



Universidade do Estado do Rio de Janeiro
Centro de Tecnologia e Ciências
Faculdade de Geologia

Aimée Guida Barroso

**Análise da deformação rúptil ao longo da costa fluminense entre Niterói e
Armação de Búzios por meio de dados de campo e sensoriamento remoto**

Rio de Janeiro
2017

Aimée Guida Barroso

Análise da deformação rúptil ao longo da costa fluminense entre Niterói e Armação de Búzios através de dados de campo e sensoriamento remoto

Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Análise de Bacias e Faixas Móveis da Universidade do Estado do Rio de Janeiro.

Orientador: Prof. Dr. Julio Cesar Horta de Almeida

Coorientador: Prof. Dr. Sérgio Wilians Oliveira Rodrigues

Rio de Janeiro
2017

CATALOGAÇÃO NA FONTE
UERJ / REDE SIRIUS / BIBLIOTECA CTC/C

B277 Barroso, Aimée Guida.
Análise da deformação rúptil ao longo da costa fluminense entre Niterói e Armação de Búzios por meio de dados de campo e sensoriamento remoto/ Aimée Guida Barroso. – 2017. 166 f. : il.

Orientador: Julio Cesar Horta de Almeida.
Coorientador: Sérgio Wilians Oliveira Rodrigues.
Dissertação (Mestrado) - Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de Geologia.
Bibliografia.

1. Geologia estrutural – Cabo Frio (RJ) – Teses. 2. Sedimentação e depósitos – Cabo Frio (RJ) – Teses. 3. Levantamentos geológicos - Cabo Frio (RJ)– Teses.. I. Almeida, Julio Cesar Horta de. II. Rodrigues, Sérgio Wilians Oliveira III. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Faculdade de Geologia. IV. Título.

CDU 551.243(815.3)

Autorizo, apenas para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial desta dissertação, desde que citada a fonte.

Assinatura

Data

Aimée Guida Barroso

Análise da deformação rúptil ao longo da costa fluminense entre Niterói e Armação de Búzios através de dados de campo e sensoriamento remoto

Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Análise de Bacias e Faixas móveis, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro.

Aprovada em 29 de Março de 2017.

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Julio Cesar Horta de Almeida (orientador)
Faculdade de Geologia – UERJ

Prof. Dr. Sérgio Wilians Oliveira Rodrigues (coorientador)
Faculdade de Geologia – UERJ

Prof. Dr. Luiz Guilherme Almeida do Eirado Silva
Faculdade de Geologia – UERJ

Prof. Dr. Alan Wanderley Albuquerque Miranda
Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

Rio de Janeiro
2017

AGRADECIMENTOS

A concretização da presente dissertação de mestrado não seria possível sem o apoio de muitas pessoas e diversas instituições.

Agradeço ao meu orientador Julio Almeida por toda paciência, compreensão, tempo e conhecimento dedicados. Obrigada pela confiança e amizade construída ao longo desse caminho. Agradeço ao meu coorientador Sergio de Oliveira Rodrigues, um menino vindo do Bairro do Limão, que nos diverte e ensina a apreciar as maravilhas geológicas espalhadas pelo caminho. Gostaria de agradecer à querida professora Monica Heilbron, pelo acolhimento, suporte e encorajamento.

Um agradecimento ao Programa de Pós Graduação em Geociências da Universidade do Estado do Rio de Janeiro por todas as oportunidades de crescimento profissional e pessoal criadas. À Jussara e Marianni por toda dedicação e prontidão em nos ajudar.

Aos meus companheiros de jornada, Michael, Henrique e Davi, e aos meus amigos queridos Lê, Monique, Thami, Priscila, Guilherme, Thata e Gabi quero agradecer pelas boas risadas, ensinamentos e pela torcida!

Gostaria de agradecer aos meus professores e amigos da minha instituição de origem, Valente e Artur, pelo suporte e encorajamento desde os primeiros passos que me trouxeram até aqui. Ao eterno orientador e amigo Alan quero agradecer os ensinamentos, a paciência e o apoio em todos os momentos de minha caminhada geológica.

Não posso deixar de agradecer à minha família por acreditar no meu sonho e me proporcionar todo o suporte necessário ao longo dessa jornada. Ao meu amado pai, Wellington, por não ter medido esforços para me ver feliz e realizada. À minha mãe Aline, toda a minha gratidão, por cada palavra de apoio e por todo amor dedicado. Agradeço ao meu maninho Matheus, a confiança em mim e por sempre trazer consigo encorajamento. À minha Vó Tiva, pelo apoio, e por cada conversa incentivadora. Agradeço aos meus tios e primos por todo carinho e por todas as vezes que compreenderam a minha ausência.

Ao meu pai Jaime César e sua esposa Lina por dividir comigo as experiências desse caminho, e pelo meu irmãozinho Lucas, que enche a minha vida de doçura.

Reservo um agradecimento especial ao meu namorado Gustavo, que foi meu porto seguro no processo de finalização deste trabalho. Obrigada por cada noite que passou em claro para me apoiar, e por ter afirmado incansavelmente que tudo ia dar certo.

RESUMO

BARROSO, Aimée Guida. *Análise da deformação rúptil ao longo da costa fluminense entre Niterói e Búzios através de dados de campo e sensoriamento remoto*. 2017. 164 f. Dissertação (Mestrado em Análise de bacias e faixas móveis) –Faculdade de Geologia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.

A Costa Azul do Estado do Rio de Janeiro, entre as cidades de Niterói e Armação de Búzios, está localizada em um setor da margem continental brasileira que mostra uma marcante mudança de orientação da linha de costa de N-S para E-W. Esta mudança de orientação coincide com um alto estrutural, o Alto de Cabo Frio (ACF), que separa duas importantes bacias sedimentares da costa brasileira, as bacias de Campos e Santos. Isso é interpretado como o resultado da variação no campo de esforços atuantes durante a abertura do sistema de riftes do Atlântico-Sul, no Eocretáceo. Eventos tectônicos anteriores e posteriores também geraram uma série de estruturas rúpteis, que se confundem ou reativam as estruturas formadas durante o evento diastrófico do Eocretáceo. O principal objetivo da presente dissertação é analisar a maneira que a tectônica rúptil incidiu e se desenvolveu na área estudada. A geologia da região em questão é propícia a estudos da deformação rúptil, pois contém dois terrenos com estruturação e litologia contrastantes (Terreno Cabo Frio e Terreno Oriental), permitindo a comparação entre a assembleia de estruturas desenvolvidas em dois diferentes substratos. Baseado em dados de campo onde se realizou a análise estrutural das estruturas rúpteis (diques, veios, falhas e juntas), e dados de lineamentos de relevo obtidos em Modelo Digital de Elevação (MDE) a partir de imagens SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), tentou-se hierarquizar tais estruturas em grupos, com características cinemáticas e dinâmicas semelhantes e preenchimento e idade relativa coincidentes. Sete grupos de falhas foram caracterizados quanto a sua geometria, cinemática e dinâmica e sua expressão estatística e morfológica em cada terreno. Os grupos de falha de orientação NE-SW a ENE-WSW são os mais frequentes em toda a área de estudo, enquanto outros grupos demonstram divergências entre os domínios tectônicos. A análise da distribuição espacial dos lineamentos mostrou relações geométricas significativas entre estruturação dúctil herdada de cada terreno, a sutura tectônica, zonas de fraqueza crustal e orientação preferencial de fraturamento, servindo de subsídio para uma compartimentação em domínios estruturais rúpteis.

Palavras-chave: Análise estrutural. Deformação rúptil. Lineamentos de relevo. Terreno Cabo Frio. Terreno Oriental. .

ABSTRACT

BARROSO, Aimée Guida. *Analysis of brittle deformation along the coast of Rio de Janeiro State, between Niterói and Armação de Búzios based on field data and remote sensing*. 2017. 164 p. Dissertation (Master in Geosciences) — Faculdade de Geologia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.

The “Costa Azul” region of Rio de Janeiro State - Brazil, between the cities Niterói and Armação de Búzios, is located in the East – Southeast Brazilian coast that has a singular change marked by a variation in the orientation of the coast line from N-S to E-W. This change coincides with a structural high, the Cabo Frio High (CFH), which separate two economically important sedimentary basins, named Campos and Santos. The alteration in the coast line is a result of variation in the active stress field during the Eocretaceous opening of South Atlantic Ocean. Brittle structures generated before and after Cretaceous rift has been reactivated over geological time. This thesis aims to compare brittle deformation at Cabo Frio and Oriental tectonic terrains, using structural data of fieldwork and DEM-derived lineaments extracted from SRTM (shuttle radar topography mission) images as tools for characterizing and morphostructural compartmentalizing. Seven fault sets were characterized by their geometry, kinematics and dynamics, and statistical and morphological expressions for each fault group were verified. NE-SW to ENE-WSW fault sets are the most frequent group of structures throughout the study area, while other fault sets show contrasts between the tectonic domains. The expression of each fault group among lineaments orientation in each terrain was analysed as well, in order to characterize its frequency and spatial distribution. Lineaments distribution analysis have shown interesting geometric relations between inherited structural framework, tectonic suture, crustal weakness zones and preferential fracturing orientation, leading to partitioning in brittle structural domains.

Keywords: Structural analysis. Brittle deformation. DEM-derived Lineaments. Cabo Frio Terrain. Oriental Terrain.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 –	Mapa do Estado do Rio de Janeiro com localização da área	17
Figura 2 –	Mapa de articulação das folhas cartográficas 1:100.000.....	18
Figura 3 –	Mapa de Regiões de Governo do Estado do Rio de Janeiro.....	19
Figura 4 –	Mapa das principais vias de acesso	20
Figura 5 –	Unidades Hidrográficas do Estado do Rio de Janeiro.....	22
Figura 6 –	Mapa morfoestrutural do estado do Rio de Janeiro.....	23
Figura 7 –	Diagrama esquemático das notações azimutais de estruturas planares....	25
Figura 8 –	Mapa tectônico da Faixa Ribeira Central.....	29
Figura 9 –	Reconstrução tectônica do cenário pré-break up do Gondwana Occidental.....	31
Figura 10 –	Mapa de diques do estado do Rio de Janeiro	32
Figura 11 –	Campo de Esforços durante o alojamento dos diques cretáceos.....	33
Figura 12 –	Mapa geológico do RCSB.....	35
Figura 13 –	Contexto geológico do SRCBSB	36
Figura 14 –	Mapa do Gráben da Guanabara.....	37
Figura 15 –	Mapa Geológico simplificado.....	41
Figura 16 –	Mapa de Pontos.....	43
Figura 17 –	Rochas do Terreno Cabo Frio aflorando na área de estudo.....	45
Figura 18 –	Rochas do Terreno Oriental aflorando na área de estudo.....	48
Tabela 1 –	Síntese das características estruturais de cada terreno formando domínios tectônicos distintos.....	50
Figura 19 –	Compartimentação em terrenos tectônicos.....	51
Figura 20 –	Projeção estereográfica e diagramas de roseta de foliação e lineação do TCF.....	52
Figura 21 –	Diagramas de rosetas dos diques estudados.....	54
Figura 22 –	Fotografia de dique aflorando no TCF.....	55
Figura 23 –	Dique mostrando cinemática sinistral.....	56
Figura 24 –	Diques alcalinos aflorando no TCF.....	57
Figura 25 –	Diagrama de roseta e projeções estereográficas das Falhas do TCF.....	58
Figura 26 –	Mapa de Brechas silicificadas e intrusões alcalinas na área de estudo....	60
Figura 27 –	Falha do Pai Vitório – preenchida por brechas tectônicas.....	61

