



# UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO

**RAFAEL CRAVO DE CICCIO**

**CARACTERIZAÇÃO GEOFÍSICA PELO MÉTODO DE CAMINHAMENTO  
ELÉTRICO DO AQUÍFERO MANGUE DE PEDRA - ARMAÇÃO DOS BÚZIOS, RJ**

**Trabalho Final de Curso**

**(Geologia)**

UFRJ

Rio de Janeiro

2018



**Rafael Cravo de Cicco**

**Caracterização Geofísica pelo Método de Caminhamento Elétrico  
do Aquífero Mangue de Pedra - Armação dos Búzios, RJ**

Trabalho Final de Curso de Graduação em Geologia do Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, apresentado como requisito necessário para a obtenção do grau de Geólogo.

Orientadores:

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Kátia Leite Mansur

Prof. Dr. Marco Antonio da Silva Braga

Rio de Janeiro

Janeiro de 2018

RAFAEL CRAVO DE CICCO

**CARACTERIZAÇÃO GEOFÍSICA DO AQUÍFERO MANGUE DOS PEDRA - AR-  
MAÇÃO DE BÚZIOS, RJ**

Trabalho Final de Curso de Graduação em Geologia do Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, apresentado como requisito necessário para a obtenção do grau de Geólogo.

Orientadores:

Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Kátia Leite Mansur

Prof. Dr. Marco Antonio da Silva Braga

Aprovada em:

Por:

---

Orientadora Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Kátia Leite Mansur (UFRJ)

---

Co-Orientador Prof. Dr. Marco Antonio da Silva Braga (UFRJ)

---

Prof. Dr. Gerson Cardoso da Silva Jr. (UFRJ)

---

Geol<sup>a</sup> M.Sc. Maria Filipa Perez da Gama (UFRJ)

UFRJ

Rio de Janeiro

2018

## CIP - Catalogação na Publicação

C898c Cicco, Rafael Cravo de  
Caracterização Geofísica Pelo Método de  
Caminhamento Elétrico do Aquífero Mangue de Pedra -  
Armação dos Búzios, RJ / Rafael Cravo de Cicco. --  
Rio de Janeiro, 2018.  
83 f.

Orientadora: Kátia Leite Mansur.  
Coorientador: Marco Antonio da Silva Braga.  
Trabalho de conclusão de curso (graduação) -  
Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto  
de Geociências, Bacharel em Geologia, 2018.

1. Mangue de Pedra. 2. Geofísica. 3. Caminhamento  
Elétrico. 4. Aquífero. 5. Hidrogeologia. I. Mansur,  
Kátia Leite, orient. II. Braga, Marco Antonio da  
Silva, coorient. III. Título.

Elaborado pelo Sistema de Geração Automática da UFRJ com os  
dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Dedico este trabalho à minha família, em especial aos meus pais Paulo de Cicco e Alzira Cravo, e a minha namorada Verônica Raner.

## **Agradecimentos**

Agradeço primeiramente à Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ - e a todo o Departamento de Geologia e seu corpo docente, que ao longo do meu período de formação contribuíram não só com meu crescimento intelectual, como também com meu crescimento como um profissional e geólogo. Agradeço em especial aos meus orientadores, Professora Dr<sup>a</sup>. Kátia Leite Mansur, por me acompanhar nas atividades de campo e me motivar e guiar ao longo de todo o processo da produção deste trabalho, e Professor Dr. Marco Antonio da Silva Braga por estar sempre disponível para auxiliar em qualquer dúvida referente à geofísica encontrada ao longo do trabalho, além de disponibilizar o Laboratório de Geofísica e o acesso ao software Geosoft, que foi fundamental para a produção dos resultados deste trabalho.

Agradeço em especial também à Geóloga M.Sc. Maria Filipa da Gama, por toda a paciência e disponibilidade em me auxiliar com a utilização do software Geosoft.

