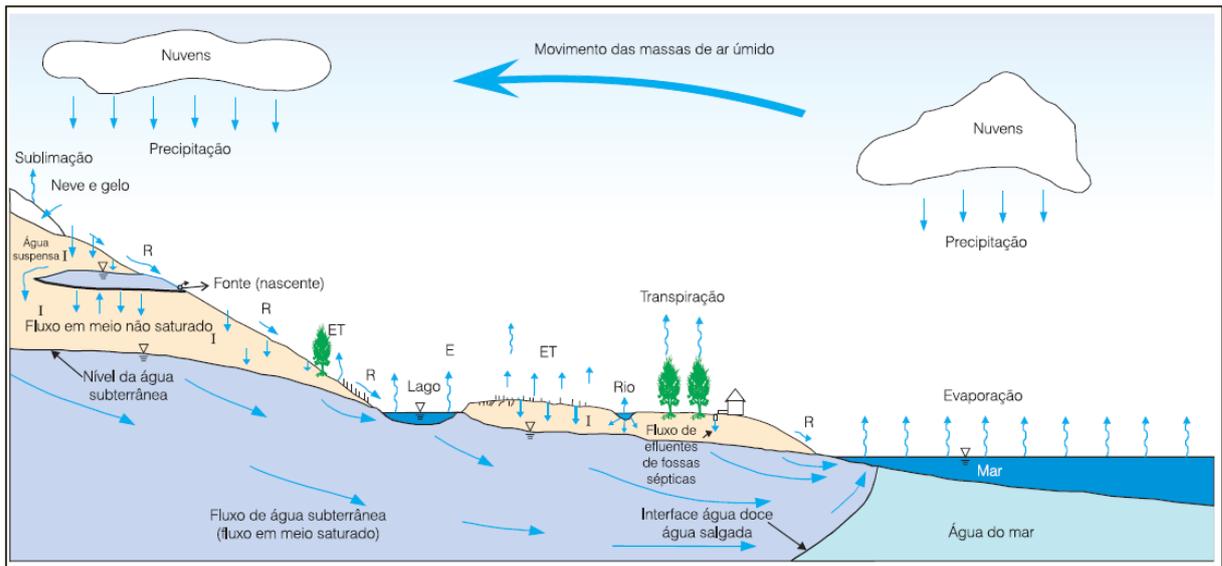
Segundo a Agência Nacional de Águas, as águas subterrâneas são formadas pelo excedente das águas de chuvas que percorrem camadas abaixo da superfície do solo e preenchem os espaços vazios entre as rochas. Essas formações geológicas permeáveis são chamadas de aquíferos e são classificadas em três tipos: fraturado, poroso e cárstico. Dessa forma, os aquíferos são uma reserva de água embaixo do solo, abastecida pela chuva e funciona como uma espécie de caixa d'água que alimenta os rios. (ANA, 2018)

Segundo (World Resources Institute, 1991 in Rebouças, 1999), a contribuição de água subterrânea em todo o mundo é da ordem de 13.000 km³/ano quase 1/3 da descarga dos rios.

Rebouças (1999), expõe que a água subterrânea é a parcela da água que permanece no subsolo, onde flui lentamente até descarregar em corpos de água de superfície, ser interceptada por raízes de plantas ou ser extraída em poços. Tem papel essencial na manutenção da umidade do solo, do fluxo dos rios, lagos e brejos. A água subterrânea é também responsável pelo fluxo de base dos rios, sendo responsável pela sua perenização durante os períodos de estiagem.

Quase toda água subterrânea existente na Terra tem origem no ciclo hidrológico (Figura 20) este ciclo tem controle no solo e subsolo, pela ação da gravidade, bem como pelo tipo de cobertura da terra, atmosfera, rios, lagos, oceanos e pelos elementos climáticos uma vez que são responsáveis pelos processos de circulação da água dos oceanos para a atmosfera, de cada modo em uma latitude da terra (MANOEL FILHO, 2008).

Figura 20-- Representação esquemática do Ciclo Hidrológico: E=evaporação; ET=Evapotranspiração; I= Infiltração; R=escoamento superficial.



Fonte: Adaptado de Bear & Verruijt, 1987) Apud (Manoel Filho *et al* 2008) (CPRM).

4.2.1.2 Balanço de recarga e descarga.

A equação do balanço hídrico obedece ao princípio da conservação da massa ou princípio da continuidade, no qual um sistema qualquer, a diferença entre as entradas e as saídas é igual à variação do armazenamento dentro do sistema (MANOEL FILHO *et al.*, 2008).

Quando a descarga e a recarga estão equilibradas, o reservatório de água subterrânea e a superfície freática permanecem constantes, mesmo quando a água continua percolando no aquífero. Para que a recarga se equilibre com a descarga, a chuva deve ser frequente o suficiente para igualar-se à soma do escoamento para os rios, nascentes e poços (PRESS *et al.*, 2008).

Sabe-se que a recarga e a descarga nem sempre serão as mesmas, pois a chuva varia de estação para estação e na área de estudo torna-se completamente irregular. Normalmente a superfície freática é reduzida nas estações secas e aumenta durante os períodos úmidos. Portanto, uma diminuição drástica na recarga, à exemplo do que aconteceu no ano de 2016, será seguida por um intervalo longo de desequilíbrio e um nível freático baixo. (ANA, 2012)

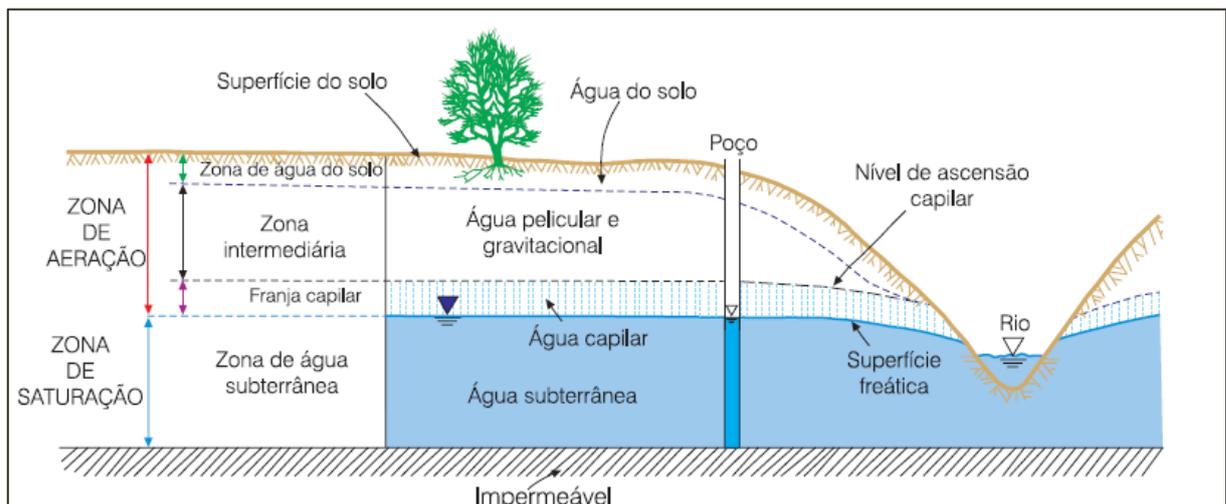
4.2.1.3 Distribuição da Água no Subsolo

Abaixo da superfície do terreno a água contida no solo e nas formações geológicas é dividida ao longo da vertical, basicamente, em duas zonas: Zona Saturada e Zona Não Saturada (Figura 21) (MANOEL FILHO *et al.*,2008).

Manoel Filho *et al.*,(2008) localiza a zona saturada ,chamada também de zona de saturação situada abaixo da superfície freática e nela todos os vazios estão preenchidos com água. A superfície freática é definida como o lugar geométrico dos pontos em que a água se encontra submetida à pressão atmosférica, sendo esta igual a 0 .

Segundo Manoel Filho *et al.*,(2008) Zona de aeração ou Zona não saturada ,situa-se entre a superfície freática e a superfície do terreno e nela os poros estão parcialmente preenchidos por gases e por água e é dividido em três Subzonas, Capilar ,Intermediária e Água do Solo.(Figura 21)

Figura 21-Representação da distribuição vertical da água no solo e subsolo mostrando as zonas de umidade



Fonte: (Adaptado de Bear & Verruijt, 1987) Apud (Manoel Filho *et al* 2008) .

4.2.2 Tipos de Aquíferos

De acordo com CPRM (2008) os Aquíferos são uma Formação geológica que contém água e permite que quantidades significativas dessa água se movimentem no seu interior em condições naturais tais formações permeáveis, como os arenitos e areias, são exemplos destes aquíferos.

Rebouças (1988), define aquíferos (do latim, aqua=água + feros=levar)-camadas de arenitos cujos coeficientes de porosidade efetiva, variam entre 1 e 15% e de condutividade hidráulica (variando entre 10⁻² e 10⁻⁵ m/s), os volumes de água subterrânea estocados e que circulam nos aquíferos sedimentares são, comparativamente, os maiores do Brasil

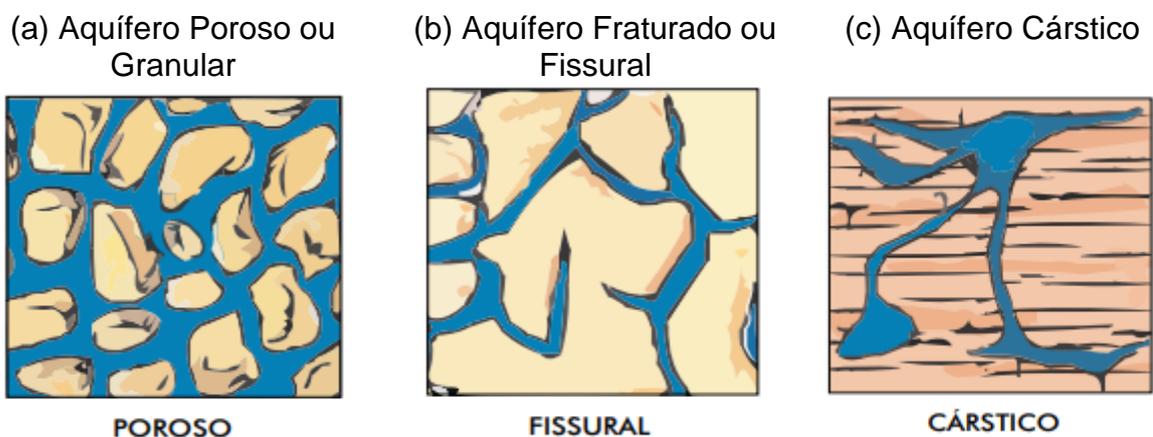
Segundo Rebouças (1994) a utilização das águas subterrâneas dos aquíferos cujas reservas são consideradas pouco renováveis, remonta o início da civilização. Relata-se que os chineses já perfuravam poços há mais de 3.500 a.C. Até meados do século XIX os poços eram perfurados com sondas a percussão movidas por animais e/ou humanas, destacando-se os poços jorrantes de Artois, na França, no ano de 1711, de onde derivou a denominação Artesiano para este tipo de obra para captação de água subterrânea.

O termo Água Subterrânea é utilizado para designar a totalidade das águas subsuperficiais e, a partir da década de 1980, a abordagem passou a considerar o sistema de fluxos subterrâneos, o qual engloba as zonas saturadas e não saturadas, aquíferos, aquícludes, aquíardes, processos hidrológicos, geoquímicos e microbiológicos de transportes e transformação da água através dos ecossistemas configurados pelas unidades hidrológicas e hidrogeológica. (REBOUÇAS, 1994)

A litologia do aquífero, (porosidade/permeabilidade intergranular ou de fissuras) é que irá determinar a velocidade da água em seu meio, a qualidade da água e a sua qualidade como reservatório. Essa litologia é decorrente da sua origem geológica, que pode ser fluvial, lacustre, eólica, glacial e aluvial (rochas sedimentares), vulcânica (rochas fraturadas) e metamórfica (rochas calcárias), determinando os diferentes tipos de aquíferos. (BOSCARDIN BORGHETTI,2004)

A Agência Nacional de Águas (ANA) caracteriza os aquíferos de acordo com a forma como as rochas armazenam água, conforme suas características geométricas, litológicas e fluxos dominantes, as unidades geológicas podem ser divididas em três domínios aquíferos diferentes (ANA, 2007).

Figura 22- Classificação dos aquíferos conforme a porosidade da rocha



Fonte: ANA (2007).

Boscardin Borghetti *et al.*, (2004) classificam os aquíferos de acordo com a porosidade das rochas onde são armazenadas com as definições abaixo:

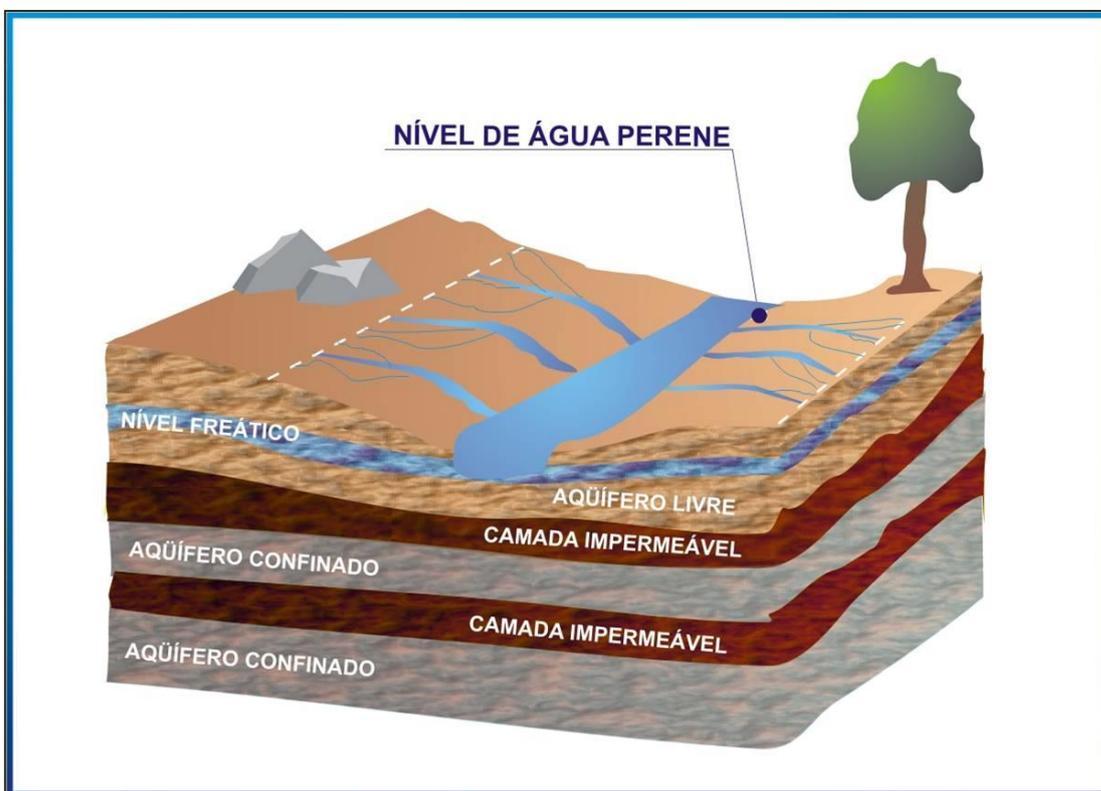
(a) Poroso – Formado por rochas sedimentares consolidadas, sedimentos ou solos arenosos, onde a circulação da água se faz nos poros formados entre os grãos de areia, silte e argila de granulação variada. Armazenam um grande volume de água e tem sua ocorrência em grandes áreas, constituindo os mais importantes aquíferos. Ocorrem nas bacias sedimentares e em todas as várzeas onde se acumularam sedimentos arenosos.

(b) Fraturado ou Fissural– Formado por rochas ígneas, metamórficas ou cristalinas, duras e maciças, onde a circulação da água se faz nas fraturas, fendas e falhas, abertas devido ao movimento tectônico. A sua capacidade de acumular água está relacionada diretamente à quantidade de fraturas e aberturas, permitindo a infiltração e fluxo. Os poços perfurados fornecem poucos metros cúbicos de água por hora, sendo que a possibilidade de se ter um poço produtivo dependerá de esse poço interceptar fraturas capazes de conduzir a água.

(c) Cársticos – Formado em rochas calcárias ou carbonáticas, onde a circulação da água se faz nas fraturas e outras descontinuidades que resultaram da dissolução do carbonato pela água. Essas aberturas podem atingir grandes dimensões, criando, nesse caso, verdadeiros rios subterrâneos. (Figura 22)

Ainda segundo Boscardin Borghetti *et al.*, (2004) em relação à superfície superior (com referência à pressão da água), os aquíferos podem ser de dois tipos:

Figura 23 - Tipos de aquíferos em relação à pressão da água.



Fonte: Boscardin Borghetti *et al.*, (2004)

(a) Livres – Também chamados de freáticos ou não confinados, são aqueles cujo limite superior é a superfície de saturação ou freática na qual todos os pontos se encontram à pressão atmosférica. As áreas de recarga dos aquíferos confinados correspondem a aquíferos livres que por excesso e pressão conseguem penetrar e infiltrar. O exemplo dos aquíferos confinados, os aquíferos livres também se classificam em drenantes e não drenantes.

(b) Confinados não drenantes – presença de uma camada de menor permeabilidade (confinante), que submete as águas a uma pressão superior à atmosférica, caso da porção central do Sistema Aquífero Guarani. Nos aquíferos confinados os poços tubulares profundos podem apresentar artesianismo, isto é, a água jorra do poço sem necessidade de equipamento de bombeamento.

(c) Semi-confinados – situação intermediária entre os dois. (Figura 23).

4.2.3 Águas Subterrâneas em Diferentes Substratos

Segundo um estudo do CPRM (2001) para a região nordeste do Brasil, a ocorrência de águas subterrâneas em sedimentos pouco consolidados possui muita favorabilidade do ponto de vista do aproveitamento deste recurso. Tal fato possibilita, sempre que possível, a prioridade na procura de água subterrânea neste tipo de sedimento.

A justificativa desta procura em ambientes pouco consolidados destaca-se, pois existe a facilidade da perfuração ou escavação tornando o empreendimento menos oneroso e mais ágil. Outro fator que se justifica, leva em consideração que este tipo de sedimento é encontrado em vales e áreas onde os níveis de água subterrânea encontram-se pouco profundos, possibilitando o bombeamento com pequenos recalques. Normalmente são encontrados em locais favoráveis à recarga a partir de rios, riachos e lagoas com influência direta da infiltração das águas das chuvas, à exemplo das áreas de aluviões e dunas.. Por serem poucos consolidados há a facilidade da infiltração potencial, maior porosidade e maior permeabilidade do que outras formações.

Segundo Manoel Filho *et al.*(2008), em rochas sedimentares, as rochas mais importantes são aquelas que apresentam boa permeabilidade. Rochas pouco permeáveis, como os arenitos com alto teor de argila, comportam-se como Aquitardos, pois possuem boa capacidade de armazenar água, entretanto possuem uma baixa capacidade de transmissão de água.

As rochas carbonáticas possuem boa condutividade hidráulica e boa porosidade o que permite a transmissão de águas por fraturas resultantes de movimentos tectônicos, onde nestas há a dissolução da calcita e dolomita. Devido a

esta dissolução em rochas carbonáticas fraturadas, poços produtores de grande capacidade de água e poços praticamente secos, podem existir a pequena distância um do outro.

Em rochas ígneas e metamórficas a porosidade é praticamente nula. Os vazios intercristalinos, condições especiais para a presença de água subterrânea, são mínimos e não interconectados. O que, para a presença de água subterrânea, é fundamental que haja fraturas e trapas para condições de armazenamento (MANOEL FILHO, *et al.*, 2008).

4.3 Análise Estrutural Aplicado à Hidrogeologia

Nos últimos 50 anos, houve um enorme progresso ocorrido na compreensão dos processos de deformação, incluindo o contexto tectônico da crosta, as relações cronológicas entre diferentes estruturas, o que pode explicar situações para a prática de locação, bem como o papel de controle dos sistemas de tensões Neotectônicas, atuando em condições superficiais ou mais rasas na crosta, indo de acordo com o fato que a migração e acumulação da água subterrânea, nestes tipos de reservatório, é um processo geologicamente recente ou atual (CORIOLANO, 2002).

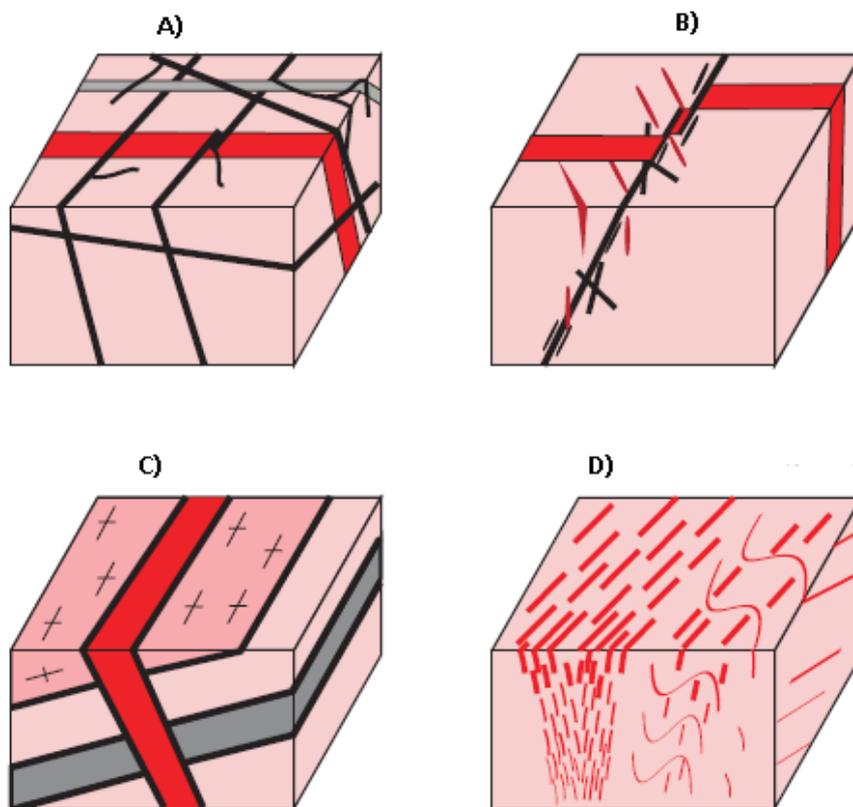
Silva, *et al.* (2000), expõe que a determinação das direções de compressão e extensão atuais, pode-se prever as direções de fraturamento que apresentam maior potencialidade de percolação e armazenamento de água subterrânea. Estas fraturas correspondem geralmente àquelas com direção paralela ou próxima à direção de compressão principal. Fraturas que apresentam direção perpendicular ou próxima à direção de compressão tenderão a se comportarem como fechadas, acarretando, desta forma, baixa potencialidade hídrica.

Jardim de Sá *et al.* (2008) explicita as características principais e o consenso sobre a importância das estruturas rúpteis na criação de espaços nas rochas cristalinas, permitindo o fluxo e, conseqüentemente, a acumulação das reservas de água.

O termo fratura, segundo Jardim de Sá *et al.* (2008), engloba as descontinuidades ao longo das quais o movimento relativo entre blocos é muito pequeno enquanto o termo falhas, ou zonas de falhas, podem variar quilômetros ou

dezena de quilômetros. Quando representados em mapas, as juntas e falhas em especial, normalmente correspondem a um conglomerado de planos de menor porte, em sua maioria, subparalelos (Figura 24)

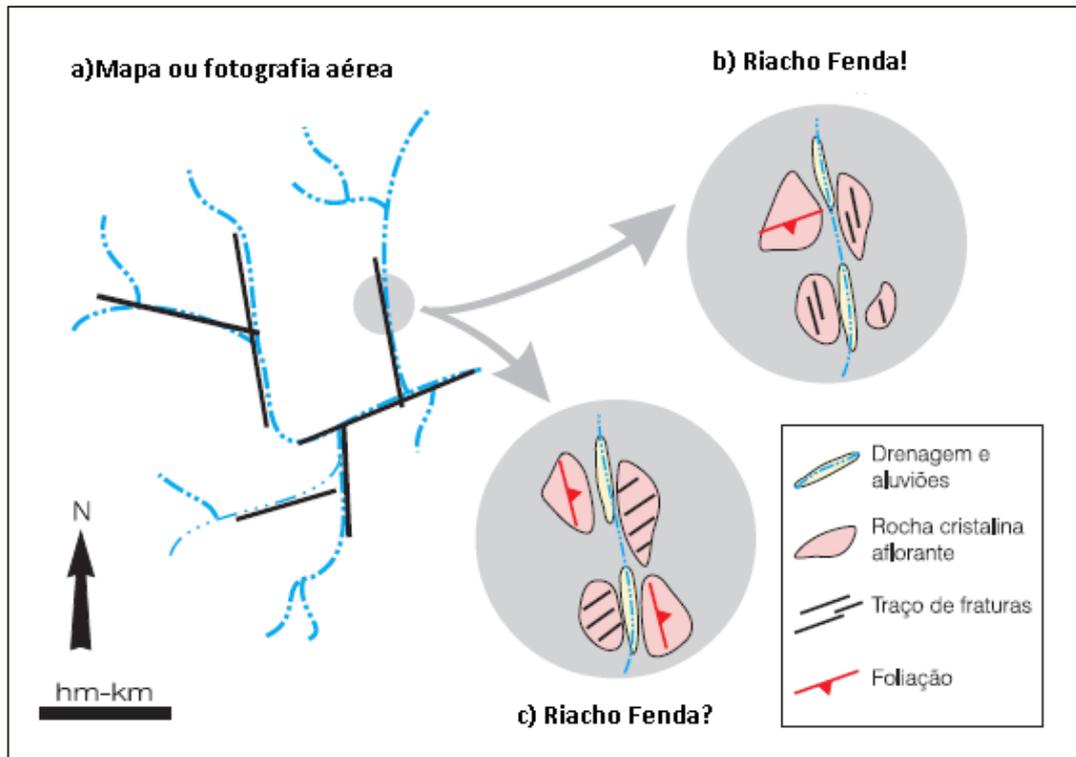
Figura 24 - Estruturas que controlam a ocorrência de águas subterrâneas em terrenos cristalinos:
a) juntas b) falhas e zonas de falhas c) contatos geológicos d) superfícies de foliação (incluindo zonas de cisalhamento),



Fonte: Adaptado de JARDIM DE SÁ *et al* (2008)

SIQUEIRA (1963 in Siqueira 1967) apud Manoel Filho, *et al.*, (2008) descreve o conceito de “riacho-fenda”, quando uma drenagem tem seu curso controlado por uma fratura /zona de fratura, tendo assim maiores possibilidades de recarga deste aquífero.(Figura 25)

Figura 25- Conceito de Riacho-Fenda visão da representação cartográfica.



Fonte: Adaptado de JARDIM DE SÁ, *et al.*, (2008)

É importante esclarecer que as fraturas são analisadas a partir de trechos retilíneos e cotovelos de drenagem por imagens de satélites. É necessário verificar em campo em afloramentos juntos à drenagem, a ocorrência de fraturamento paralelo similar ao *trend* analisado na fotografia aérea, pois assim validamos o modelo Riacho-Fenda. Entretanto, trechos retilíneos da drenagem também podem ser controlados pela foliação das rochas o que indica ausência de fratura. JARDIM DE SÁ (2008)

4.3.1 Neotectônica e Hidrogeologia

O conceito de Neotectônica diverge de acordo com a concepção dos vários autores que tratam do assunto, embora todos tratem das deformações tectônicas recentes da crosta terrestre.

Saadi (1993), afirma que a dificuldade em se estabelecer um período neotectônico universal está intimamente relacionada à evolução tectônica de cada região, que pode variar de acordo com as tensões locais e o posicionamento em relação ao arranjo das placas litosféricas.

O conceito de Neotectônica que norteará este estudo será o de movimentos na crosta que remetem ao intervalo de tempo geológico do Neógeno ao Quaternário (BRICALLI, 2011).

Muitas investigações confirmam o papel do campo de tensões atual em direcionar o comportamento se “aberto” ou “fechado” das fraturas, consequentemente implicando na sua capacidade de armazenamento hídrico. No Nordeste do Brasil, por exemplo, medidas sismológicas de poços e dados morfotectônicos também podem ser utilizados para conhecer os sistemas de tensões recentes (SAADI, 1993; BEZERRA, *et al.*,1998; NASCIMENTO DA SILVA, JARDIM DE SÁ,2000)

. Sendo assim, a Neotectônica também interfere, controla e reflete-se na rede de drenagem, nos blocos soerguidos e rebaixados, tendo uma participação efetiva nos processos erosivos, intemperismo e deposição das coberturas, fatores estes primordiais para a locação de poços.

Segundo Bezerra, *et al.*,(1998;2001);Coriolano,(2002).as deformações Neotectônicas vão gerar estruturas novas em rochas e unidades litoestratigráficas recentes e de idade neógena, à exemplo da Formação Barreiras.