Figura 28 – Diagrama de roseta e projeções das Fraturas no TCF.....	62
Figura 29 – Foliações do Terreno Oriental.....	63
Figura 30 – Dique aflorando em Maricá, RJ.....	65
Figura 31 – Intrusões Tabulares no TOr.....	65
Figura 32 – Fraturas do Terreno Oriental.....	66
Figura 33 – Falhas do Terreno Oriental.....	67
Figura 34 – Falha aflorando na BR-101.....	68
Tabela 2 – Síntese das orientações preferenciais das estruturas por domínio tectônico.....	69
Figura 35 – Mapa Hipsométrico da área de estudo.....	70
Figura 36 – Mapa hidrográfico da região.....	72
Figura 37 – Mapa de compartimentação da cobertura cenozoica.....	73
Figura 38 – Modelo Digital de Elevação para a área de estudo.....	74
Figura 39 – MDE da área com detalhamento na escala de 1:25.000.....	75
Figura 40 – MDE da área de estudo com diferentes iluminantes.....	76
Figura 41 – Mapa detalhado de lineamentos de relevo.....	78
Figura 42 – Mapa de lineamentos de relevo.....	79
Figura 43 – Mapa de lineamentos separados por orientação.....	81
Figura 44 – Diagrama de roseta de lineamentos organizados por compartimentação tectônica.....	83
Figura 45 – Mapa de densidade de lineamentos.....	84
Figura 46 – Mapa de lineamentos E-W extraídos e falhas e diques mapeados.....	86
Figura 47 – Mapa de densidade de lineamentos de orientação NNE-SSW.....	87
Figura 48 – Mapa de densidade de lineamentos de orientação ENE-WSW.....	88
Figura 49 – Mapa de densidade de lineamentos de orientação E-W.....	90
Figura 50 – Mapa de densidade de lineamentos de orientação NW-SE.....	91
Figura 51 – Mapa de densidade de lineamentos de orientação NNW-SSE.....	92
Figura 52 – Mapa de densidade de lineamentos de orientação N-S.....	93
Figura 53 – Falhas F1 causando arqueamento na foliação adjacente.....	97
Figura 54 – Plano de Falha F1 e estrias preservadas em espelho de falha.....	98
Figura 55 – Diagramas de Roseta, estereogramas e paleoesforços de F1.....	99
Figura 56 – Falha F2 preenchida por material granítico.....	100
Figura 57 – Falha F2 deslocando bandamento gnáissico	101

Figura 58 – Falha do grupo F3.....	103
Figura 59 – Falha do grupo F3 associada a dique de diabásio.....	104
Figura 60 – Dique EDSM cortando estruturação dúctil.....	105
Figura 61 – Estimativa de campo de paleoesforços das falhas F3.....	106
Figura 62 – Minidique subparalelo a F3 e fraturas escalonadas associadas.....	107
Figura 63 – Relevo positivo marcado por falha F4 preenchido por rocha de falha....	108
Figura 64 – Cataclasito associado a falha do grupo F4.....	109
Figura 65 – Estimativa de campo de paleoesforços das falhas F4.....	110
Figura 66 – Paleoesforços calculados para falha F5 e veios de fluorita associados....	111
Figura 67 – Campo de Paleoesforços estimado para o grupo F6.....	113
Figura 68 – Diagrama de rose a projeção estereográfica das estruturas F7.....	114
Tabela 3 – Evolução dinâmica das estruturas rúpteis da área estudada.....	115
Figura 69 – Análise comparativa da expressão das direções das estruturas em cada terreno.....	116
Figura 70 – Diagrama de comparação entre os lineamentos extraídos e grupos de falha.....	120
Figura 71 – Zonas de fraqueza crustal no estado do Rio de Janeiro.....	122
Figura 72 – Diagrama de rosetas e projeções estereográficas de foliações, zonas de cisalhamento e fraturas do Domínio Ipitangas.....	124
Figura 73 – Mapa de fraturas por compartimento tectônico.....	126
Figura 74 – Mapa de lineamentos por compartimento tectônico.....	127
Figura 75 – Tipo de estruturas formadas e sua relação com esforços principais.....	141
Figura 76 – Estilos de falhas.....	141
Figura 77 – Falha x Profundidade.....	142
Tabela 4– Tabela de classificação de Rochas de Falha.....	143
Figura 78 – Indicadores cinemáticos rúpteis.....	144
Figura 79 – Terminologia aplicada a fraturas secundárias.....	145
Figura 80 – Experimento realizado com diferentes relações angulares entre σ_1 e foliação.....	146
Figura 81 – Regimes de stress representados em mapa.....	147
Figura 82 – Geometria de blocos diagrama falhados caracterizando regimes tectônicos teóricos.....	148
Figura 83 – Método dos diedros retos.....	149

Figura 84 –	Representação de um MDE em um sistema de coordenadas.....	152
Figura 85 –	Fluxograma esquemático do processo de refinamento do TOPODATA.	153
Figura 86–	Superfície de Kernel criada para cada linha plotada no mapa.....	155
Figura 87–	Mapa de lineamentos do embasamento da Bacia de Benguela, Angola..	158
Figura 88 –	Reconstrução tectônica com geologia simplificada e distribuição dos lineamentos.....	159

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BDG	Banco de Dados Georreferenciados
CEPERJ	Centro Estadual de Estatísticas, Pesquisas e Formação de Servidores Públicos do Estado do Rio de Janeiro
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - Serviço Geol. do Brasil
DRI	Domínio Rúptil Ipitangas
E	Leste
EDSM	Enxame de diques da Serra do Mar
ENE	Leste-nordeste
Fm.	Formação sedimentar
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Km	Quilômetro
LIP	<i>Large Igneous Province</i> – Grandes províncias ígneas
N	Norte
NE	Nordeste
NNE	Norte-nordeste
NNW	Norte-noroeste
NW	Noroeste
PRONAGEO	Programa Geologia do Brasil – CPRM
RCSB	Rifte Continental do Sudeste do Brasil
S	Sul
SE	Sudeste
SERLA	Superintendência Estadual de Rios e Lagos
SHmáx.	Sigma Horizontal máximo
SIG	Sistema de Informações Geográficas
SRCSB	Sistema de riftes continentais do Sudeste do Brasil
SRTM	<i>Shuttle Radar Topography Mission</i>
SSE	Sul-sudeste
SSW	Sul-sudoeste
SW	Sudoeste
TCF	Terreno Cabo Frio

TOPODATA	Banco Geomorfométrico do Brasil
TOr	Terreno Oriental
UERJ	Universidade do Estado do Rio de Janeiro
USGS	<i>United States Geological Survey</i>
W	Oeste
WNW	Oeste-noroeste

LISTA DE SÍMBOLOS

Km	Quilômetro
m	Metro
cm	Centímetro
Ma	Milhões de anos
σ	Sigma
°	Grau
Ψ	Psi
α	Alpha
δ	Delta
ϕ	Phi
%	Porcentagem
TiO ₂	Óxido de Titânio
Ga	Bilhões de anos

SUMÁRIO

	INTRODUÇÃO	14
1	A ÁREA DE ESTUDOS, OBJETIVOS E MÉTODOS.....	16
1.1	Área de estudo.....	16
1.2	A Região dos Lagos Fluminense	18
1.2.1	<u>Aspectos fisiográficos</u>	20
1.2.2	<u>Aspectos geológicos e geomorfológicos</u>	22
1.3	Atividades desenvolvidas e métodos.....	25
2	CONTEXTO GEOLÓGICO.....	28
2.1	Subducção e arcos magmáticos	28
2.2	Colisões Continentais.....	29
2.3	Relaxamento do orógeno	30
2.4	Rifte Eocratácico.....	31
2.5	Abertura do Oceano e Drifte.....	34
2.6.	Rifte Continental do Sudeste do Brasil.....	35
2.6.1	<u>Gráben da Guanabara.....</u>	38
2.6.2	<u>Gráben de Barra de São João.....</u>	39
2.7	Sedimentação cenozoica.....	40
2.8	Denudação e Aplainamento.....	41
3	CARACTERIZAÇÃO LITOESTRUTURAL DA ÁREA DE ESTUDO.....	42
3.1	Unidades litoestratigráficas	44
3.1.1	<u>Terreno Cabo Frio.....</u>	44
3.1.2	<u>Terreno Oriental.....</u>	47
3.2	Domínios estruturais.....	50
3.2.1	<u>Terreno Cabo Frio.....</u>	52
3.2.2	<u>Terreno Oriental.....</u>	62
4	ANÁLISE DE LINEAMENTOS DE RELEVO.....	70
5	ANÁLISE ESTRUTURAL, CINEMÁTICA E DINÂMICA DA DEFORMAÇÃO RÚPTIL.....	95
6	COMPARTIMENTAÇÃO DA DEFORMAÇÃO RÚPTIL NA COSTA AZUL FLUMINENSE.....	119
	CONCLUSÕES.....	128

REFERÊNCIAS	131
APÊNDICE A – Análise Estrutural - revisão.....	140
APÊNDICE B – Geoprocessamento – revisão.....	151
APÊNDICE C – Tabela de dados compilados.....	156
APÊNDICE D - Comparação com a contraparte africana.....	157
APÊNDICE E - Mapa de localização dos grupos de falhas.....	161

INTRODUÇÃO

A Faixa Móvel Ribeira (Almeida, 1973), no estado do Rio de Janeiro, compreende um segmento com orientação NE-SW deformado e metamorfozizado no Neoproterozoico (Trouw et al., 2000), que foi submetido a um processo complexo de rifteamento diacrônico a partir do Cretáceo.

A tectônica rúptil mesozoico-cenozoica na margem continental emersa do Estado do Rio de Janeiro, em especial na região localizada à leste da Baía de Guanabara, tem sido relativamente pouco estudada. Embora alguns autores abordem o Gráben da Guanabara e as bacias de Macacu e de Itaboraí, os aspectos básicos como geometria, cinemática, tipos de preenchimento e idades relativas permanecem carentes de dados. As relações das principais feições rúpteis (lineamentos de relevo, fraturas, falhas e diques) com as estruturas dúcteis presentes no embasamento cristalino e nas bacias paleogênicas, além de intrusões alcalinas do Neocretáceo-Paleógeno, são desconhecidas. As zonas de deformação rúptil mais intensa apresentam uma variação significativa no que tange os estilos estruturais, e a compreensão dos fatores que geram essas diferenças são essenciais para o entendimento do processo de abertura do Oceano Atlântico.

Trabalhos de campo e de sensoriamento remoto que vêm sendo realizados na margem do SE do Brasil, bem como na margem conjugada na África, têm demonstrado uma conexão entre os enxames de diques e o desenvolvimento de falhas e fraturas, além de orientações concordantes com os lineamentos morfotectônicos de larga escala (Ashby, 2013). Muitas estruturas formadas no pós-rifte têm indícios de influência das estruturas do embasamento e de estruturas relacionadas ao rifte (Cobbold, 2001), ressaltando a importância desse controle estrutural, inclusive, na bacia sedimentar de Santos (Schmitt, 2008).