Agradeço ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico -CNPQ - pela concessão da bolsa PIBIC-UFRJ durante a vigência da pesquisa.

Não poderia deixar de agradecer também aos meus familiares, por me apoiarem durante todo o meu tempo de graduação, minha mãe Alzira Tereza Cravo de Cicco, meu pai Paulo Fernando de Cicco e meus irmãos Rodrigo Cravo de Cicco e Fernando Cravo de Cicco, e também à minha namorada, Verônica Cruz Soares da Silva Raner, pelo grande apoio que tem me dado nesta etapa final da minha graduação.

Também gostaria de agradecer ao meu grande amigo e Geólogo Roberto Amorim Juncken, por ter me colocado no caminho da Geologia, e aos grandes amigos feitos ao longo desta jornada na graduação, em especial aos amigos Inoã de Macêdo, Jean Braga, José Arthur Pessôa e Marcelo Reitor.

## Resumo

CICCO, Rafael Cravo de. CARACTERIZAÇÃO GEOFÍSICA PELO MÉTODO DE CAMINHAMENTO ELÉTRICO DO AQUÍFERO MANGUE DE PEDRA - ARMAÇÃO DOS BÚZIOS, RJ. 83p. Trabalho Final de Curso (Geologia) - Departamento de Geologia Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

Localizado no estado do Rio de Janeiro, mais precisamente no município de Armação de Búzios, encontra-se o Mangue de Pedra, um ecossistema extremamente raro e único, de grande importância geológica, ecológica e social. Ao contrário de outras ocorrências comuns de manguezal, com substrato lamoso, este encontra-se sobre um substrato coberto de areia fina a matacão. Sua ocorrência não seria possível se não fosse a presença de um aquífero cuja descarga se dá na encosta e na base da praia onde ocorre o manguezal. Este capta o fluxo de água doce que ocorre na sua área de recarga e o armazena. A água do aquífero em contato com a água salgada do mar gera um ambiente com uma água salobra e esta é uma condição importante para a existência do Mangue de Pedra. O presente trabalho buscou, utilizando o método de Caminhamento Elétrico, fazer um levantamento geofísico da área do Mangue de Pedra, visando identificar estruturas geológicas e o comportamento do aquífero na área de ocorrência do manguezal. Para tal, realizou-se o levantamento de cinco linhas elétricas, sendo três na praia do manguezal, onde os resultados apontam forte influência de água salgada, indicada pelos baixos valores de resistividade, e mais duas na Rua Carlito Gonçalves, onde os resultados mostram ambiente diferente da praia, com terreno mais seco próximo à superfície, e redução da resistividade conforme o aumento da profundidade, indicando uma faixa sem presença de água em superfície e baixa profundidade, e a presença de água doce em profundidades maiores. Utilizou-se o resultado das linhas elétricas e o modelo digital de elevação da área para gerar modelos em 3D da região, com as linhas elétricas posicionadas e georreferenciadas. As análises dos resultados indicam de fato um fluxo de águas subterrâneas fluindo em direção ao aquífero, além de apontarem a presença de uma falha no limite norte do Mangue de Pedra.

Palavras-chave: Hidrogeologia; Geofísica; Mangue de Pedra; Manguezal; Aquífero; Caminhamento Elétrico.

## Abstract

CICCO, Rafael Cravo de. GEOPHYSICAL CHARACTERIZATION OF “MANGUE DE PEDRA” MANGROVE AQUIFER - ARMAÇÃO DOS BÚZIOS, RJ. 83p. Trabalho Final de Curso (Geologia) - Departamento de Geologia Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

