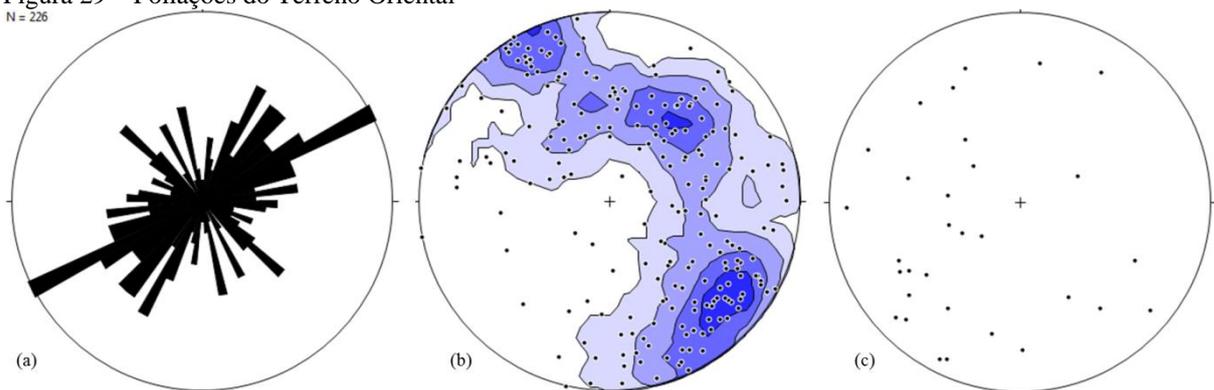


Posto isso, os afloramentos localizados na região mais interior do continente são bastante intemperizados, com poucas exposições, ocorrendo em cortes de estrada e em regiões metropolitanas.

Em termos estruturais rúpteis, o TOr é de compreensão mais complexa já que a trama dúctil herdada foi reativada durante as deformações rúpteis subsequentes, mantendo o trending NE-SW como principal estruturação do terreno, fato que dificulta a identificação e interpretação das estruturas.

O Terreno Oriental é marcado por estruturas dúcteis penetrativas relacionadas às duas primeiras fases de deformação, como a foliação de baixo a médio ângulo mergulhando para NW e SE (Cap. 3.1.2). Os diagrama de roseta das foliações (Figura 29a) mostram alguma dispersão, mas com os dados bastante concentrados no quadrante NE. As foliações, em geral, têm mergulho moderado a alto, com cerca de 30% dos dados com mergulhos inferiores a 50° (Figura 29b). A presença de uma guirlanda formada pelos polos dos planos de foliação na figura 29b evidencia a presença de um dobramento geral na foliação do TOr, com plano axial NE-SW. As lineações de estiramento medidas possuem um caimento moderado para SE, como esperado devido ao transporte para NW. As feições lineares apresentam uma família mais representativa, caindo suavemente para SW, paralelas à direção dos eixos de dobras D_2 (Heilbron et al., 1995).

Figura 29 – Foliações do Terreno Oriental
N = 226



Legenda: Medidas das foliações do Terreno Oriental compiladas. a) Roseta das foliações com pétalas em setores de 5° paralelas ao strike das estruturas. Número de medidas: 226. Valor máximo: 8% das medidas entre 61 e 65°. b) Projeção estereográfica das isolinhas de densidade de polos das foliações do TOr usando o método de Kamb. Intervalo: 2 sigma. Nível de significância: 3 sigma. Número de medidas: 226. c) Estereograma de 31 dados de lineações compiladas. Projeções no hemisfério inferior, rede de Schmidt- Lambert.

Fonte: A Autora, 2017.

Ao se tratar da deformação rúptil no TOr, os diques que afloram na região pertencem tanto ao EDSM, quanto aos associados à intrusão dos maciços alcalinos. Os diques do EDSM apresentam uma direção preferencial N35-45E, NNE-SSW e subordinadamente a direção NW-SE, em geral, com altos ângulos de mergulho (Corval, 2005; Dutra, 2006; Valente et al., 2005).

Os diques relacionados às rochas alcalinas neocretácico-paleógenas que afloram nesse domínio foram caracterizados por Ferrari (2001) como tendo composição traquítica e fonolítica. Os diques de traquito têm orientações ENE-WSW, e possuem altos mergulhos, mas em alguns casos também pode apresentar mergulhos baixos (menores que 40°) com *strike* NNW-SSE. Os diques de fonolito têm mergulhos íngremes, e orientações ENE.

Os diques de rochas alcalinas na região afloram muitas vezes como blocos rolados ou alinhamento de blocos *in situ*, mas por vezes, afloram com seus contatos expostos, especialmente nas regiões de costa (Figura 30). O estado de preservação dos diques se reflete no número reduzido de estruturas medidas (Figura 31), e torna difícil identificar características como margens resfriadas e relações de corte claras. No entanto, entre os diques compilados, é possível perceber a orientação preferencial NE-SW, com grupos subordinados no quadrante NW

No que tange a deformação rúptil no Terreno Oriental, os eventos reconhecidos na região se referem ao rifteamento Eocretácico e subsequentes eventos distensivos, incluindo a instalação do RCSB.

A área estudada engloba a porção central do Grabén da Guanabara, para a qual Ferrari (2001) define dois campos de paleotensão de idades diferentes, baseado em dados estruturais de fraturas e falhas sem estrias nas intrusões alcalinas e embasamento adjacente.

O autor define um campo de esforços inicial com SH_{máx.} de orientação NE a E-W, e o campo posterior com SH_{max.} NW a N-S. Em ambos os casos, o SH_{máx.} correspondeu tanto a σ_1 quanto σ_2 . O que gerou para o primeiro caso um regime principalmente direcional, variando até um regime puramente compressivo, localmente. O campo de paleotensões posterior foi caracterizado como extensional.

As evidências encontradas por Ferrari (2001) para os grupos de fraturas identificadas sugerem uma variação local/temporal de componentes direcionais e extensionais.