A complexidade da trama rúptil da região cria a necessidade da realização de trabalhos com a finalidade de compreender e contextualizar essas zonas de deformação de extensão quilométrica, associados, também, a uma análise de cunho geomorfológico, uma vez que algumas feições de paisagem são tipicamente susceptíveis a controle tectônico, como a rede de drenagem e padrão de relevo (Sylvester, 1988).

A combinação da análise estrutural e dinâmica dos dados de campo, com feições geomorfológicas obtidas a partir da extração de lineamentos de relevo leva a uma compreensão da distribuição espacial das estruturas e, portanto, auxilia no esclarecimento das

relações de estruturas com condicionantes geotectônicos diversos. A presente dissertação se propôs a usar dessas ferramentas para refinar a compartimentação da área de estudo em domínios rúpteis.

A maneira que cada grupo de falha mapeado se desenvolveu em diferentes domínios tectônicos foi verificada estatisticamente, e as orientações importantes foram comparadas aos lineamentos de relevo extraídos. A comparação entre falhas, fraturas e lineamentos de relevo resultou em uma correspondência satisfatória e elucidou a relação geométrica entre as estruturas rúpteis e estruturas dúcteis importantes, como a zona de sutura entre o Terreno Oriental e Terreno Cabo frio, ambos presentes na área de estudo.

1 A ÁREA DE ESTUDOS, OBJETIVOS E MÉTODOS

A presente dissertação teve por objetivo comparar a estruturação tectônica mesozoico-cenozoica do Terreno Cabo Frio e do Terreno Oriental, com intuito de entender a relevância do controle reológico e das estruturas pré-existentes.

Nesse intento, foram analisadas milhares de estruturas rúpteis, compiladas a partir de bancos de dados e trabalhos de campo realizados. As falhas, fraturas e diques foram investigados a fim de definir sua geometria, cinemática e possível histórico de reativação, avaliando sua relação com estruturas mais antigas do embasamento cristalino e buscando esclarecer a importância dessas reativações para a configuração tectônica atual na região de estudo. Somado a isso, foi verificada a relevância dessas estruturas em termos geomorfológicos por meio de sensoriamento remoto, com objetivo de delimitar domínios estruturais dentro da região, que demonstrem diferentes configurações e intensidades de deformação rúptil.

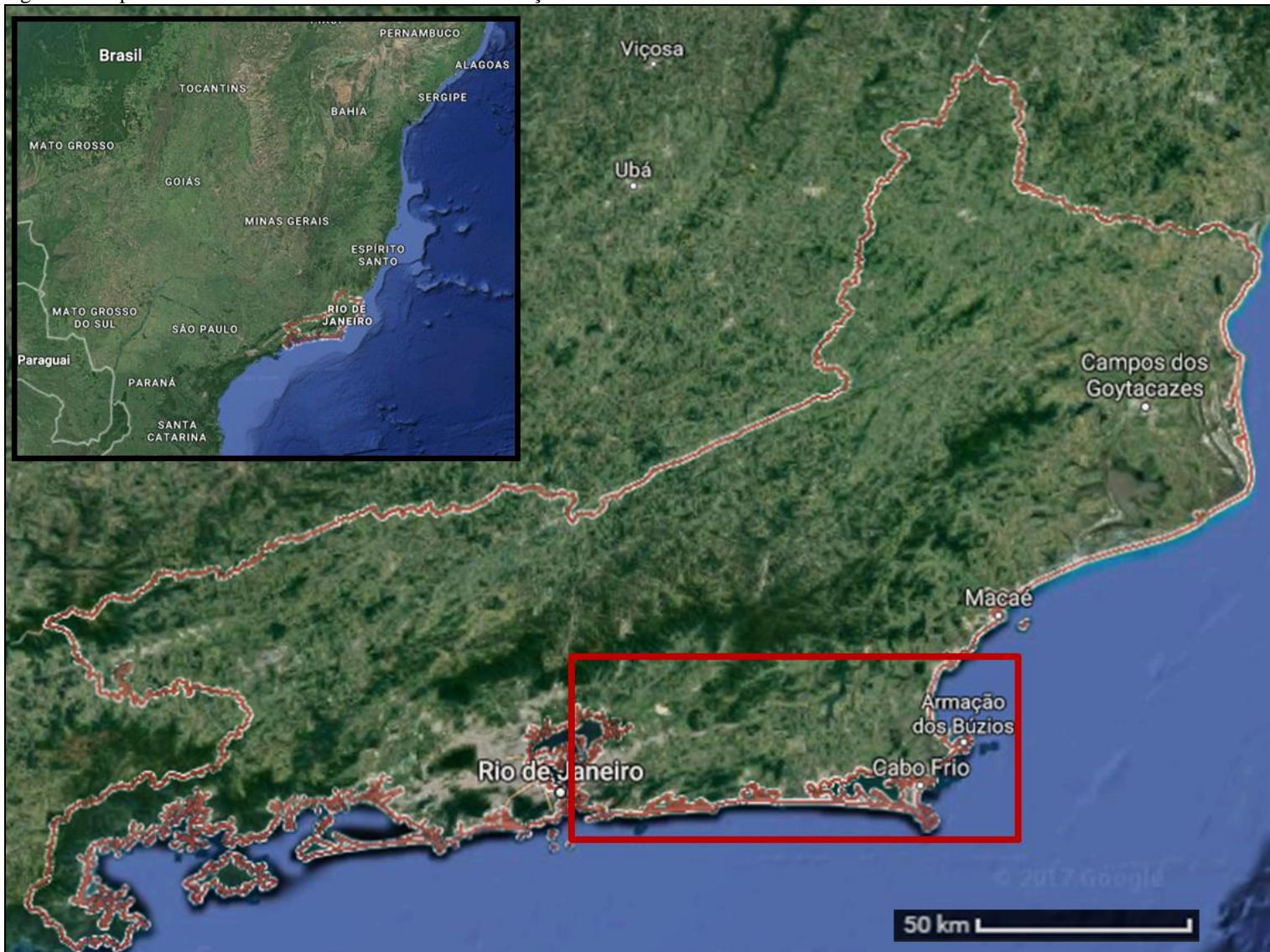
1.1 Área de estudo

A área que é objeto de estudo do presente trabalho (Figura 1), compreendida entre a cidade de Armação de Búzios e a Baía de Guanabara, na cidade de Niterói, foi escolhida, a princípio, por apresentar uma anomalia na orientação da linha de costa brasileira, neste caso de direção Leste-Oeste (E-W), além de ter passado por uma complexa evolução estrutural envolvendo deformação rúptil, alojamento de diques e reativações de estruturas do embasamento.

Ademais, a região de interesse engloba dois domínios tectônicos pertencentes à Faixa Ribeira, bem como a zona de sutura entre estes. A trama estrutural afetada pela amalgamação desses terrenos, nas proximidades da sutura, é bastante singular, demonstrando uma configuração diferente da observada nas suas adjacências.

Dessa forma, a área foi definida e seus limites amarrados com as coordenadas geográficas das folhas topográficas de escala 1:100.000 disponibilizadas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), incluindo as folhas Itaboraí, Cabo Frio, Rio das Ostras e Baía de Guanabara, parcialmente (Figura 2).

Figura 1- Mapa do Estado do Rio de Janeiro com a localização da área



Legenda: Mapa do estado do Rio de Janeiro a partir de imagens Landsat.. Destaque (retângulo vermelho) para a área de estudo da presente dissertação.

Nota: Imagens extraídas do Google Maps, disponível em www.google.com.br/maps/place/Rio+de+Janeiro, Acesso em 11 de Julho de 2017

Fonte: A Autora, 2017

Figura 3 - Mapa de Regiões de Governo do Estado do Rio de Janeiro



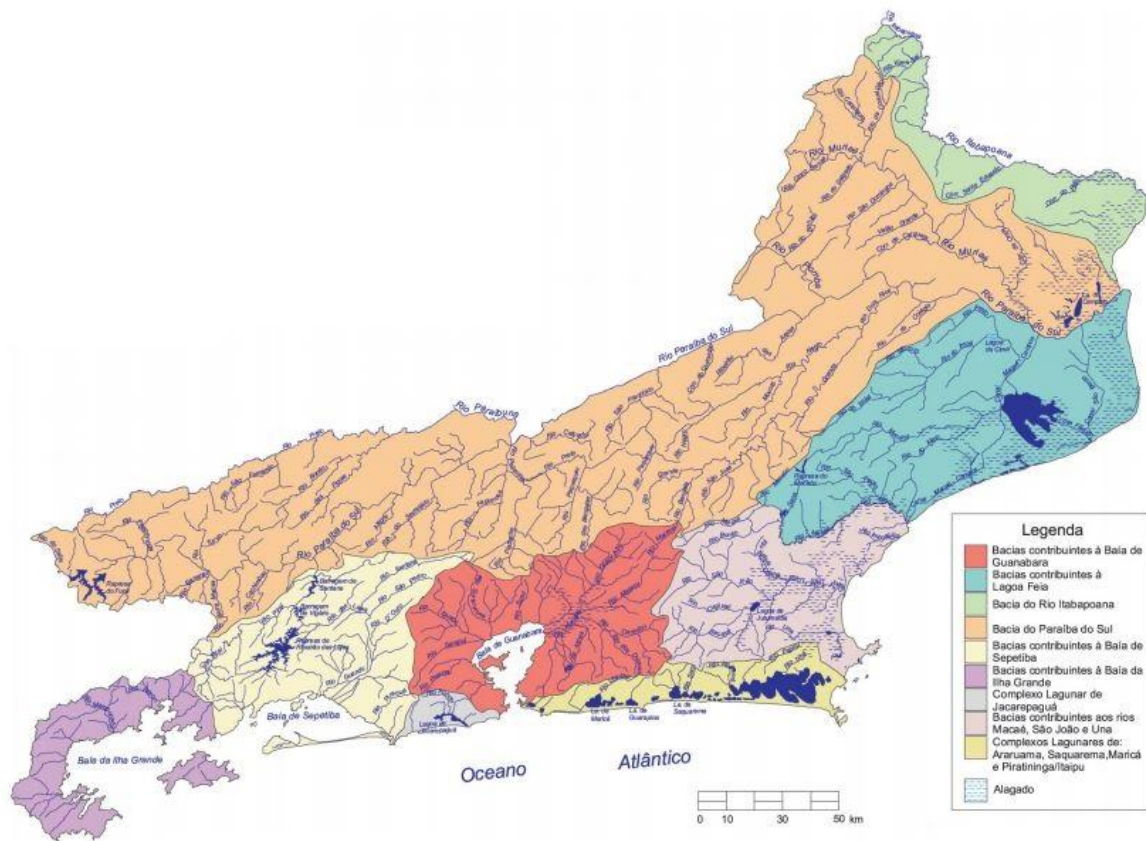
Legenda: Na área de interesse: Em laranja, Região Metropolitana. Em rosa, Região das Baixadas Litorâneas.
Fonte: CEPERJ (Centro Estadual de Estatísticas, Pesquisas e Formação de Servidores Públicos do Estado do Rio de Janeiro), 2014.

Partindo da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), na capital do estado do Rio de Janeiro, o ponto mais distante, no extremo Leste da área de estudo, está a cerca de 174 quilômetros e as principais vias de acesso (Figura 4) à área de estudo são seguindo pela Avenida Radial Oeste em direção aos acessos à BR-101 no sentido Niterói. A partir da BR-101 é possível seguir pelo litoral passando pela RJ-106, no sentido Maricá e continuando pela RJ-102, ao longo da costa, ou seguir pela porção central da área de estudo pela RJ-106 no sentido São Pedro da Aldeia, ou ainda percorrer a Via Lagos (RJ-124). As rodovias fundamentais de acesso são pavimentadas, concedidas a pedágios, em parte, e encontram-se em bom estado de conservação. As vias secundárias variam entre pavimentadas, com asfalto ou calçamento, e estradas de terra.