Located in Rio de Janeiro State, more precisely in Armação de Búzios municipality, is the “Mangue de Pedra” mangrove, an extremely rare and unique ecosystem, with great relevance for the geological, ecological and social. Unlike other more common types of mangrove, with muddy substrate, this one is located on a substrate covered with fine sand to boulder. Its existence would not be possible if not for the presence of an aquifer, with its recharge taking place at the slope and the beach floor where the mangrove occurs. It captures all the fresh water flux that pass through the recharging area, and stores it. Since it is located by the sea, the water of the aquifer mixed with the salty sea water, generates a brackish water, which is an important condition for the “Mangue de Pedra” mangrove existence. The present research seek to, using the geophysical method of Electrical Profiling, making a geophysical survey of the “Mangue de Pedra” mangrove area, looking forward to identify geological structures, as well as the aquifer behavior in the mangrove occurrence area. To reach this result, a survey consisting of five electrical lines were done, three on the mangrove beach, where the results indicate a strong sea water influence, based on the low resistivity values, and two more on Rua Carlito Gonçalves, where the results indicate the opposite from the beach, with a dryer ground near the surface, with higher resistivity values, and the reduction of those values as we reach deeper areas into the ground, which indicate the presence of fresh water. The result of those lines were used, along with the digital elevation model, to generate 3D models of the area, with those electrical lines in the actual spot of data acquisition and georeferenciated. The result analysis indicate that there is in fact an underground water flux flowing to the aquifer, as well as showing the presence of a geological fault in the northern limit of “Mangue de Pedra” mangrove. Keywords:

Hydrogeology; Geophysics; “Mangue de Pedra” mangrove; Mangrove; Aquifer; Electrical Profiling.

## Lista de Figuras

**Figura 1:** Mapa de localização da área de estudo, com a Falha do Pai Vitório indicada pela reta em vermelho e a área do Mangue de Pedra demarcada pela região em amarelo. (Foto: Google Earth). Página 5.

**Figura 2:** Imagem com detalhamento da área do Mangue de Pedra, com destaque para o mangue, demarcado pela região em amarelo, a Falha do Pai Vitório, indicado pela reta em vermelho e as Paleofalésias observadas na Praia Gorda, indicadas pela linha pontilhada em azul. (Foto: AMPLA, 2004). Página 6.

**Figura 3:** Vias de acesso para o trajeto Rio de Janeiro-Armação de Búzios, sendo o trajeto azul pela Via Lagos (RJ-124) e o trajeto cinza pela Rodovia Amaral Peixoto. (Fonte: Google Maps). Página 7.

**Figura 4:** Subdivisão do Sistema Orogênico Mantiqueira: o segmento setentrional é o Orógeno Araçuaí; o segmento central inclui a porção sul do Orógeno Brasília e os orógenos Ribeira e Apiaí; e o segmento meridional inclui os orógenos Dom Feliciano e São Gabriel. As cores roxo e laranja indicam os terrenos que alojam os arcos magnéticos neoproterozoicos (Heilbron *et al.*, 2004). Página 10.

**Figura 5:** Localização dos orógenos do Sistema Orogênico Mantiqueira no contexto do Gondwana Ocidental (extraído de Heilbron *et al.*, 2004; modificado de Trompette, 1994). 1- Bacias fanerozóicas. 2- Coberturas cratônicas. 3- Orógenos neoproterozoicos (B- Brasília, A- Araçuaí, R- Ribeira, ZI- Zona de Interferência, AP- Apiaí, DF- Dom Feliciano). 4- Crátons neoproterozoicos (CSF- São Francisco, LA- Luis Alves, RP- Rio de La Plata). Na África localizam-se as faixas neoproterozoicas do Congo Ocidental (CO), Kaoko (K), Damara (D), Gariep (G) e Saldania (S), relacionadas aos crátons do Congo e Kalahari. Página 10.

**Figura 6:** Modelo proposto para uma seção ao longo do Orógeno Ribeira, indo desde o Craton de São Francisco a NW, até o Bloco Angola a SE (SCHMITT *et al.*, 2016). Página 11.