Em outros casos a deformação neotectônica pode estar em unidades estratigráficas mais antigas. No cristalino Pré-cambriano, por exemplo, as novas fraturas são bastante rasas onde é possível encontrar reativações da trama de fraturas pré-existentes, onde cada tipo de reativação será em função da sua orientação em relação às tensões neotectônicas locais. Quando não há, este último pode ser estimado a partir dos sistemas de tensões regionais. (CORIOLANO, 2002)

Nascimento da Silva; Jardim de Sá, *et al.*,(2008) discutem a Interconexão de fraturas e as define como um fator extremamente positivo para desenvolver e aumentar as condições de porosidade nas áreas de fraturas abertas e permeabilidade em rochas com fraturas interconectadas.

4.4 ESTUDOS DE CASO SOBRE HIDROGEOLOGIA

Um dos primeiros trabalhos a citar o estudo da Hidrogeologia com o uso de geotecnologias no Espírito Santo foi a Tania Maria Evangelista em 1998, intitulada “*Localização de áreas mais favoráveis à prospecção e recarga de água subterrânea: Análise de métodos existentes e aplicação de técnicas de sensoriamento remoto à região de Guarapari/ES*”. Este trabalho é uma referência para os estudos de hidrogeologia com métodos de sensoriamento remoto e geoprocessamento no Espírito Santo.

Segundo Evangelista, (1998) são vários os métodos possíveis de serem utilizados na localização de áreas mais favoráveis à prospecção e recarga de água subterrânea. Dentre eles destacam-se quatro categorias metodológicas distintas: geofísica; sensoriamento remoto; análise da variação da temperatura do solo e análise geo-estrutural. A utilização conjunta dos métodos geofísica e sensoriamento remoto torna-se a mais recomendada

A metodologia baseia-se numa sequência sistemática de fotointerpretação e trabalhos de campo e consiste da geração de diversos mapas temáticos (tais como: drenagem, lineamentos estruturais, zonas de juntas, morfoestrutural), que depois de interpretados e integrados, compõem o mapa final, o qual apresenta a localização de áreas mais favoráveis à prospecção e recarga de água subterrânea em meios fissurados de regiões cristalinas na região de Guarapari / ES. (ROCIO,1993;VENEZIANI e LARROZA,1995;OLIVEIRA,1997)

Outro trabalho de grande relevância sobre hidrogeologia no estado do Espírito Santo foi realizado pelo CPRM e apresentado no XII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 2002, sendo responsável por analisar os aquíferos no norte do Estado do Espírito Santo, o potencial de exploração, realizando um diagnóstico sobre o aproveitamento das águas subterrâneas.

Segundo Mourão *et al.*,(2002) o levantamento estrutural realizado na área indicou as estruturas rúpteis de direção NS, e secundariamente NW, como as mais favoráveis ao armazenamento de água subterrânea. As vazões são comumente baixas, em média de 7m³/h, mas localmente podem atingir valores superiores a 15m³/h.

Análises físico-químicas revelaram a ocorrência frequente de ferro, cor e turbidez em valores elevados o que pode, em parte, estar relacionado às deficiências construtivas dos poços tubulares. Quanto à este aspecto, o cadastramento de pontos d'água realizados na pesquisa , mostrou que 51% dos poços tubulares encontravam-se em risco potencial médio a elevado de contaminação em virtude de problemas verificados em sua construção e manutenção.(MOURÃO, 2002)

Distribuídos na área de forma aproximadamente igualitária ocorrem os sistemas aquíferos granulares e os sistemas aquíferos fissurados. Os primeiros são subdivididos em aquíferos granulares terciários representados pelas Formações Barreiras e Rio Doce e em aquíferos granulares quaternários formados pelas aluviões e sedimentos fluvio-marinhos. O maior potencial hidrogeológico relaciona-se aos sedimentos da Formação Rio Doce, tendo sido obtidas vazões de até 82m³/h. Os sistemas aquíferos fissurados são constituídos por rochas granito-gnáissicas e intrusivas básicas. (MOURÃO e LIMA, 2002).

Coelho, (2010) realizou um estudo no Vale do Paraíba no Estado de São Paulo sobre a identificação e caracterização das zonas de captura e concentração de águas subterrâneas a partir de produtos de sensoriamento remoto. Realizado a partir da imagem ETM+ Landsat 7 banda 4, com resolução espacial de 30 metros, observadas em escala de 1:100.000, elaborado a partir da compartimentação da área em 4 classes de densidade textural e relacionado com as propriedades geotécnicas (permeabilidade, alterabilidade,ruptibilidade e tropia).

Ainda segundo Coelho, (2010) a identificação de juntas ocorreu em escala de 1:50.000 e foram traçadas apenas as juntas com comprimento entre 100 e 1000 metros. Loczy e Ladeira (1980) definem juntas como planos ou superfícies de fraturas que dividem as rochas e ao longo dos quais não ocorreu deslocamento das paredes rochosas paralelamente aos planos de fratura ou, se o deslocamento ocorreu, ele foi mínimo e não visível.

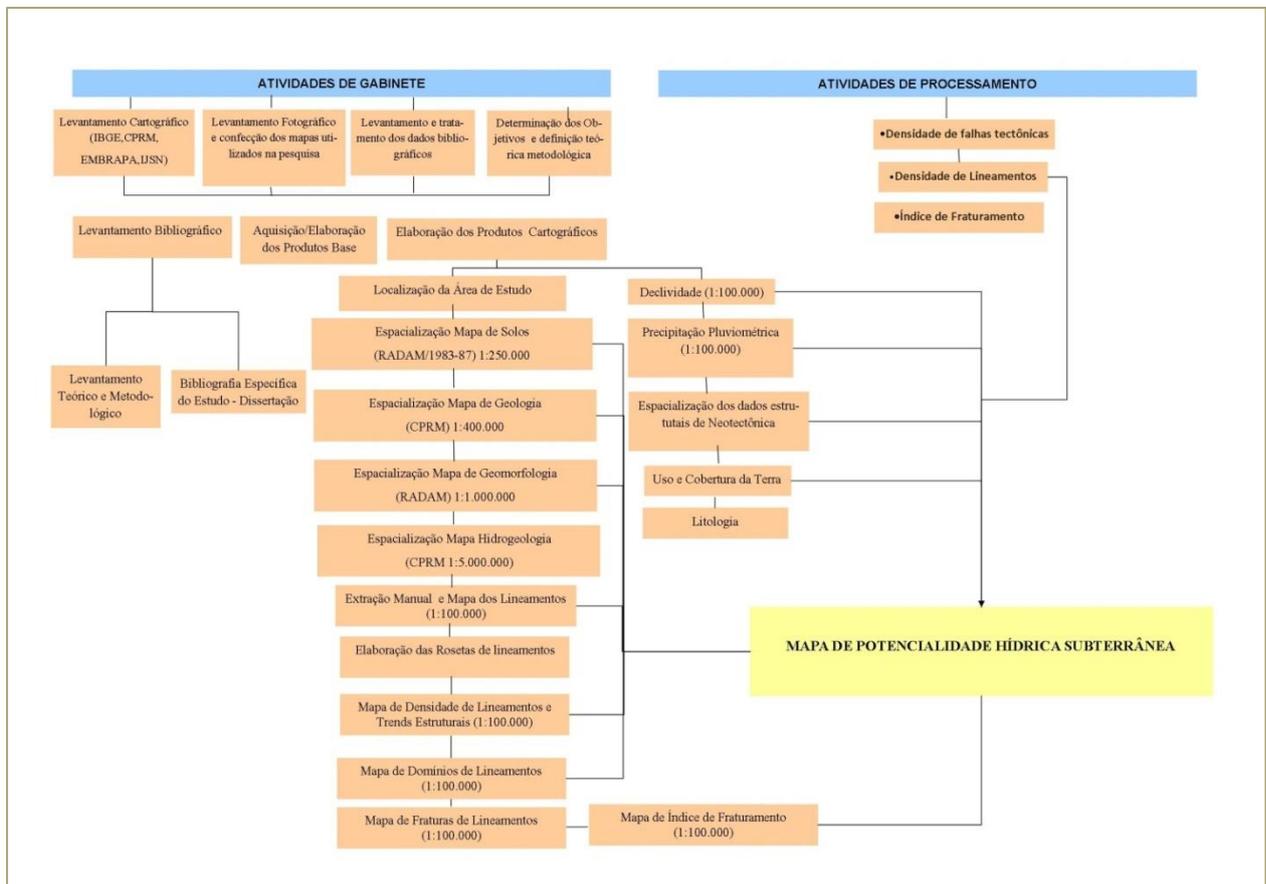
Os lineamentos foram identificados em escalas 1:100.000, a partir das feições lineares de drenagem e de quebras negativas de relevo e com mais de 1,5 km de extensão.

A aplicação do método de análise das feições dúcteis se iniciou com a análise sistemática da rede de drenagem, e a identificação de suas feições anômalas. Sobre o mapa de assimetrias de drenagem foram traçadas as linhas de forma e as descontinuidades que interrompem as estruturas. Sendo assim, foram destacados os altos e baixos estruturais, formando assim um mapa de linhas de forma, representativo das direções das estruturas das rochas e, conseqüentemente, direções preferenciais de percolação de fluidos.

5. MATERIAIS E MÉTODOS

O desenvolvimento deste estudo está sintetizado no fluxograma apresentado na Figura 26. Nele são apresentadas as principais etapas do estudo a fim de gerar o mapa de potencialidade hídrica subterrânea.

Figura 26- Fluxograma apresentando a síntese das etapas seguidas no presente estudo.



Organização: Talles G. Santos (2018)

5.1 ANÁLISES DE GABINETE

5.1.1 Análise de Lineamentos

Para a análise de lineamentos utilizou-se o método manual de extração de lineamentos a partir da metodologia utilizada por Bricalli (2011, 2016).

O mapa de lineamentos foi confeccionado a partir da técnica de extração manual, gerado com a ferramenta de edição do *ArcGis™ 10.3.1* (ESRI, 2016) - disponível para uso do laboratório de Geotecnologias do Programa da Pós Graduação em Geografia da Universidade Federal do Espírito Santo, sobre um Modelo Digital de Elevação (MDE) com diferentes iluminações artificiais (BRICALLI, 2011; 2016).

O MDE foi obtido através do site <http://www.webmapit.com.br/inpe/topodata/> (INPE, 2011) referente ao levantamento realizado entre 11 e 22 de fevereiro de 2000 pela *Shuttle Radar Topography Mission (SRTM-NASA)*, a priori com resolução espacial de 90m.

Entretanto, os dados SRTM foram refinados pela equipe de Processamento Digital de Imagens (PDI) do INPE, a partir de uma sequência de operações em escala 1:250.000, dos dados originais, alterando-se a resolução, que foi mudada de 3" (~90m) para 1" (~30m) a partir da interpolação tendo assim um maior nível de detalhes da superfície morfométrica.

Estes dados são disponibilizados em formato executável em *ArcGis™* e georreferenciados em sistema de projeção geográfica com *datum* WGS-1984 e , posteriormente convertidas para SIRGAS 2000 , pela ferramenta de conversão de datum do programa. (Figura 27) Em seguida a imagem foi tratada, seguindo as seguintes etapas sugeridas por Bricalli (2011 , 2016):

- Aplicação de quatro iluminações artificiais (000°, 045°, 090° e 315°), buscando destacar a maior quantidade de lineamentos possíveis (Figura 28) (Figura 29) (Figura 30) (Figura 31). Essas iluminações foram obtidas a partir do cálculo do sombreamento do relevo, utilizando se a ferramenta "*Hillshade*" do *ArcMap™ 10.3.1* presente no *Arctoolbox*;
- Escolha da elevação solar com o ângulo de 45°, facilitando as análises em regiões heterogêneas com relevo de plano a montanhoso;

- Para gerar o “*Hillshade*” foi necessário estabelecer o “*Z-factor*” pelo *ArcMap*10.3.1™. Este valor, variável de acordo com a latitude em que a área em análise encontra-se no planeta, é calculado a partir da média entre os valores das latitudes que abrangem o estado do Espírito Santo, estabelecidos pelo programa *ArcGis*™ 10.3.1 sendo utilizado o valor 0,00000934 (Tabela 2). O estabelecimento do “*Z-factor*” utilizado é necessário devido à diferença entre as unidades da superfície horizontal (em graus) e a unidade da elevação (z, em metros).

Com o uso da ferramenta de edição do *ArcGis*™ 10.3.1 os lineamentos foram traçados em cada uma das iluminações referenciadas, na escala 1:100.000. A escolha dessa escala se deve ao fato de termos o melhor detalhamento da área sem perder a resolução na imagem. Foram utilizados os seguintes elementos, sugeridos por Liu (1984) e Bricalli (2011,2016): Linhas de segmentos de escarpas, alinhamento de vales, trechos de rios e lagos, e depressões alongadas.

Figura 27- Modelo digital de elevação (Topodata processado-Shuttle Radar Topography Mission/SRTM-NASA)

Organização: Talles G. Santos (2018)

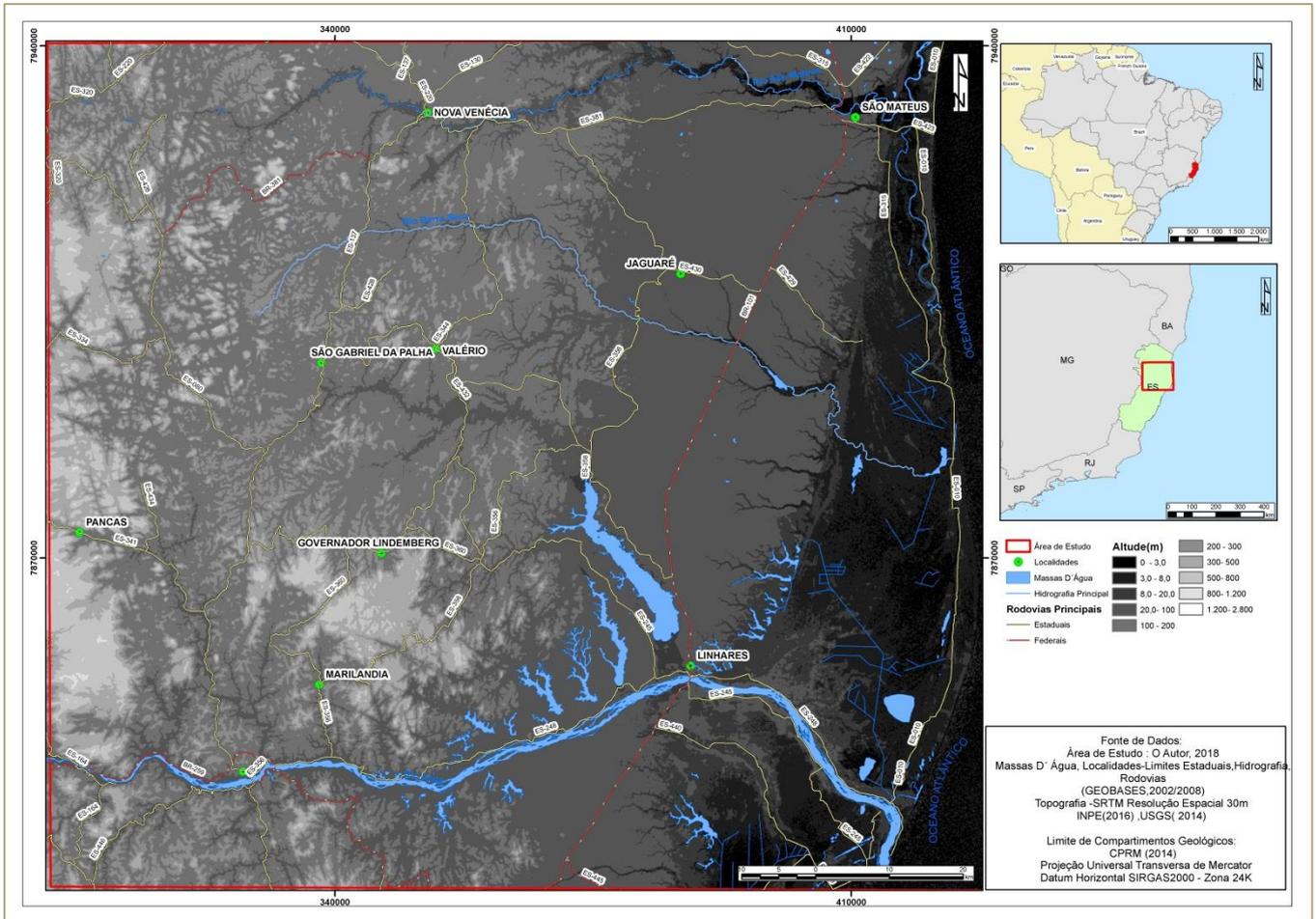


Figura 28 - Modelo digital de elevação do estado do Espírito Santo, com aplicação de iluminações artificiais de 0°(A), elevação solar constante de 45°.

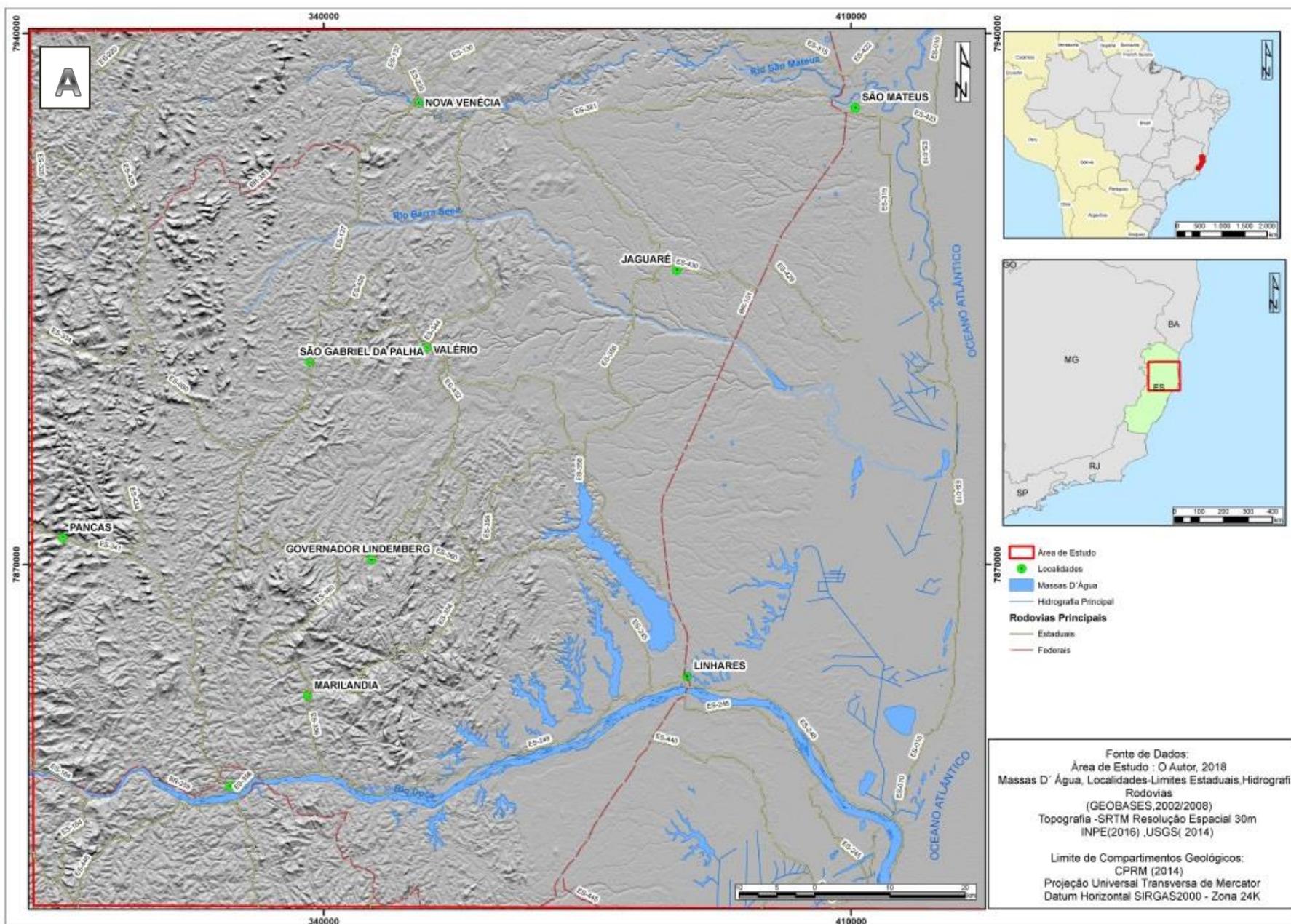


Figura 29-Modelo digital de elevação do estado do Espírito Santo, com aplicação de iluminações artificiais de 45°(B), elevação solar constante de 45°.

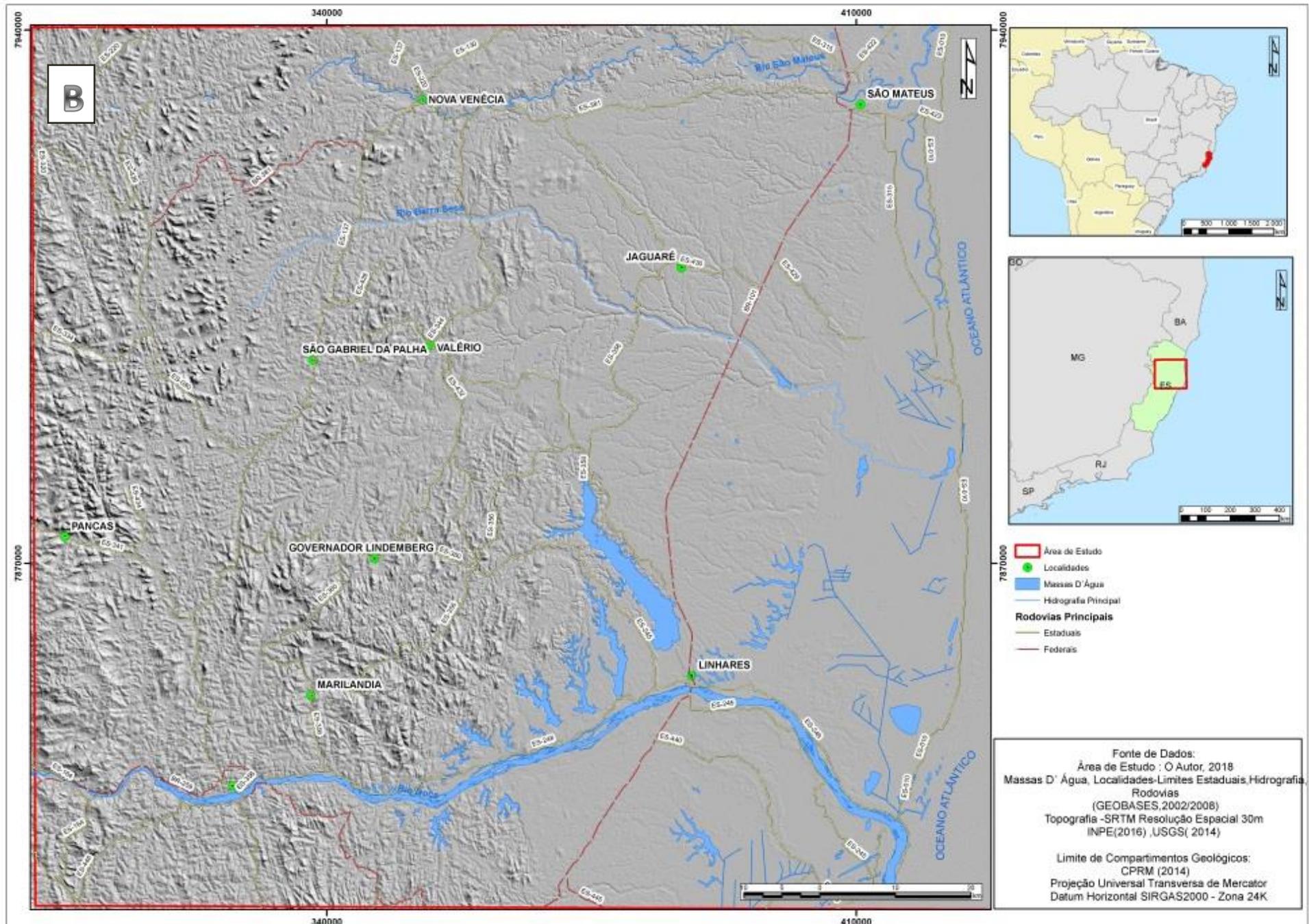


Figura 30-Modelo digital de elevação do estado do Espírito Santo, com aplicação de iluminações artificiais de 90°(C), elevação solar constante de 45°.

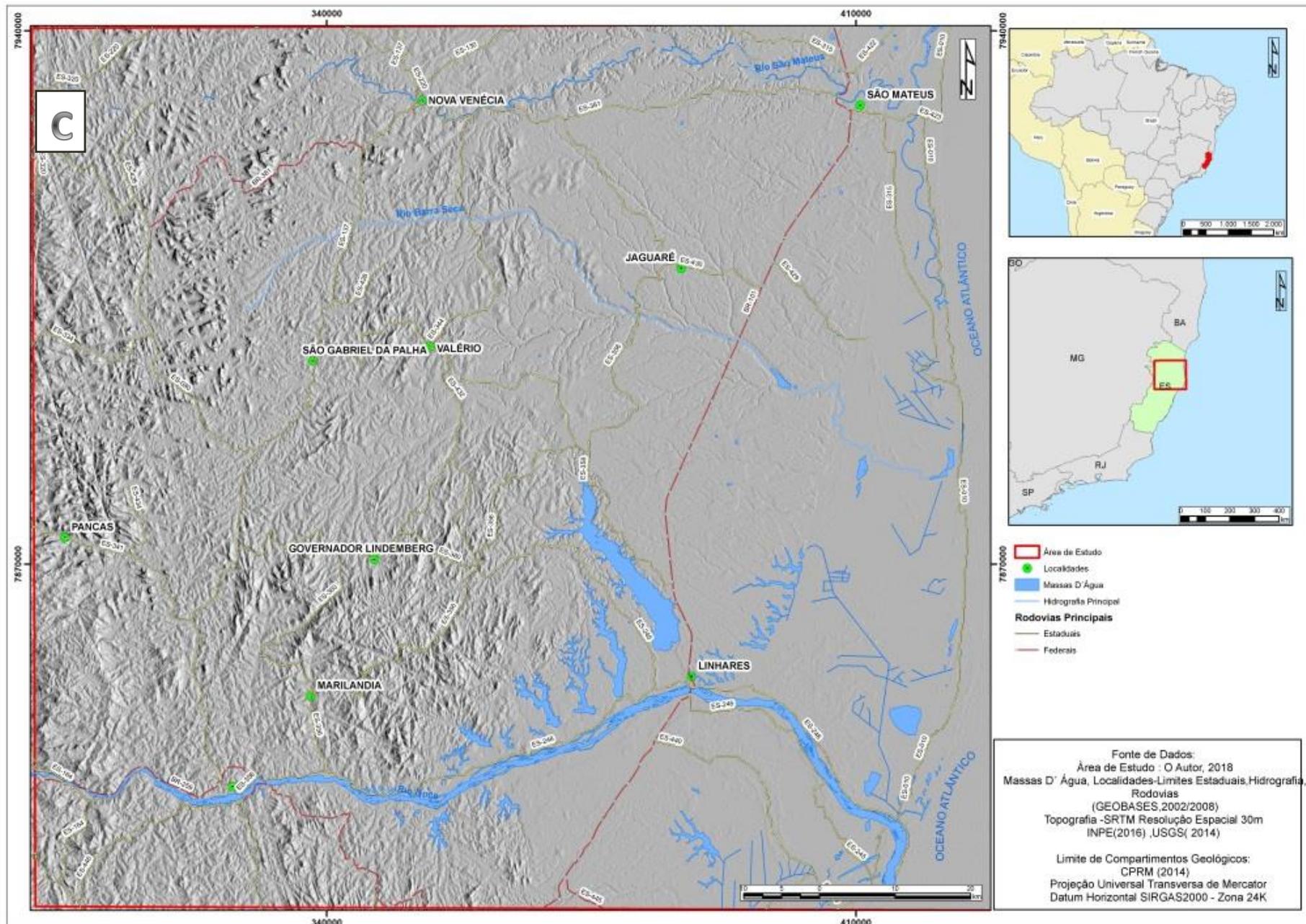


Figura 31-Modelo digital de elevação do estado do Espírito Santo, com aplicação de iluminações artificiais de 315°(D), elevação solar constante de 45°.