O clima na área de estudos tem uma variação considerável determinada por características locais. De modo geral, é tropical úmido, com duas estações bem marcadas. As temperaturas são em torno de 25°, podendo chegar a 40° durante o verão. A região apresenta índices pluviométricos médios anuais relativamente altos, como 1270 mm em Niterói, por exemplo. Nas proximidades de Armação de Búzios, há um micro-clima semi-árido quente (Barbière, 1975), com pluviosidade média anual de 850mm e um déficit no balanço hídrico anual de aproximadamente 300mm, devido aos meses de estiagem (Dantas, 2009), induzidos pela intensificação da ressurgência na região de Cabo Frio.

A vegetação, devido às condições climáticas, também varia bastante, sendo caracterizada como Mata atlântica. A vegetação da região dos Lagos, principalmente nas proximidades de Búzios, tem classificação bastante controversa, entretanto, Scarano (2001) a classifica como parte do domínio da Mata Atlântica, considerando uma definição mais abrangente, onde esse tipo de vegetação seria aberta, vizinha das florestas (pluvias, semi-decíduas e de enclaves de floresta do brejo).

Com relação às drenagens, a SERLA (Superintendência Estadual de Rios e Lagos) compartimenta a área de estudo entre os complexos lagunares, bacias contribuintes à Baía de Guanabara e bacias contribuintes aos rios São João e Una, que são as planícies aluviais mais expressivas presentes na Região dos Lagos (Figura 5). Assim sendo, fica evidente a existência de um divisor de águas regional de orientação aproximadamente N-S, seguindo pelo topo da Serra do Sambê (600-900m) e Serra de Patis (500-585m).



Legenda: Mapa de unidades hidrográficas do Estado do Rio de Janeiro. Na área de interesse, Complexos lagunares de Araruama, Saquarema, Maricá e Paratinga/Itaipuaçu, em amarelo. Em lilás, Bacias contribuintes aos Rios São João, Una e Macaé, e em vermelho, Bacias contribuintes à Baía de Guanabara.

Fonte: Superintendência Estadual de Rio e Lagoas (SERLA), 1995, extraído de Muhue, 2006.

1.2.2 Aspectos geológicos e geomorfológicos

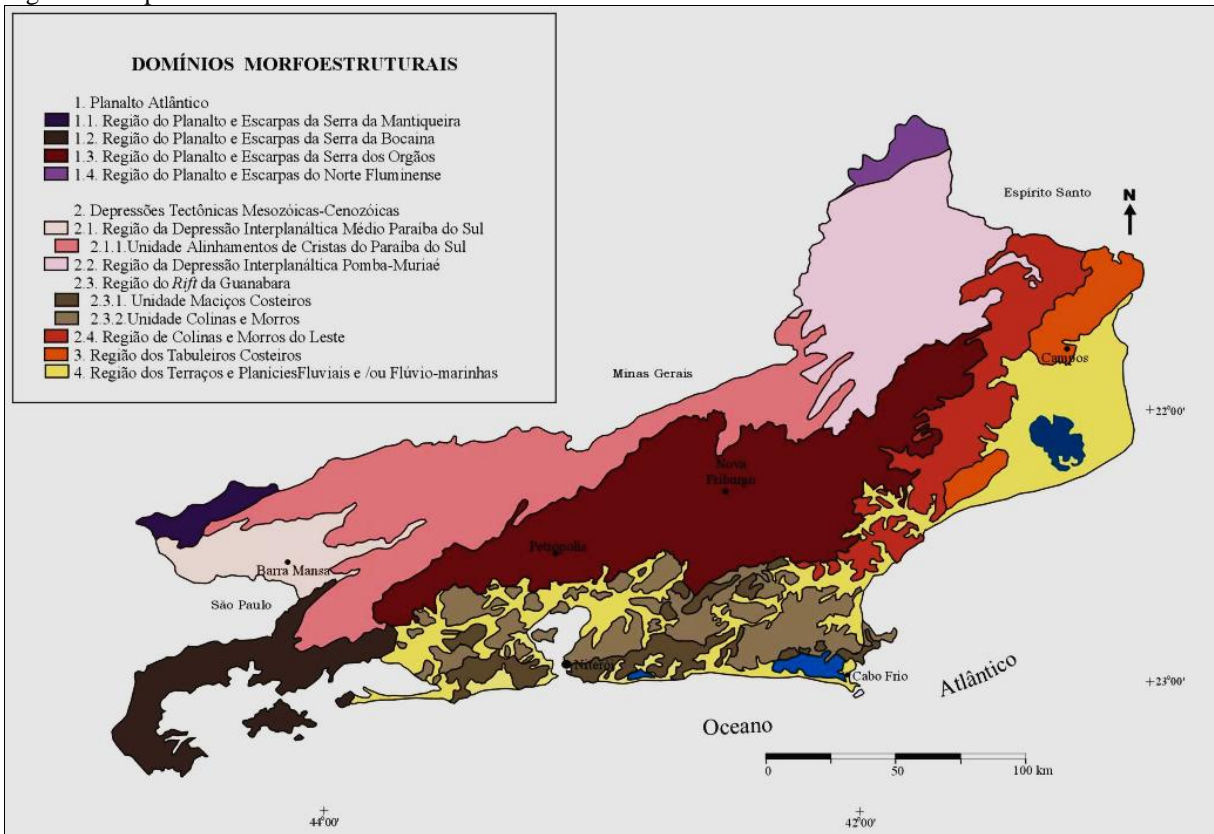
No relevo do Planalto Atlântico, a configuração morfológica está controlada preferencialmente por estruturas formadas durante a Orogenia Brasileira, pela reativação das mesmas e o magmatismo associado (Almeida, 1976; Hasui et al., 1977; Riccomini et al., 2004). Como resultado da interação entre clima e processos tectônicos, o estado do Rio de Janeiro possui uma diversidade de feições geomorfológicas, marcada pela compartimentação do relevo entre bacias de rifte e desnivelamentos de até 2.000m.

Em termos mais locais, na área-foco deste estudo, isso se reflete em regiões abatidas e soerguidas e zonas preferenciais de erosão e sedimentação, que compreendem os compartimentos morfoestruturais de colinas e morros, planícies e maciços costeiros e terraços e planícies fluvio-marinhas (Silva, 2002; Figura 6). Os maciços e colinas, reafeiçoados durante o período quaternário (Ab'Saber, 1970), correspondem a rochas metamórficas e

ígneas. Já o compartimento de terraços e planícies fluvio-marinhas se refere às regiões onde o processo de agração sedimentar é superior ao de degradação.

Os compartimentos supracitados estão contidos no Domínio das Depressões Tectônicas Cenozoicas, definido pelo mesmo autor, onde se insere o Gráben da Guanabara bordejado pelas escarpas da Serra do Mar ao norte, e a sul, pelos maciços costeiros (1000m) e colinas e morros (40-100m). Na porção mais a leste, predominam planícies e terraços marinhos, depósitos aluviais e lagunas, relativamente planos, e colinas e morros das penínsulas de Armação de Búzios e Cabo Frio.

Figura 6- Mapa Morfoestrutural do estado do Rio de Janeiro



Legenda: Mapa de compartimentação morfoestrutural do estado do Rio de Janeiro. A área-foco englobando a Região do Rife da Guanabara. Em cinza médio, Unidade Maciços costeiros e em cinza claro, Unidade Colinas e Morros. Em amarelo claro, Região de Terraços e Planícies Fluviais e/ou Marinhas. Em azul escuro, drenagens e lagoas.

Fonte: Silva, 2002

1.3 Atividades Desenvolvidas e Métodos

Essa dissertação foi organizada de maneira que a metodologia detalhada de cada atividade realizada esteja diluída nos capítulos correspondentes a elas. Portanto, consta nesse capítulo somente uma visão generalizada e resumida das atividades realizadas, a fim de situar o leitor na sequência de desenvolvimento empregada. As discussões de base teórica necessárias ao trabalho se encontram nos Apêndices A (Análise Estrutural) e B (Sensoriamento Remoto).

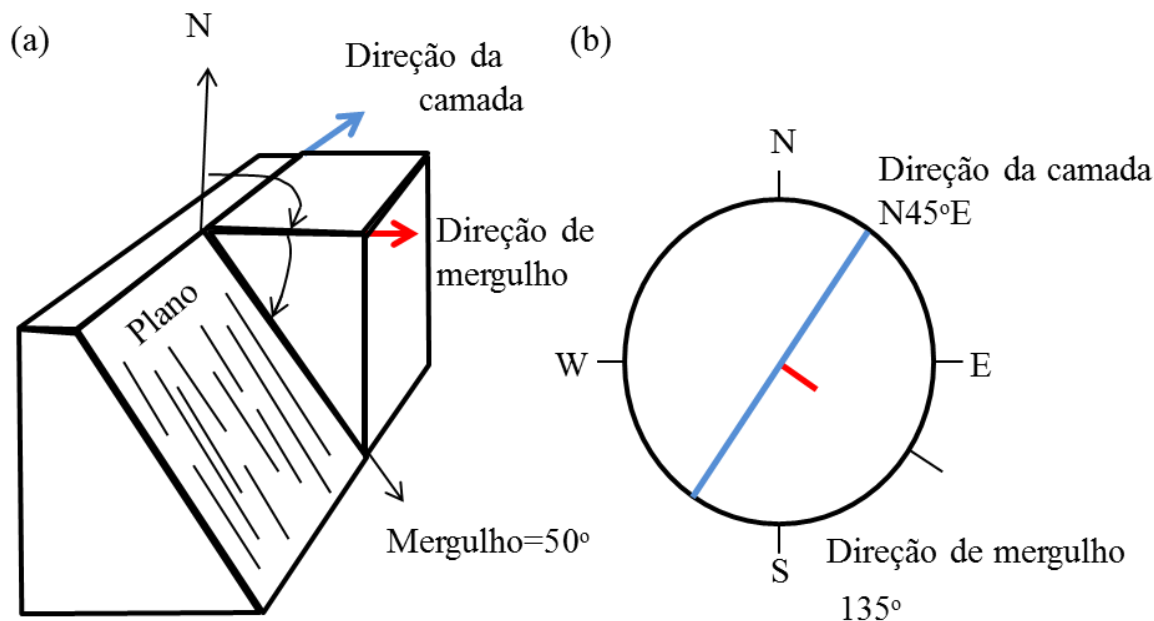
Na primeira fase de desenvolvimento da dissertação, os procedimentos adotados foram pesquisa bibliográfica baseada em artigos científicos, teses de doutorado e dissertações já publicadas em ambiente virtual e impresso, combinada a uma compilação de dados de campo existentes da área.

A compilação dos dados consistiu em um levantamento acerca das possíveis fontes e dos dados disponíveis para o propósito do trabalho. Assim sendo, os dados de campo que já existiam na área, provenientes de publicações científicas, bancos de dados, ou ainda, de dados obtidos em campanhas de campo realizadas na região, foram compilados e organizados em planilhas eletrônicas no software Excel (Apêndice C). Para um controle mais refinado dos dados utilizados, essas tabelas distinguem a origem dos dados, para além da caracterização dessas estruturas, que envolvem localização, geometria, cinemática e preenchimento.