**Figura 7:** Configuração tectônica do Sudeste do Brasil, com o O Graben de Barra de São João indicado (SJ Graben), e a falha do Pai Vitório representando o limite sul do graben (SCHMITT *et al.*, 2016).. Página 12.

**Figura 8:** Mapa geológico detalhado do Domínio Tectônico de Cabo Frio e parte do Terreno Oriental do Orógeno Ribeira (Schmitt *et al.*, 2016). Página 16.

**Figura 9:** Embasamento paleoproterozoico observado na área imediatamente ao sul da falha do Pai Vitório (BENFEITA, 2017). Página 18.

**Figura 10:** Sedimentos conglomeráticos da Formação Barreiras, observado no leito do Mangue de Pedra (Foto: Kátia Mansur). Página 19.

**Figura 11:** Mapa geológico da região do Mangue de Pedra e da Falha do Pai Vitório (Campos, 2014). Página 19.

**Figura 12:** Distribuição dos manguezais na costa brasileira (MMA, 2001). Página 20.

**Figura 13:** Mapa de vulnerabilidade dos aquíferos costeiros da costa Leste do Estado do Rio de Janeiro, na região entre Niterói e Rio das Ostras. O círculo azul destaca a região onde ocorre o Mangue de Pedra (Modificado de SEABRA *et al.*, 2008). Página 27.

**Figura 14:** Equipamento de geo-radar da marca *MalaGeoscience*, modelo *RAMAC* (SOUZA, 2005). Página 30.

**Figura 15:** GPR em campo, da marca *Sensors & Softwares Inc.* Página 30.

**Figura 16:** Condutímetro da marca *Geonics*, modelo EM31 (Fonte: Laboratório de Geofísica, Geotecnia e Tratamento de Minérios da Universidade de Coimbra). Página 31.

**Figura 17:** Resistímetro de campo, modelo *MiniSting R1*, da marca *AGI* (Fonte: AGI). Página 32.

**Figura 18:** Esquema de arranjo Dipolo-Dipolo, utilizado em caminhamento elétrico (BORGES, 2002). Página 33.

**Figura 19:** Magnetômetro modelo *G-858 MagMapper*, da marca *Geometrics* (Fonte: Geometrics). Página 34.

**Figura 20:** Processo de aquisição dos dados, utilizando o GPR. Página 36.

**Figura 21:** Linhas utilizadas para aquisição com GPR. A de cor laranja na praia e a de cor azul na Rua Carlito Gonçalves. Página 36.

**Figura 22:** Equipamento utilizado no Caminhamento Elétrico realizado no Mangue de Pedra. Página 37.

**Figura 23:** Espalhamento dos cabos para a aquisição das linhas elétricas, no Mangue de Pedra. Página 38.

**Figura 24:** Eletrodo, piquete e cabo conector, utilizados na aquisição. Página 38.

**Figura 25:** Impressão da tela do *Software* QGIS durante sua utilização para visualização do Modelo Digital de Elevação. Página 39.

**Figura 26:** Impressão da tela do *Software* Geosoft, durante sua utilização para criação das visualizações em 3D do Mangue de Pedra. Página 40.

**Figura 27:** Fotografia aérea do Mangue de Pedra, com a localização das linhas do caminhamento elétrico realizado indicadas. As linhas amarela, verde e vermelha se encontram na praia e representam, respectivamente, as linhas, LP01, LP02 e LF01. Já as linhas azul e roxa se encontram na rua Carlito Gonçalves e representam, respectivamente as linhas L03-2 e L03-1. Página 41.

**Figura 28:** Linha elétrica LP01, indicada pela cor amarela no mapa da Figura 28, localizada na praia do Mangue de Pedra. Página 42.

**Figura 29:** Linha elétrica LP02, indicada pela cor verde no mapa da Figura 28, localizada na praia do Mangue de Pedra. Página 43.

**Figura 30:** Linha elétrica LF01, indicada pela cor vermelha no mapa da Figura 28, localizada na praia do Mangue de Pedra. Página 44.