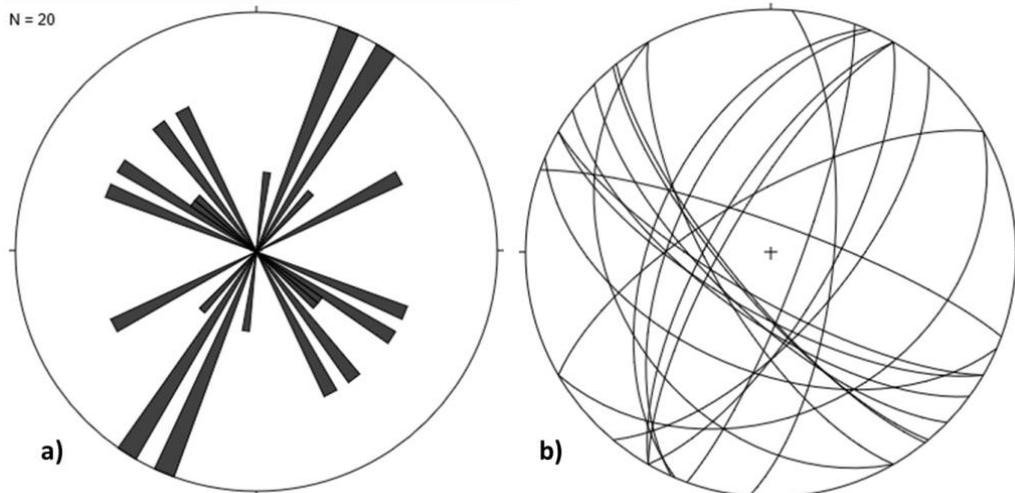
Figura 30 – Dique aflorando em Maricá, RJ .



Legenda: Dique de aproximadamente 30 metros de espessura, de direção N30°E, encaixado no sillimanita-biotita-gnaiss São fidélsis, aflorando em Maricá, RJ. Dique com um dos contatos parcialmente visível, e apófise, destacados em azul

Fonte: A Autora, 2017.

Figura 31 – Intrusões Tabulares no Terreno Oriental



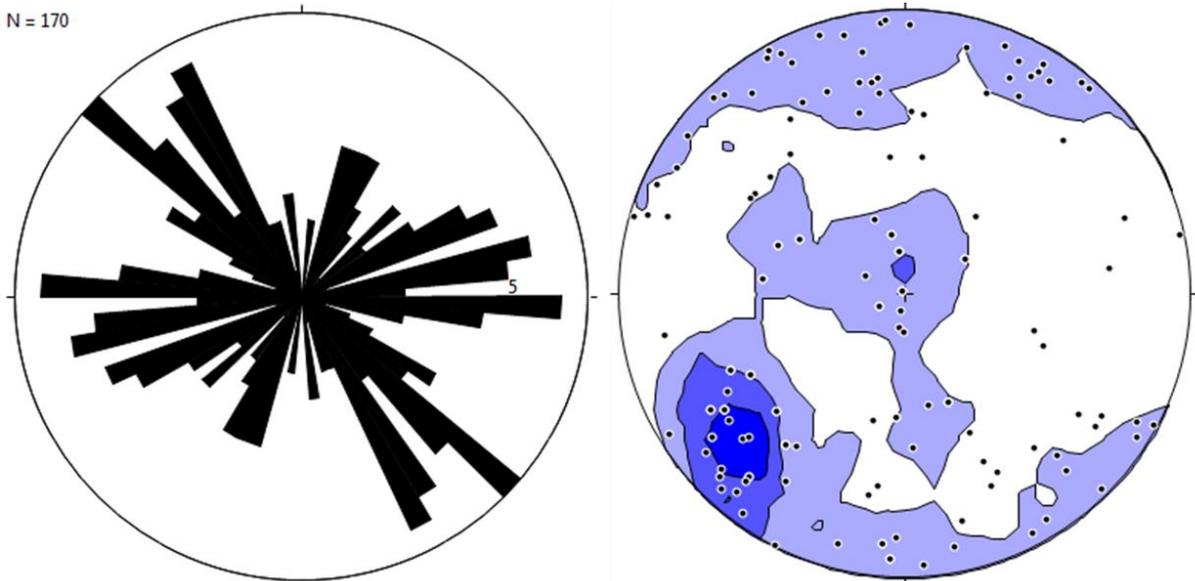
Legenda: Medidas dos diques do TOr compiladas. a) Roseta dos diques com pétalas em setores de 5° paralelas ao *strike* das estruturas. Número de medidas: 20. Valor máximo: 15% entre 31° e 35°. b) Projeção estereográfica dos diques do DC. Projeções no hemisfério inferior, rede de Schmidt- Lambert.

Fonte: A Autora, 2017.

Nas fraturas compiladas na região do Terreno Oriental (Figura 32), é possível identificar esses grupos, especialmente o estabelecido no quadrante NE. É notória a direção preferencial das estruturas NW-SE, entretanto as estruturas em torno do eixo E-W tem uma relevância similar em termos percentuais (Figura 32a). As estruturas orientadas E-W coincidem com a direção estabelecida por Ferrari (2001) como binário direcional através do qual se instalou o Gráben da Guanabara. A direção NW-SE importante entre as fraturas ilustradas na roseta é uma direção relevante também dentre as falhas compiladas na região (Figura 33). A coincidência geométrica sugere uma relação entre ambas. Essa também é a direção encontradas para os diques, especialmente os alcalinos.