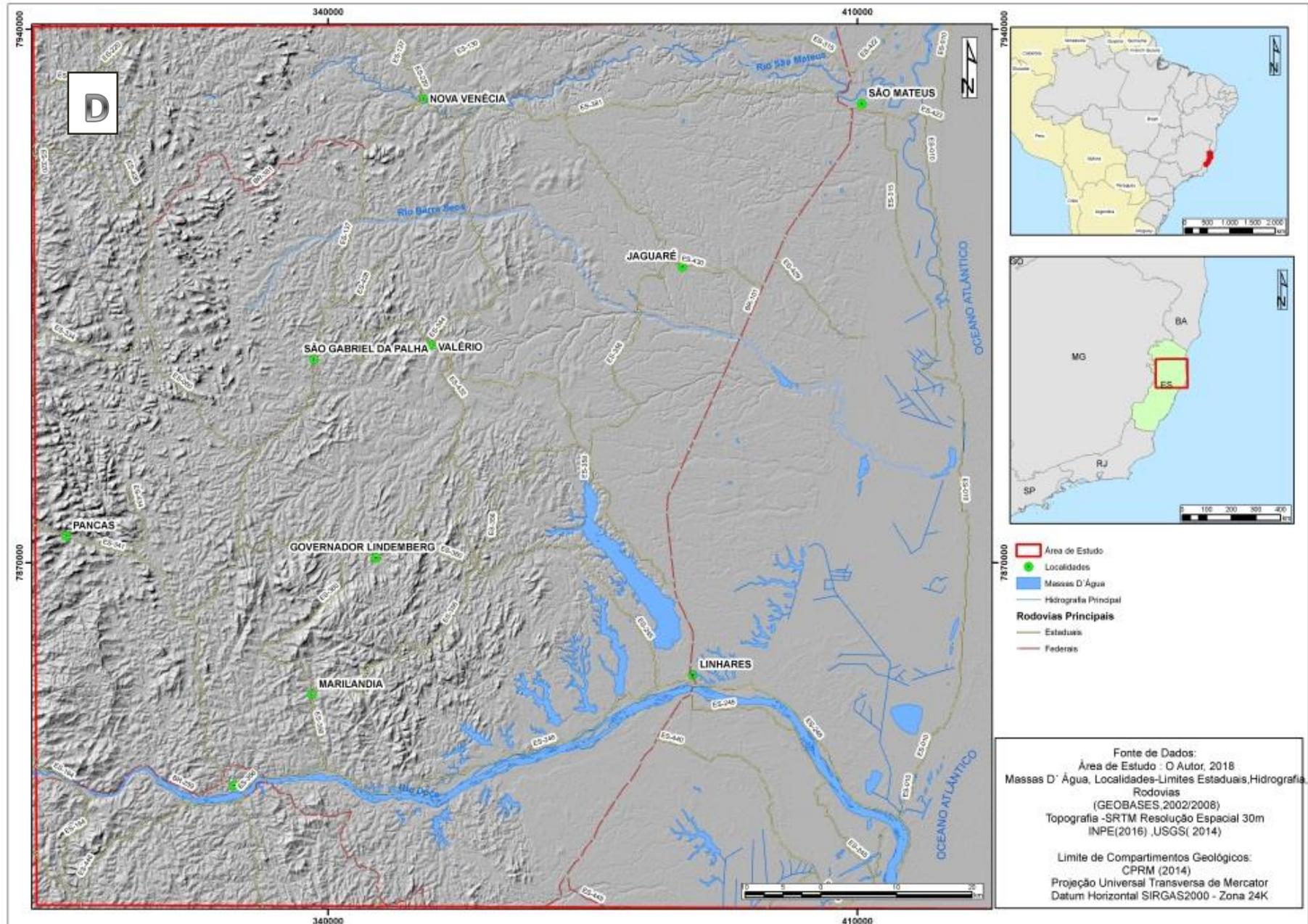


Tabela 1-Diferentes valores de fator z, de acordo com a latitude, segundo o software ArcGis™ 10.3.1

<i>Latitude</i>	<i>Z factor (in meters)</i>
0	0.00000898
10	0.00000912
20	0.00000956
30	0.00001036
40	0.00001171
50	0.00001395
60	0.00001792
70	0.00002619
80	0.00005156

MÉDIA = 0,00000934

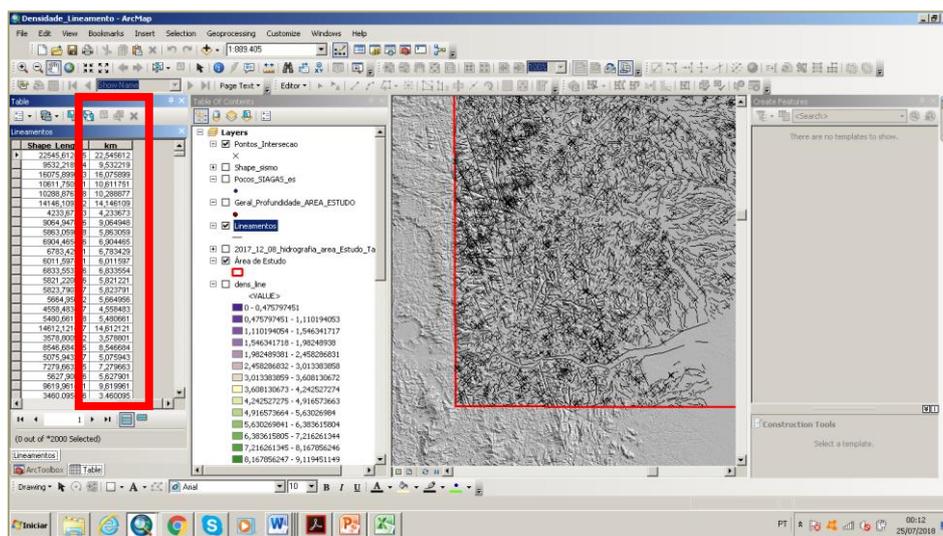
Fonte: BRICALLI. L(2011) *Modificado de ArcGis™ 10.3.1- Disponível em <https://www.esri.com/arcgis-blog/products/product/imagery/setting-the-z-factor-parameter-correctly/>*.

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

Para o cálculo da direção de lineamentos, primeiramente foi criado, no *ArcGISTM 10.3,1* um campo (coluna) na tabela de atributos. Em seguida, foram aplicadas fórmulas da ferramenta *AzimuthFinder* aplicativo desenvolvido pela Universidade Federal do Paraná (UFPR) que pode ser baixado gratuitamente através do site do grupo de pesquisas em Neotectônica e tem por finalidade facilitar e otimizar a geração de tabelas de dados azimutais. Tais dados são gerados a partir de lineamentos estruturais previamente traçados em imagens de satélite, fotografias aéreas ou mapas geológicos em meio digital os valores de direção foram criados automaticamente na tabela de atributos, nos campos previamente estabelecidos.

Para o cálculo de comprimento de lineamentos, primeiramente foi criado, no ArcGis™ 10.3.1 (ESRI, 2012) um campo (coluna) na tabela de atributos com a nomenclatura (km). Em seguida, foram aplicadas fórmulas da ferramenta *Field Calculator* e os valores de comprimento foram criados automaticamente na tabela de atributos, no campo previamente estabelecido. (Figura 32)

Figura 32- Processo de cálculo do comprimento em Quilômetros dos lineamentos no ArcGis 10.3.1. Destaque para a coluna (campo) criada com a nomenclatura (Km)



Fonte: Captura de tela do ArcGis™ 10.3.1- Organização: Talles G. Santos

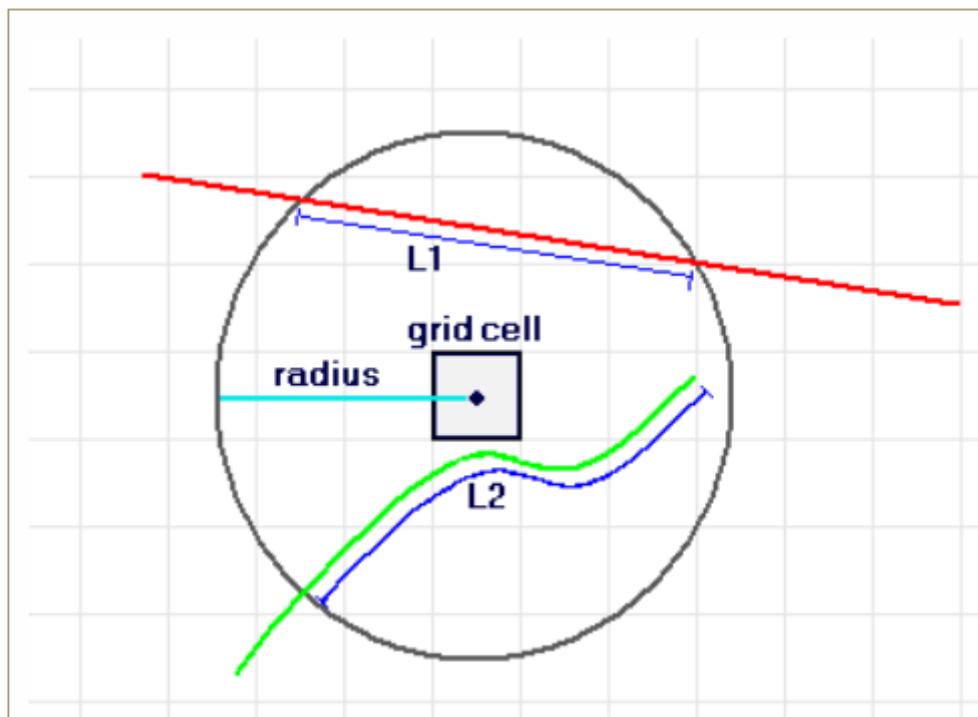
5.1.2 Densidade de Lineamentos

A densidade de lineamentos foi calculada utilizando-se a ferramenta *Line Density*, presente no *ArcToolbox*, com tamanho de célula 90 e unidade da área em km/km^2

A ferramenta *Line Density* calcula a densidade de recursos lineares na vizinhança de cada célula de varredura de saída e calcula em unidades de comprimento por unidade de área.

Um círculo é desenhado em torno de cada centro de célula raster usando o raio de pesquisa (radius). O comprimento da parte de cada linha que está inserida no círculo (L1) é multiplicado pelo valor do campo População (*grid cell*). Essas figuras são somadas (L2) e o total é dividido pela área do círculo (Figura 33)

Figura 33 - Processo de cálculo de densidade dos lineamentos no ArcGis 10.3.1™. Destaque para o tipo de processamento gerando um raster.



Fonte: ESRI (2012) - Disponível em <http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/how-line-density-works.htm>

5.1.3 Trends Estruturais

Os *Trends* estruturais de lineamentos foram traçados com base nos locais que apresentavam maior densidade de lineamentos.

Criou-se um plano de informações de linha no ArcGis 10.3.1™ para traçar, após interpretação, onde se encontravam as maiores incidências de lineamentos na área de estudo.

5.1.4 Diagrama de Rosetas

Os valores de direção e comprimento de lineamentos foram representados em diagramas de rosetas. Estes valores foram exportados do ArcGis 10.3.1™ para uma tabela no Excel 2010® e, em seguida, plotados em tabelas presentes no programa Oriana (versão 4.0, *license demo*), da Kovach Computing Services, disponível no site

<http://www.kovcomp.co.uk/oriana/downl2.html>. Foram construídas rosetas representativas da direção e do comprimento predominantes para a área total.

5.1.5 Índice de Fraturamento

O índice de fraturamento é extremamente necessário, pois é uma das etapas para se chegar ao mapeamento final do mapa de potencialidade hídrica.

GOMES, (2008) utilizou a metodologia do índice de fraturamento , à partir da densidade de lineamentos x a densidade de interseções entre os lineamentos.

Este é o resultado da soma algébrica ponderada de dois outros *grids*, o de densidade de interseções e o de frequência de lineamentos, que receberam, respectivamente, pesos de 60% e 40%.

Diversas literaturas discorrem sobre o índice de fraturamento, uma vez que o armazenamento de águas em rochas depende de uma porosidade secundária, formada a partir de fraturas e falhas, adquiridas devido às deformações de uma tectônica, sendo desenvolvido um aquífero livre. A quantidade de água está condicionada principalmente pelo índice de fraturamento, pelo grau de abertura das fendas, pela interconexão das fraturas e pela ligação do sistema de fissuramento das rochas com as zonas de recarga em superfície.

Para identificar os pontos de interseção entre os lineamentos foi necessário ter um conhecimento de bancos de dados espaciais, para criar em ambiente de Sistemas de Informações Geográficas(SIG) um Esri Personal Geodatabase(GDB) produto do ArcGis™10.3.1.

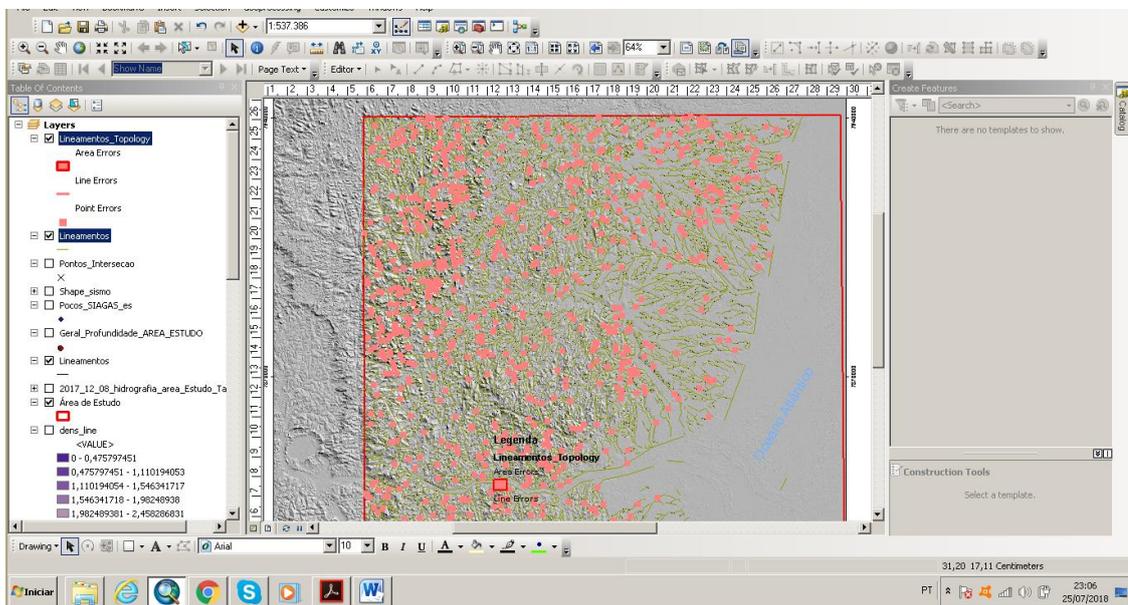
Nos Sistemas de Informações Geográficas (SIG), a Topologia expressa o relacionamento espacial entre camadas vetoriais (geometrias de ponto, linha ou área) que se conectam ou são adjacentes.

A validação da topologia tem o objetivo de estabelecer a verificação das tarefas geradas na edição.

Ao rodar o erro topológico *Must Not Intersect* de sobreposição e interseção de linhas, o produto final identificado foram os pontos de interseção para posterior geração do índice de fraturamento. (Figura 34)

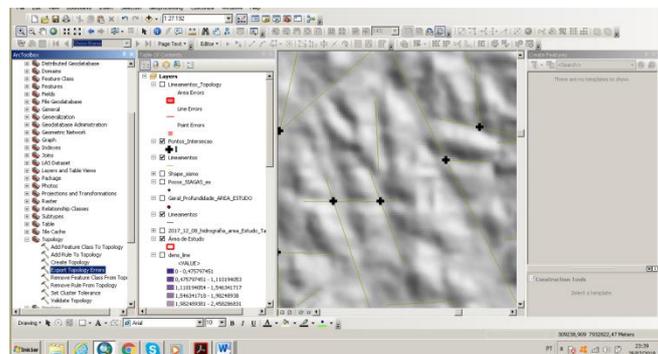
Entretanto, para extrair os erros topológicos, é necessário realizar outra função no *ArctoolBox* para identificar e exportar os erros para a feição ponto, utilizando-se do *Data Management Tools* → *Topology* → *Export Topology errors*. Sendo assim, após exportar os pontos teremos as zonas de interseção entre lineamentos. (Figura 35)

Figura 34– Erros Topológicos identificando as interseções



Fonte: Captura de tela do ArcGIS™ 10.3.1-Organização Talles G. Santos (2018)

Figura 35-Etapa para exportar os erros topológicos para a feição ponto de interseção de lineamentos no ArcGIS™ 10.3.1



Fonte: Captura de tela do ArcGIS™ 10.3.1-Organização Talles G. Santos (2018)

5.1.6 Mapa de declividade

O mapa da declividade foi elaborado de acordo com as classes propostas por Ross (1994) e Amaral e Ross (2009), sendo correlacionadas com os níveis hierárquicos do relevo e vulnerabilidade, que vão de muito fraca, fraca, média, forte a muito forte. (Tabela 2).

A declividade é uma variável de extrema relevância na análise da percolação de água e conseqüentemente na recarga do aquífero, principalmente quando o estudo é realizado por meio da análise integrada da paisagem.

Tabela 2– Classes de declividade

Classe Hierárquica	Declividade (%)
Muito Fraca	0 – 6
Fraca	6 –12
Média	12 – 20
Forte	20 – 30
Muito Forte	> 30

Fonte: ROSS(1994) ; ROSS;AMARAL(2005).

Para gerar o mapa das classes de declividade será realizado a função presente no *ArctoolBox* do *ArcGis*™ 10.3.1 sendo utilizadas as seguintes ferramentas da extensão ArcMap: ArcTollbox → :Spatial Analyst Tools → Surface→ Slope nas imagem raster do MDE SRTM – Topodata. 30 metros de resolução espacial, porém há a necessidade reclassificá-lo de acordo com intervalos de classes definidas por Ross (1994) e Amaral e Rosss(2005) em Raster Reclass → Reclassify .

5.1.7 Mapa de Precipitação Pluviométrica

O mapa de precipitação pluviométrica foi elaborado com os dados da pluviosidade normal climatológica (Anos de 1968 a 2014) disponibilizados gratuitamente pela Agência Nacional de Águas (ANA) e o Instituto Jones dos Santos Neves(IJSN).

Após a aquisição, tabulação e análise dos dados da precipitação, será realizado a interpolação das informações em ambiente SIG para a geração dos mapas das distribuições de chuva da área de estudo, utilizando como interpolador o *IDW* como descrito a seguir.

O *IDW* é uma ferramenta usada como um método de interpolação que estima os valores utilizando uma função matemática que realiza a interpolação pela distância inversa ponderada determinando os valores da célula através de uma combinação linear ponderada de um conjunto de pontos de amostra sendo que a superfície interpolada deve ser aquela de uma variável dependente da localização. Esse método assume que a variável representada cartograficamente diminui sua influência a uma distância maior de sua localização de amostra.

O uso do interpolador adequado traz uma maior confiança para as análises e diminui substancialmente os erros e resíduos gerados por cálculos matemáticos. Neste caso, optou-se o uso do *IDW*, pois o recorte da área de estudo traz uma sutil variação entre os índices pluviométricos o que pode trazer interpretações errôneas para o pesquisador. Entretanto, para amenizar este efeito, analisa-se de forma conjunta à outras variáveis a influencia da pluviosidade para locais favoráveis à água subterrânea.

5.1.8 Poços de água subterrânea

Os primeiros dados obtidos nesta pesquisa foram os dados tabulares com informações sobre localização e informação dos poços de água em atividade ou extintos. Estas informações foram adquiridas gratuitamente

através da Agência Estadual de Recursos Hídricos (AGERH), órgão responsável por executar a Política Estadual de Recursos Hídricos, regular o uso dos recursos hídricos estaduais, promover a implementação, gestão das obras de infraestrutura hídrica de usos múltiplos, e realizar o monitoramento hidrológico no Estado do Espírito Santo.

Como o banco de dados possuía a localização dos poços com as coordenadas UTM foi possível espacializá-los em ambiente SIG com o software *ArcGis™ 10.3.1* com a ferramenta *Add XY Data* para melhor entendimento e percepção da dispersão espacial do uso das águas subterrâneas na porção Centro/Norte do Espírito Santo, e o cruzamento da localização dos poços com pontos de falhas neotectônicas. (Figura 36)

Figura 36– Processo de tabulação do Banco de disponibilizado pela AGERH Declaração de Regularização do Uso de Águas Subterrâneas dos anos 2016 e 2017

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	
	Cód_PF	DATA SEP	Nº SEP	DATA ENVIO	DATA EMAIL	NOME	COORD-E	COORD-N	GEOFISICA	IMAGENS	BIBLIOGRAFIA	B2 - NEN															
1	0008	09/06/16	7462.9689	09/06/2016	29/02/2016	CARLOS VICENTE NIGRO	346520	7732210																			
2	0009	13/06/2016	7471.6832	30/06/2016	17/03/2016	PAULO IVAN CASAGRANDE	269942	7720444				NENHUA															
3	0010	13/06/2016	7471.6638	30/06/2016	18/03/2016	PAULO IVAN CASAGRANDE	271381	7719415				NENHUA															
4	0012	13/06/2016	7471.6077	30/06/2016	26/02/2016	PAULO ANTÔNIO DA ROS SAGRILLO	393742	7870586				NENHUA															
5	0014	24/06/2016	7485.8467	24/08/2016	04/03/2016	FRANCISCO LOSS MILAGRES	298349	7830811				NENHUA															
6	0021	24/06/2016	7485.8181	26/08/2016	22/06/2016	ERNANI SILVEIRO DA ROS SAGRILLO	395264	7869150				NENHUA															
7	0025	14/07/2016	7505.3730	26/08/2016	16/03/2016	LAURITO LUIZ RIGONI	393844	7841645				NENHUA															
8	0026	14/07/2016	7505.3802	26/08/2016	16/03/2016	LAURITO LUIZ RIGONI	393873	7841733				NENHUA															
9	0030	14/07/2016	7505.3225	15/07/2016	06/07/2016	Alvimar Antonio Colombi	340728	7893275				NENHUA															
10	0031	14/07/2016	7505.3330	15/07/2016	06/07/2016	Marcos Angelo Bissoli	341606	7894552				NENHUA															
11	0034	2016.0034	7540.8740	30/08/2016	11/07/2016	VILMAR ASTORI	378901	7847390				NENHUA															
12	0052	2016.0052	7540.7787	13/09/2016	29/04/2016	José Antônio Fiorido	267803	7667208				NENHUA															
13	0053	2016.0053	7540.7787	13/09/2016	29/04/2016	José Antônio Fiorido	267870	7667122				NENHUA															
14	0055	2016.0055	7540.8627	29/09/2016	25/02/2016	ANÍZIO JOSÉ ROCHA	351115	7797477				NENHUA															
15	0057	2016.0057	7540.8449	10/10/2016	05/10/2016	Paulo Roberto de Paula Bernardo	292440	7742853				NENHUA															
16	0069	2016.0069	7540.8740	27/10/2016	14/03/2016	DARU NITZ	391606	7893209				NENHUA															
17	0070	2016.0070	7540.8260	10/11/2016	08/11/2016	ELIO LACERDA DE MOURA	272166	7750582				NENHUA															
18	0071	2016.0071	7540.8449	11/11/2016	08/11/2016	CESAR CONTE GUIMARÃES	327501	7753500				NENHUA															
19	0079	2016.0079	7540.8740	25/11/2016	21/11/2016	João Luiz Castello Lopes Ribeiro Filho.	375689	7885879				NENHUA															
20	0080	2016.0080	7540.8740	25/11/2016	21/11/2016	João Luiz Castello Lopes Ribeiro Filho.	375675	7885897				NENHUA															
21	0091	2016.0091	75408260	01/12/2016	02/09/2016	PAULO SERGIO FERIANI	263779	7739421				NENHUA															
22	0092	2016.0092	75408260	01/12/2016	02/09/2016	PAULO SERGIO FERIANI	263067	7741749				NENHUA															
23	0093	2016.0093	75408260	01/12/2016	02/09/2016	PAULO SERGIO FERIANI	269198	7741934				NENHUA															
24	0094	2016.0094	75407787	01/12/2016	25/10/2016	DEUSEDIR DE OLIVEIRA FERREIRA	225300	7674436				NENHUA															

Fonte: Captura de Tela dos dados da AGERH (2016;2017)

Outro banco de dados importante que auxiliou nas análises de localização de poços foi o disponibilizado pelo Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS) do CPRM. Este banco de dados possui a localização dos poços e algumas informações sobre a vazão, natureza do poço

entre outras. Entretanto, há um espaçamento temporal muito grande entre os dois bancos de dados SIAGAS (2010) x AGERH (2017) o que impossibilita muitas vezes a comparação entre informações. Mas para efeitos de localização dos poços e distribuição espacial, torna-se um importante ferramental para o estudo desta pesquisa.

5.1.9 Dados Estruturais de Neotectônica

No Brasil, os principais estudos sobre a Neotectônica (área de estudo envolvendo a tectônica no intervalo de tempo do Neógeno e do Quaternário) têm sido desenvolvidos na região Sudeste, principalmente na área do *Rift* Continental do Sudeste do Brasil (RCSB)– feição geotectônica desenvolvida na área emersa adjacente às bacias de Santos e Campos, incluindo importantes bacias sedimentares (BRICALLI, 2011).

A área de estudo possui um histórico de movimentos recentes na crosta, devido a isso houve um interesse grande por parte de pesquisadores que abordam o tema da Neotectônica, resultando em uma base de dados importantes sobre os quadros neotectônicos propostos e sobre a influência exercida na compartimentação geomorfológica.

A situação mais comum, no embasamento cristalino, é a reativação da trama de fraturas preexistentes (principalmente de idade cambriana ou eocretácea) podendo atingir os depósitos cenozoicos.

Sistemas de fraturas fotointerpretadas, com evidência de movimentação neotectônica (cenozóica), exibem correlação com vazões de poços elevadas, nas suas adjacências, CORIOLANO, (2002).

Portanto, há a necessidade do conhecimento dos dados neotectônicos para auxílio nas análises de possíveis reativações de fraturas que contribuem para a recarga ou formação dos aquíferos.

Foram analisados e plotados 38 (trinta e oito) pontos de localização das falhas neotectônicas disponíveis na tese de BRICALLI, (2011), afetando a Formação Barreiras, sua cobertura de alteração, coberturas sedimentares tidas como neogênicas, depósitos quaternários e rochas do embasamento já em processo de alteração. (Tabela 3).

Foi organizada uma tabela no o software *ArcGis™ 10.3.1* (ESRI, 2012) e plotados os pontos de coordenadas em Datum SIRGAS 2000, Fuso 24 K, e em seguida espacializados os pontos de faturamento neotectônico a fim de sobrepor aos mapas de lineamentos e os dados de poços, anteriormente espacializados.

Sendo assim foi possível espacializar e ter uma visão geral dos pontos com identificação de falhas/estrias e a localização para iniciar o processo de interpretação dos dados e correlação da neotectônica e incidência de águas subterrâneas.

Tabela 3– Localização geográfica dos pontos de coletas de dados estruturais

N°	PONTOS	CÓDIGO	COORD_X(SI RGAS 2000 FUSO 24K)	COORD_Y(SIRGA S 2000 FUSO 24K)	MEDIDAS ANALISADA S
1	Aracruz 01	ARA-01	370786,2755	7826404,95	20
2	Aracruz 03	ARA-03	367424,2769	7823883,96	20
3	Aracruz 06	ARA-06	367131,277	7823664,961	10
4	Itapemirim 03	ITA-03	295119,6844	7654322,491	37
5	Itapemirim 04	ITA-04	304634,6393	7660952,428	3
6	Linhares 02	LIN-02	382910,2231	7858524,898	7
7	Linhares 03	LIN-03	375950,2305	7849728,919	14
8	Linhares 08	LIN-08	376887,1781	7877205,887	10
9	Nova Almeida 02	NV-02	376458,3685	7780643,963	24
10	Nova Almeida 04	NV-04	373839,3654	7781681,97	9
11	Nova Venécia 04	NV-04	394731,1341	7899992,85	7
12	Rio Novo do Sul 02	RNS-02	317181,1353	7823665,154	7
13	Aracruz 05	ARA-05	342844,2032	7831344,032	33
14	Aracruz 07	ARA-07	356224,3041	7806198,002	1

15	Aracruz 12	ARA-12	361874,2762	7821028,976	3
16	Castelo 01	CAST 01	275019,4138	7730243,632	2
17	Colatina 07	COL-07	325854,0932	7842923,093	9
18	Linhares 01	LIN-01	353610,1179	7871595,951	14
19	Linhares 05	LIN-05	367225,1623	7871806,915	6
20	Linhares 09	LIN-09	358402,1211	7878800,926	56
21	Mimoso do Sul 01	MS-01	252525,938	7655516,823	3
22	Mimoso do Sul 02	MS-02	259850,8359	7663535,76	2
23	Mimoso do Sul 03	MS-03	241697,0384	7656433,915	6
24	Mimoso do Sul 04	MS-04	259079,8372	7664433,767	43
25	Nova Venécia 01	NV-01	364573,908	7929640,86	9
26	Nova Venécia 05	NV-05	364816,0119	7909995,883	3
27	Nova Venécia 06	NV-06	370453,0335	7909534,874	1
28	Nova Venécia 08	NV-08	353921,938	7915248,899	8
29	Nova Venécia 09	NV- 09	344319,8563	7920428,914	21
30	São G. da Palha 03	SGP-03	316013,9076	7870058,101	4
31	São G.I da Palha 05	SGP-05	307419,8289	7872607,137	3
32	São G. da Palha 08	SGP-08	318116,8571	7894780,026	5
33	São G. da Palha 09	SGP-09	321246,8885	7892512,019	3
34	São G. da Palha 11	SGP-11	341597,0673	7871899,987	5
35	São G. da Palha 12	SGP-12	323533,0111	7858275,085	6
36	São G. da Palha 13	SGP-13	339351,1433	7844705,035	12
37	São G. da Palha 14	SGP-14	338199,9884	7895184,954	12
38	Serra 01	SER-01	362745,3704	7774916,01	11

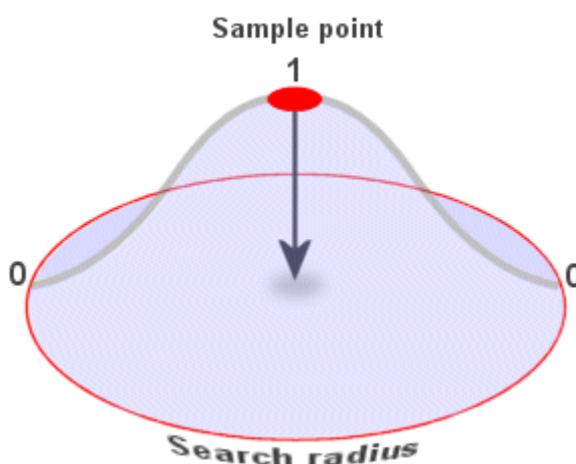
Fonte: Luiza Leonardi Bricalli (2011) Org. Talles Gomes Santos (2018)

5.1.10 Densidade de Falhas/Estrias neotectônicas

A densidade de falhas/estrias neotectônicas foi calculada utilizando-se dados da quantidade de medidas analisadas na Tabela 3 e processada com a ferramenta *Kernel Density*, presente no *ArcToolbox*, com tamanho de célula 100 e unidade em falhas/km²

A ferramenta *kernel Density* calcula a densidade superficial desenhando uma vizinhança circular ao redor de cada ponto de amostra (Figura 37), em seguida, aplica uma função matemática que vai de 1 na localização do ponto até 0 no limite da vizinhança (ESRI,2016).