**Figura 31:** Linha elétrica L03-1, indicada pela cor roxa no mapa da Figura 28, localizada na Rua Carlito Gonçalves. Página 46.

**Figura 32:** Linha elétrica L03-2, indicada pela cor azul no mapa da Figura 28, localizada na Rua Carlito Gonçalves. Página 47.

**Figura 33:** Conjunto das linha elétricas levantadas no Mangue de Pedra, com escalas individuais para da uma das linhas, obtido utilizando o software Geosoft. Página 48.

**Figura 34:** Conjunto das linha elétricas levantadas no Mangue de Pedra, com a mesma escala para todas das linhas, obtido utilizando o software Geosoft. Página 49.

**Figura 35:** Conjunto das linha elétricas levantadas no Mangue de Pedra, com escala logarítmica aplicada às linhas elétricas, obtido utilizando o software Geosoft. Página 50.

**Figura 36:** Visualização em 3D do Mangue de Pedra, utilizando as linhas elétricas com escalas individuais, obtido utilizando o software Geosoft. Página 51.

**Figura 37:** Visualização em 3D do Mangue de Pedra, utilizando as linhas elétricas geradas todas com a mesma escala, obtido utilizando o software Geosoft. Página 51.

**Figura 38:** Valores de resistividade de alguns tipos litológicos principais (BRAGA, 2006). Página 53.

**Figura 39:** Linha elétrica LF01, com destaque em azul para a anomalia com dois flancos, característica de talhamentos em Caminhamento Elétrico. Página 53.

**Figura 40:** Interpretação do Caminhamento Elétrico, arranjo Dipolo-Dipolo (BRAGA, 2006). Página 54.

**Figura 41:** Visualização em 3D do Mangue de Pedra, com registro da falha observado na linha elétrica destacado em azul. Página 54.

**Figura 42:** Visualização em 3D do Mangue de Pedra, com topografia indicando um recuo da escarpa da praia, destacado em azul. Página 55.

**Figura 43:** Mapa Potenciométrico do Mangue de Pedra, Armação dos Búzios, RJ (REBELO, 2013). Página 56.

**Figura 44:** Visualização em 3D do Mangue de Pedra, com trajeto da água observado entre as linhas da rua Carlito Gonçalves e da praia, com o fluxo proveniente das águas de subsuperfície da Rua Carlito Gonçalves (Linhas L03-1 e L03-2) desembocando na praia (Região próxima ao contato entre as linhas LP01 e LP02), destacado em azul. Página 57.

**Figura 45:** Visualização em 3D do Mangue de Pedra, com topografia indicando possíveis caminhos percorridos pela água, em direção ao aquífero que alimenta o Mangue de Pedra, destacado em azul. Página 57.

**Figura 46:** Imagem afastada da visualização em 3D do Mangue de Pedra, com indicação das falhas que limitam o aquífero, com a falha do Pai Vitório de um lado, e a falha da praia na outra margem, destacados em azul. Página 58.