Figura 32 – Fraturas do Terreno Oriental

N = 170



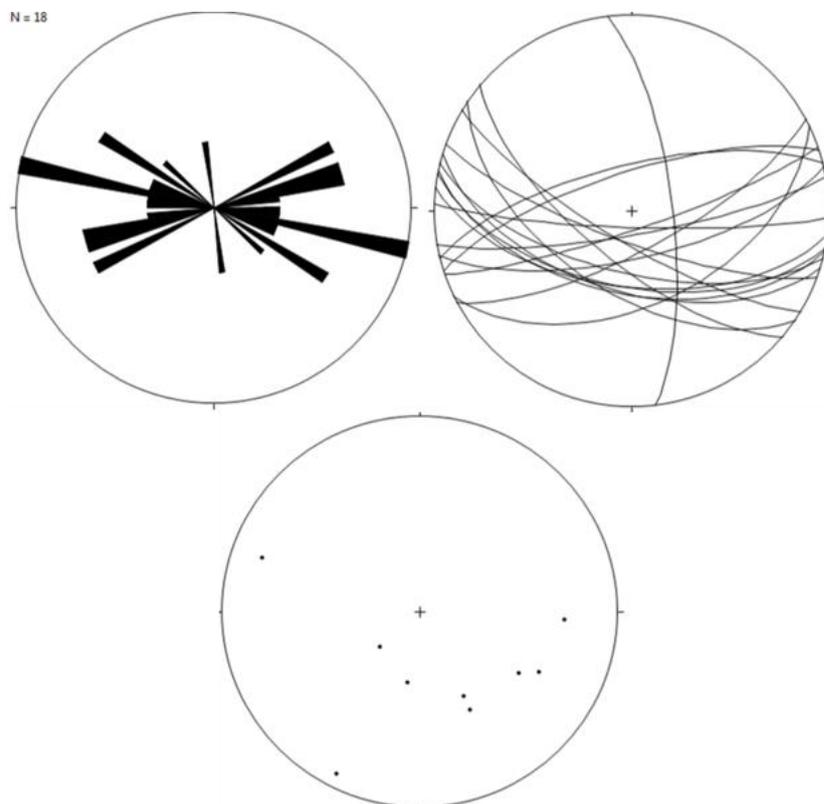
Legenda: Medidas das fraturas do TOr compiladas. a) Roseta das fraturas com pétalas em setores de 5° paralelas ao *strike* das estruturas. Número de medidas: 170. Valor máximo: 6,4% entre 131° e 135°. b) Projeção estereográfica dos polos das fraturas do Terreno Oriental usando o método de Kamb. Intervalo: 3 sigma. Nível de significância: 3 sigma. Área de contagem: 5,1% Projeções no hemisfério inferior, rede de Schmidt- Lambert. Fonte: A Autora, 2017.

As direções reconhecidas entre as falhas são em torno do eixo E-W. Essas direções são similares às direções que compõe o binário transcorrente ENE-WSW e WNW-ESE, que resultam da implantação do Gráben da Guanabara (Ferrari, 2001). O modelo geodinâmico de Ferrari (2001), concorda com o modelo regional de Riccomini (1989) e sugere que o quadro evolutivo do gráben tem início através de um binário transcorrente sinistral, no Paleoceno, com reativação dessas estruturas com uma transcorrência dextral, do Pleistoceno ao Holoceno,

quando há uma extensão E-W que gera estruturas normais N-S. No período entre essas transcorrências, houve extensão NW-SE, gerando falhamentos NE-SW normais.

A direção ENE-WSW, como discutido anteriormente, é relacionada às brechas silicificadas, que ocorrem neste domínio assim como ocorrem no Terreno Cabo Frio. Há falhas importantes nesse domínio com essa direção e características, como por exemplo, a falha de Rio Bonito (Almeida, 1976) que controlou parte das intrusões alcalinas na região, e a Falha de São José, que controlou o início da Bacia de São José do Itaboraí e possui histórico de reativação.

Figura 33 – Falhas do Terreno Oriental



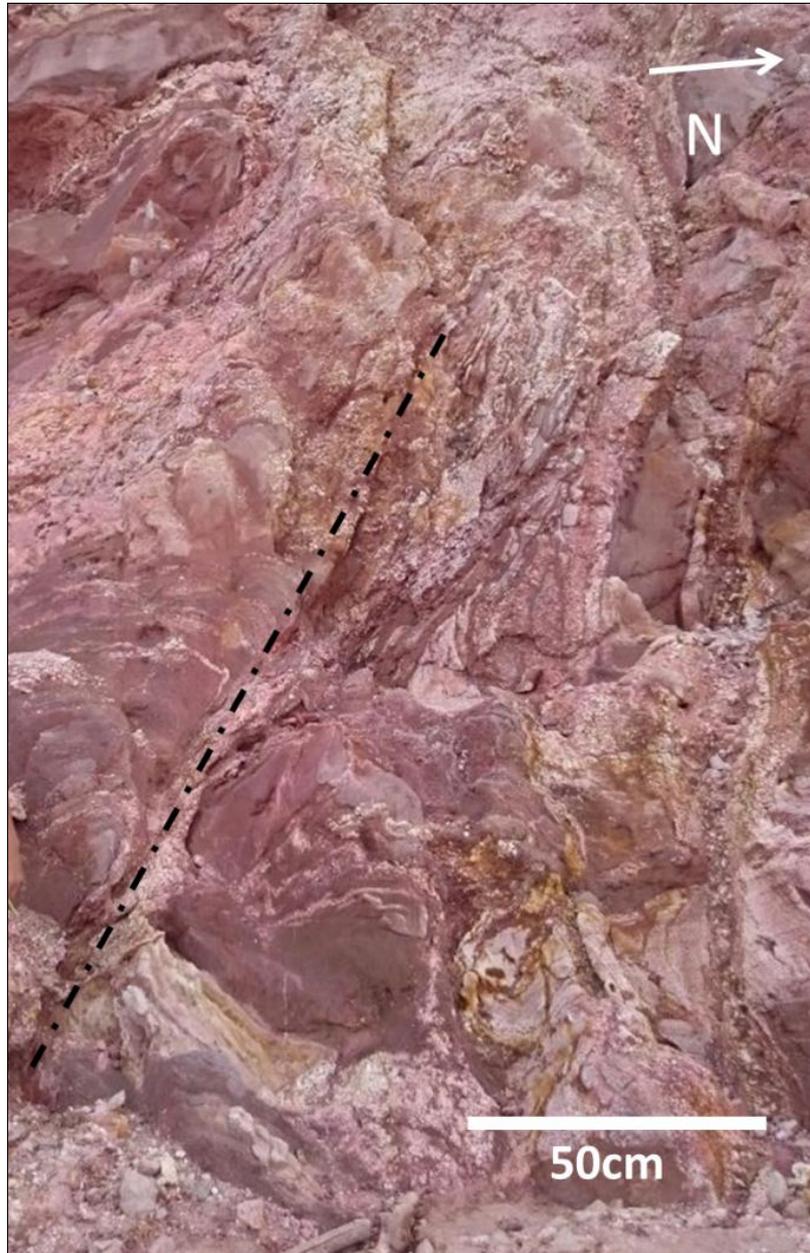
Legenda: Medidas das falhas do Terreno Oriental compiladas. a) Roseta das falhas com pétalas em setores de 5° paralelas ao *strike* das estruturas. Número de medidas: 18. Valor máximo: 16,6% entre 101° e 105°. Grupos preferenciais secundários N65-85E e N75W, com valores em tonro de 10%; b) Projeção estereográfica das falhas do Terreno Oriental c) Projeção estereográfica das estrias associadas às falhas. Número de dados polares: 9. Projeções no hemisfério inferior, rede de Schmidt- Lambert.