Figura 37- Processo de cálculo do Kernel Density



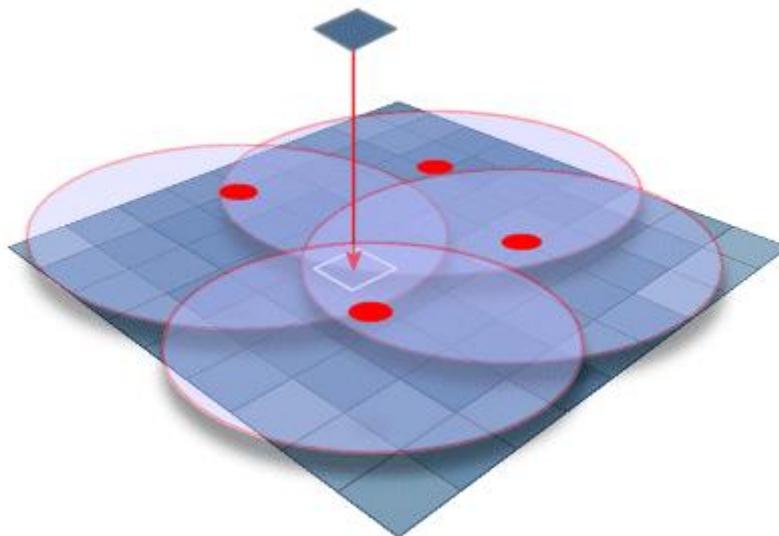
Fonte: <http://www.geography.hunter.cuny.edu/~jochen/gtech361/lectures/lecture11/concepts/Kernel%20density%20calculations.htm>

Em cálculos de densidade, o tamanho do núcleo é determinado pelo tamanho do raio de busca, que é centralizado em um ponto de amostra. Quanto maior o raio de busca, maior o plano *Kernel*.

Quando uma função *Kernel* é aplicada a cada ponto de dados, o efeito é semelhante ao de uma superfície de elevação, exceto que o valor de densidade de cada célula é calculado adicionando os valores de todas as superfícies do *Kernel* onde eles se sobrepõem ao centro da célula. Se dois ou mais núcleos se sobrepõem a um centro de célula, o valor para

essa célula é a soma dos valores de *Kernel* sobrepostos divididos pela área do raio de pesquisa. O valor da densidade é relatado em unidades especificadas, como quilômetros quadrados o que para efeitos de cálculo de densidade de falhas na área de estudo traz resultados satisfatórios (Figura 38).

Figura 38-Processo de cálculo de densidade kernel e sobreposição de vários pontos no ArcGis 10.3.1



Fonte:- Disponível em

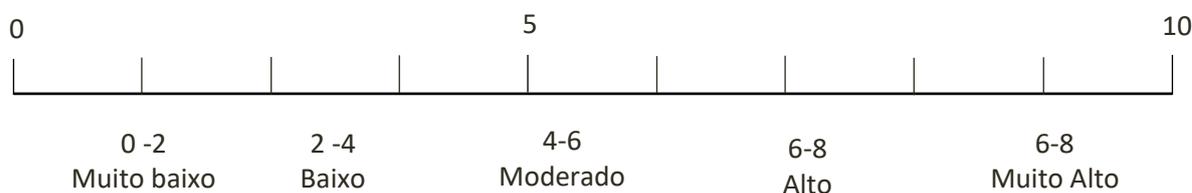
<http://www.geography.hunter.cuny.edu/~jochen/gtech361/lectures/lecture11/concepts/Kernel%20density%20calculations.htm>

5.1.11 Mapa de Potencialidade Hídrica Subterrânea

Os dados utilizados nesta pesquisa para elaboração do mapa de Potencialidade Hídrica Subterrânea serão adaptados de Brandão e Gomes (2003), bem como a metodologia que irá envolver as etapas seguintes:

- Seleção com base no conhecimento empírico, das evidências ou fatores influentes no fenômeno em estudo;
- Análise dos fatores com o objetivo de atribuir notas às suas respectivas classes, isto é, ponderá-las. Para isso, é necessário que as classes de cada um sejam normalizadas para um intervalo ou escala numérica ordinal, por exemplo, de 0 (zero) a 10 (dez). (Figura 39)

Figura 39 - Escala Ordinal para ponderação das classes.



Organização Talles Gomes Santos

- Atribuição de pesos a cada um dos fatores, segundo as regras de decisão previamente definidas no contexto do objetivo a ser alcançado;
- Combinação dos fatores entre si, aplicando a técnica de modelagem conhecida como Combinação Linear Ponderada - WLC (*Weighted Linear Combination*), por meio da função aritmética de média ponderada.

As regras de decisão do especialista em relação relacionamento espacial entre os diferentes fatores escolhidos e suas respectivas influências a essência da modelagem baseada no conhecimento.

Para o mapa representar de forma mais real as condições na área de estudo, vamos ponderar os dados. Com este propósito, será utilizado o método AHP (*Analytic Hierarchy Process*) proposto por Saaty (1977), através da decisão do problema em níveis hierárquicos. Este método determina por meio da síntese dos valores dos agentes de decisão, uma medida global para cada alternativa, priorizando-as ou classificando-as ao finalizar o método (GOMES et. al., 2004).

Vamos utilizar a matriz de comparação par a par ou matriz de decisão, fazendo uso da escala fundamental de Saaty. O método de elaboração da matriz faz uso de uma escala de comparação, em que se pode definir linearmente a hierarquia de importância entre os fatores pré-definidos (Índice de fraturamento, densidade de lineamentos, densidade de falhas neotectônicas, trends estruturais, litologia, declividade e pluviosidade).

O Mapa de Potencialidade Hídrica Subterrânea foi elaborado com o auxílio dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG), baseando-se na

metodologia multicritério no modelo baseado no conhecimento proposto por Brandão e Gomes (2003) por ponderação das classes e das seguintes variáveis: Índice de fraturamento, densidade de lineamentos, densidade de falhas neotectônicas, litologia, declividade e pluviosidade.

Cada variável analisada para elaboração do Mapa de Potencialidade Hídrica Subterrânea recebeu pesos definidos empiricamente, de acordo com o grau de importância de cada variável. Foram definidos pesos, que variem de 0 – 100% (0-1) para cada variável de modo a diferenciar o grau de importância e correlação com o fenômeno em questão (percolação hídrica e recarga de aquífero), e notas de 1 a 5 para cada componente de legenda, de maneira que quanto maior a nota, maior capacidade de armazenamento hídrico. Tais processos são denominados de tomada de decisão multicritério, fazendo uso de modelos multicritérios, onde são aplicadas variáveis que influenciam o impacto no fenômeno estudado (LONGLEY et al., 2013).

5.1.11.1 Atribuição de notas para as classes das variáveis analisadas

O procedimento metodológico para geração do Mapa de Potencialidade Hídrica Subterrânea está embasado na proposta por Brandão e Gomes (2003) que sistematizou uma hierarquia que expressa o grau de potencialidade hídrica do local. A metodologia foi adaptada para a análise de potencialidade hídrica subterrânea.

Dessa forma, foram estabelecidas as notas para cada uma das classes atribuídas às variáveis mencionadas, apresentados nas Tabelas 4,5,6,7,8 e 9

Tabela 4-Notas atribuídas às classes do índice de fraturamento

Classe do índice de fraturamento	Nota
Muito Baixo	1
Baixo	3
Médio	5
Alto	7
Muito Alto	10

Organização: Talles Gomes Santos

Tabela 5-Notas atribuídas às classes da variável densidade de lineamentos

Classes da densidade de lineamentos (km/km²)	Nota
< 0,5	1
0,5 – 2,37	3
2,37 – 5,00	6
5,00 – 8,00	8
8,00 – 10,11	10

Organização: Talles Gomes Santos

Tabela 6- Notas atribuídas às classes da densidade de falhas/estrias neotectônicas

Classe da densidade de falhas/estrias neotectônicas (falhas/km²)	Nota
Muito Baixo	1
Baixo	3
Médio	5
Alto	7
Muito Alto	10

Organização: Talles Gomes Santos

Tabela 7- Notas atribuídas às classes da variável litologia. (continua)

Classe	Nota
C_cortado_a_delta_4ip - Diorito	3
C_cortado_a_delta_4sb - Norito	3
C_cortado_a_gamma_4Cpp - Charnoenderbito, Charnockito, Enderbito	3
C_cortado_a_gamma_4lip - Granito	3
C_cortado_a_gamma_4lva - Granito	3
C_cortado_gamma_5lam - Charnockito, Granito	3
C_cortado_gamma_5sm - Granito	3

ENb - Arenito conglomerático, argilito arenoso, siltito	5
N3cl - Areia e Silte	9
N4ca - Areia, argila e cascalho	9
N4cl - Argila e silte	9
NP3_gamma_1mc - Metagranodiorito, Metatonalito, Rocha granulítica	9
NP3_gamma_2cc - Leucogranito, Gnáisse Granítico	4
NP3a_gamma_1st - Enderbitito	3
NP3a_gamma_2Cp - Charnockito	3

Classe	Nota
NP3a_gamma_2Scl - Metatonalito	3
	3
NP3a_gamma_2Smt - Granitóide	3
PRps - Gnaisse milonítico, Granada gnaisse e Metamarga	5
PRpssgn - Gnaisse aluminoso	5
Q1a - Areia, argila e cascalho	9
Q2a - Argila, cascalho e silte	9
Q2di - Sedimento siliciclástico	9
Q2fl - Areia, argila, silte	9
Q2li - Areia e argila	9
Q2p – Areia	9

Tabela 8- Notas atribuídas às classes da variável declividade.

Classes de Declividade (%)	Nota
0 – 6	10
6 – 12	7
12 – 20	5
20 – 30	3
>30	1

Organização: Talles Gomes Santos

Tabela 9-- Notas atribuídas à níveis pluviométricos (NC 1968 à 2014)

Pluviometria (mm)	Nota
900-1.000	1
1.000-1.150	2
1.150-1.200	3
1.200-1.270	4
1.270-1.360	5

Organização: Talles Gomes Santos

5.1.11.2 Atribuição de valores de peso às variáveis analisadas

Foram atribuídos valores de peso a cada uma das variáveis acima citados com base na importância que cada uma delas representa nos processos de cálculo para geração do Mapa de Potencialidade Hídrica Subterrânea (Figura 40) as quais são descritas abaixo:

- **Índice de fraturamento:**

Esta variável recebeu o maior peso, pois considerou-se que, apesar da importante relação das demais variáveis na avaliação da potencialidade hídrica, por exemplo, nem sempre, densidade de fraturas ou elevada concentração de lineamentos coincide com a maior percolação hídrica. Maior peso atribuído a esta variável: 0,35 (Tabela 10)

- **Densidade de lineamentos e Densidade de falhas/estrias neotectônicas:** Variáveis importantes na análise estrutural, pois permite correlacionar a rugosidade superficial à ações do relevo. Áreas com maior quantidade de lineamentos e com grandes comprimentos, correspondem, de uma maneira geral, à áreas com maior potencialidade de interseções destes lineamentos para gerar fraturas. Peso médio atribuído a esta variável. Receberam o mesmo valor, pois são elementos fundamentais para avaliação das áreas favoráveis à potencialidade hídrica. Com ela pode-se dimensionar através das maiores quantidade de estrias e falhas a potencialidade do relevo se reestruturar e poder gerar armadilhas hídricas. Peso médio atribuído a estas variáveis em conjunto: 0,30 (Tabela 10)

• **Litologia:** Elemento fundamental para a recarga hídrica, a litologia possui papel muito importante no cálculo e no cruzamento dos dados para geração do Mapa de Potencialidade Hídrica Subterrânea. Por exemplo, uma área com rochas graníticas e baixa porosidade tendem a ser impermeáveis, excluindo-se o fato de possuírem falhas, fraturas etc. Enquanto áreas com rochas sedimentares e porosas terão maior capacidade de infiltração por isso diferenças das notas atribuídas. Peso atribuído a esta variável: 0,20 (Tabela 10)

• **Declividade:**

A partir da revisão bibliográfica realizada, evidenciou-se que, para que haja suscetibilidade à potencialidade hídrica, é imprescindível a declividade do terreno ser favorável à percolação e recarga do aquífero. Uma área plana apresenta uma probabilidade maior de ocorrência hídrica subterrânea. Peso atribuído a esta variável: 0,10 (Tabela 10)

• **Pluviosidade:**

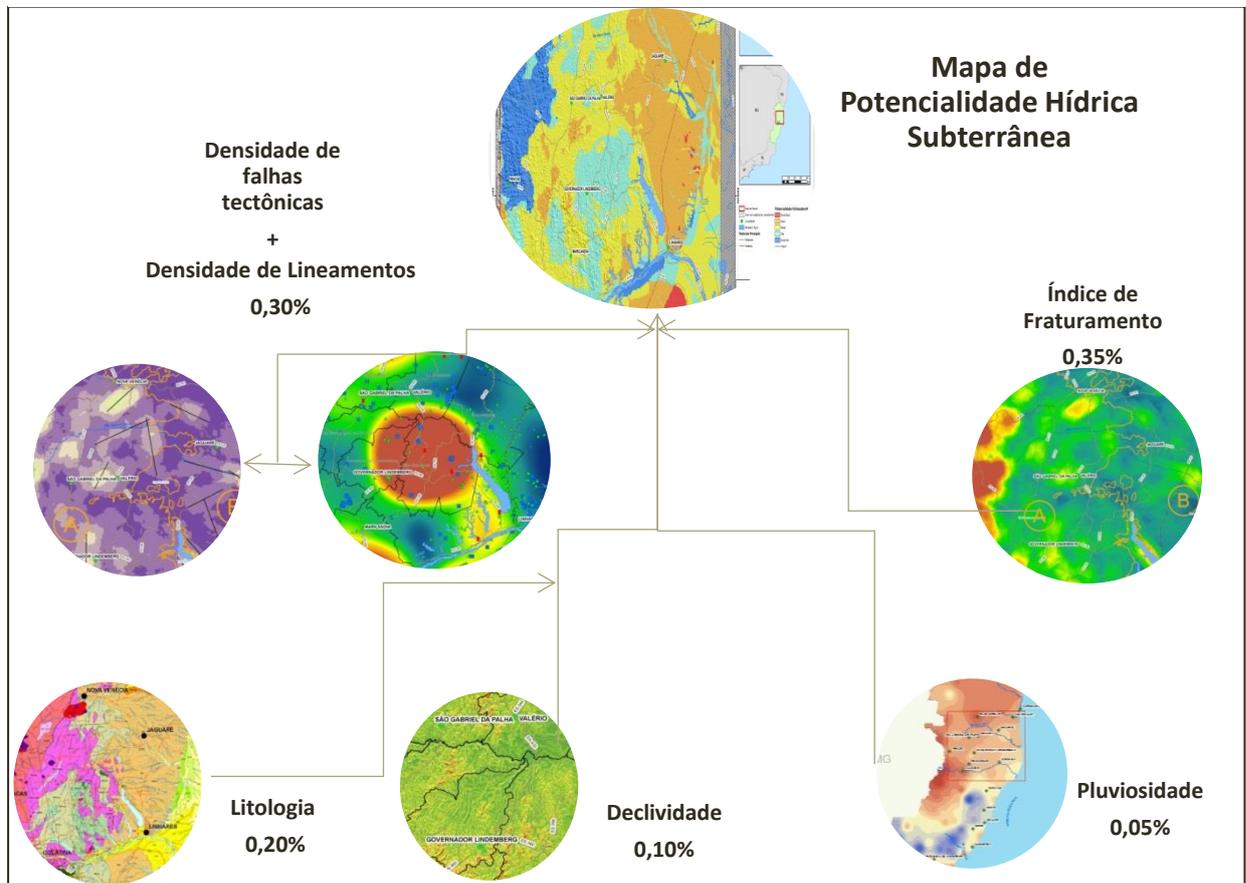
A partir da revisão bibliográfica realizada, evidenciou-se que, é imprescindível a pluviosidade por ser o principal elemento favorável à percolação e recarga do aquífero. Peso atribuído a esta variável: 0,05 (Tabela 10).

Tabela 10-Variáveis utilizadas para elaboração do Mapa de Potencialidade Hídrica Subterrânea e seus respectivos pesos.

Variável	Peso
Índice de fraturamento	0,35
Densidade de lineamentos	0,30
Densidade de falhas neotectônicas	
Litologia	0,20
Declividade	0,10
Pluviosidade	0,05

Organização: Talles Gomes Santos

Figura 40-Organograma das variáveis e pesos atribuídos para elaboração do Mapa de Potencialidade Hídrica Subterrânea



Organização: Talles Gomes Santos

5.1.11.3 Integração das informações das variáveis analisadas (Análise Multicritério)

Depois de estabelecidas as notas para cada classe de variável (Índice de fraturamento, densidade de lineamentos, densidade de falhas neotectônicas, litologia, declividade e pluviosidade), iniciou-se a integração das informações das variáveis analisadas, a partir do software ArcGIS 10.3.1™ (ESRI, 2016).

A primeira etapa consistiu em converter o plano de informação de litologia, que estava em formato vetorial, para o formato raster, uma vez que a

modelagem aqui proposta só pode ser executada com arquivos neste formato. Os planos de informação índice de fraturamento, densidade de lineamentos, densidade de falhas neotectônicas, declividade e pluviosidade foram criadas inicialmente em formato raster, conforme detalhado no item 5.1

Os Planos de informação que estavam em formato vetorial, foram convertidas para o formato *raster* através do comando *features to raster* presente na ferramenta *Spatial Analyst> convert*, presente na barra de tarefas do referido *software*.

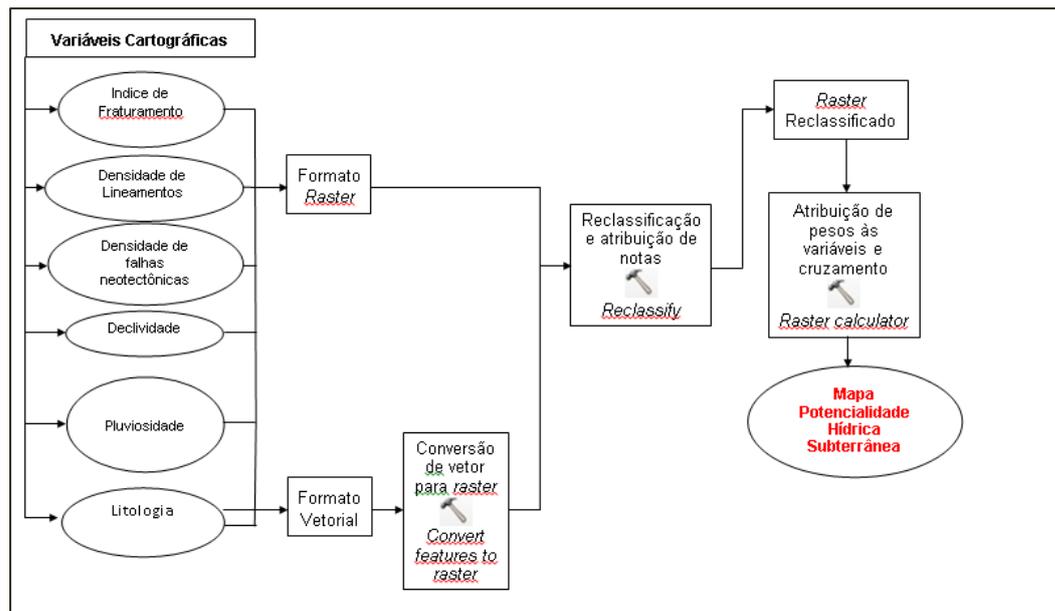
A segunda etapa foi reclassificar cada classe presente nos planos de informação de acordo com as notas estabelecidas nas Tabelas 6,7,8 e 9. A reclassificação foi realizada através da função *reclassify* presente em *ArcToolbox>Spatial Analyst tools>Reclass* do *software* ArcGIS 10.3.1™ (ESRI, 2016).

A terceira etapa consistiu em correlacionar os 6 (seis) planos de informação e gerar o Mapa de Potencialidade Hídrica Subterrânea. Para isto foi utilizada a função *Raster Calculator* presente em *Spatial Analyst*, na barra de ferramentas do *software* ArcGIS 10.3.1™ (ESRI, 2016). Esta função do Mapa de Potencialidade Hídrica Subterrânea (MPHS) executa o cruzamento dos dados por meio de operações aritméticas automáticas, com base nos pesos atribuídos às classes das variáveis e às notas estabelecidas para cada variável.

MPHS= (índice de fraturamento*0,35)+(densidade de lineamento + densidade de falhas)*0,30+(litologia * 0,20) + (declividade * 0,10) + (pluviosidade*0,05)

A Figura 41 exemplifica as etapas do processo de elaboração do Mapa de Potencialidade Hídrica Subterrânea

Figura 41-Etapas do processo de elaboração do Mapa de Potencialidade Hídrica Subterrânea



Organização: Talles Gomes Santos

6. RESULTADOS

6.1 ANÁLISES DE GABINETE

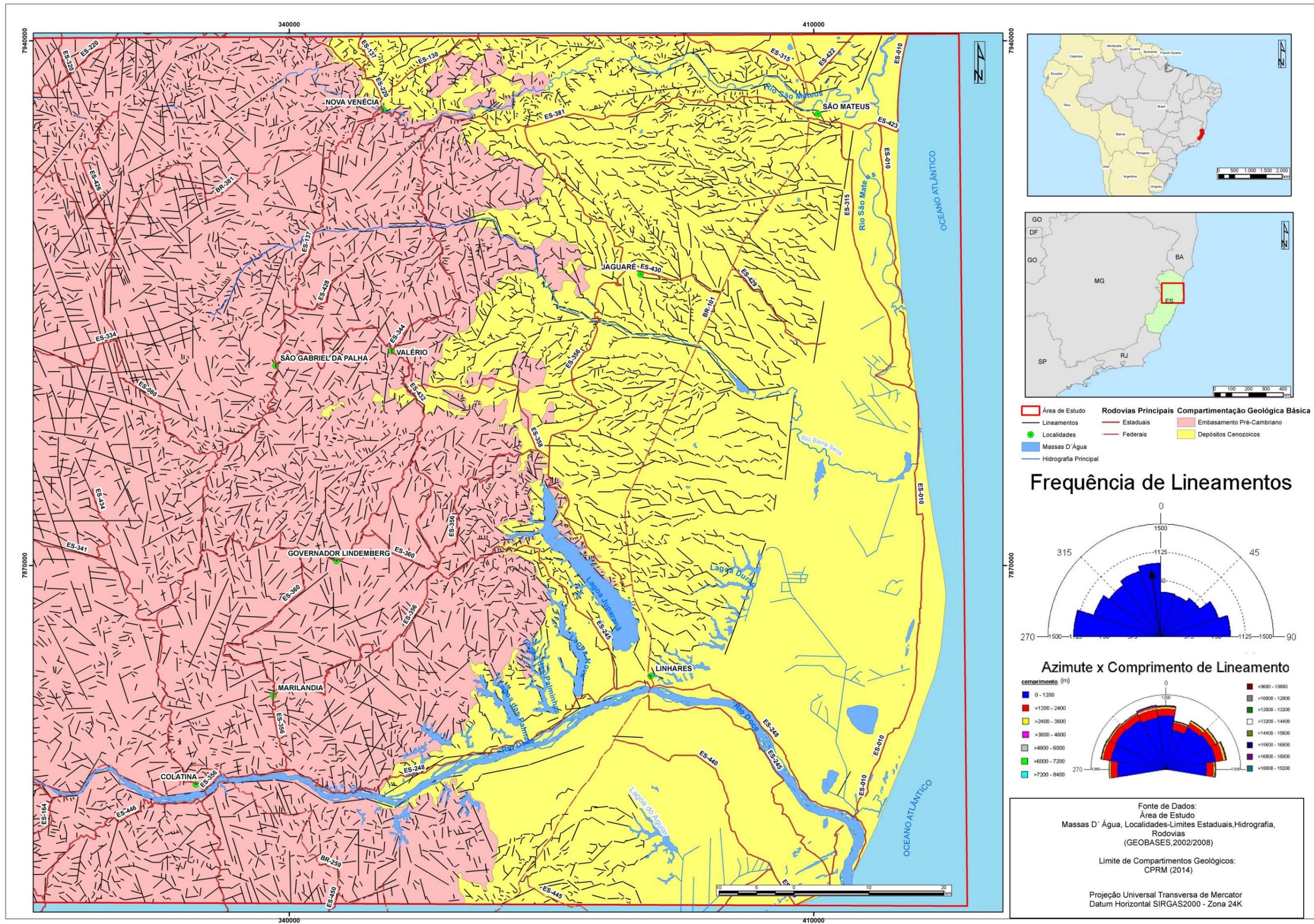
6.1.1 Análise de Lineamentos

No mapa de lineamentos elaborado através do método de extração manual para região Centro/Norte do Estado do Espírito Santo (Figura 42) na escala 1:100.000, foram identificados 8.049 lineamentos em uma área de 14.905,65 km².

Na área de estudo observa-se uma maior concentração de lineamentos NW a NNW (36%), em seguida orientações NE-SW a NNE-SSW (18%) e, por último, mas não menos importante, orientações E-W (39%). Os lineamentos de maior comprimento médio são os de orientação NW a NNW, NE-SW a NNE-SW e, por último, mas não menos importante, orientações, orientações E-W (Figura 42).

Vale ressaltar os lineamentos com orientação NNW-SSE nas proximidades dos corpos lacustres na região de Linhares, que por sua vez estão na mesma orientação dos lineamentos identificados por Bricalli (2011), apresentando um controle neotectônico.

Figura 42 - Mapa de lineamentos (extração manual) da porção Centro/Norte do estado do Espírito Santo, sobre a compartimentação geológica básica.



6.1.2 Densidade de Lineamentos

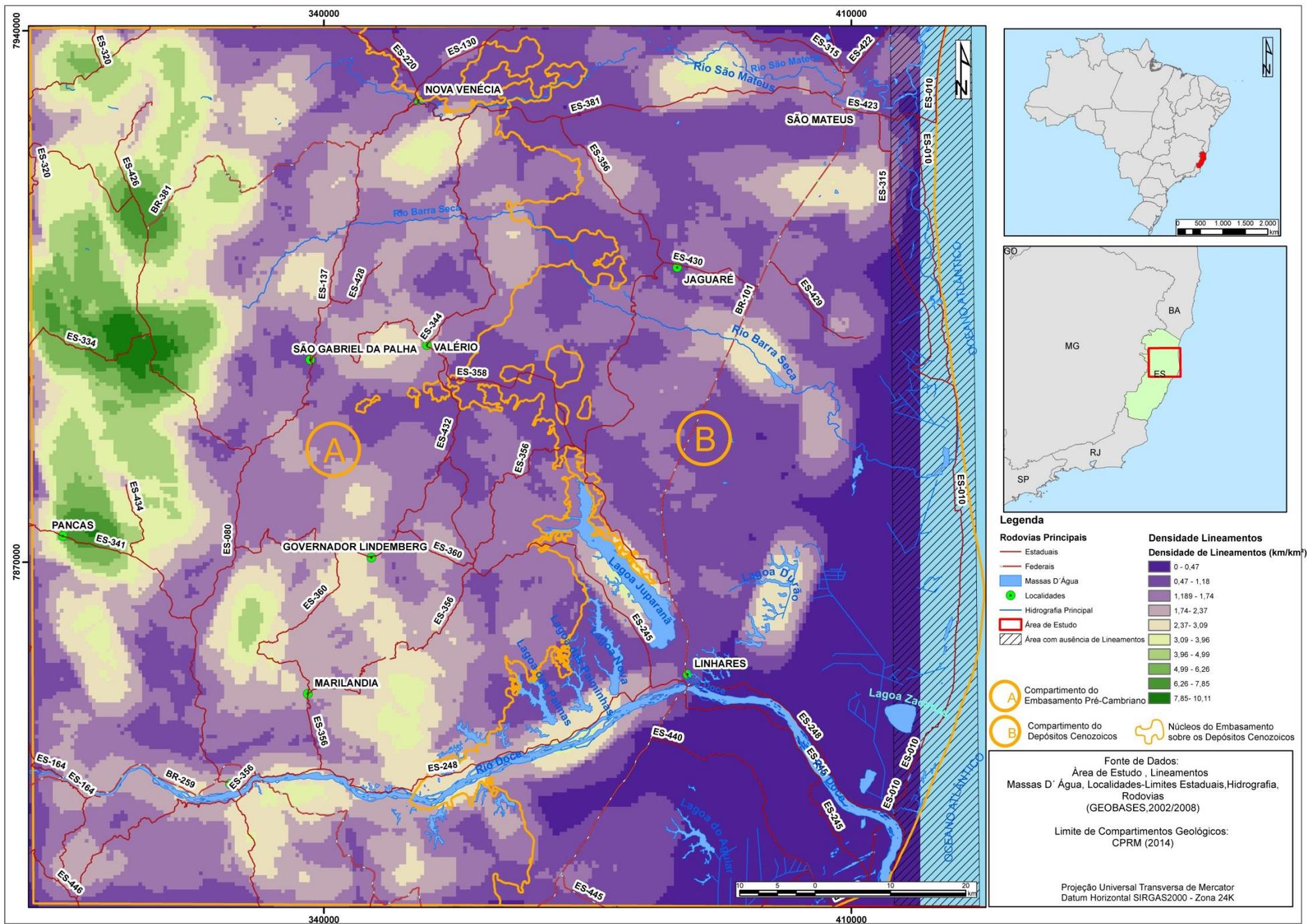
O mapa de densidade de lineamentos (Figura 43) mostra que as maiores densidades de lineamentos (7,0 km/km² a 10km/km²) encontram-se concentradas na porção Noroeste da área de estudo, no compartimento do Embasamento Pré-cambriano e conseqüentemente na mesma porção Noroeste do estado do Espírito Santo, em especial em uma faixa com orientação NNW-SSE correspondente à Faixa Colatina.