As estruturas analisadas tratam de foliação, falhas, fraturas e intrusões tabulares, inclusive dados pareados, como foliação/lineação e falha/estria.

Os dados são provenientes de trabalhos de campo realizados durante o desenvolvimento do projeto, e de banco de dados de colaboradores, incluindo, majoritariamente, o Grupo de Pesquisa em Geotectônica da UERJ – Tektos, e o Banco de Dados Aflora, do Pronageo (Programa Geologia do Brasil, da CPRM em associação com universidades). As orientações foram padronizadas durante a análise e utilizam a notação dip direction- dip (Figura 7), ou seja, a direção de maior mergulho da estrutura, denotada pelo valor azimutal do sentido de mergulho da camada, seguido do valor do ângulo de mergulho (ψ). No caso das estruturas lineares, a medida azimutal da direção da linha seguida do ângulo de caimento da linha foram adotados para determinação das atitudes..

Figura 7 - Diagrama esquemático das notações azimutais de estruturas planares



Legenda: a) Terminologia usada para as orientações da feição planar. b) Visão em planta da feição planar.
 Fonte: A autora, 2017.

Os locais das campanhas de campo foram definidas usando critérios relacionados à importância regional do local em termos geológicos, e considerando os dados previamente compilados para área de estudo, visando uma melhor distribuição espacial dos pontos de mapeamento. O trabalho de campo consistiu em análise estrutural com foco nas estruturas rúpteis, confecção de mapas e seções geológicas esquemáticas.

A aproximação nos afloramentos se deu de forma que foram identificadas as estruturas mais marcantes (falhas, brechas de falha, zona de dano associada), medidas e descritas quanto a sua penetratividade, preenchimento, espessura, espaçamento de fraturas na zona de dano e espaçamento entre essas estruturas e relação com estruturas pré-existentes.

Além disso, foram identificados e medidos os diques, bem como, as fraturas associadas a eles, juntas de resfriamento, juntas paralelas, oblíquas e perpendiculares ao contato. Sempre que possível, foram identificadas as fraturas pertencentes ao dique, a encaixante ou a ambos. Os dados foram adicionados às tabelas de dados estruturais previamente compilados.

Os dados coletados em campo e os compilados foram organizados em projeções estereográficas e diagramas de rosetas, utilizando softwares gratuitos. Para dados simples, como foliação, fraturas, falhas sem estrias e diques, foi usado o software Stereonet 9.5.3,

desenvolvido por Allmendinger (2012). Já para dados pareados, como falhas e estrias, a análise de paleotensores foi realizada com o TENSOR (Delvaux & Spencer, 2003), sobre o qual as características e embasamento teórico são discorridos no Apêndice A.

As projeções e rosetas foram criadas separando os dados por origem para melhor controle dos dados, por tipo de estrutura, por domínio tectônico e domínio litoestrutural.

Em sequência, foi feita a análise de dados obtidos a partir de sensoriamento remoto, utilizando imagens de satélite em um Sistema de Informações Geográficas (SIG), a fim de delinear os principais padrões de lineamento e controle estrutural de drenagem e relevo, gerando, dessa forma, mapas temáticos. A metodologia usada nessa fase será discutida com maior detalhe no capítulo 4.

O mapa de domínio estrutural, na escala 1:50.000, foi confeccionado com base nas características estruturais predominantes, caracterizadas em estereogramas feitos com os dados compilados, colaboração da revisão bibliográfica e mapas tectônicos pré-existentes, tendo como base folhas cartográficas disponibilizadas pelo IBGE na escala 1:50.000, mapas geológicos de escala 1:100.000 do Pronageo e imagens de satélite disponibilizadas pelo INPE.

2 CONTEXTO GEOLÓGICO

A área de estudo da presente dissertação está inserida no contexto do Orógeno Ribeira, província geológica que se estende-se por 1400 Km ao longo da costa Brasileira (Trouw et al., 2000), limitada pelo Cráton de Luiz Alves, a sul, e o Orógeno Araçuai, a norte e se estende até a porção *offshore* e serve de embasamento para as bacias sedimentares de Santos e Campos (Schmitt et al., 2008). A Faixa Ribeira está compreendida no segmento central do sistema orogênico neoproterozoico da Província Mantiqueira, formado pela amalgamação de terrenos tectonoestratigráficos que deram origem ao Paleocontinente Gondwana Ocidental durante a Orogênese Brasiliana, no Neoproterozoico.

Durante o Eocretáceo o paleocontinente passou por um processo de rifteamento que culminou com a sua quebra e que, em seguida, no intervalo entre o Neocretáceo e o Paleógeno, passou por diversos processos extensionais e transtensionais, entre eles os que deram origem ao Rifte Continental do Sudeste do Brasil (RCSB) e o magmatismo alcalino associado (Riccomini, 1989).

Os eventos relevantes para a evolução tectônica da área serão detalhados a seguir.

2.1 Subducção e arcos magmáticos

No cenário de formação do Gondwana Ocidental, durante o Neoproterozoico, uma zona de subducção teria se instalado às margens do Oceano Adamastor, e teria dado origem a ao arco magmático Rio Negro. Heilbron et al. (2008) propõem que a zona de subducção se originou nas margens leste e sudeste do cráton de São Francisco (atual Faixa Ribeira), com a subducção para Leste, dando origem a um ou mais arcos magmáticos, como é o caso do “Rio Negro” (Heilbron & Machado, 2003).

O arco magmático Rio Negro, bem definido na porção central do orógeno Ribeira, sugere, pela sua existência prolongada e extensão, um longo processo de subducção de uma placa de litosfera oceânica entre grandes blocos cratônicos, dando origem a um arco magmático cordilheirano (Heilbron & Machado, 2003). A assinatura geoquímica e isotópica de magma com fonte juvenil, e as idades entre 630-600M.a. das rochas do Complexo Rio

Negro (Tupinambá et al., 1996, 2000, 2012) reforçam o quadro de subducção para sudeste, culminando numa colisão arco magmático-continente.

Uma subducção para Oeste se implantou, posterior à colisão arco magmático-continente, culminando em um segundo estágio colisional, no Cambriano (Schmitt et al, 2015). Essa colisão decorreu da docagem do embasamento paleoproterozoico do Terreno Cabo Frio, durante a Orogênese Búzios (Schmitt et al, 2004). A sutura tectônica, gerada como resultado dessa última orogenia, está alocada na área de estudos dessa dissetação e será melhor descrita nos itens 3.1.1 e 3.2.1.

2.2 Colisões continentais

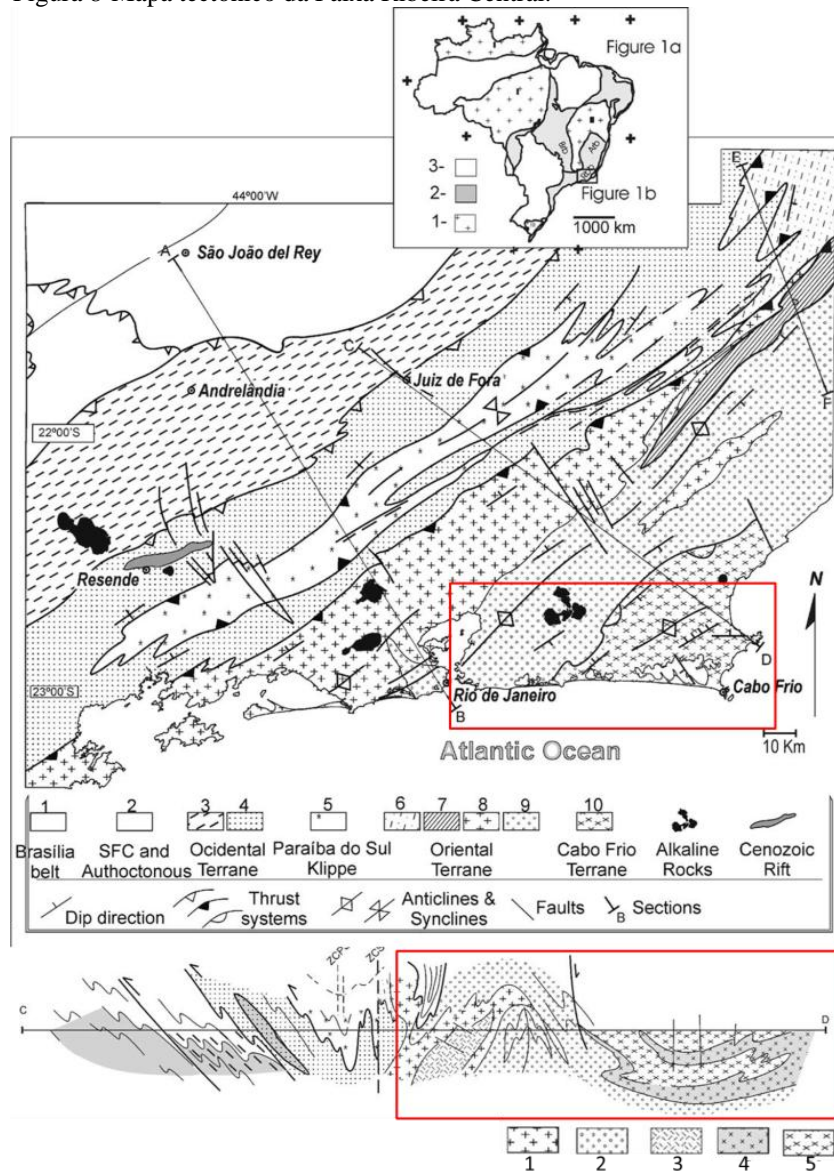
Um modelo tectônico polifásico é proposto para a formação da Faixa Ribeira, com magmatismo intraoceânico e cordilheirano, seguido de colisões diacrônicas entre arcos e microplacas, se estendendo do Criogeniano ao Cambriano (Heilbron et al., 2008).

Em termos tectonoestratigráficos, o Orógeno Ribeira (Figura 8) é subdividido em cinco terrenos: Terreno Ocidental, Paraíba do Sul, Oriental e Cabo Frio (Heilbron et al., 2008). Esses terrenos são limitados por falhas de empurrão ou zonas de cisalhamento oblíquas transpressivas e dispostos em faixas crustais imbricadas com vergência para oeste, em direção à margem do Cráton do São Francisco.

Os terrenos Ocidental, Paraíba do Sul e Oriental colidiram há cerca de 590-550 Ma. e, posteriormente, houve a docagem do Terreno Cabo Frio, há cerca de 520 Ma., durante a Orogênese Búzios (Schmitt, 2004), que resultou em reativação direcional e acomodação entre os blocos amalgamados.

A área do presente estudo encerra, em termos tectônicos, os Terrenos Cabo Frio e, parcialmente, o Oriental, que serão discutidos de forma mais minuciosa à frente (Capítulo 3).

Figura 8-Mapa tectônico da Faixa Ribeira Central.



Legenda: Acima, mapa tectônico da Faixa Ribeira Central. Na área de estudo(em vermelho):10, Terreno Cabo Frio. 9, Domínio Costeiro do Terreno Oriental. Em preto, intrusões alcalinas. Abaixo, seção geológica C-D (indicada no mapa).Na área de estudo (Vermelho), 1, 2 e 3: Metassedimentos, Arco magmático Rio Negro e granitos sin-colisionais do Domínio Costeiro (Terreno Oriental). 4 e 5: Cobertura cenozoica deformada e embasamento do Terreno Cabo Frio.