Fonte: A Autora, 2017.

As rochas metassedimentares, já muito intemperizadas, preservam em certas localidades as suas características estruturais, que ficam expostas principalmente em cortes de

estrada. Esses afloramentos possibilitam a bons afloramentos de falhas, estrias e até do sentido de movimento da estrutura (Figura 34).

Figura 34 – Falha aflorando na BR-101



Legenda: Falha reversa cortando paragnaisse do Grupo São Fidélis, em corte de estrada na BR-101. Falha, com estrias preservadas em *slikenside*, gera arrasto dúctil nas estruturas planares adjacentes. As feições dúcteis da estrutura sugerem uma formação anterior à fase de rifteamento que a região foi submetida.

Fonte: A Autora, 2017.

Síntese da caracterização dos domínios estruturais

A descrição estrutural dos domínios, baseado na compartimentação tectônica, confirmou a existência de diferenças significativas entre as orientações preferenciais em cada terreno (Tabela 2). Esse fato levou às investigações subsequentes, que envolveram a verificação da expressão dessas diferenças em termos geomorfológicos, através o estudo de lineamentos de relevo (Cap. 4) e a caracterização das estruturas em cada orientação quanto às condições de afloramento, preenchimento, cinemática e dinâmica (Cap.5).

Tabela 2 – Síntese das orientações preferenciais das estruturas por domínio tectônico

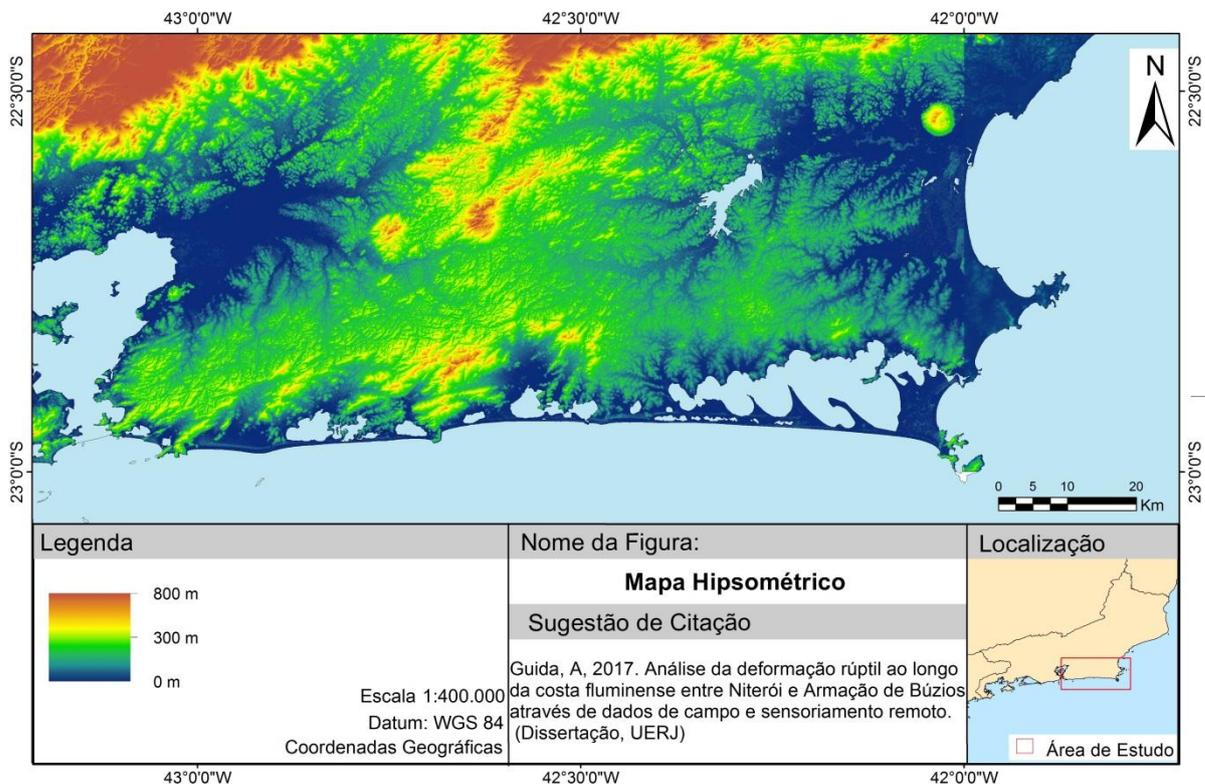
Estruturas	Terreno Oriental			Terreno Cabo Frio		
	Orientação Principal	Orientação Secundária	Nº Medidas	Orientação Principal	Orientação Secundária	Nº Medidas
Foliação	N60E	N20E, N40E	226	N30W	N10W, N80W	186
Dique	N20-30E	N30W, N60W, N60E	20	N50E	N20E	98
Falhas	N75W	N70E, N60E, N60W	18	N60E, N35E	N20E, N70E	89
Fraturas	N45W	E-W, N30W	170	N45W	N20E, N40E	541