Nas proximidades da cidade de Pancas nota-se uma densidade elevada de lineamentos o que pode corroborar com um forte controle tectônico e/ou estrutural na região. Nota-se uma diversidade de densidade ao entorno das cidades de Marilândia e Governador Lindenberg , bem como densidades de 3,0 a 4,0 km/km² ao longo do rio Doce com orientação predominante E-W e que podem estar controlando tectônica ou estruturalmente o rio.

Outro fato que chama atenção são as elevadas densidades no contato litológico entre a Formação Barreiras e os Depósitos Sedimentares Quaternários, principalmente onde se encontra o complexo lacustre da Lagoa Durão, Lagoa de Dentro entre outras, podendo estar relacionado a um controle estrutural e/ou tectônico na formação das mesmas.

Vale ressaltar ainda que existem pontos isolados com alta densidade de lineamentos nas proximidades da cidade de Nova Venécia, no médio e baixo curso do rio São Mateus e ao longo do curso do rio Barra Seca.

Figura 43 - Mapa de densidade de lineamentos (extração manual) da porção Centro/Norte do estado do Espírito Santo.



6.1.3 *Trends* Estruturais

O mapa de *trends* estruturais apresenta orientação predominante NNW-SSE correspondem a orientação da Faixa Colatina, em seguida orientações NNE-SSW a NE-SW.

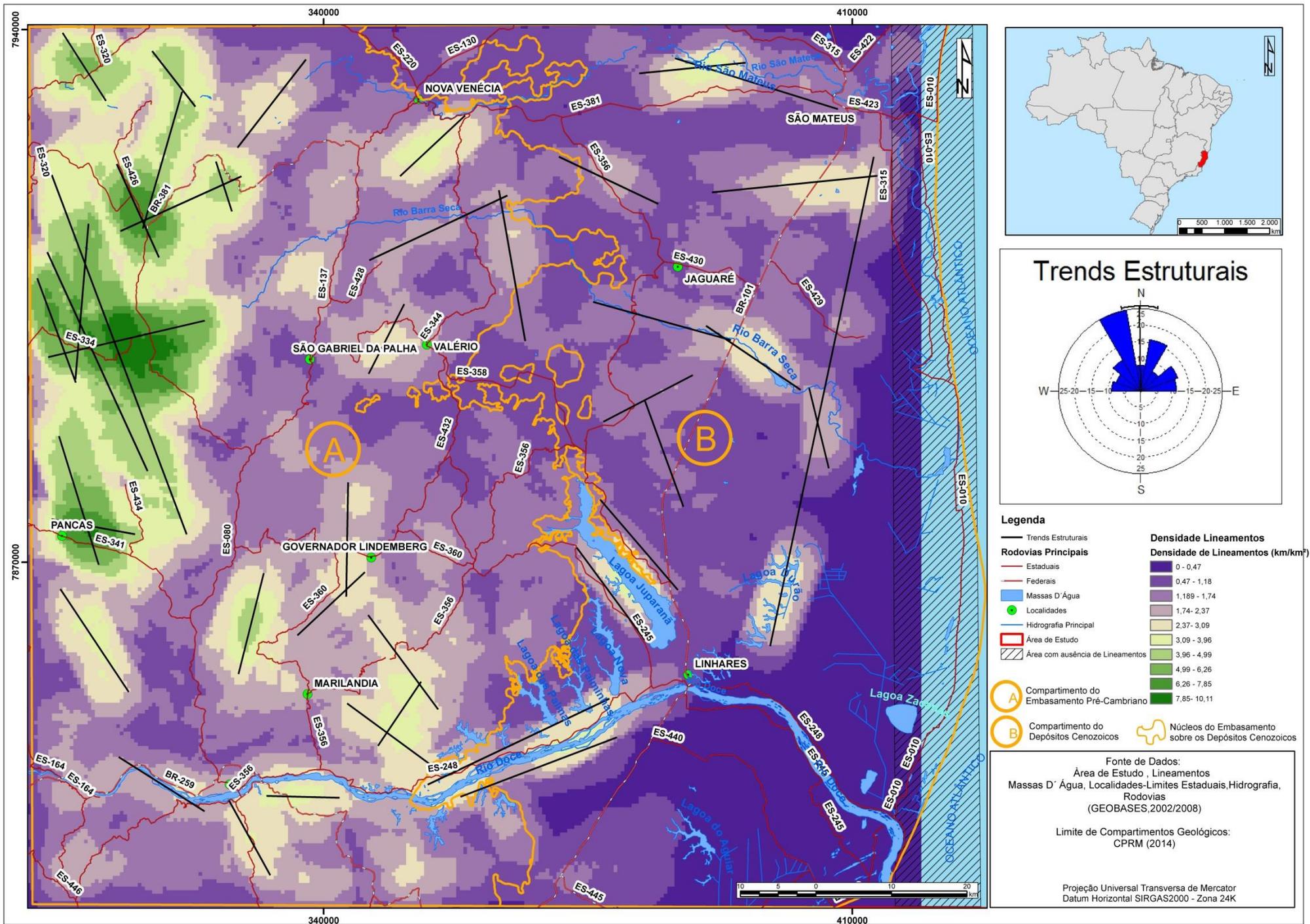
Há uma concentração de *trends* de lineamentos que se prolongam dos depósitos cenozoicos da planície costeira até a Formação Barreiras com orientação NW-SE e NNW-SSE nas proximidades do rio Barra Seca (Figura 43) e lineamentos que se prolongam do compartimento dos Depósitos Cenozoicos até o compartimento do Embasamento Pré-cambriano

Outro *trend* estrutural que se destaca é o que se prolonga com orientação NNE-SSW correspondente ao contato litológico da Formação Barreiras e Depósitos Costeiros.

Com orientação ENE-WSW e E-W encontra-se os *trends* estruturais associados ao rio Doce, o maior rio do estado do Espírito Santo.

Na porção Nordeste da área de estudo, destaca-se um *trend* estrutural com orientação E-W entre as cidades de Jaguaré e São Mateus, prolongando-se desde os depósitos sedimentares quaternários até a os depósitos cenozoicos da Formação Barreiras (Figura 44).

Figura 44- Densidade de Lineamentos e Principais Trends Estruturais



6.1.4 Índice de Fraturamentos

Um fator de grande relevância para o estudo é o índice de faturamento, que corresponde à intersecção de lineamentos presentes nas rochas. Isto, conforme explicitado em outros capítulos, reforça a possibilidade de maior percolação da água devido ao aumento do tamanho de área apresentada em função da intersecção das fraturas.

Os índices de fraturamento apresentam-se classificados em Altos e Baixos. Os Altos índices de faturamento encontram-se na porção noroeste da área, no compartimento das rochas do Embasamento Pré-cambriano, região com predomínio da Faixa Colatina com orientação NNW-SSE.

Foram encontrados um total de 816 pontos de intersecção, sendo que 76% desses pontos, concentra-se no compartimento geológico do Embasamento Pré-cambriano e 24% nos Depósitos cenozoicos (Tabela 11).

Tabela 11 – Quantidade dos pontos de intersecção de fraturamento nos Compartimentos Geológicos

Compartimento Geológico	Pontos de Fratura	(%)
Depósitos Cenozoicos	196	24%
Embasamento Pré-cambriano	620	76%
TOTAL	816	100%

Fonte: O autor, 2018.

Nota-se também um alto índice de fraturamento nas proximidades da Lagoa Juparanã, e no limite litológico entre o embasamento pré-cambriano e os depósitos cenozoicos.

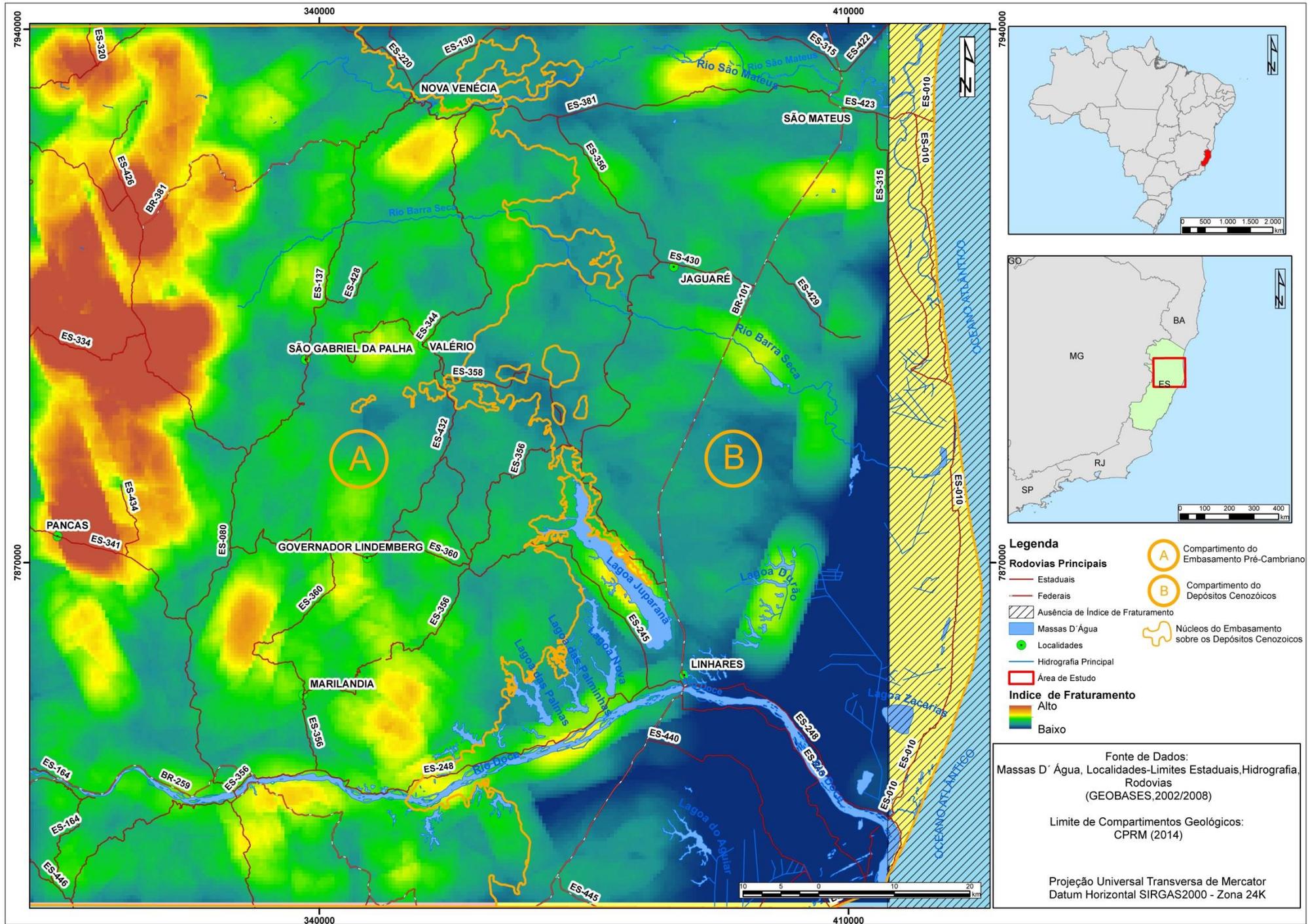
Vale ressaltar um alto índice de fraturamento ao longo do rio São Mateus em conformidade com as orientações E-W dos lineamentos que estão ao longo do rio Barra Seca em conformidade com as orientações dos lineamentos NW-SE quase que sua totalidade em depósitos cenozoicos e que podem estar contribuindo para um controle estrutural da região (Figura 45).

Outro fator que chama atenção são os altos índices de fraturamentos ao longo do curso do rio Doce, e que vem de encontro à densidade de lineamentos naquela região.

Além destes índices predominantes, surgem pontos isolados ao longo da área de estudo que se destacam devido ao seu alto índice de fraturamentos. É notório altos índices no encontro litológico entre a Formação Barreiras e a planície, bem como nas proximidades das cidades de Marilândia e Governador Lindenberg.

É importante ressaltar que o índice de faturamento indica o quão o terreno é fraturado e que permite a percolação das águas pluviais para a recarga do aquífero, além de contribuir para a análise do produto final deste trabalho: Mapa de Potencialidade Hídrica Subterrânea.

Figura 45-Índice de fraturamento porção Centro/Norte do estado do Espírito Santo.



6.1.5 Mapa de Declividade

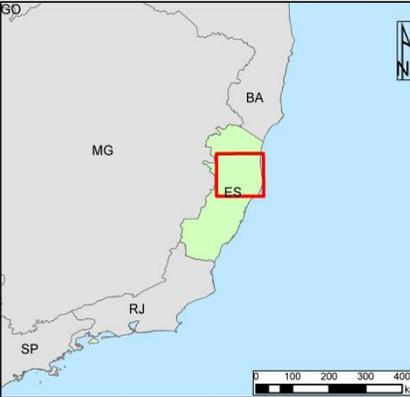
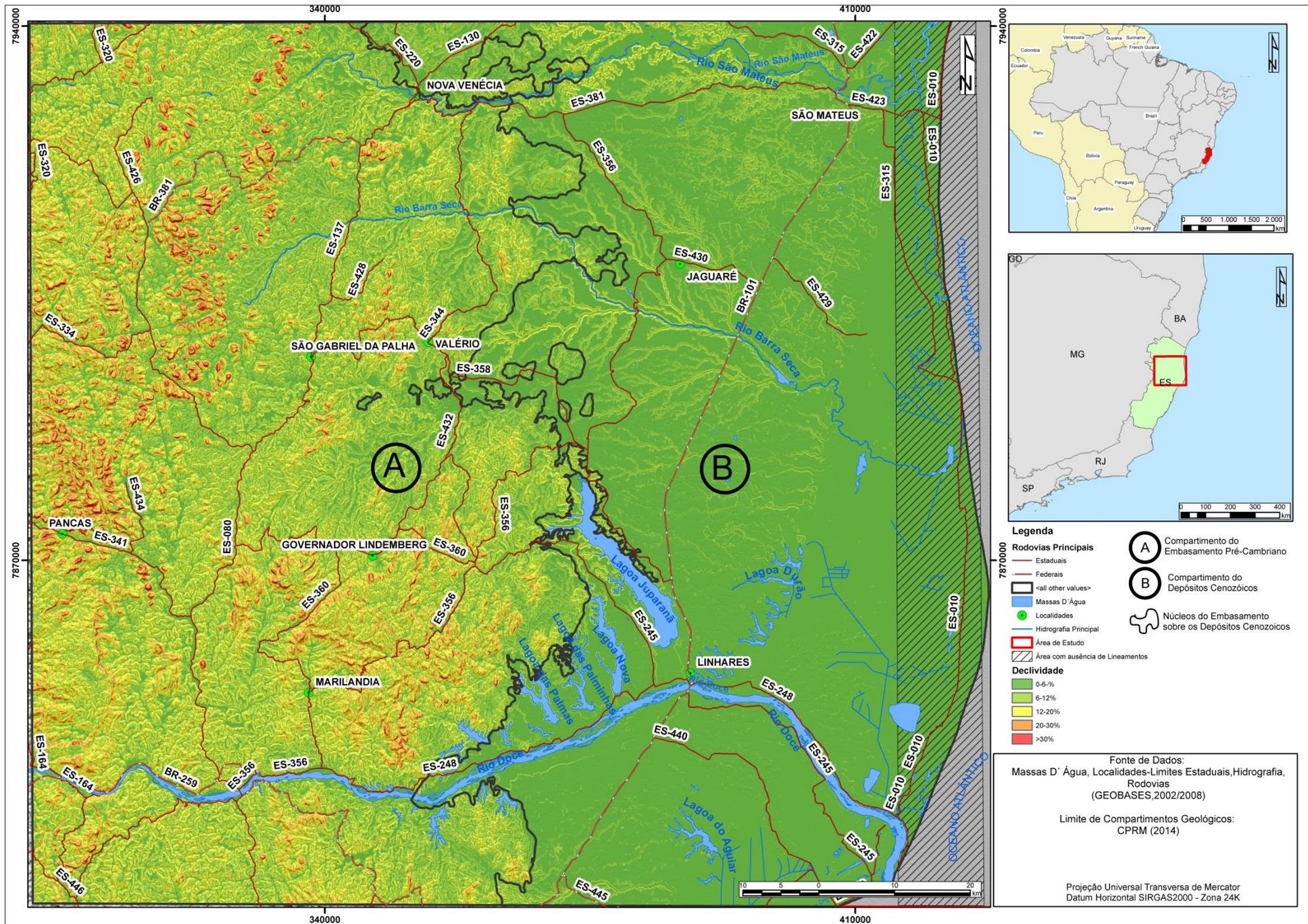
As declividades predominantes na área de estudo são, de maneira geral, declividades baixas e correspondem as declividades entre 0 e 12%, equivalendo as cores verdes no mapa, presente em todas unidades geológicas da área, no entanto, predominando no compartimento dos Depósitos Cenozoicos correspondente à morfologia plana de todo dos Tabuleiros Costeiros e fundo de vale e da morfologia plana da Planície Costeira, aos fundos de vales das planícies aluvionares quaternárias e de trechos das rochas do embasamento pré-cambriano (Figura 46).

O intervalo de classes de declividades de 12 a 20%, representado pela cor amarela, sempre margeando as declividades mais baixas da bacia (0 a 12%), bastante predominante no compartimento do embasamento pré-cambriano, a oeste do mapa e nos fundos de vale das rochas sedimentares da Formação Barreiras, presentes a leste do mapa (Figura 46).

O intervalo de classes de declividades de 20 a 30%, representados pela cor laranja no mapa, predomina no compartimento do Embasamento pré-cambriano, a oeste do mapa.

A classe de declividade acima de 30%, representada pela cor vermelha no mapa, predomina no compartimento do Embasamento pré-cambriano, a oeste do mapa, especialmente na porção noroeste da área de estudo (Figura 46) e apresentam-se nas mesmas áreas do intervalo de classes de declividade de 20 a 30% (Figura 46).

Figura 46-Declividade da Porção Centro/Norte do Estado do Espírito Santo



- Legenda**
- Rodovias Principais
 - Estaduais
 - Federais
 - <all other values>
 - Massas D'Água
 - Localidades
 - Hidrografia Principal
 - Área de Estudo
 - Área com ausência de Lineamentos
- (A) Compartimento do Embasamento Pré-Cambriano
 - (B) Compartimento do Depósitos Cenozoicos
 - Núcleos do Embasamento sobre os Depósitos Cenozoicos

Fonte de Dados:
 Massas D' Água, Localidades-Limites Estaduais, Hidrografia,
 Rodovias
 (GEOBASES, 2002/2008)

Limite de Compartimentos Geológicos:
 CPRM (2014)

Projeção Universal Transversa de Mercator
 Datum Horizontal SIRGAS2000 - Zona 24K

6.1.6 Mapa de Precipitação Pluviométrica

O Espírito Santo, localizado entre as latitudes 17°52'S e 21°19'S e as longitudes 39°38' e 41°50' Oeste de Greenwich, ou seja, numa região tropical, assim como a região Sudeste, apesar de sua pequena extensão territorial, apresenta uma grande diversidade climática.

Na área de estudo esta diversidade climática não aparece. No extremo norte da área de estudo nas proximidades da cidade de Nova Venécia, pertencente ao compartimento geológico Embasamento pré-cambriano, encontramos o menor índice pluviométrico da área (900-1.000 mm/ano).

As áreas à Noroeste da área de estudo, próximo à cidade de São Gabriel da Palha, estão na transição das faixas pluviométricas e por consequência apresentam dados com baixa pluviometria, variando entre 900-1.200mm/ano.

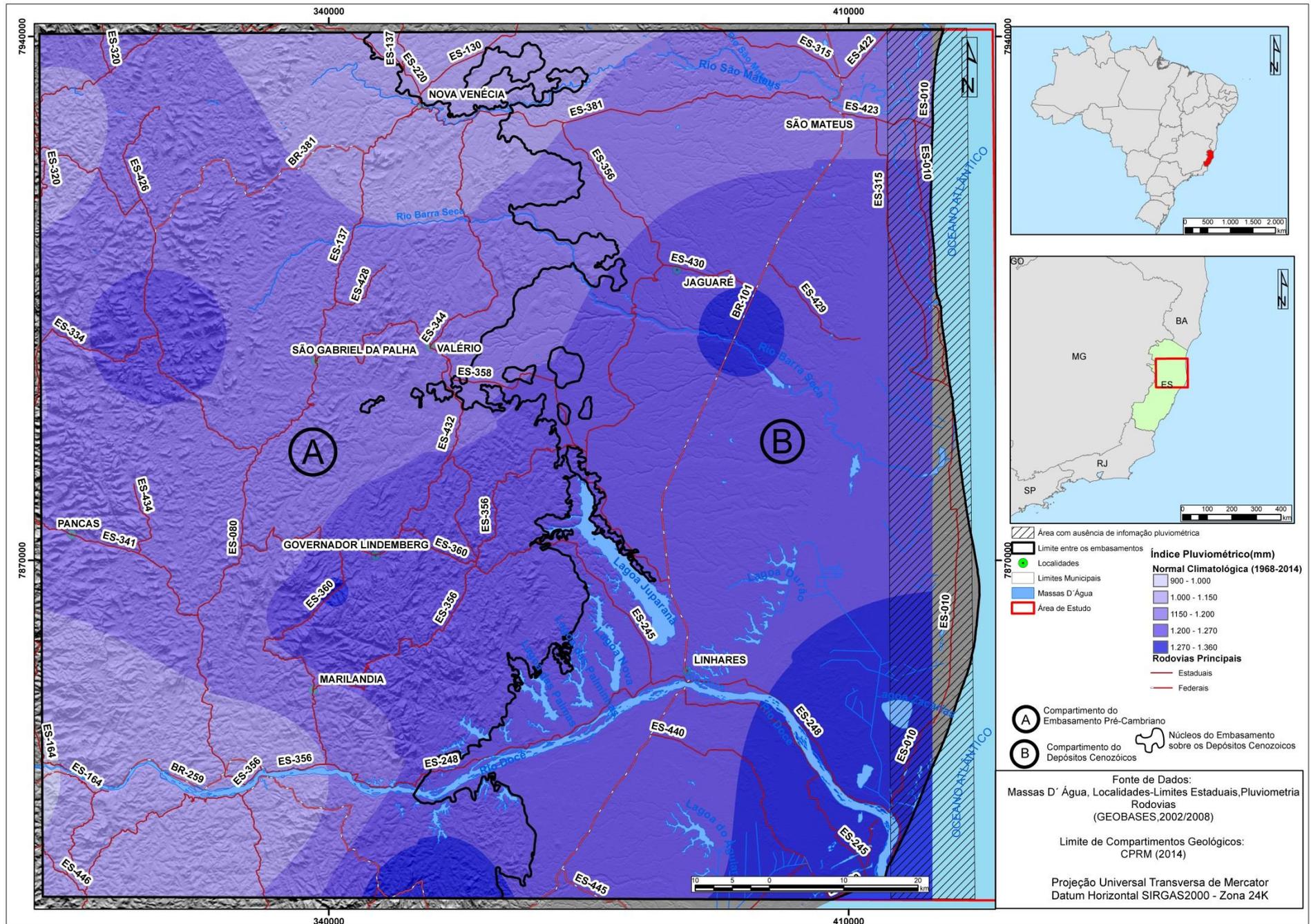
Em contrapartida, as áreas que recebem maior influência marinha de umidade estão localizadas nas planícies costeiras principalmente na planície do Rio Doce, portanto com um maior índice pluviométrico da área de estudo com valores variando entre 1.200 -1350 mm/ano (Figura 47).

Vale ressaltar áreas com baixa pluviometria nas proximidades da cidade de Marilândia e Colatina que podem ser explicado pela variação topográfica destes municípios localizados em sua totalidade no domínio do embasamento, portanto não recebendo o devido aporte de umidade para formação de nuvens e posterior precipitação.

Nota-se ponto nuclear com alto índice pluviométrico nas proximidades do rio Barra Seca, fato este que pode ser explicado pela presença da reserva biológica de Sooretama.

No mapa de pluviometria da área de estudo com normal climatológica dos anos de 1968 – 2014 apresenta-se uma faixa com ausência de dados pluviométricos nas proximidades com a foz do rio Doce, evidenciado na figura 47.

Figura 47- Índice Pluviométrico da Área de Estudo



6.1.7 Poços de água subterrânea

Com os dados da Agência Estadual de Recursos Hídricos (AGERH)-ES, órgão responsável por executar a Política Estadual de Recursos Hídricos e regular o uso dos recursos hídricos e com os dados do Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS) do CPRM, foi possível identificar e analisar espacialmente a dispersão e a concentração de poços de águas subterrâneas em toda a área de estudo.

Conforme já explicitado em outros capítulos, o estado do Espírito Santo apresenta áreas com baixos índices pluviométricos. Por ser um estado com grande produtividade agrícola, a necessidade deste recurso se tornou fundamental, preocupando-se com processos de licenciamento e perfuração de novos poços em todo estado.

Existe um total de 1492 poços cadastrados na área de estudo (SIAGAS, 2010) (AGERH, 2017) sendo que 75,26% (Tabela 12) desses poços estão presentes no Compartimento dos Depósitos Cenozoicos e 24,74% (Tabela 12) estão presentes no Compartimento o Embasamento Pré-cambriano. Esses números se explicam, pois as maiores concentrações populacionais se encontram nas áreas sobre o compartimento dos depósitos cenozoicos, além da perfuração nessa área apresentar um menor custo econômico, uma vez que as rochas sedimentares apresentam características litológicas que facilitam a perfuração.

Vale ressaltar que a grande maioria dos poços de água correspondem a locais de lineamentos identificados.

Tabela 12-Poços produtores de água subterrânea por compartimento geológico

Fonte de Pesquisa	Compartimento Geológico	Quantidade de Poços
SIAGAS, CPRM 2010	Depósitos Cenozoicos	827
	Embasamento Pré-cambriano	183
Total		1010
Fonte de Pesquisa	Compartimento Geológico	Quantidade de Poços
AGERH-2017	Depósitos Cenozoicos	296
	Embasamento Pré-cambriano	186
Total		482
TOTAL GERAL		1492

Fonte: SIAGAS (2010); AGERH (2017).

Nas proximidades da lagoa Juparanã, nas cidades de Linhares, Jaguaré e São Mateus são identificados as maiores concentrações de poços para captação de água subterrânea.

No sul da área de estudo, há uma concentração grande de poços nas proximidades das localidades de Quartel e Jacupemba, evidenciando um uso predominante de água subterrânea na região (Figura 48).

6.1.8 Dados Estruturais de Neotectônica

Bricalli (2011) em sua pesquisa sobre Neotectônica e Lineamentos no estado do Espírito Santo, realizou uma serie de coletas de dados de estruturas rúpteis (pares,falha/estria) afetando os depósitos Sedimentares e as rochas alteradas do embasamento Pré-cambriano. Esse estudo foi realizado em 38 afloramentos do estado.

Deste trabalho, resultou em uma das maiores fontes de dados sobre neotectônica no estado do Espírito Santo, sobretudo da porção Centro/Norte do estado, uma vez que desses 38 (trinta e oito) afloramentos, 23 (vinte e três) fazem parte da presente área de estudo, permitindo associar e analisar a contribuição da neotectônica na formação de aquíferos e zonas com maior probabilidade de armazenamento de água (Figura 49) (Tabela 13).