Fonte: adaptado de Heilbron & Machado, 2003.

2.3 Relaxamento do orógeno

A fase de colapso do orógeno é marcada pela formação de dois tipos de estruturas transtensivas, quais sejam: zonas de cisalhamento rúptil-dúctil de orientação aproximadamente NE e movimento normal, e zonas de cisalhamento subverticais de

orientação NW, com cinemática destal-normal. Essas estruturas foram usadas como condutos para o magmatismo pós-colisional (Valeriano et al., 2016).

Leucogranitos pós-colisionais apresentam uma distribuição bimodal de idades (513Ma e 480Ma.; Valeriano et al., 2011) e intrudem as unidades metassedimentares e ortognaisses do orógeno Ribeira, tanto em formas tabulares, variando de centímetros a metros de espessura, quanto em forma de plutons de centenas de metros a dezenas de quilômetros de diâmetro. A essas intrusões estão associados diques de aplito e de pegmatito com contatos abruptos com a rocha encaixante. Essas características associadas à presença constante de xenólitos sugerem uma intrusão em níveis crustais rasos (Valeriano et al., 2011).

Os registros dessa fase pós-colisional são amplamente observados no Terreno Oriental, enquanto no Terreno Cabo Frio, somente algumas estruturas podem ser detectadas relacionadas a esse evento (Valeriano et al., 2016).

2.4 Rifteamento Eocretácico

O contexto geodinâmico do Cretáceo e do Cenozoico do Sudeste do Brasil é dominado por uma tectônica rúptil, em contraste com a tectônica dúctil que caracteriza o Proterozoico, como exposto anteriormente.

As zonas de cisalhamento de escala regional, suturas e a heterogeneidade do arcabouço geológico que constituíam a parte ocidental do Paleocontinente Gondwana (Figura 9), acabaram por gerar zonas de fraqueza que foram reaproveitadas durante a desestabilização no Mesozoico (Almeida et al., 2013). Essas estruturas do embasamento têm uma orientação expressiva NE-SW, associadas a um processo de hiperextensão da crosta (Cobbold et al., 2001), e são presentes também na estruturação do rifteamento posterior *onshore* e *offshore* (Zalán & Oliveira, 2005).

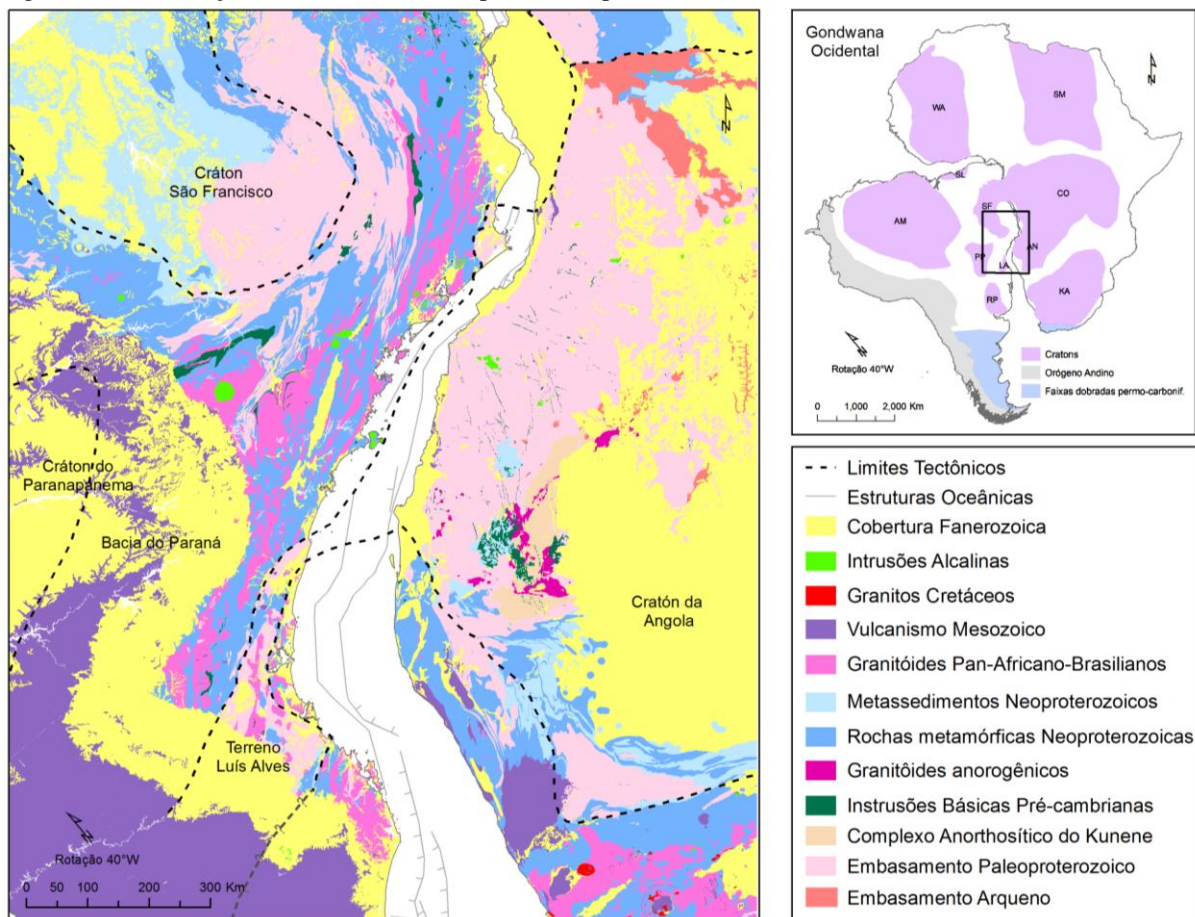
Atualmente, admite-se um processo de rifteamento de caráter diacrônico para a abertura do Atlântico Sul, que pôde ser definido, em escala de bacia sedimentar, a partir da coexistência de mais de uma fase de rifte identificada pelo tipo da sedimentação (Zalán et al., 2011).

Em termos gerais, a fase rifte começou no fim do Neocomiano e estendeu-se até o começo do Aptiano. Esse estágio foi seguido pela fase pós-rifte, no Aptiano. Já a fase de

deriva continental, após a instalação do Oceano Atlântico Sul, teve o seu desenvolvimento no Albiano.

O processo de rifteamento que deu origem ao Atlântico Sul foi precedido pela extrusão de um grande volume de rochas basálticas (Large Igneous Province - LIP - Paraná – Etendeka), datando do Eocretáceo (no intervalo de 135–131 Ma, Thompson et al., 2001; Thiede & Vasconcelos, 2010). A este evento magmático estão associados diversos enxames de diques máficos (Valente et al., 2007, 2009, Almeida et al., 2013), incluindo os basaltos toleíticos do Enxame de Diques da Serra do Mar (EDSM), que afloram na área de estudo.

Figura 9 – Reconstrução tectônica do cenário pré-break up do Gondwana Ocidental

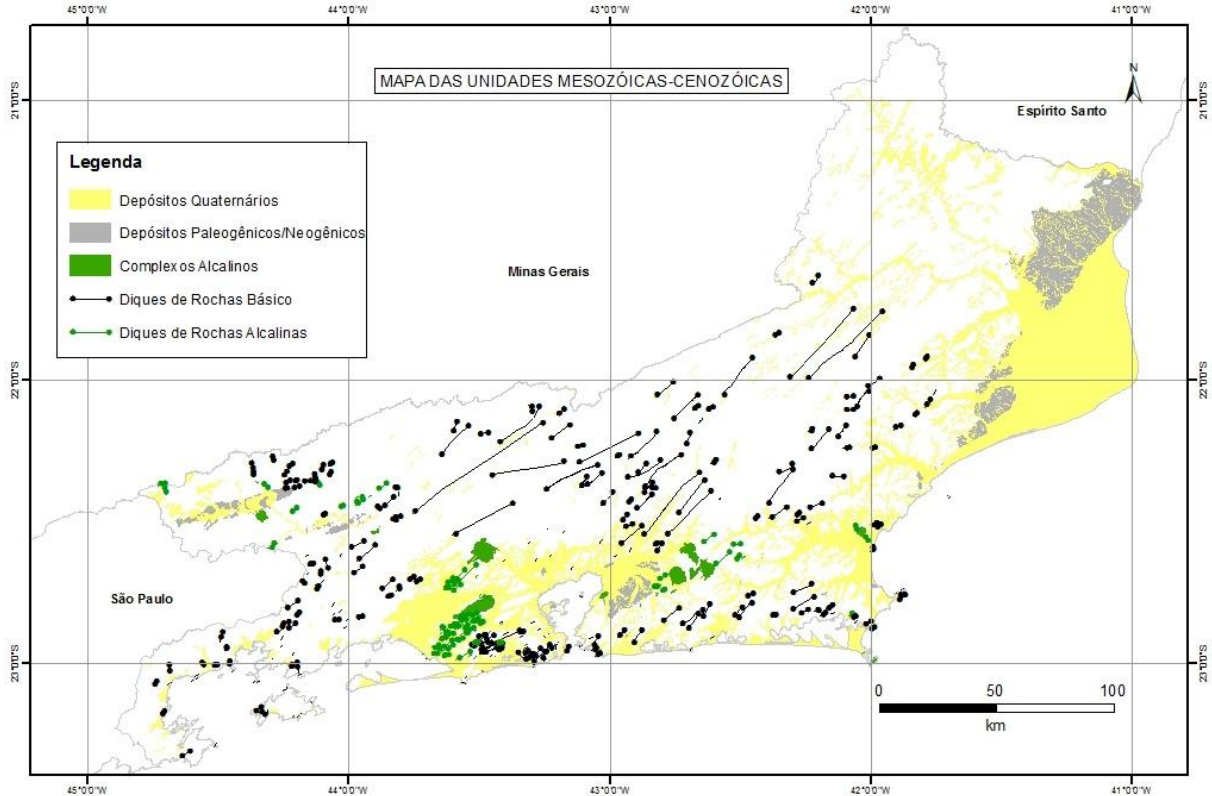


Legenda: Configuração pré-break up do paleocontinente Gondwana detalhando os cinturões móveis, crátons, enxames de diques (em vermelho) e limites tectônicos (tracejado preto).
Fonte: modificado de Almeida et al., 2014.

O EDSM (Figura 10) é composto, em sua maioria, por basaltos toleíticos do Neojurássico-Eocretáceo, subverticais, com contatos abruptos com as rochas encaixantes. Sua formação é atribuída à aproximação de uma cabeça de pluma mantélica da base da litosfera

(Valente et al., 2007). As discontinuidades crustais controlaram as intrusões magmáticas e a evolução das bacias de rifte associadas (Valente et al., 2009, Almeida et al., 2013).

Figura 10 – Mapa de diques do estado do Rio de Janeiro



Legenda: Mapa dos diques do estado do Rio de Janeiro. Em preto, diques de rochas básicas pertencentes ao EDSM.

Fonte: Modificado de Heilbron et al., 2016.