4 ANÁLISE DE LINEAMENTOS DE RELEVO

Durante o desenvolvimento do trabalho, o processo que envolveu sensoriamento remoto, foi gerado um banco de dados georreferenciados (BDG) em ambiente de Sistema de Informações geográficas (SIG), utilizando o *software* ArcGIS 10.3, onde foram compilados os dados disponíveis da área de estudo, como mapas, fotos aéreas e imagens, a fim de extrair informações sobre a configuração das estruturas rúpteis em escala megascópica a partir da construção de mapas temáticos diversos, tais como: hipsométrico, mapas de lineamentos de relevo, de drenagens e compartimentação da cobertura sedimentar, todos na escala 1:400.000..

O mapa hipsométrico foi gerado a partir dos modelos digitais de terreno e dos dados altimétricos na escala 1:50.000 disponibilizados pelo IBGE, com escala de cores variando de tons de verde (0m) até tons de vermelho com um máximo em torno de 1000m de altitude (Figura 35).

Figura 35 – Mapa Hipsométrico da área



Legenda: Mapa de altitudes na área de estudo, baseados em imagens SRTM.

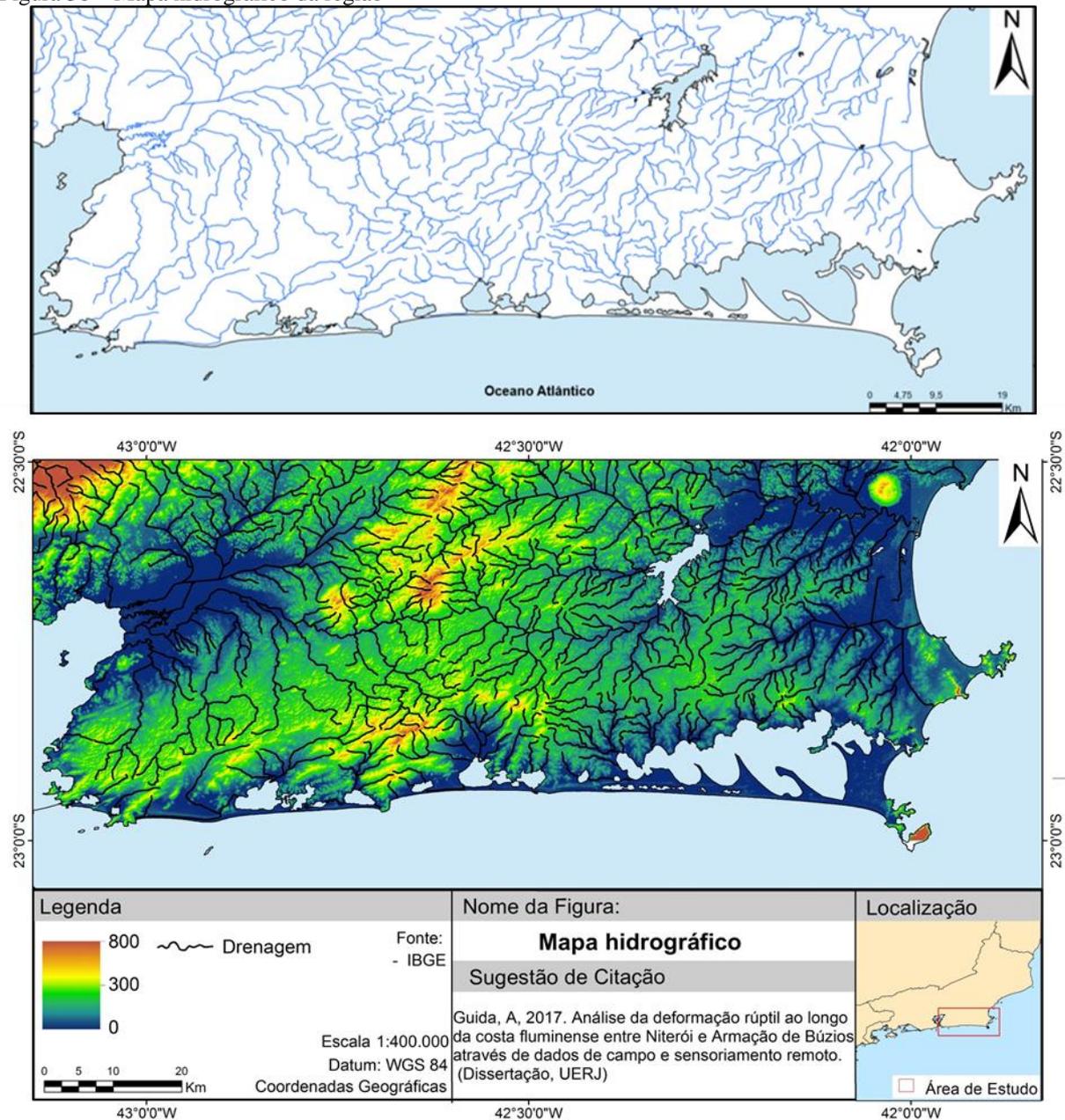
Nota: No tom de verde mais escuro estão os terraços e aluviões, e em amarelo colinas e maciços costeiros.

Fonte: A Autora, 2017.

O mapa das altitudes na região deixa claro, um ambiente abatido, com sua maior parte com altitudes sem grandes variações com relação ao nível do mar, a exceção de alguns maciços costeiros com alturas inferiores a 800m. Em uma comparação objetiva entre os pontos elevados no mapa e o mapa geológico (Figura 15) da região, fica clara uma relação entre estes e as litologias mais resistentes, com seus picos relacionados às intrusões alcalinas paleógenas, e elevações na região metropolitana, representadas por granitos sin a tardi-colisionais neoproterozoicos.