Tabela 13 – Identificação dos pontos de medição de pares falha/estrias

CÓDIGO PONTO	Nome do Ponto
ARA-01	Aracruz 01
ARA-05	Aracruz 05
COL-07	Colatina 07
LIN-01	Linhares 01
LIN-02	Linhares 02
LIN-03	Linhares 03
LIN-05	Linhares 05
LIN-08	Linhares 08
LIN-09	Linhares 09
NV- 09	Nova Venécia 09
NV-01	Nova Venécia 01
NV-04	Nova Venécia 04
NV-05	Nova Venécia 05
NV-06	Nova Venécia 06
NV-08	Nova Venécia 08
SGP-03	São Gabriel da Palha 03
SGP-05	São Gabriel da Palha 05
SGP-08	São Gabriel da Palha 08
SGP-09	São Gabriel da Palha 09
SGP-11	São Gabriel da Palha 11
SGP-12	São Gabriel da Palha 12
SGP-13	São Gabriel da Palha 13
SGP-14	São Gabriel da Palha 14

Fonte: BRICALLI,(2011).Org. Talles Gomes

Figura 49 - Localização dos afloramentos com dados estruturais coletados, distribuídos nos compartimentos do embasamento pré-cambriano e dos depósitos sedimentares cenozoicos na porção Centro/Norte do Estado do Espírito Santo.

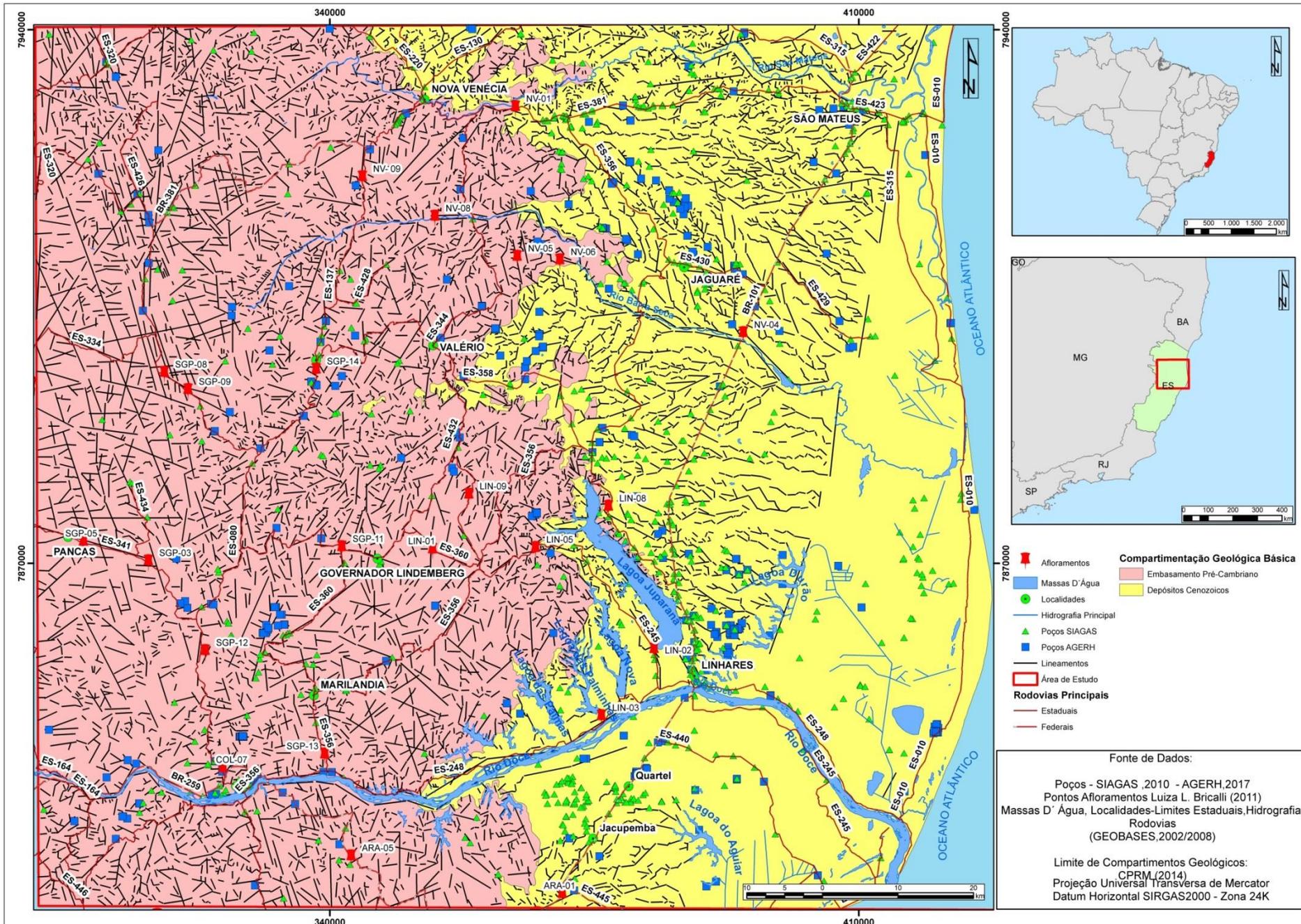
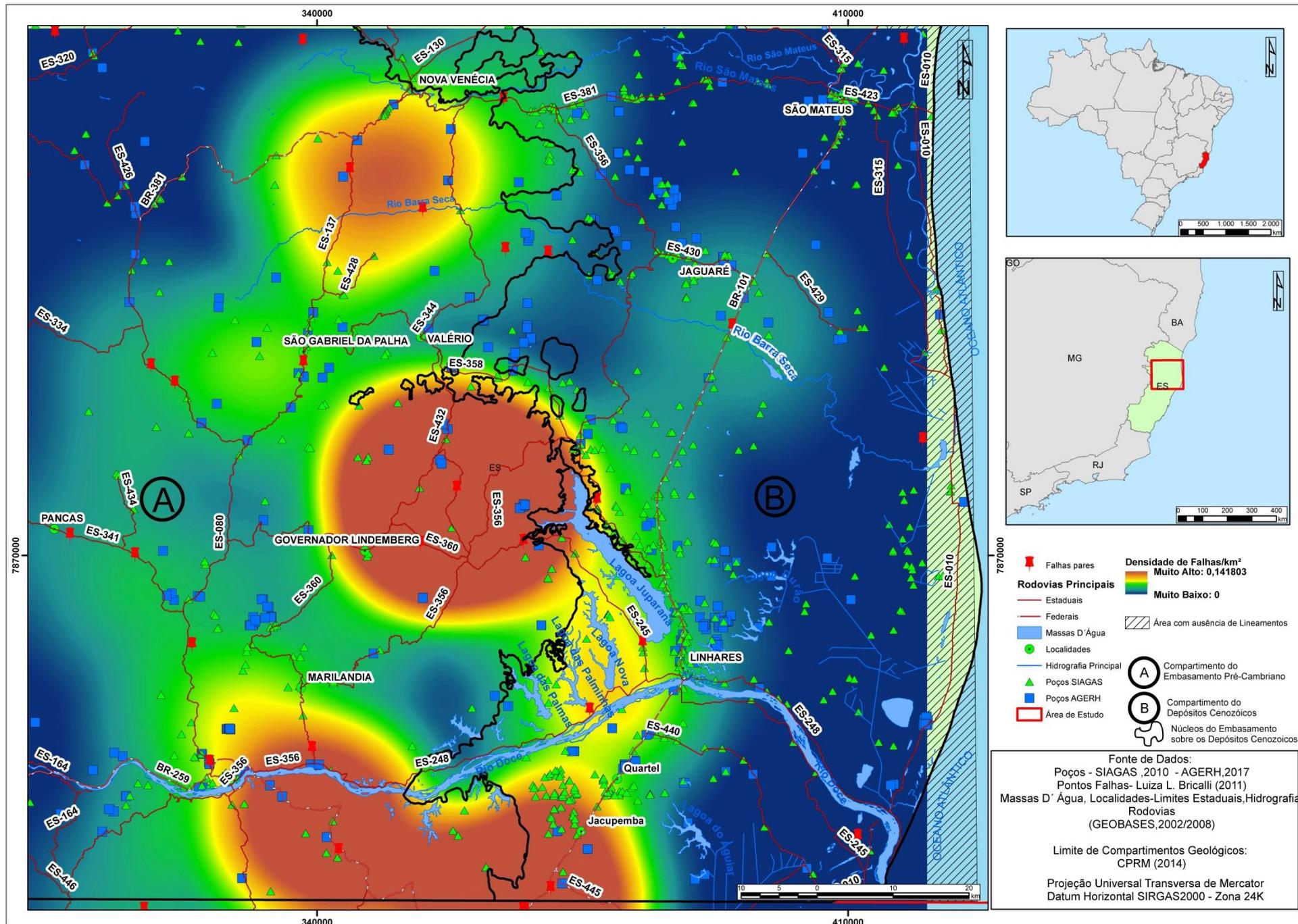


Figura 50-Densidade de falhas /estrias neotectônicas na porção Centro/Norte do Estado do Espírito Santo.



Segundo Bricalli (2011) foram identificados 3 conjuntos de estruturas neotectônicas para o ES: 1) falhas normais, dextrais e sinistrais (sendo essas menos frequentes) de orientação geral NW-SE, geradas por esforços compressivos NW-SE e distensivos NE-SW; e 2) falhas normais NE-SW, geradas por esforços distensivos NW-SE; 3) falhas sinistrais NE-SW, geradas por esforços compressivos NE-SW e distensivos NW-SE. Tais medidas corroboram com as direções predominantes dos lineamentos.

Vale ressaltar a quantidade de poços sobre os lineamentos, podendo ser mais um indicador sobre a influência da neotectônica e a hidrogeologia. Outro importante resultado são as densidades de falhas/estrias sobre um único afloramento coincidindo com as localizações de Alto Índice de Potencialidade Hídrica (Figura 50).

6.1.9 Mapa de Potencialidade Hídrica Subterrânea

O mapa de potencialidade hídrica subterrânea, o produto final desta pesquisa, traz informações extremamente importantes para a aquisição de água em subsuperfície. Pode-se concluir que o estado do Espírito Santo possui importantes áreas com possibilidades de captação de água subterrânea principalmente na área em de estudo em questão.

A porção centro/norte do estado do Espírito Santo demonstrou possuir grande potencialidade hídrica subterrânea. Vale ressaltar que as áreas com maior probabilidade de existência de água subterrânea se encontram à Noroeste da área de estudo, ao longo da calha do rio Doce, e na porção central da área de estudos nas proximidades da lagoa Juparanã.

Um potencial Muito Alto (12,16%) do território se enquadra com grande potencial de exploração, seguido de áreas com Alto valor (20,12%) Médio (39,67%), Baixo(26,82%) e Muito Baixo (1,21%).

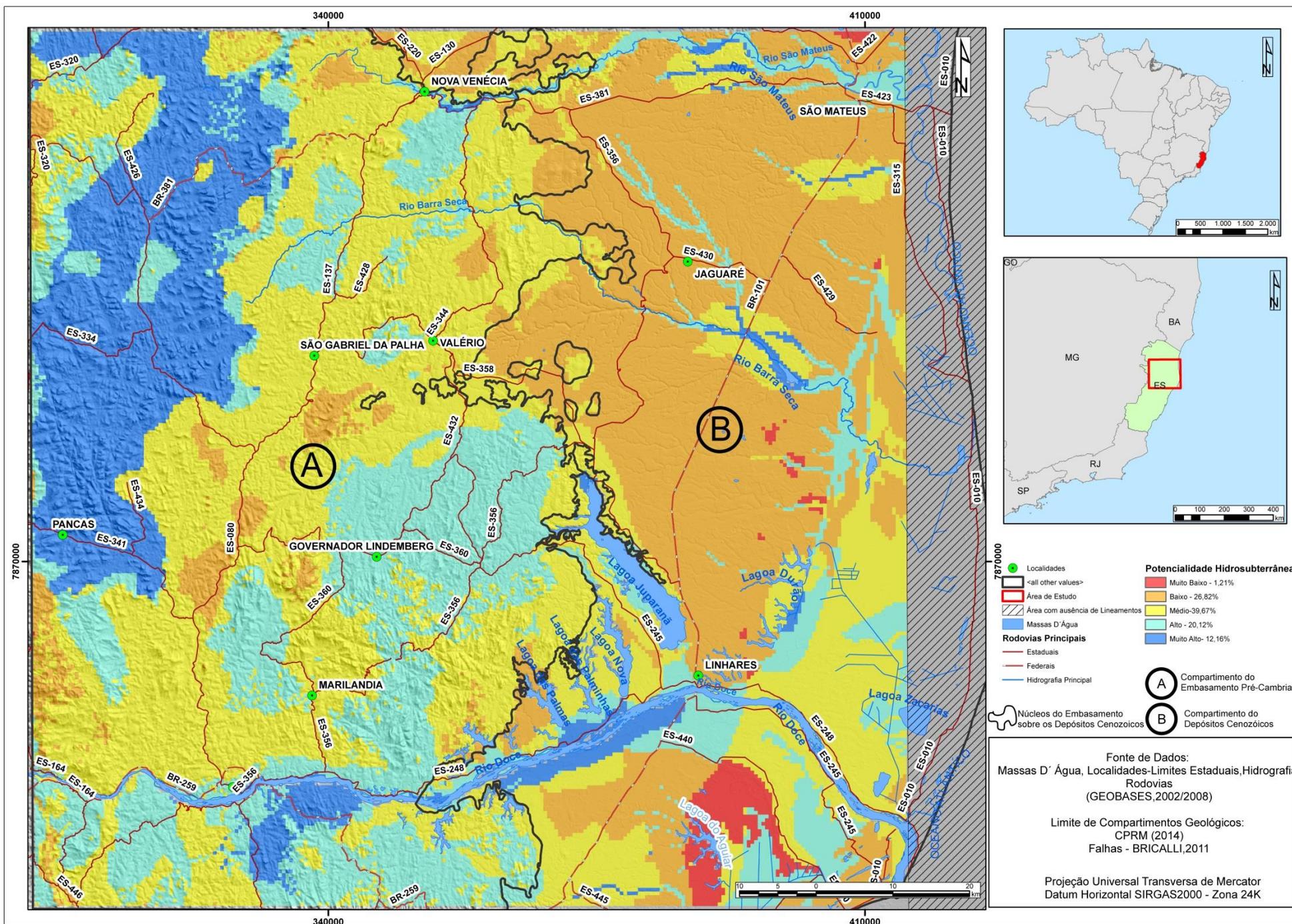
Com um potencial Muito Alto, a região Noroeste da área de estudo podem possuir grandes reservas de água subterrânea. Esta região, caracterizada por aquíferos em rochas pré-cambrianas está localizada onde se encontra a Faixa Colatina, importante feição geológica do estado do Espírito Santo já discutido anteriormente, e que nessa pesquisa teve grande influência para indicação de áreas fraturadas onde há a percolação para recarga de aquíferos.

Áreas com Alto Valor são responsáveis por 20,12% da área de estudo, se encontram principalmente nas bordas das áreas com valores Muito Altos, mas também espalhadas pela área de estudo com predominância na parte centro sul nas proximidades com a Lagoa Juparanã, ao longo do Rio Doce e na divisa litológica da formação barreiras com a planície deltaica do Rio Doce. Além da expressividade de Altos Valores nos depósitos quaternários ao longo dos rios Barra Seca e São Mateus.

As áreas com Média potencialidade hidrosubterrânea compõem (39,67%) do território e se espalham entremeando-se às demais áreas com valores de potencialidade diversos e que se estendem desde as planícies à porção central e às áreas do pré-cambriano.

Áreas com Baixo potencial (26,82%) e Muito Baixo (1,21%) em sua maioria estão nas proximidades da Formação Barreiras, ao Norte da área de estudo e em pontos isolados ao Sul da área de estudo (Figura 51).

Figura 51- Potencialidade Hídrica Subterrânea da Porção Centro/Norte do Espírito Santo



7. RESULTADOS E DISCUSSÕES

7.1 MPHS e Densidade de Lineamentos

Conforme mencionado as maiores potencialidades hídricas estão localizadas a noroeste da área de estudo. Vale ressaltar que as maiores densidades e tamanhos de lineamentos também se encontram no noroeste da área de estudo o que nos faz correlacionar tais dados.

Altas densidades de lineamentos e tamanho dos mesmos (Figura 42) indicam importantes elementos de direcionadores do fluxo hídrico, assim como as interseções, juntas e trincas funcionam como zonas de captura e recarga hídrica gerando assim uma zona com alto valor de potencial hídrico subterrâneo (Figura 53).

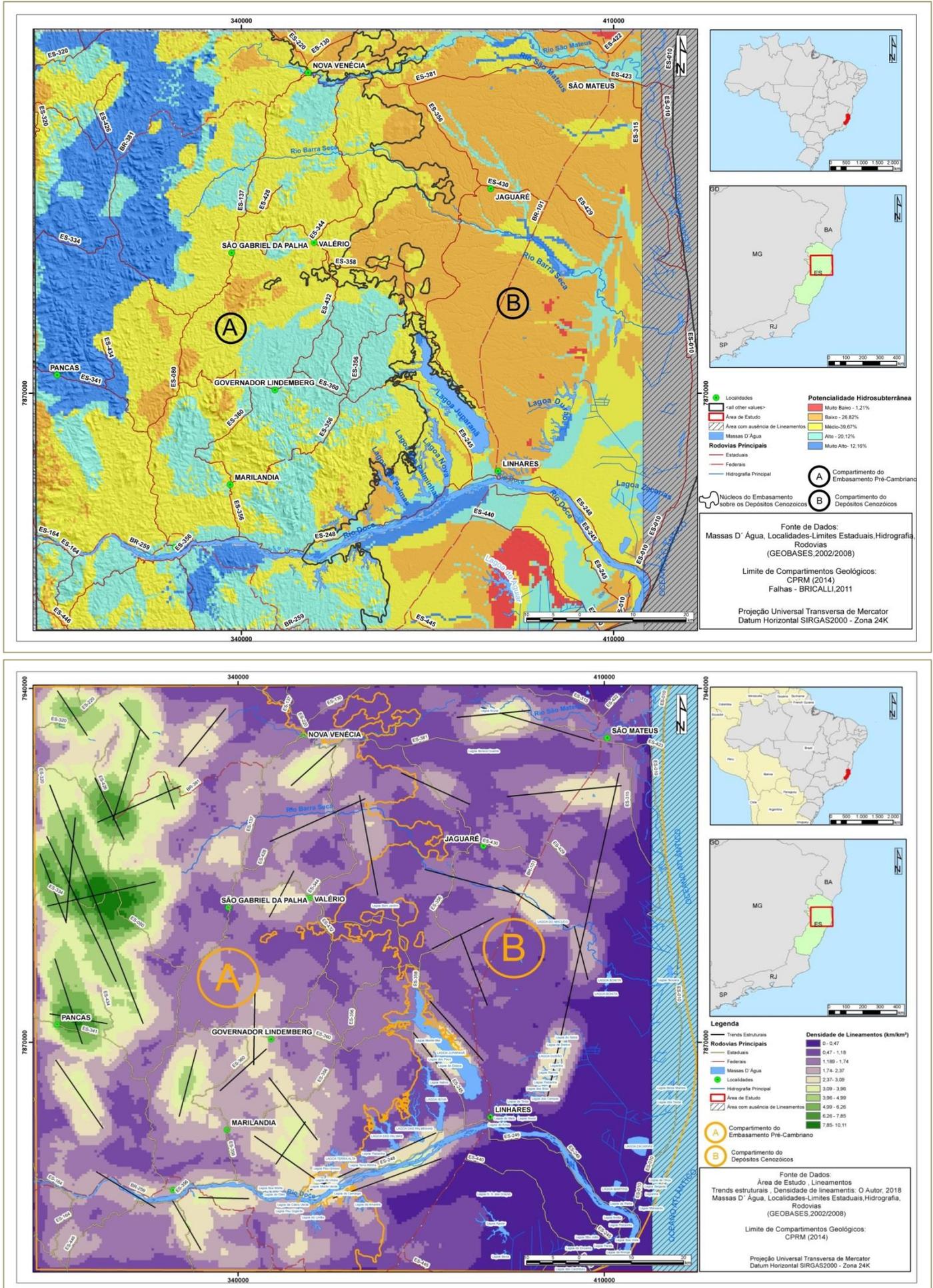
Observa-se que a área com maior densidade de lineamentos (Faixa Colatina) corresponde à área com maior Potencialidade hídrica (Figura 53).

Outra área que chama atenção são os lineamentos ao longo do rio Doce que muitas vezes podem fazer o papel estrutural do relevo e que condicionam o curso d'água e que por sua vez podem percolar nas estruturas formando verdadeiras armadilhas hídricas subterrâneas.

Na porção central do Mapa de Potencialidade Hídrica Subterrânea (MPHS), nas proximidades de Governador Lindenberg existe uma zona com Alta probabilidade de água subterrânea o que corrobora com a quantidade de lineamentos e interseções nesta localidade, e que será discutida mais à frente com a relação do MPHS e Índice de Fraturamento.

Conforme já comentado nos itens anteriores, um conjunto de lineamentos chama a atenção por sua extensão e localização (Figura 53). Estes estão localizados no limite geológico da formação barreiras com a planície deltaica do rio Doce onde no MPHS está localizada uma zona com Alta Probabilidade.

Figura 53-Potencialidade Hídrica Subterrânea e Densidade de Lineamentos



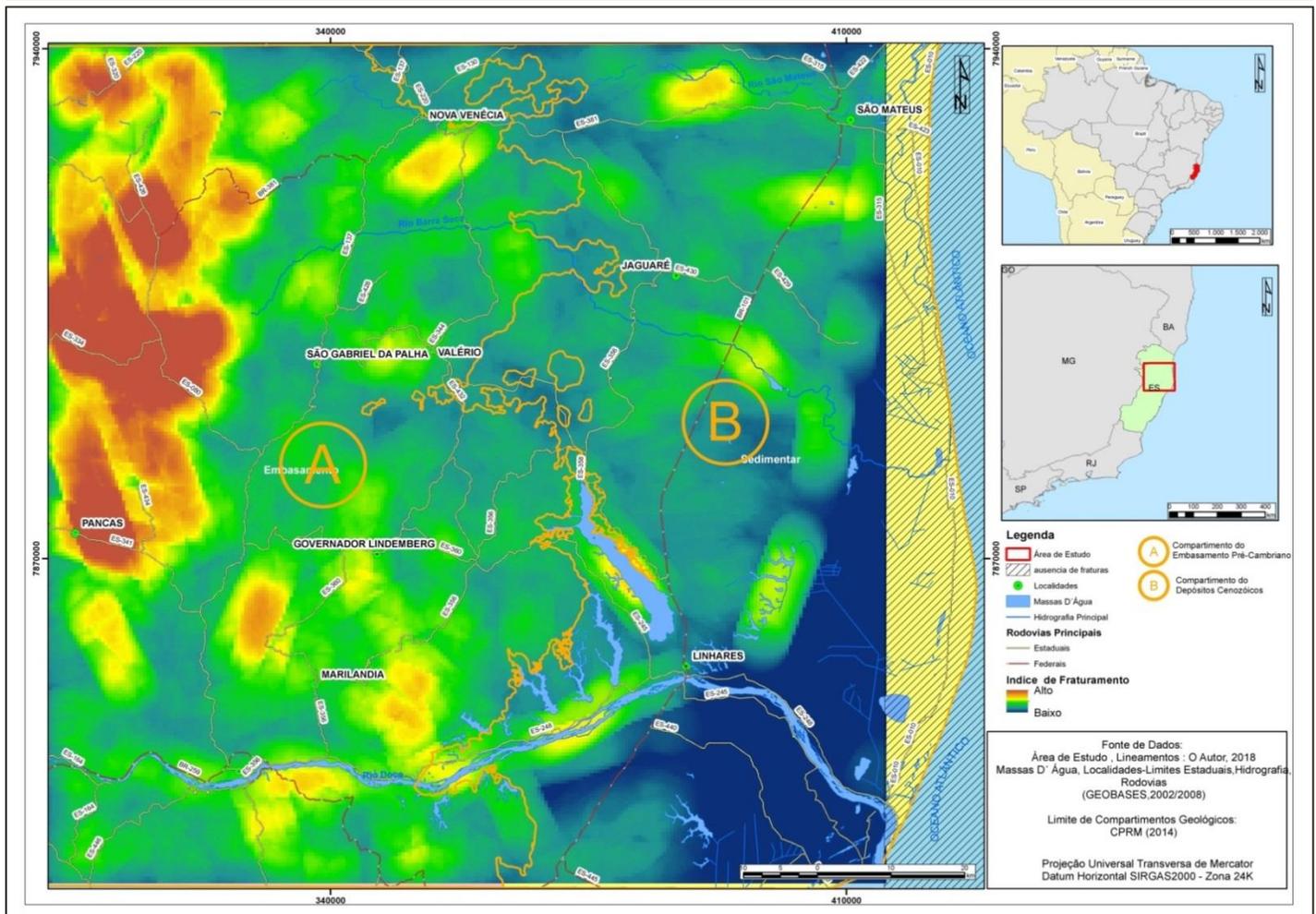
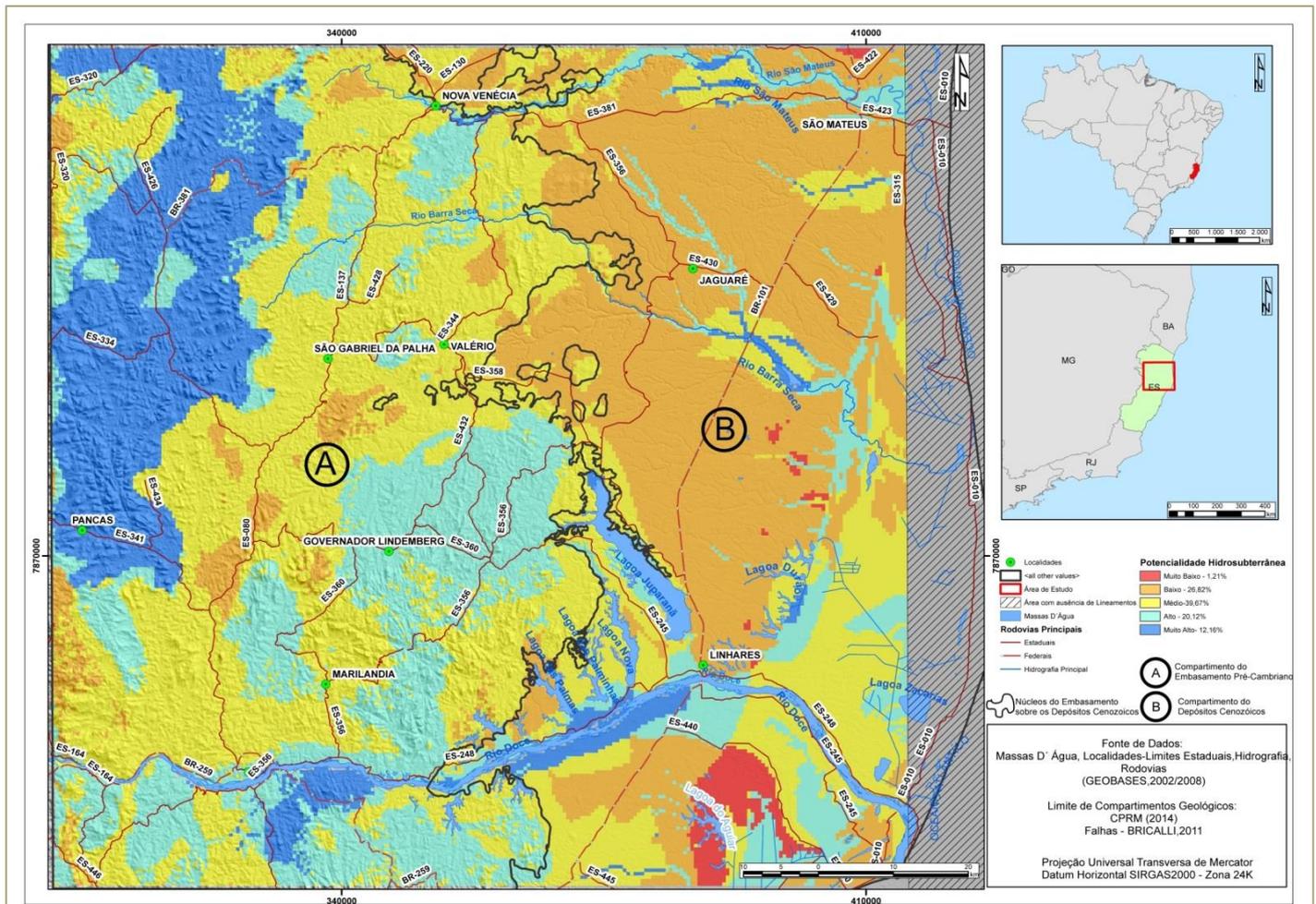
7.1.1 MPHS e Índice de Fraturamento

A relação do índice de fraturamento sobre o MPHS tem forte influência, pois conforme já explicado, a densidade de fraturas explicita a trama de fraturas que possuem em determinadas regiões da porção Centro/Norte do Espírito Santo.