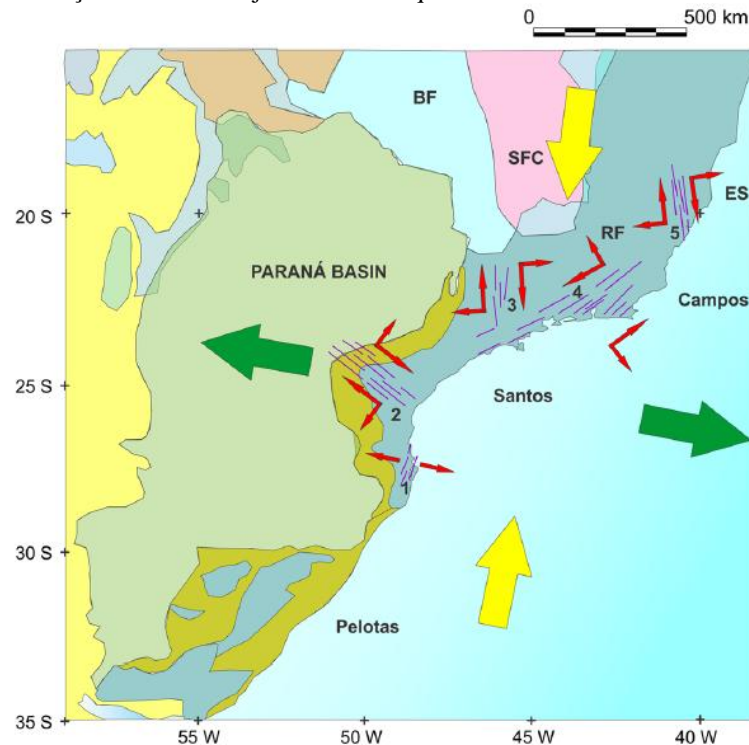
O EDSM apresenta uma provincialidade geoquímica, que é atribuída a diferentes fontes para o magmatismo. A suíte de basaltos de baixo-TiO₂ possui contribuições de fontes mantélicas depletadas (Dutra, 2006), enquanto a suíte de Alto-TiO₂ que ocorre na porção mais a oeste do enxame, indica fontes enriquecidas (Corval, 2005).

Usando diques como indicadores tectônicos, Almeida et al. (2013) inferiram o campo de esforços vigente durante a intrusão dos diques durante a fase inicial do rifte cretácico, ao longo dos enxames de dique às margens do Atlântico Sul (Figura 11).

Os enxames de diques de Ponta Grossa, Florianópolis e Serra do Mar são parte de uma junção tríplice, onde o enxame de Ponta Grossa, que tem orientação NW-SE, agiu como um braço abortado, e o rifteamento prosseguiu com os Enxames de Florianópolis e Serra do Mar,

com o eixo de esforço mínimo σ_3 sub-horizontal, numa direção aproximada N100° (Figura 11).

Figura 11- Campo de esforços durante o alojamento dos diques cretácicos



Legenda: Campo de esforços durante o Eocretáceo, no período de alojamento dos diques, que resultou no riftamento do Gondwana. Em vermelho, as setas indicam o campo de esforços local, registrado em cada enxame de diques. Na área-foco, EDSM (4) com movimento transtensional sinistral. Em azul, embasamento proterozoico, incluindo rochas ígneas e metamórficas.

Fonte: Almeida et al., 2013.

Os diques do EDSM, na sua porção norte, onde se foca o objeto de estudo da presente dissertação, os diques de orientação N40°-50°E apresentam uma componente de movimentação direcional sinistral clara, resultando em um movimento transtensivo (Almeida et al., 2013).

2.5 Abertura do Oceano Atlântico e Drifte

O processo de abertura do Oceano Atlântico progrediu de maneira que o Enxame de diques de Ponta Grossa, que funcionava como um braço da junção tríplice estabelecida, foi

abandonado e o processo de rifteamento continuou a se desenvolver junto dos enxames de Florianópolis e Serra do Mar, tornando a formação de diques mais jovens mais intensa e evoluindo em direção de onde se formariam as bacias sedimentares da margem continental do Atlântico, com a evolução do processo de afinamento litosférico até o momento de quebra propriamente dito (Almeida et al., 2013).

A partir desse ponto, em torno de 115-105M.a., se iniciou a formação de assoalho oceânico e de um centro de espalhamento meso-oceânico que avançou, remanescendo bacias sedimentares marginais ricas em evaporitos, que foram cobertas por uma plataforma carbonática associada à implantação de um ambiente marinho raso, a partir do início do Albiano (Mohriak, 2011, Almeida et al., 2013).

2.6 Rifte Continental do Sudeste do Brasil

O Rift Continental do Sudeste do Brasil (RCSB) é uma feição tectônica de idade cenozoica, que se estende por mais 900 km, sobre uma faixa de orientação geral ENE-WSW, paralela à linha de costa atual, entre as cidades de Curitiba (Paraná), e Barra de São João, no Rio de Janeiro (Figura 12, Melo et al., 1985; Riccomini et al., 2004).

Riccomini et al. (2004) expõem a divisão do RCSB em três segmentos: ocidental, central e oriental. O segmento oriental engloba as bacias do Macacu, Itaboraí e o Gráben de Barra de São João, dentro da área de interesse deste estudo.

Figura 12 – Mapa geológico do RCSB



Legenda: Contexto geológico do RCSB: Cores: 1 – Embasamento pré-cambriano; 2 – Rochas sedimentares paleozoicas da Bacia do Paraná; 3 – Rochas vulcânicas toleíticas eocretáceas da Formação Serra Geral; 4 – Rochas relacionadas ao magmatismo alcalino mesozoico-cenozoico; 5 – Bacias cenozoicas do Rifte; 6 - zonas de cisalhamento pré-cambrianas, em parte reativadas durante o mesozoico e o cenozoico. Na área de estudo: 1 – Bacia de Itaboraí; 2 – Gráben de Barra de São João; 3 – Bacia do Macacu.

Fonte: Riccomini et al. (2004).

Zalán & Oliveira (2005) cunharam o termo “Sistema de Riftes Cenozóicos do Sudeste do Brasil” (SRCSB; Figura 13) e incluíram os grábens da plataforma continental, definindo assim mais um domínio: o Rifte Marítimo.

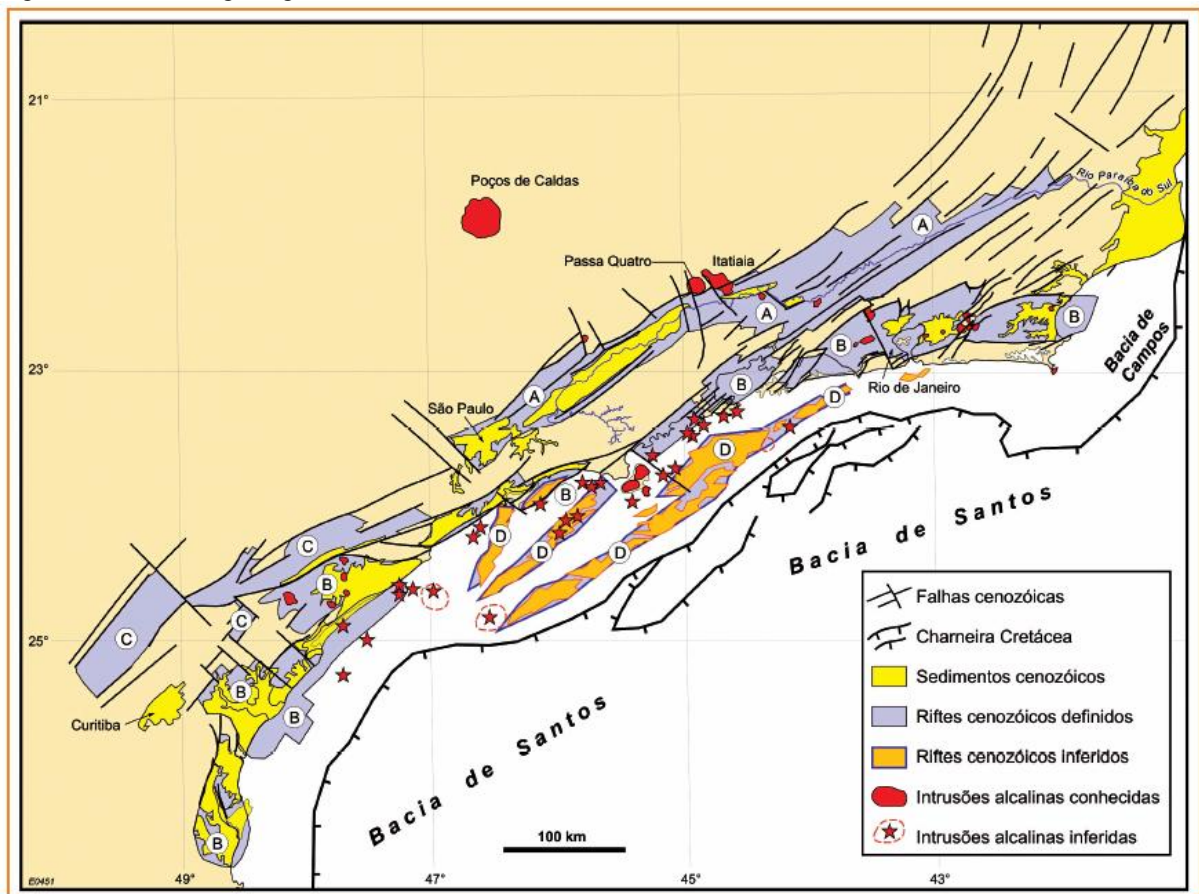
O RCSB foi formado sobre as rochas do Orógeno Ribeira, inclusive o Terreno Cabo Frio e diversas suítes de rochas granitoides neoproterozoicas. O seu processo de formação, segundo Riccomini et al. (2004), está associado à quebra do Gondwana Oeste no Neojurássico/Eocretáceo, formação das bacias de margem passiva brasileiras e posterior formação das bacias continentais por meio de reativação de estruturas pretéritas associadas ao basculamento termodinâmico da bacia adjacente, no caso, Santos (Riccomini, 1989).

O modelo de geração do RCSB ainda é motivo de relativa controvérsia. Vários modelos foram propostos, de diferentes vertentes de estudos, desde geomorfológicos a tectônicos. Todavia, a presente pesquisa, no que se refere ao RCSB, irá basear-se no modelo de geração sugerido por Riccomini (1989), calcado em observações de estruturas tectônicas e suas relações com o preenchimento sedimentar. O autor supracitado propõe que o rifte tenha sido desenvolvido por um esforço distensivo de direção NNW-SSE, que teria reativado, como falhas normais, antigas zonas de cisalhamento proterozoicas de direção ENE-WSW durante o Paleógeno, concomitante ao preenchimento sedimentar e atividade vulcânica.

O magmatismo, na área nordeste do rifte continental, é configurado por maciços alcalinos, pequenos stocks e um grande número de diques associados (Figura 11). Datações geocronológicas nessas rochas indicam idades decrescentes de oeste para leste, com idades variando do final do Neocretáceo ao Eoceno, como é o caso da Ilha de Cabo Frio, em Arraial do Cabo, RJ, com idades de 52Ma (Thompson et al., 1998; Sichel et al., 1997). Os corpos alcalinos (Figura 13) são compostos por associações félsicas, que incluem sienitos, nefelina sienitos e diques de traquitos associados a brechas magmáticas, com alguma ocorrência de rochas máficas como fonolitos e basaltos alcalinos (Valença, 1975).