O mapa hidrográfico (Figura 36) foi desenvolvido a partir do pacote de dados planialtimétricos disponibilizados pelo IBGE para o estado do Rio de Janeiro. Na figura 36b, foram incluídos dados topográficos no mapa, que revelam um grande controle lito-estrutural da drenagem. No mapa é possível identificar dois divisores de água importantes. Na porção norte da área, o divisor de águas – coincidente com os maciços alcalinos – separa grandes bacias hidrográficas: a Bacia do Rio Macacu, que segue para Oeste, e a Bacia do Rio São João, seguindo para Leste (Figura 5). Na porção Sul do mapa, fica claro o controle de uma segunda feição topográfica que inclui o alinhamento de pequenas serras, incluindo a Serra do Mato Grosso, que divide as águas que seguem para a Baía de Guanabara, das águas que fluem nas escarpas litorâneas direto para o Oceano Atlântico (Figura 5).

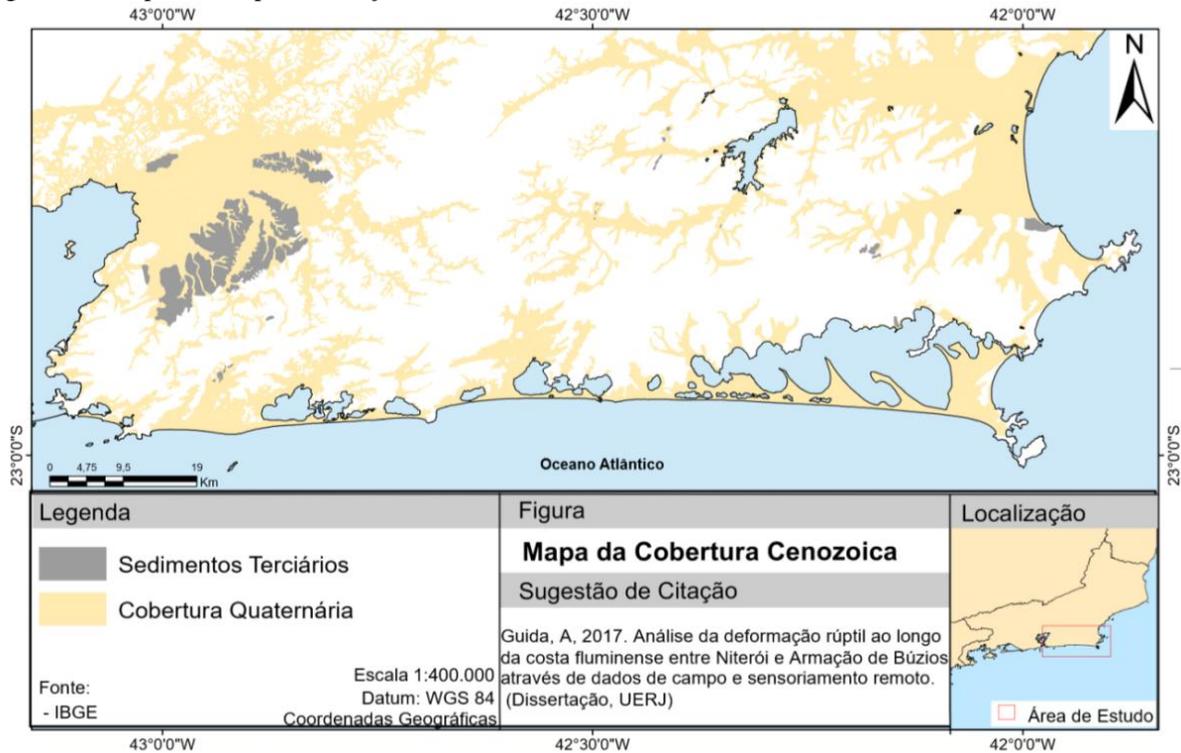
Figura 36 – Mapa hidrográfico da região



Legenda: Mapa hidrográfico da área de estudo. Acima: mapa da rede de drenagens na área de estudos. Abaixo: mapa da rede de drenagem incluindo topografia. Baseado em dados disponibilizados na base planialtimétrica do IBGE.
 Fonte: A Autora, 2017.

O mapa da cobertura cenozoica (Figura 37) foi gerado com base no mapa geológico de Heilbron et al. (2016), e inclui as coberturas quaternárias fluviais e litorâneas, bem como, as unidades sedimentares terciárias das Formações Barreiras e Macacu. A existência desse mapa foi interessante para entender as relações das coberturas sedimentares e a presença de lineamentos de relevo, que serão discutidas mais a frente.

Figura 37 - Mapa da compartimentação da cobertura cenozoica



Legenda: Mapa da compartimentação da cobertura cenozoica na área de estudo, incluindo os sedimentos que preenchem a Bacia de Macacu e São José de Itaboraí, e Formação Barreiras (cinza) e os cordões arenosos, sedimentos flúvio-lacustrinos e costeiros (em amarelo). O mapa teve como base dados disponibilizados pelo IBGE e dados geológicos do Mapa Geológico do Estado do Rio de Janeiro (Heilbron et al., 2016)
Fonte: A Autora, 2017.