Um fato observado são as maiores densidades das fraturas se encontrarem em conformidade com a Faixa Colatina, ao longo do curso do Rio São Mateus, Rio Barra Seca, Rio Doce, ao entorno da Lagoa Juparanã, entre as Cidades de São Mateus e Jaguaré, todas com densidade entre 0,14 e 0,22 km//km² conforme explicado nos itens anteriores. Fato este que corrobora com as áreas com Muito Alta probabilidade de água subterrânea conforme o MPHS.

Nestes casos, as fraturas e juntas que se encontram em áreas do embasamento pré-cambriano, formam armadilhas hidráulicas que criam os aquíferos fraturados ou fissurais já explicados ao longo da pesquisa. Os demais fraturamentos, auxiliam junto com as demais variáveis a formar aquíferos porosos de acordo com as características das rochas dos depósitos sedimentares.

Vale ressaltar conforme os demais mapas já apresentados, um alto índice de fraturamento no contato litológico entre a formação barreiras e a planície deltaica do rio Doce, que vai de encontro à formação de aquíferos nesta localidade. Bem como nos contatos litológicos entre o pré-cambriano e formação barreiras nas proximidades do complexo lagunar na cidade de Linhares, demonstrando assim áreas com alta favorabilidade hidrogeológica (Figura 54).

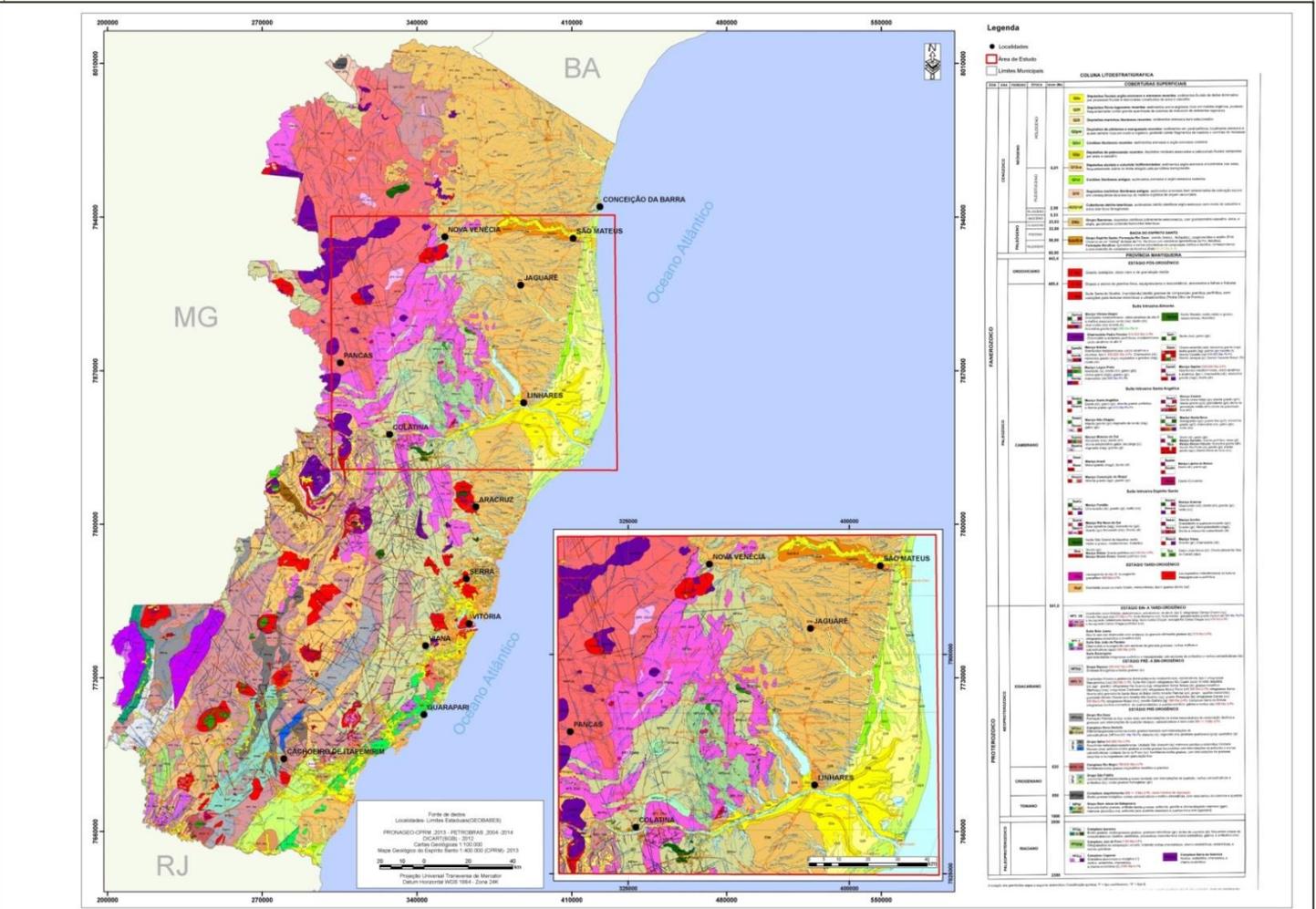
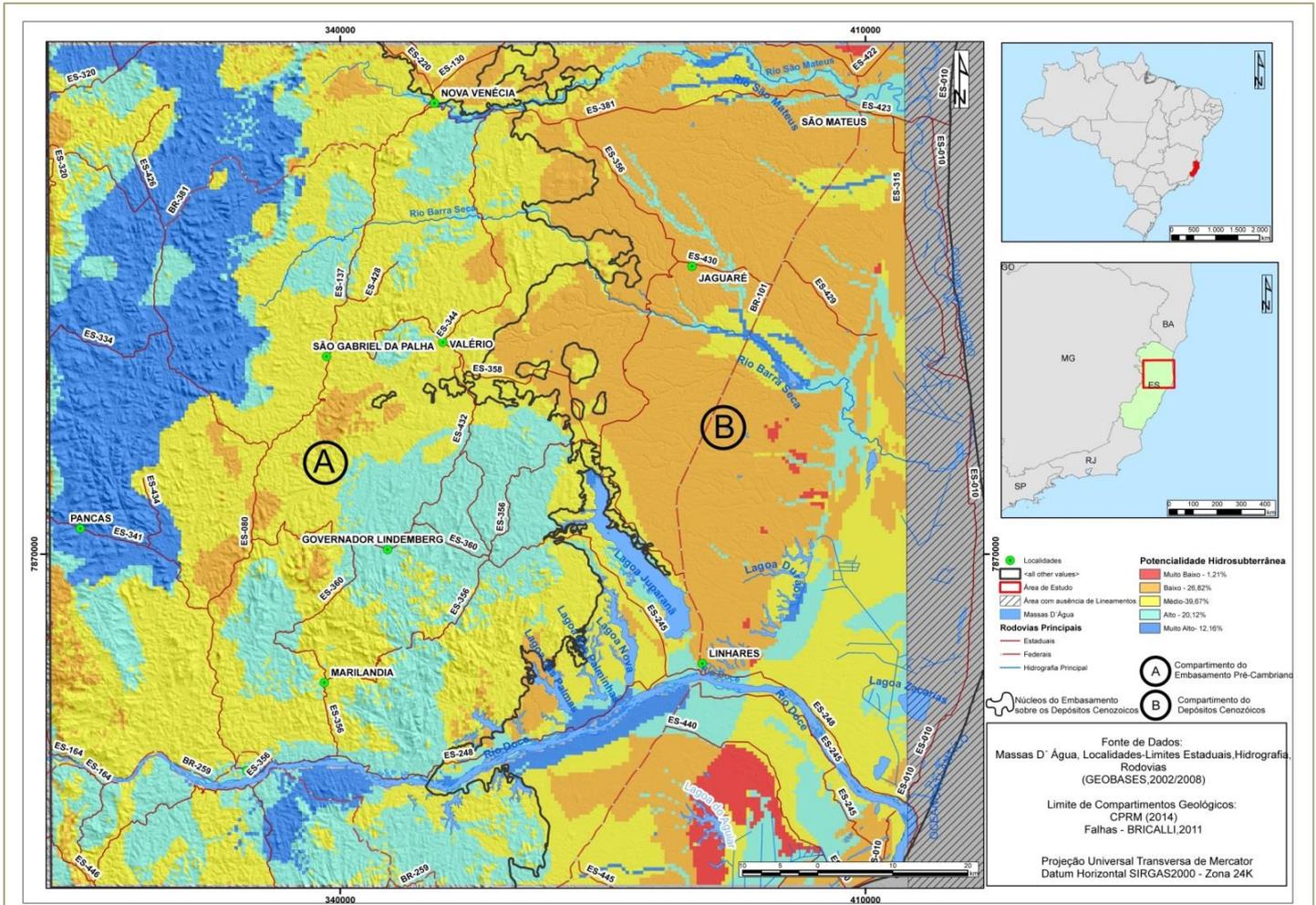


7.1.2 MPHS e Litologia

Os maiores valores de potencial hídrico na área em estudo apresentam-se bem marcados nas rochas do Compartimento do Embasamento Pré-Cambriano e menos marcados nas rochas do Compartimento dos Depósitos Cenozoicos.

Essa análise mostra que as relações do Mapa de Potencialidade Hídrica Subterrânea com os litotipos não demonstram a real relação entre infiltração de água subterrânea e litotipos, mesmo que as rochas sedimentares do Compartimento dos Depósitos Cenozoicos apresentem características de alta Porosidade, com muitos espaços vazios inter-grãos ou clastos que está diretamente relacionado com o tamanho do material sedimentar e baixa presença de material cimentante, assim como alta permeabilidade, possuindo relação direta com o principal fator que determina a disponibilidade de água subterrânea que é a sua capacidade em permitir o fluxo de água através dos poros e dos tamanhos e conexão entre eles, determinando assim a quantidade de água que os materiais armazenam, pois com essas características essas rochas deveriam apresentar maior probabilidade de infiltração de água subterrânea que as rochas ígneas e metamórficas do Compartimento do Embasamento Pré-Cambriano que apresentam baixa porosidade inter-grãos e baixa permeabilidade.

No entanto, para a elaboração do Mapa de Potencialidade Hídrica Subterrânea foram utilizadas diversas variáveis geológicas e geomorfológicas, as quais foram atribuídas pesos para as mesmas. As variáveis relacionadas a fraturamento foram atribuídas os maiores pesos na elaboração do mapa e, portanto, apresentaram maior potencial hídrico. Esse fato demonstra que a litologia, nesse caso, não pode ser considerado um fator determinante na percolação de água, se não for levada em consideração os fraturamentos presentes nas rochas (Figura 55).



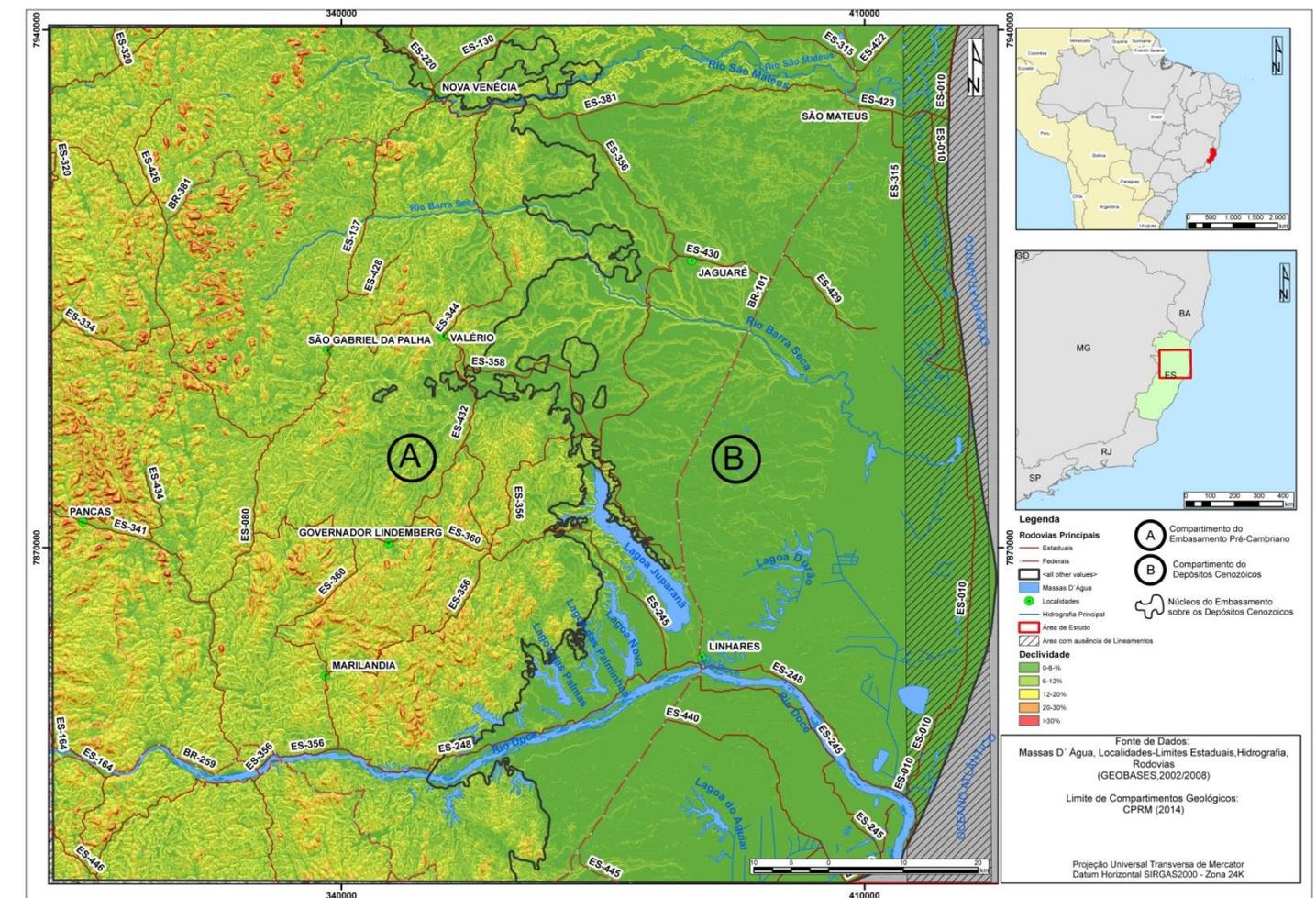
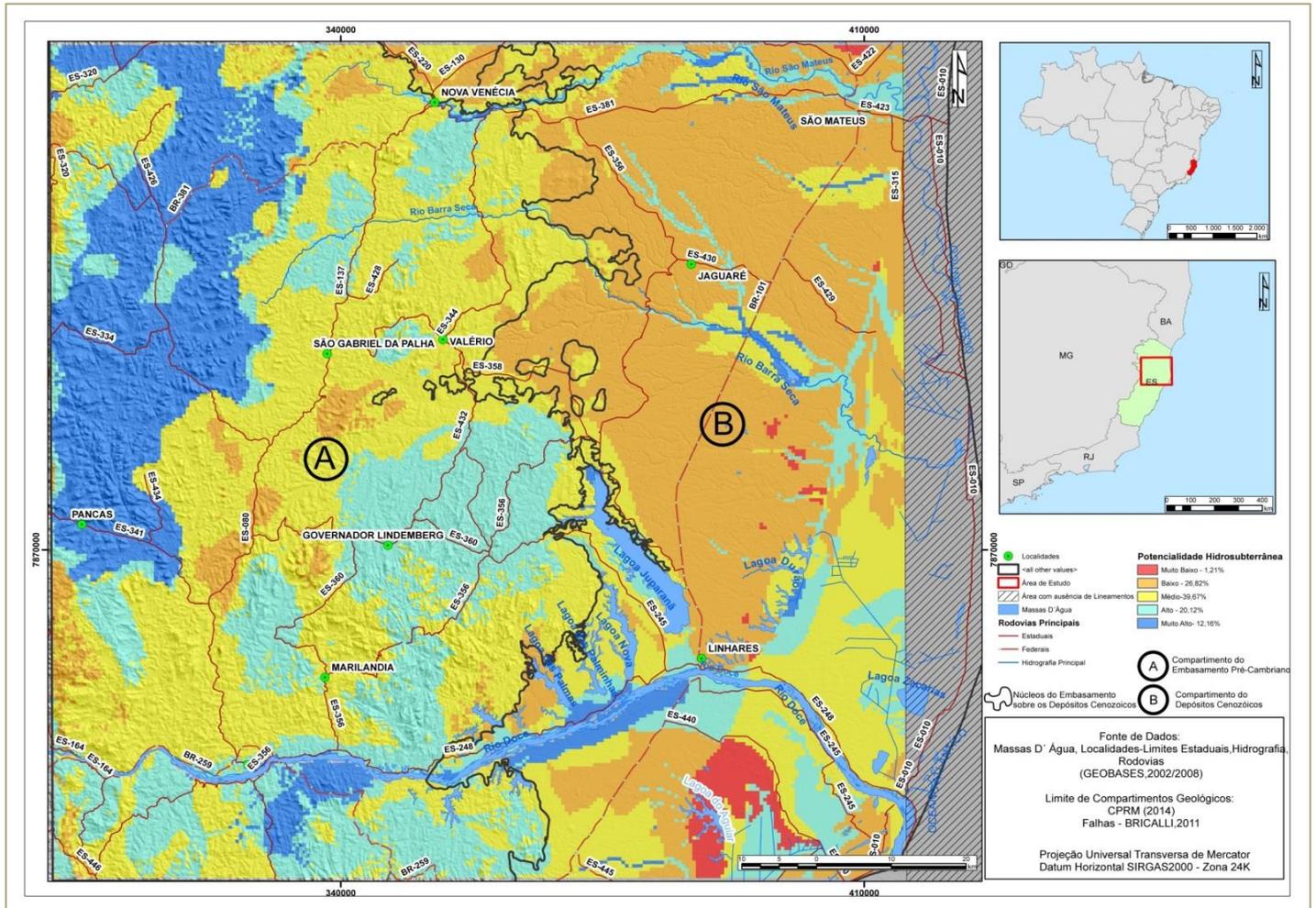
7.1.3 MPHS e Declividade

Conforme já mencionado nos itens anteriores, os maiores valores de potencial hídrico na área em estudo apresentam-se bem marcados nas rochas do Compartimento do Embasamento Pré-Cambriano e menos marcados nas rochas do Compartimento dos Depósitos Cenozoicos.

Esse resultado demonstra que as relações do Mapa de Potencialidade Hídrica Subterrânea com declividades de baixo valor não demonstram a real relação de capacidade e velocidade de infiltração de água subterrânea das rochas sedimentares. Uma vez que as rochas sedimentares do Compartimento dos Depósitos Cenozoicos, por apresentarem características de alta porosidade e alta permeabilidade, não apresentaram altos valores de potencialidade hídrica na área de estudo.

Entretanto, áreas com declividades altas, ou seja, com velocidade de escoamento alto, no Compartimento do Embasamento Pré-Cambriano, apresentaram valores com Alta potencialidade hídrica. Isto reflete a grande densidade de juntas e fraturas das rochas do Compartimento do Embasamento Pré-Cambriano permitindo assim a percolação e fluxo nos interstícios da rocha, até a formação dos aquíferos.

No entanto, para a elaboração do MPHS foram utilizadas diversas variáveis geológicas e geomorfológicas, as quais foram atribuídas pesos para as mesmas. As variáveis relacionadas à fraturamento foram atribuídas os maiores pesos na elaboração do mapa e, portanto, apresentaram maior potencial hídrico. Esse fato demonstra que a declividade, nesse caso, não pode ser considerada um fator determinante na percolação de água, se não for levada em consideração as demais variáveis e os fraturamentos presentes nas rochas (Figura 56).



7.1.4 MPHS e Pluviosidade

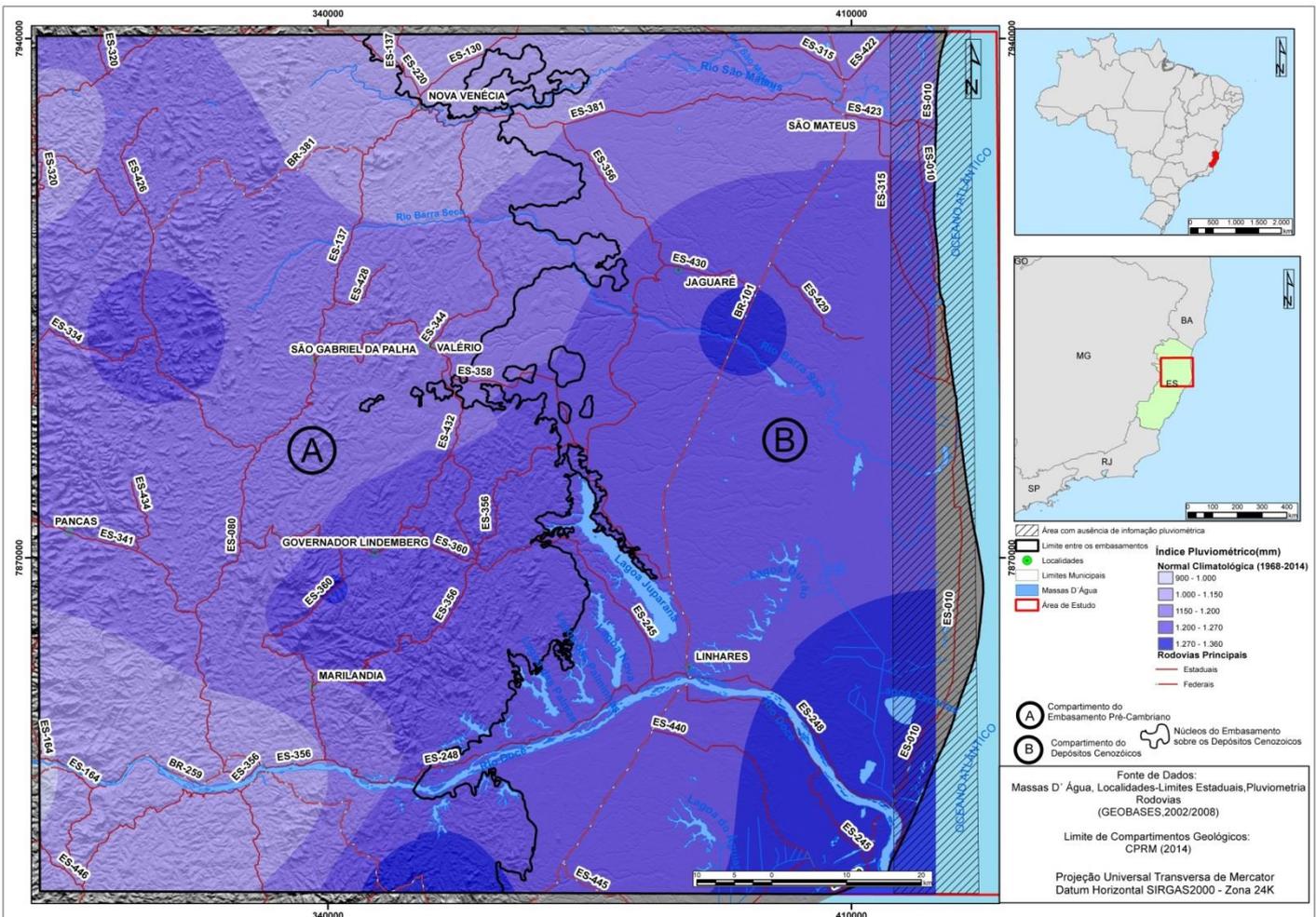
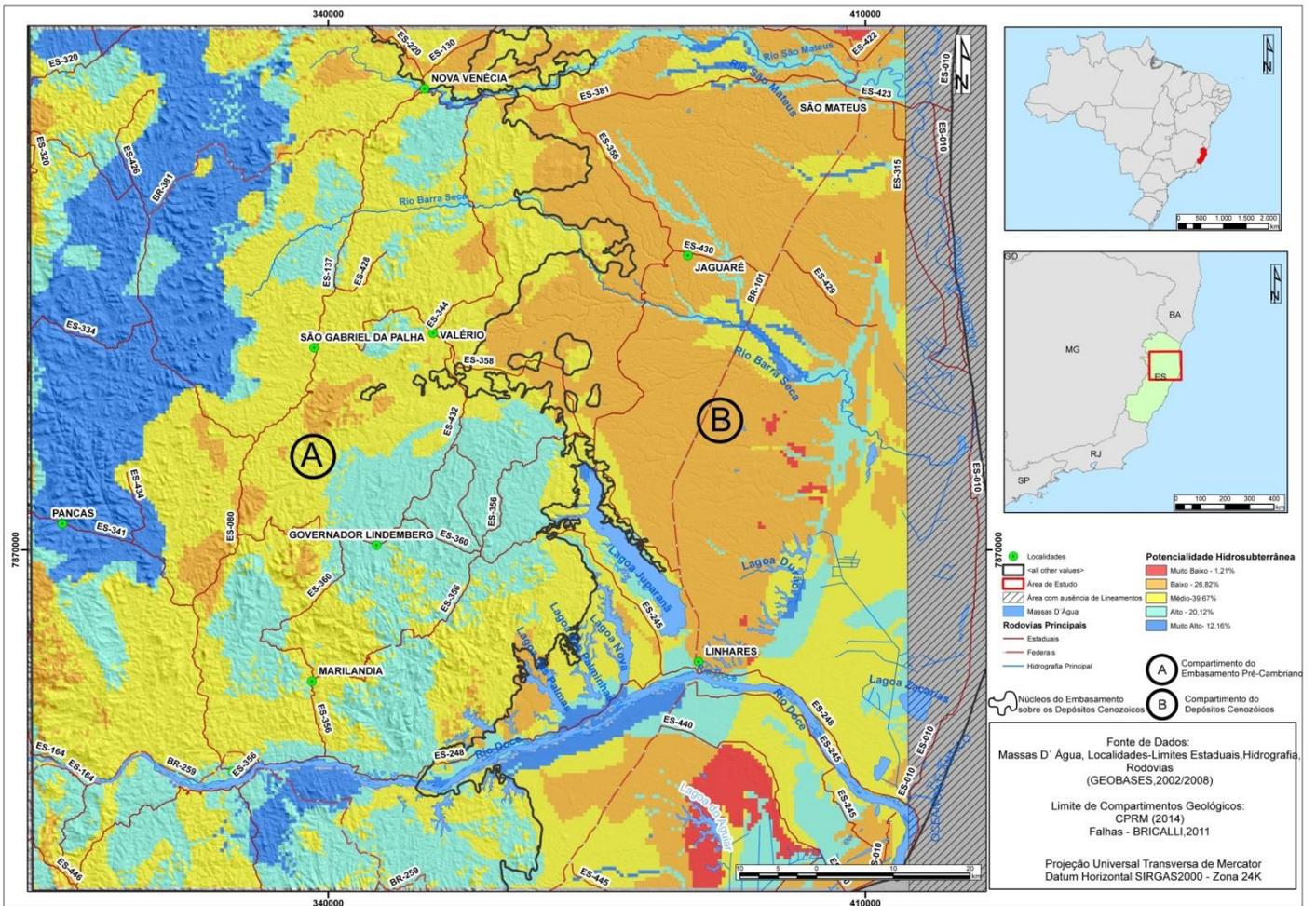
A área de estudo não possui um bom regime de chuvas ao longo do ano, e isto a faz uma das áreas mais secas do estado do Espírito Santo. Conforme já comentado ao longo da pesquisa, a região contemplada na área de estudo possui uma heterogeneidade de atividades econômicas que necessitam de um bom regime de chuvas e água em abundância e que norteiam a economia capixaba.

Nos últimos anos esta região sofreu com a seca e a escassez de água o que por consequência fez as solicitações de perfurações de poços artesianos crescerem de forma exponencialmente.

Diante disso, um mapa que indica áreas potenciais de água subterrânea seria de suma importância para as aplicabilidades de perfuração e subsídios técnicos governamentais para indicação de áreas para perfuração.

No MPHS as áreas com maiores índices de probabilidade hidrogeológica estão aonde chegam os maiores índices pluviométricos da área de estudo com aproximadamente 1.200mm. Mesmo sendo um índice baixo em relação ao resto do estado do Espírito Santo, estes são aproveitados de acordo com a percolação nas fraturas das rochas onde estão identificados no MPHS os maiores índices de favorabilidade hidrogeológica.

Sendo assim, os índices pluviométricos possuem uma importância fundamental para correlacionar o MPHS e as áreas com baixo e alto índice pluviométrico (Figura 57). No entanto, para a elaboração do MPHS foram utilizadas diversas variáveis geológicas e geomorfológicas, as quais foram atribuídas pesos para as mesmas. As variáveis relacionadas à fraturamento foram atribuídas os maiores pesos na elaboração do mapa e, portanto, apresentaram maior potencial hídrico. Esse fato demonstra que a pluviosidade, nesse caso, mesmo com um valor relativamente baixo deve ser levada em consideração mas não é um fator determinante na percolação de água, se não for levada em consideração as demais variáveis e os fraturamentos presentes nas rochas.