O controle tectônico sobre as intrusões alcalinas é reportado especialmente no Gráben da Guanabara, onde os maciços e stock alcalinos da região são controlados por um falhamento de direção ENE-WSW (Almeida, 1976).

Figura 13- Contexto geológico do SRCSB



Legenda: Mapa dos riftes do SRCSB: (A) Paraíba do Sul, (B) Litorâneo – Gráben da Guanabara; Gráben de Barra de São João, (C) Ribeira e (D) Marítimo. Em vermelho, intrusões alcalinas.

Fonte: Zalán& Oliveira, 2005.

- alcalinos. Com algumas variações locais no campo devido à intrusão das rochas alcalinas, gerando um campo extensional NW-SE;
- II – Extensão NW-SE que controlou a implantação da Bacia do Macacu, com idades mais jovens que 50Ma, definida a partir de relação com as brechas silicificadas originadas no evento anterior;
 - III – Extensão NE-SW, que pode ser relacionado ao evento de transcorrência no Pleistoceno proposto para o RCSB, nesse sentido caracterizado por σ_1 horizontal e de direção NW-SE, com atuação maior no embasamento do que na cobertura cenozoica. Esse evento originou falhas normais a oblíquas, e falhas NW-SE com componente direcional;
 - IV – Extensão E-W, que gerou falhas N-S e reativou falhas de direção WNW-ESE e é o registro de atividade neotectônica no Gráben da Guanabara, tendo evidências de se estender até o holoceno.

Em suma, as duas fases de desenvolvimento do Gráben da Guanabara, ambas paleogênicas, controlaram o magmatismo, o início do Gráben da Guanabara, e o hidrotermalismo tardio (brechas silicificadas; Fase I – Paleoceno ao Eoceno inferior) e a implantação e evolução da Bacia do Macacu do Eoceno Médio ao Oligoceno. Fases neogênicas subsequentes controlaram a segmentação e a preservação dos sedimentos.

2.6.2 Gráben de Barra de São João

O Gráben de Barra de São João (Figura 13), definido por Mohriak & Barros (1990), é assimétrico na plataforma continental adjacente à costa do estado do Rio de Janeiro. Os autores interpretaram uma cobertura sedimentar terciária de 700m a 1000m de espessura e associam a formação da estrutura com aquela das bacias *onshore* pertencentes ao RCSB (Riccomini & Coimbra, 1992). O gráben possui 3 direções de falhas importantes: a direção NE-SW, que acompanha a estruturação principal da Faixa Ribeira, controla tanto as bordas do gráben, como a direção de alongação. Sua estrutura interna é composta por grábens e horsts, limitados por falhas NW-SE e E-W (Adriano, 2014). A direção NW-SE é reconhecida regionalmente por zonas de transferência entre os grábens cenozoicos (Cobbold, 2001).

2.7 Sedimentação Cenozoica

Na área de estudo ocorrem sedimentos de idade cenozoica, que por muito tempo foram associados à Formação Barreiras. Esta formação teve, por sua vez, suas unidades sedimentares relacionadas à implantação do RCSB por Almeida (1976), associando-a aos sedimentos que preenchem as bacias ditas tafrogênicas terciárias do SE do Brasil.

Baseados em evidências palinológicas, Lima et al (1996) atribuíram às ocorrências de sedimentos cenozoicos no Gráben da Guanabara uma idade Eocênica a Oligocênica, e a seguir, Ferrari e Silva (1997) unificaram essas ocorrências com pertencentes à Formação Macacu.

A estratigrafia da Bacia do Macacu, no recôncavo da Guanabara, pode ser dividida em duas unidades estratigráficas: o Conglomerado Itambi (Plio-Pleistoceno) e a Formação Macacu. Esta última foi dividida em dois membros, quais sejam: Rio Vagem, com sedimentos lacustres do Eoceno/Oligoceno e Porto das Caixas, com depósitos de leque e planícies aluviais do Eoceno/Oligoceno (Mello et al., 2016).

Os depósitos de sedimento cenozoico que afloram na região, se apresentam como um material alterado e friável, composto por níveis descontínuos de conglomerados e sedimentos argilo-arenosos associados a ambientes de leque aluvial, fluvial entrelaçado e lacustre (Ferrari, 2001; Moraes, 2001; Walter et al., 2011).

Nos sedimentos da Fm. Macacu foram caracterizados os efeitos de uma tectônica responsável pela geração de falhas normais, registrando a atividade neotectônica na região (Ferrari, 2001; Almeida, et al., 2016). As falhas normais de direções N-S, NE-SW, NNW-SSE e E-W indicam um movimento puramente extensional, com rejeitos majoritariamente centimétricos, podendo chegar a 5m. As falhas mapeadas por Ferrari (2001) foram divididas em três eventos, em ordem cronológica: a) extensão NW-SE (Eoceno-Oligoceno), b) extensão NE-SW e c) extensão E-W a WNW-ESE (Pleistoceno-Holoceno).

2.8 Denudação e aplainamento

Eventos de aplainamento ocorridos no SE do Brasil são reconhecidos por diversos autores (Ab'saber, 1962; Almeida, 1964, Bigarella et al., 1965) desde o Mesocretáceo ao Paleógeno. Esses eventos teriam dado origem às superfícies Sul-Americana (King, 1956), com altitudes em torno de 2000m, e à superfície Japi (Almeida, 1964), com altitudes entre 1000 e 1400m.

Para Almeida (1964), a dita superfície Sul-americana seria efeito de um soerguimento da superfície já estabelecida por ele. E ainda segundo o autor, a superfície Japi também teria sido rebaixada tectonicamente, dando origem ao RCSB. Apesar das controvérsias, foi definido uma idade Eocênica para a superfície de aplainamento.

Datações de traço de Fissão em Apatita (Azevedo Jr, 1991, Carmo, 2005; Eirado Silva, 2006) indicaram uma taxa de erosão mais intensa no litoral, com idades Neocretáceas-Paleógenas. Segundo Azevedo Jr (1991), a Serra da Mantiqueira seria a frente atual de recuo erosivo que se iniciou nas bordas do Rifte Cenozoico, e a Serra do Mar e os maciços litorâneos (Figura 6) seriam o relevo residual que se deve a litologia mais resistente ou à ausência de drenagens importantes atuando. Eirado (2006) afirma uma origem poligenética para a Serra do Mar, considerando as reativações neocretácicas-paleógenas, assim como o recuo erosivo das ombreiras do Rifte do Atlântico Sul.

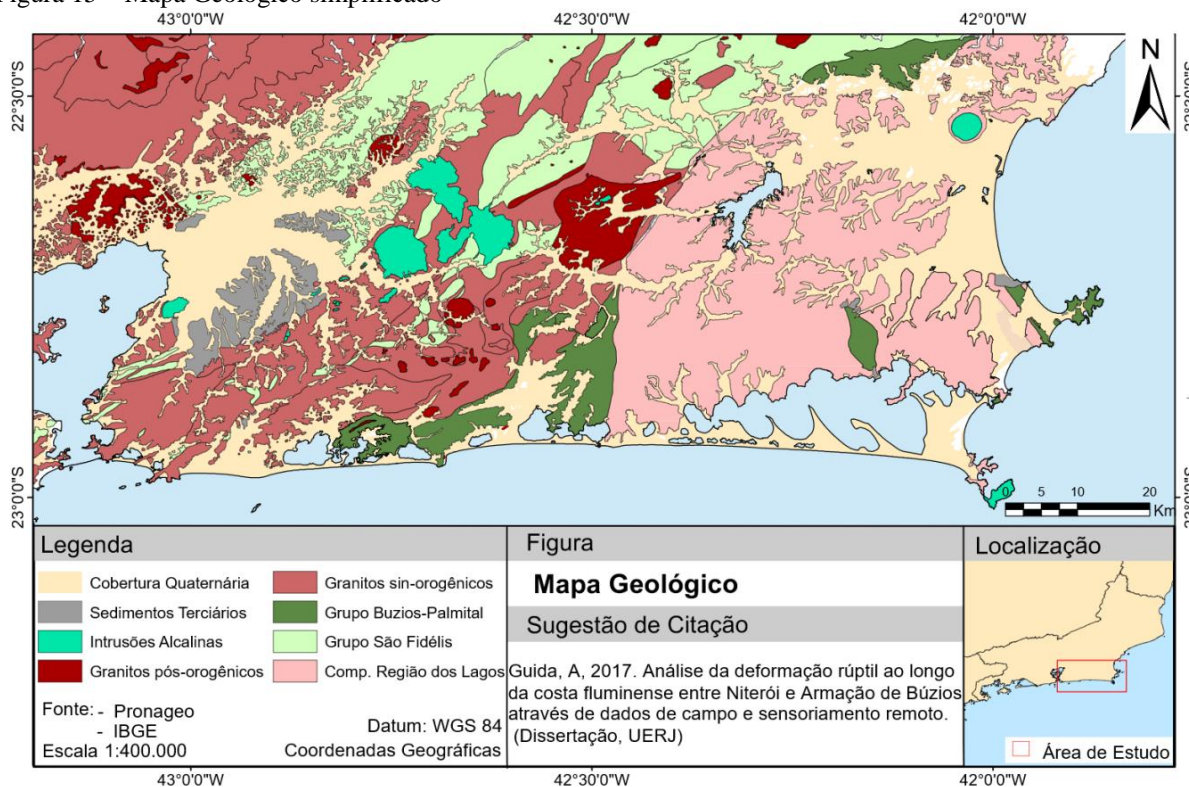
Ferrari (2001) afirma, para o Gráben da Guanabara, a presença da Superfície Japi com instalação no Neocretáceo, ocasionando a implantação do gráben, por campos de esforços locais, a partir do início do Paleoceno. A instalação do gráben é marcada por uma falha NNW-SSE que levou ao rebaixamento da superfície Japi, onde se estruturou a Bacia de São José do Itaboraí, e a heterogeneidade da erosão no interior do gráben corrobora a hipótese de segmentação da Superfície Japi.

3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Nas seções a seguir, está disposta uma caracterização da área de estudo quanto às seus atributos litológicos e seus aspectos estruturais.

No item 3.1 serão discutidas as unidades litológicas que compõe a área estudada, estabelecendo as relações tectônicas associadas a sua formação. Essa estruturação é baseada e condizente com o Mapa Geológico e de Recursos Minerais do Estado do Rio de Janeiro, lançado em 2016 pela CPRM (Figura 15, Heilbron et al., 2016).

Figura 15 – Mapa Geológico simplificado



Legenda: Mapa Geológico simplificado da área de estudo.

Fonte: adaptado de Heilbron et al., 2016.

No item 3.2 foi realizado uma análise e descrição dos principais aspectos dos domínios estruturais presentes na área de estudo. Essa análise estrutural abarcou dados de campanhas de campo realizadas ao longo do trabalho e a compilação de dados disponibilizados majoritariamente, pelo Banco de Dados Aflora, pertencente ao Pronageo (Programa Geologia

do Brasil, da CPRM em associação com as universidades) e pelo banco de dados do grupo de estudos tectônicos da UERJ – Tektos. Na região da Cidade de Arraial do Cabo, dados foram disponibilizados pelo grupo de pesquisa EDSM-Rifte, da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro – UFRRJ (Figura 16). Os dados compilados foram organizados em planilhas eletrônicas, usando do software Excel®, e estão disponibilizadas no Apêndice C deste trabalho.