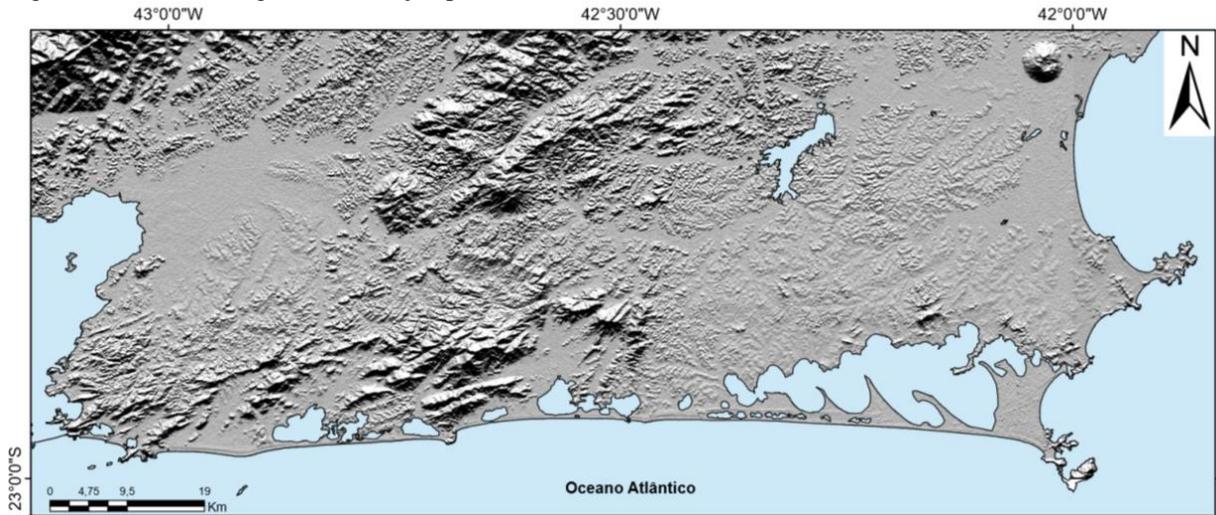
De posse dessas informações e mapas que tratam de uma abordagem inicial para caracterização da região no âmbito geomorfológico, o passo seguinte tratou da extração de lineamentos de relevo, tendo como fonte modelos digitais de elevação (MDE) e fotografias aéreas. A extração de lineamentos deu origem a dois mapas de lineamentos com escalas de trabalho diferentes, um a partir do relevo sombreado gerado de imagens SRTM e outro, contendo lineamentos menores, baseado em fotos aéreas ortoretificadas.

O mapa de lineamentos foi desenvolvido usando imagens de relevo sombreado derivadas de modelos digitais de elevação fornecidos *online* pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) no projeto TOPODATA – Banco Geomorfométrico do Brasil – e pelo Projeto RJ 25, do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

Os MDEs do TOPODATA são elaborados a partir dos dados da missão *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) disponibilizados pelo *United States Geological Survey* (USGS), na escala 1:250.000. Esses dados têm resolução 90 metros e foram refinados para 30 metros durante o processamento realizado pelo INPE (Apendice B). Mais especificamente, foram

usadas imagens de relevo sombreado, com iluminante a 45° de elevação, direção Norte e com exagero de três vezes (Figura 38).

Figura 38 – Modelo Digital de Elevação para área de estudo

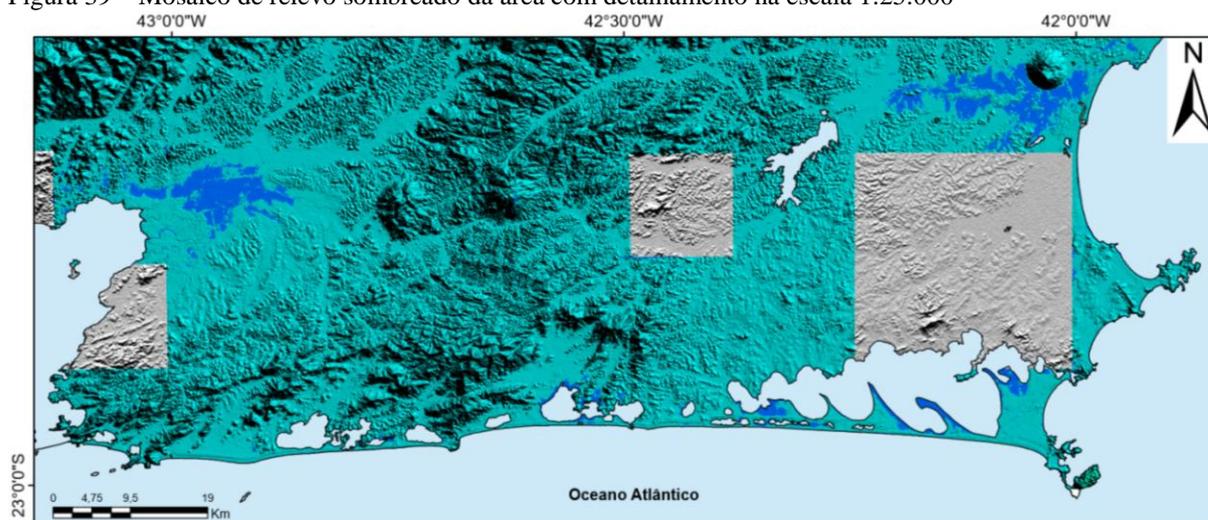


Legenda: Mosaico de relevo sombreado derivado de MDE baseados em imagens SRTM, disponibilizados pelo projeto TOPODATA - INPE.

Fonte: A Autora, 2017.

O Projeto RJ 25 fornece ortofotos com resolução de 0,7 metros de todo o estado do Rio de Janeiro, na escala 1:25.000. A partir do mosaico dessas fotografias aéreas, que foram pré-tratadas no software Global Mapper 11, foi gerado um mosaico de imagens de relevo sombreado com iluminante nas direções Norte, Leste, N45°E e N45°W, com 45° de elevação e exagero vertical de três vezes (Figuras 39 e 40) que deu origem ao mapa detalhado de lineamentos. O IBGE não disponibiliza todas as fotografias aéreas necessárias à completude do mosaico. As regiões que não são contempladas por ortofotos disponíveis, foram recobertas, no presente trabalho, pelas imagens fornecidas pelo INPE, em menor resolução.