7.1.5 MPHS e Poços

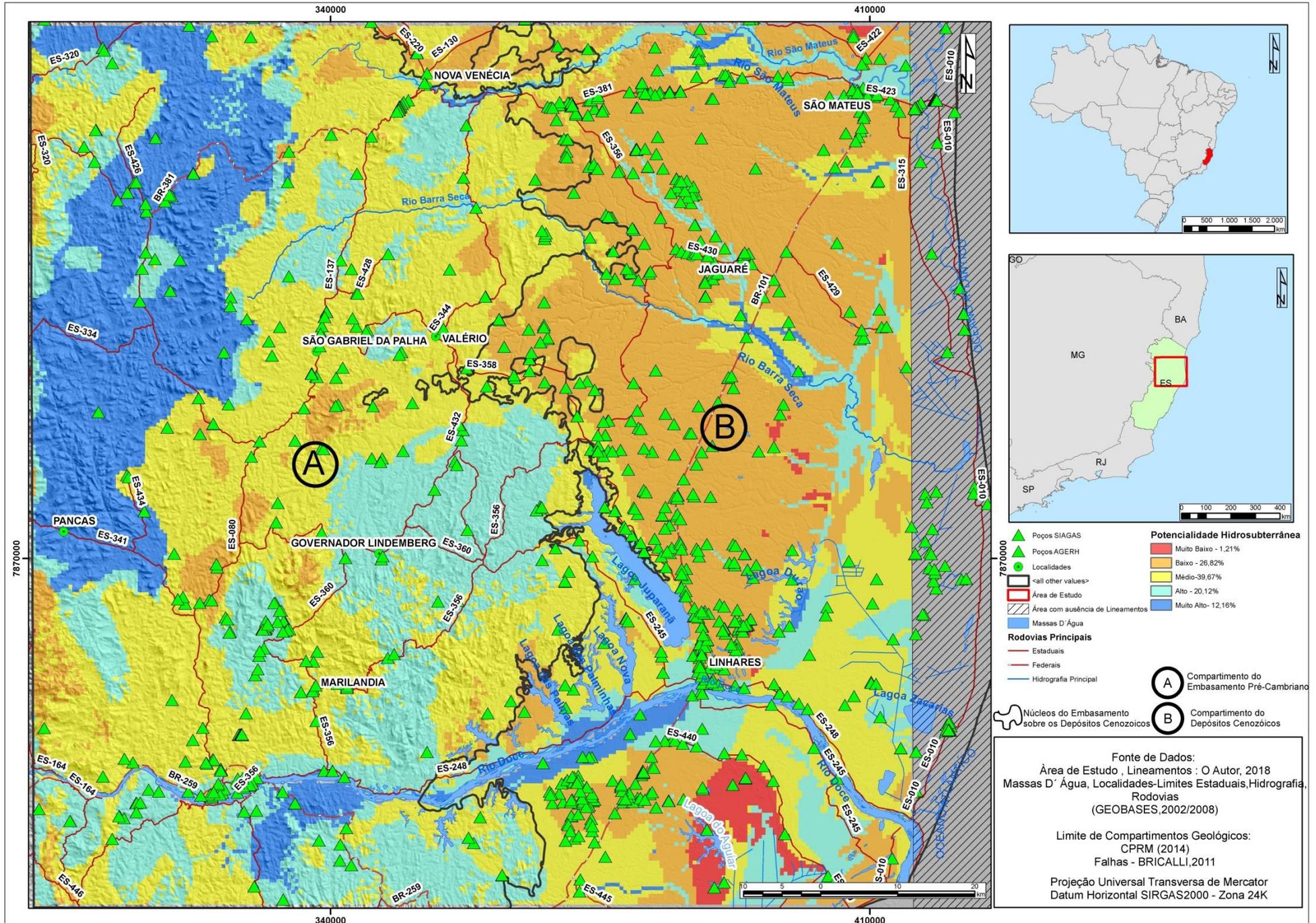
Com o Mapa de Potencialidade Hídrica Subterrânea foi possível plotar a localização dos poços outorgados ou em fase de outorga pela Agência Estadual de Recursos Hídricos (AGERH), além dos já disponibilizados pela Agência Nacional de Águas (ANA), por meio do Sistema de Informação de Águas Subterrâneas (SIAGAS).

Nota-se uma aglomeração de poços nas proximidades da Lagoa Juparanã fato este explicado devido sua potencialidade hídrica e abrigar uma das maiores cidades do estado do Espírito Santo o que traz a necessidade por água de boa qualidade.

Outro fato que chama atenção é a quantidade de poços ao longo do curso do Rio Doce, que comprova a disponibilidade de água nesta região que aponta Alta Potencialidade (Figura 58). Ao sul do MPHS nota-se uma concentração de poços muito próximos uns aos outros numa região de Média e Baixa potencialidade, trata-se do distrito de Linhares, Rio Quartel, onde há uma grande concentração de poços com alta profundidade.

Vale ressaltar a localização e a pequena quantidade de poços na região que contempla a unidade geológica do pré-cambriano, noroeste da área de estudo, como já comentado a região que apresentou a maior potencialidade hídrica, mas que ainda poderia ser melhor explorada de forma sustentável devido sua potencialidade. Fato este explicado pelos altos valores no processo de perfuração, uma vez que a perfuração de poços em ambientes de rocha requer maiores profundidades consequentemente maior tempo de perfuração, disponibilidade da máquina, tornado assim mais oneroso. Sendo assim é notória a maior quantidade de poços nas rochas do Compartimento dos Depósitos Cenozoicos devido à facilidade de perfuração e menor custo.

Figura 58-Potencialidade Hídrica Subterrânea e localização dos Poços



7.1.6 MPHS e Dados Neotectônicos

Os dados neotectônicos na área apresentam as falhas existentes em afloramentos previamente estudados.

É possível relacionar com o MPHS e a localização das falhas neotectônicas, pois 23 pontos foram associados a 268 medidas de falhas encontradas na área de estudo. Estas falhas representam zonas de descontinuidades da crosta, logo possíveis locais de armazenamento de água subterrânea.

Nota-se uma concentração e uma densidade de falhas nas proximidades do complexo lagunar do município de Linhares (LIN-05, LIN-08, LIN-02 e LIN-03) – Bricalli (2011) e falhas associadas às áreas com Alta Potencialidade de água subterrânea, nas proximidades do município de Governador Lindenberg (LIN-01, LIN-05, LIN-09 e SGP-11) Bricalli (2011), sendo LIN-09 com a maior quantidade (56) de falhas associadas, o que influencia diretamente na capacidade de armazenamento hídrico (Figura 59) (Figura 60).

Associadas às áreas com Muito Alto Potencial de possuir águas subterrâneas estão localizados nos afloramentos com presença de falhas neotectônicas (SGP-03, SGP-05, SGP-08 e SGP-09)- Bricalli (2011) rochas do embasamento pré-cambriano.

À Norte da área de estudo é possível evidenciar uma maior densidade de falhas e estrias nas proximidades com a cidade de Nova Venécia, corroborando com valores de Alta probabilidade de água subterrânea. Na porção central da área de estudo estão localizadas as maiores densidades entre as cidades de Governador Lindenberg e Vila Valério junto à lagoa Juparanã, importante feição com disponibilidade de água doce superficial. À Sul da área de estudo e ao longo da calha do rio Doce encontramos valores com alta densidade de falhas e estrias neotectônicas que podem contribuir diretamente para a disponibilidade hidrogeológica da região ao entorno da calha do rio.

Diante disso, o mapa de densidade de falhamentos e estrias trazem resultados de variáveis extremamente importantes para a pesquisa, uma vez que as falhas trazem dados estruturais em escala local e as fraturas em escala regional e que podem influenciar diretamente na dinâmica das águas subterrâneas. Outro resultado importante e que parecem ser duplicados, pois apresentam resultados

similares nas mesmas localidades. Altas densidades de falhamentos e estria ao norte, centro e a ao sul da calha do rio Doce assim como valores muito altos de probabilidade hidrogeológica praticamente nas mesmas localidades.

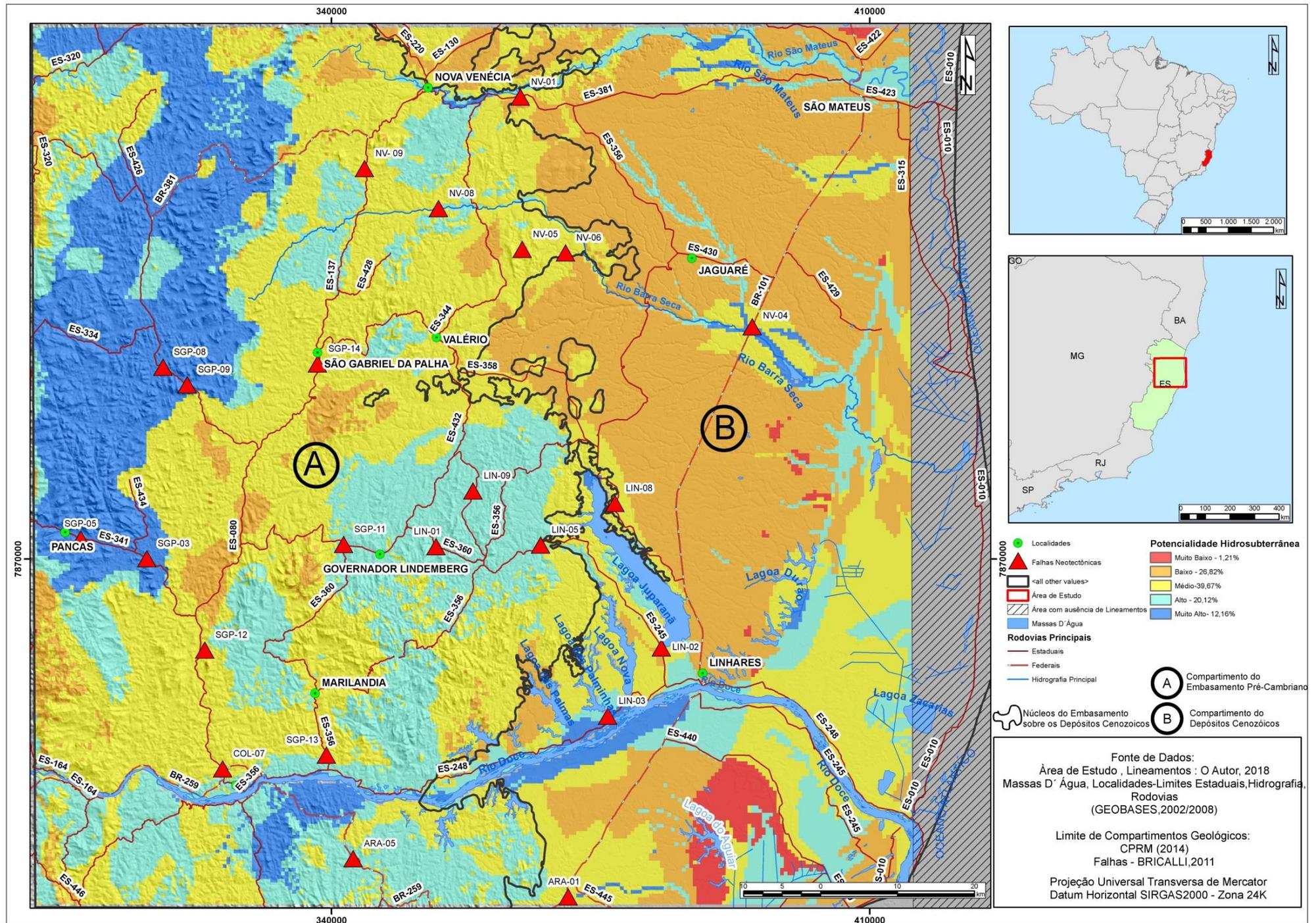
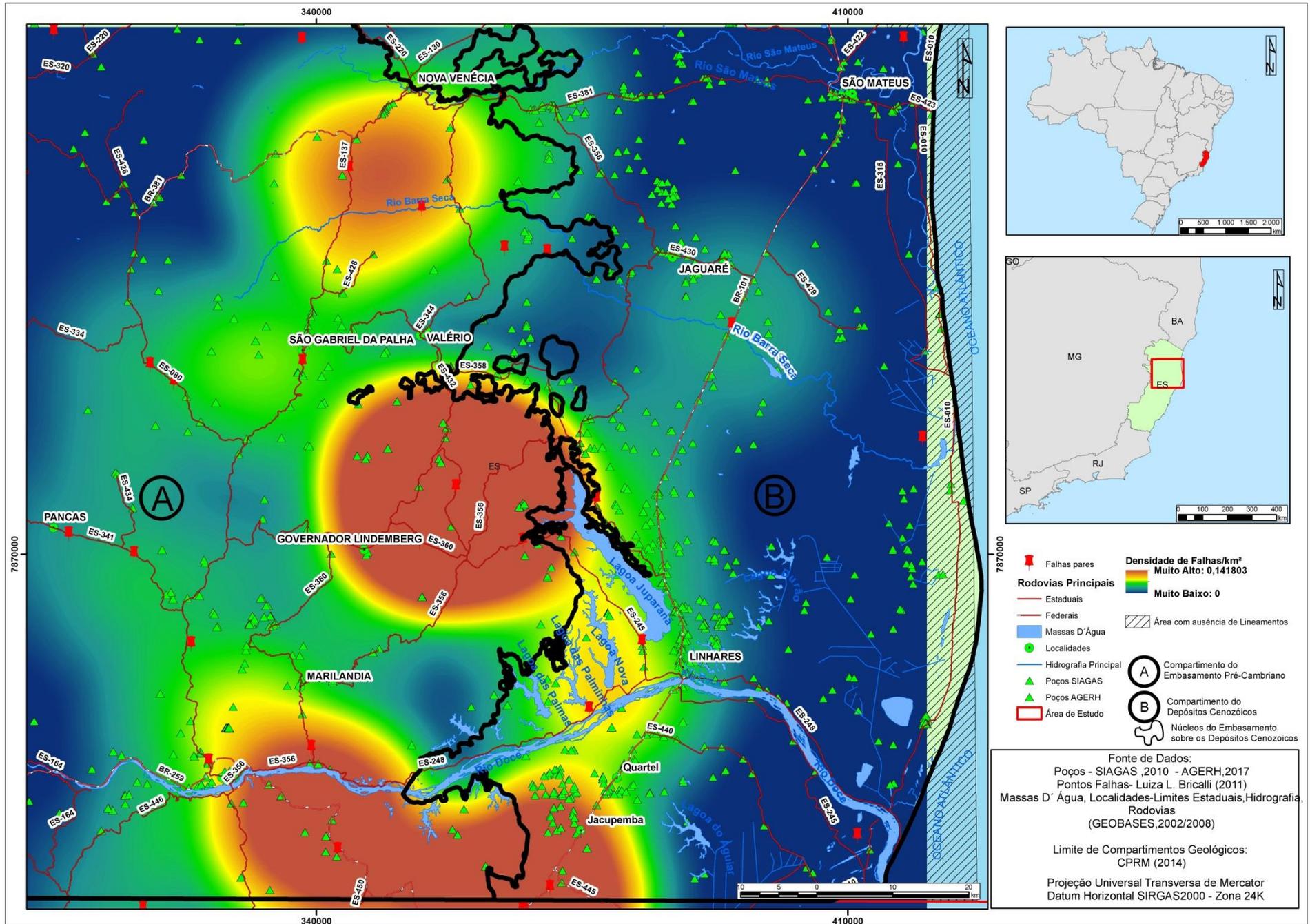


Figura 60 - Densidade de falhas /estrias neotectônicas na porção Centro/Norte do Estado do Espírito Santo



8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante dos resultados apresentados observa-se que a área estudada apresenta um alto potencial hídrico subterrâneo principalmente no Compartimento do Embasamento Pré-Cambriano, não menos importante no Compartimento dos Depósitos Cenozoicos.

As variáveis falhas, fraturas e o alto índice de fraturamento foram imprescindíveis para apontar locais de armazenamento de água subterrânea. Essas variáveis, nessa pesquisa, apresentaram-se em grandes quantidades e densidades ao longo da área, com maior concentração nas porções noroeste, central e sul da área. Juntamente com as variáveis mencionadas, a declividade, litologia, pluviosidade, foram importantes para apontar e apresentar áreas com maior potencialidade hídrica subterrânea e com maior probabilidade de formação de aquíferos.

Apesar da importância das variáveis, declividade, litologia, pluviosidade, essas não foram determinantes para ocorrência de possíveis zonas formadoras de aquíferos, pois os maiores pesos foram atribuídos às variáveis estruturais como densidade de lineamentos e índice de fraturamentos, pois correspondem diretamente, segundo as literaturas a respeito do tema, a locais de armazenamento de água, hidrocarbonetos, etc.

As técnicas de geoprocessamento utilizadas nesse trabalho apresentaram ferramentas importantes para apontar as áreas com potencial hídrico. Primeiramente porque a técnica de extração de lineamentos foi imprescindível para identificação de áreas fraturadas e serviu de base para a elaboração de outros mapeamentos relacionados à identificação de estruturas geológicas. Além disso, as técnicas de Geoprocessamento permitiram relacionar uma grande quantidade de variáveis importantes para a identificação de locais de armazenamento de água subterrânea e facilitou a sobreposição de mapeamentos diferentes. Além disso, a importância do uso de algoritmos para análises multicritério foi imprescindível para a produção do mapeamento final.

Outro dado extremamente importante para a análise do potencial hídrico da área foi a utilização de dados neotectônicos existentes na literatura e sua relação com os demais dados de geoprocessamento, especialmente os dados de lineamentos e índice de faturamento. Esses dados foram importantes pois apresentam dados de falhas (também consideradas áreas de armazenamento de água subterrânea) presentes em diversos afloramentos na área. Assim, juntamente com os resultados obtidos em gabinete contribuíram para mais um elemento importante para identificação de áreas de armazenamento de água subterrânea, logo contribuindo para a mais um elemento que indicasse áreas de potencial hídrico.

Vale ressaltar a importância da continuidade dessa pesquisa a partir de análises específicas em campo, tais como profundidade dos aquíferos e qualidade dos mesmos, informações essas que não estão presentes nos poços disponibilizados pela AGERH.

Diante do exposto, sugere-se a implantação de políticas públicas referente à captação de águas subterrâneas na área, já que, como já mencionado, a área de estudo apresenta um alto déficit hídrico e as políticas públicas atuais estão direcionadas para o uso das águas.

Sugere-se que Agência Estadual de Recursos Hídricos (AGERH), responsável por regular e fiscalizar o uso das águas superficiais e subsuperficiais no estado do Espírito Santo, direcione a perfuração dos poços, com acompanhamento técnico específico e que direcione o processo de outorga.

Por fim, sugere-se que as agências de fomento incentivem pesquisas mais aprofundadas sobre esse tema, pois trata-se de um assunto extremamente importante para diversos setores econômicos e sociais da região estudada, sendo essa uma das maiores importantes regiões agrícolas do estado do Espírito Santo gerando assim impactos significativos em inúmeros trabalhadores agrícolas, empresários, e cidades de grande expressão regional.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMARANTE, O.A. C do.;Atlas Eólico Espírito Santo, Vitória-ES: ASPE, 2009

Agência Estadual de Recursos Hídricos (AGERH), 2017 Instrução Normativa 02/2017 Espírito Santo Disponível em <https://agerh.es.gov.br/instrucao-normativa-agerh-02-2017>.

Agência Nacional de Águas (ANA). 2005a. Panorama da qualidade das águas subterrâneas no Brasil. Brasília. Disponível em: < <http://www.ana.gov.br/sprtew/recursoshidricos.asp> >

Agência Nacional de Águas (ANA). 2005b. Disponibilidade e demandas de recursos hídricos no Brasil. Brasília. Disponível em: < <http://www.ana.gov.br/sprtew/recursoshidricos.asp> >

Agência Nacional de Águas (ANA). A Questão da Água no Nordeste - Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, – Brasília, DF: CGEE, 2012.

AMARAL, R; Ross, J. L. S. As Unidades Ecodinâmicas na Análise da Fragilidade Ambiental do Parque Estadual do Morro do Diabo e Entorno, Teodoro Sampaio/SP. GEOUSP - Espaço e Tempo, nº 26, São Paulo, 2009.

BORGHETTI, N. R. Aquífero Guarani: a verdadeira integração dos países do MERCOSUL. Curitiba – PR, 2004.

BRICALLI, L. L. Padrões de lineamento e faturamento neotectônico no estado do Espírito Santo. 2011. 221 p. Tese (Doutorado em Geologia), Instituto de Geociências – IGEO/UFRJ, DSc. Programa de pós-graduação em Geologia – Rio de Janeiro. 2011.

BRICALLI, L. L.; MELLO, C. L. ; CIANFARRA, P.; SALVINI, F. Tectonic Implications from Manual and SemiAutomatic Analyses of Lineament Patterns in the Espírito Santo State (Southeastern Brazil). In: 47 CONGRESSO BRASILEIRO DE

GEOLOGIA, 2014, Salvador. Anais do 47 CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 2014.

CARDOSO, A.C.; MARTINS L.C. Aquífero de Alta Potencialidade no Estado do Espírito Santo- *XVII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas- Bonito, MS, 2012*

Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE)/Agência Nacional de Águas (ANA) - 2012. Ação: Organização de um Livro versando sobre a Questão da Água na Região Nordeste.

COSTA, F.G. Projeto Hidrogeologia do Centro de Minas Gerais e Norte do Espírito Santo, folha RioDoce – SO. 1980. Belo Horizonte, s.ed., (Relatório inédito DNPM/CPRM).

CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. 2001. Relatório Anual. *Rio de Janeiro*.

Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM) –. Mapa de Geodiversidade do Estado do Espírito Santo
http://www.cprm.gov.br/publique/media/geodiversidade_espirito_santo.pdf

CPRM - SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. 2010. Projeto Aerogeofísico Espírito Santo: Relatório Final do Levantamento e Processamento dos Dados Magnetométricos e Gamaespectrométricos. *Rio de Janeiro: Prospectors*. 53 pp.

CPRM. Mapa de domínios e subdomínios hidrogeológicos do Brasil. Rio de Janeiro: CPRM, 2007.

CPRM Serviço Geológico do Brasil. Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo. Folhas SF24 (Vitória) e SE 24 (Rio Doce), escala 1:1.000.000. 2004

CORIOLOANO, A. C. F. Reavaliação de critérios estruturais na Hidrogeologia de terrenos cristalinos, com ênfase na neotectônica e sensoriamento remoto. 2002. 240

f. Tese (Doutorado em Geodinâmica e Geofísica)- Centro de Geociências.Univ. Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2002

COELHO, J.O.M. Identificação e Caracterização de Zonas de Captura e Concentração de Águas Subterrâneas a partir de Produtos de Sensoriamento Remoto. 2010. Dissertação (Mestrado Engenharia Ambiental) - Programa de Pós-Graduação em Geociências e Meio Ambiente, Universidade Estadual Paulista, Campus Rio Claro, 2010.

Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM) – Sumário Mineral Brasileiro – 2013.https://sistemas.dnrm.gov.br/publicacao/mostra_imagem.asp?IDBancoArquivoArquivo=8963.

EVANGELISTA, T. M. Localização de Áreas Favoráveis à Prospecção e Recarga de Água Subterrânea: Análise de Métodos Existentes e Aplicação de Técnicas de Sensoriamento Remoto à Região de Guarapari / ES. 1998. Dissertação (Mestrado Engenharia Ambiental) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental , Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 1998.

ESRI- *Environmental Systems Research Institute Kernel Density Help* , 2016– Disponível em <http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/kernel-density.htm>

FEITOZA, L. R. et al. Mapa das unidades naturais do Estado do Espírito Santo. Vitória-ES: EMCAPA; Viçosa-MG: UFV; Norwich-RU: Eastia Anglia University; Brasília-DF: SAE; Rio de Janeiro: PRÓ-NATURA. Escala 1:400.000, a cores. 1999.

FEITOSA, F.A.C.; MANOEL FILHO, J.; FEITOSA, E.C.; DEMETRIO, J.G.A. 2008. (orgs.). Hidrogeologia: conceitos e aplicações. 3ª ed. ver. e ampl. Rio de Janeiro: CPRM: LABHID, p. 179- 207.

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. B. Geoci. Petrobras, Rio de Janeiro, v. 15, n. 2, p. 5101-509, maio/nov. 2007.

GATTO, L. C. S. et al. Geomorfologia. Folhas SF.23/24, Rio de Janeiro/Vitória. In: BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Projeto Radam Brasil. Brasília, 1983. p. 305-384.

GEOBASES- Sistema Integrado de Bases Georreferenciadas do estado do Espírito Santo (Geobases).Plano de Informações: limite estadual, localidades, hidrografia, rede viária.Fornecido pela unidade local do Departamento de Geografia (UFES) em 2018

HIRATA, R.; ZOBY, J.L.G., OLIVEIRA, F.R.O. Água Subterrânea: reserva estratégica ou emergencial. In: BICUDO,C.; TUNDISI, J.; SCHEUENSTUHL, M. (Org.). Águas do Brasil: análises estratégicas. 1 ed. São Paulo: Instituto de Botânica, 2010, v. 1, p. 144-164.

HEILBRON, M.; PEDROSA-SOARES, A. C.; CAMPOS NETO, M. C.; SILVA, L. C.; TROUW, R. A. J.; JANASI, V. A. Província Mantiqueira. In: MANTESSO-NETO, V. M.;BARTORELLI, A.; CARNEIRO, C. D. R.; BRITO-NEVES, B. B. (orgs.). Geologia do Continente Sul-Americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida. São Paulo: Editora Beca, 2004. p. 203-234.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – Disponível em <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/es>, 2005.

LONGLEY, P. A.; GOODCHILD, M. F.; RHIND, D. W.; MAGUIRE, D. J. Modelagem de dados geográficos; Coleta de dados para SIG. In. Sistemas e ciência da informação geográfica. Porto Alegre: ABDR, 2013. Cap. 8; 9, p 207-423.

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.

MATTIUZI, C.D.P.; MARQUES, G.F.; MEDELLÍN-AZUARA, J. Reassessing Water Allocation Strategies and Conjunctive Use to Reduce Water Scarcity and Scarcity Costs for Irrigated Agriculture in Southern Brazil. *Water*, v. 11, 24 p, 2019.

MATTIUZI, C.D.P. Gestão Integrada dos Recursos Hídricos: alocação otimizada com uso conjunto de água superficial e subterrânea para redução da escassez hídrica na Bacia Do Rio Santa Maria/RS. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 93p, 2018.

MARCUZZO, F. F. N.; ATHAYDE G. B. Sistemas Aquíferos e Hidrolitologia da Bacia do Rio Canoas (subbacia 71) em Santa Catarina. In: ABAS 2018, Rio de Janeiro. Disponível em <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/29294/18897>

MORAIS, R.M.O. 2007. Sistemas fluviais terciários na área emersa da bacia do Espírito Santo (Formações Rio Doce e Barreiras). Programa de Pós-graduação em Geologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Tese de doutorado, 139 p.

MOURÃO, M. A. A.; Lima, J. E. S., Monteiro, E. A., 2002. Os Sistemas Aquíferos do Norte do Estado do Espírito Santo: Potencial de Exploração e Diagnóstico Atual de Aproveitamento. In XII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. www.abas.org.br

NASCIMENTO, F.H. Análise do Efeito Orográfico na Distribuição de Chuvas: Estudo de caso nos Municípios de Fundão e Santa Teresa (ES) no Ano Hidrológico(AH) 2015-2016 . Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, ES, 2017, 154p.

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.

RESS, F.; SIEVER, R.; GROTZINGER, J.; JORDAN, T. H. Para entender a Terra. 4. ed. Bookman. Porto Alegre: , 2006.

REBOUÇAS, Aldo C.; BRAGA JR., Benedito P. F.; TUNDISI, José Galizia. Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação. [S.l: s.n.], 1999.

REBOUÇAS, A. C.; MARINHO, M. E. Hidrologia das secas: contribuição ao I SEMINÁRIO INTERNACIONAL SOBRE SECAS, Lima, Peru. Recife : Sudene, 1970. 130 p. (Hidrogeologia, 40).

REBOUÇAS, A. C.; MARINHO, M. E. Hidrologia das secas do Nordeste do Brasil. Recife: SUDENE - DRN, Divisão de Hidrologia, 1972. 126p

REBOUÇAS, A. C. O Potencial de Água do Semi-Árido Brasileiro: Perspectivas do Uso Eficiente. Universidade de São Paulo. American Institute of Hydrology. 2002.

ROCIO, M. A. R. Caracterização da rede aquífera da região de Caçapava. Paraibuna com o emprego de técnicas de sensoriamento remoto. Dissertação de mestrado, INPE, São José dos Campos, SP, 1993, 75p.

ROSS, J.L.S. (1994) Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. Revista do Departamento de Geografia. n. 8, p. 63-73.

SAADI, A. 1993. Neotectônica da plataforma brasileira: esboço e interpretação preliminares. Geonomos, 1(1):1-15.

Silva J.M.R & Veronese V.F.1987. Geologia. In: Projeto RADAMBRASIL: Folha Rio Doce – SE.24. Rio de Janeiro: IBGE.v.34.cap.1, p.23-172,il, mapas

SIAGAS – SISTEMA DE INFORMAÇÕES DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS. CPRM-SGB.2011

SRTM, 2007. Shuttle Radar Topography Mission (SRTM-NASA). Modelo Digital de Elevação (MDE). Disponível em <http://srtm.csi.cgiar.org/>

VENEZIANI, P.; LARROZA, F. A. O sensoriamento remoto e o geoprocessamento na prospecção de água subterrânea: exemplo de região de Taubaté a Redenção da Serra. In: IV Simpósio da Geologia do Sudeste, Boletim de Resumos, SBG/UNESP, Águas de São Pedro, São Paulo, 1995, pp.100.

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