Figura 39 – Mosaico de relevo sombreado da área com detalhamento na escala 1:25.000



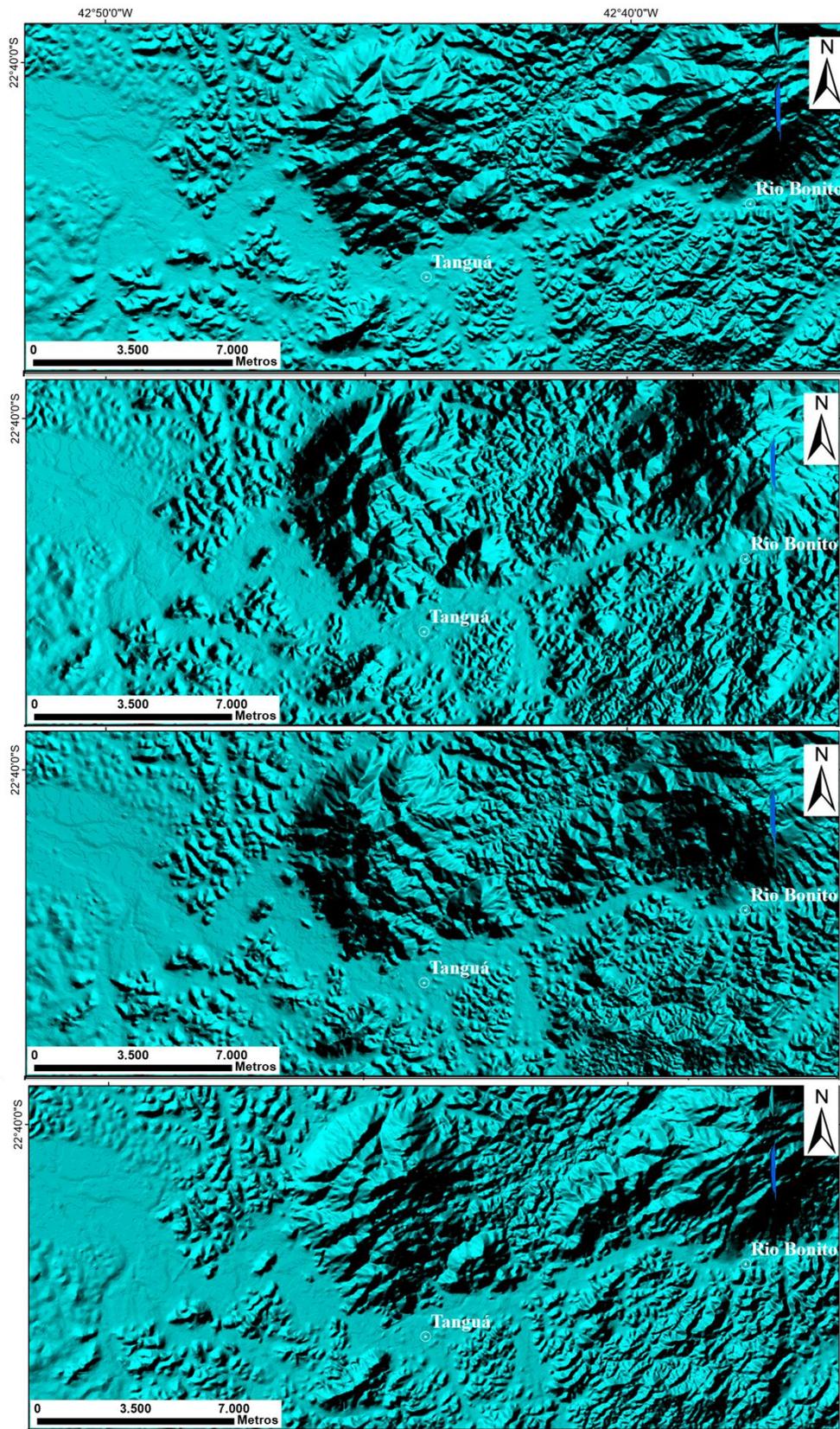
Legenda: Mosaico de relevo sombreado gerados a partir de fotos aéreas de escala 1:25.000, baseado nos dados fornecidos pelo IBGE (em tons de Azul). Em escala de cinza, as áreas que não são disponibilizadas pelo IBGE, que foram recobertas pelos MDE – TOPODATA (Figura 38)

Fonte: A Autora, 2017.

Os lineamentos foram extraídos segundo a metodologia proposta por Riccomini e Crósta (1988) e Liu et al. (1983), usando o método de multiescala e foram gerados dois mapas de lineamentos de relevo, que foram extraídos manualmente em ambiente SIG em escalas de detalhamento diferentes, que serão especificados no decorrer deste capítulo.

Foi usado o conceito de lineamento segundo O’Leary et al. (1976), que define lineamento como uma feição linear ou ligeiramente curvada de expressão regional mapeável cujo padrão difere da trama adjacente e que, presumivelmente, refletem algum fenômeno em subsuperfície. Os lineamentos associados a relevos positivos (relacionados a cristas de serras, escarpas, crateras) são delineados por pixels de cores em tons claros, e os lineamentos ligados às quebras negativas na topografia (referentes a juntas, falhas, zonas de cisalhamento, drenagem) aparecem na imagem como pixels alinhados em cores escuras (Abdullah et al., 2010).

Figura 40 – Relevo Sombreado da área com diferentes iluminantes



Legenda: Mosaico de imagens de relevos sombreados gerados a partir de fotos aéreas de escala 1:25.000, com diferentes iluminantes. De cima para baixo: Iluminante N, E, N45E e N45W.

Nota: baseados nos dados fornecidos pelo IBGE.

Fonte: A Autora, 2017.

O mapa de lineamentos detalhado (Figura 41) teve um detalhamento na escala de 1:25.000 nas áreas cobertas por ortofotos de maior resolução, e complementado pelo detalhamento possível nos MDE fornecidos pelo projeto TOPODATA. O mapa de lineamentos de relevo (Figura 42) teve detalhamento em multiescala, com máximo na escala 1:50.000, e será melhor discutido adiante.

É interessante ressaltar o efeito de uma grande cobertura sedimentar inconsolidada no processo de extração dos lineamentos. As áreas cobertas por sedimentos quaternários não apresentam lineamentos mapeáveis, em contraste, por exemplo, com os sedimentos terciários, onde já houve atuação de alguma neotectônica, e já são passíveis de capturar lineamentos, ainda que esparsos se comparado às áreas com relevo dissecado (Figura 41).