### **Lista de Siglas**

**IBGE** - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.

**MMA** - Ministério do Meio Ambiente.

**CETESB** - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo.

**SRHU** - Secretaria de Recursos Hídricos e Ambiente Urbano.

**AGI** - Advanced Geosciences Inc.

**DRM-RJ** - Serviço Geológico do Estado do Rio de Janeiro.

## Sumário

Agradecimentos.....	vi
Resumo.....	vii
<i>Abstract</i> .....	viii
Lista de Figuras.....	ix
Lista de Siglas.....	xii
<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
<b>1.1. Objetivo.....</b>	<b>2</b>
<b>1.2. Justificativa.....</b>	<b>2</b>
<b>2. LOCALIZAÇÃO E ACESSO.....</b>	<b>5</b>
<b>2.1. Localização.....</b>	<b>5</b>
<b>2.2. Acesso.....</b>	<b>6</b>
<b>3. CONTEXTO TECTÔNICO E GEOLÓGICO.....</b>	<b>8</b>
<b>3.1. Geologia Regional.....</b>	<b>8</b>
3.1.1. Introdução.....	8
3.1.2. Arcabouço Tectônico da Região Sudeste.....	9
3.1.3. A Faixa Ribeira.....	11
3.1.4. O Domínio Tectônico Cabo Frio (DTCF).....	13
3.1.4.1. Evolução Tectônica Durante o Paleoproterozoico.....	14
3.1.4.2. Evolução Tectônica entre o Neoproterozoico e o Cambriano.....	14
3.1.4.3. Evolução Tectônica Durante o Mesozoico e o Cenozoico.....	15
<b>3.2. Geologia Local.....</b>	<b>17</b>
<b>4. EMBASAMENTO TEÓRICO.....</b>	<b>20</b>
<b>4.1. Manguezais.....</b>	<b>20</b>
4.1.1. Condições de Ocorrência.....	21
4.1.2. Tipos Fisiográficos.....	21
4.1.3. Importância.....	22
4.1.4. Manguezais no Estado do Rio de Janeiro.....	23
<b>4.2. Hidrogeologia.....</b>	<b>24</b>
4.2.1. Tipos de Aquífero.....	25

4.2.2. Principais Funções dos Aquíferos.....	26
4.2.3. Hidrogeologia no DTCTF.....	27
<b>4.3 Métodos Geofísicos.....</b>	<b>28</b>
4.3.1. Principais Métodos Geofísicos Para Investigações Ambientais.....	29
4.3.1.1. GPR (Ground Penetrating Radar).....	29
4.3.1.2. Eletromagnético Indutivo.....	31
4.3.1.3. Eletroresistividade.....	32
4.3.1.4. Magnetometria.....	34
<b>5. MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>35</b>
<b>5.1. Levantamento Bibliográfico.....</b>	<b>35</b>
<b>5.2. Criação de Acervo Bibliográfico .....</b>	<b>35</b>
<b>5.3. Etapa de Campo (Levantamento Geofísico) .....</b>	<b>35</b>
5.3.1. GPR .....	35
5.3.2. Caminhamento Elétrico .....	37
<b>5.4. Etapa Pós-Campo.....</b>	<b>39</b>
<b>6. RESULTADOS.....</b>	<b>41</b>
<b>6.1. Resultados de Campo.....</b>	<b>41</b>
<b>7. DISCUSSÃO.....</b>	<b>50</b>
<b>7.1. Discussão das Linhas Elétricas.....</b>	<b>50</b>
<b>7.2. Caracterização de Estruturas Geológicas.....</b>	<b>51</b>
<b>7.3. Caracterização do Aquífero.....</b>	<b>53</b>
<b>8. CONCLUSÕES/CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>57</b>
<b>9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>59</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Historicamente, se observa não só no Brasil como também no mundo uma concentração de ocupação populacional ocorrendo maioritariamente em regiões costeiras. Isso implica em 50,7 milhões de pessoas vivendo em municípios da zona costeira do Brasil, representando 26,6% do total da população do país (IBGE, 2011).

Essa concentração de população acaba tornando o espaço habitável cada vez mais escasso, valorizando terrenos e conseqüentemente gerando uma busca cada vez maior por zonas passíveis de serem comercializadas. Isso gera o avanço da especulação imobiliária sobre áreas litorâneas de importância ambiental, podendo causar danos ao ecossistema costeiro, alguns deles com grande importância científica. Isso faz com que a proteção desses locais seja prioritária, como é o caso do Mangue de Pedra.

O manguezal é um ecossistema costeiro tropical cuja cobertura vegetal coloniza depósitos sedimentares formados por vasas lamosas, argilosas ou arenosas, ocupando a faixa do inter-marés até o limite superior das preamares equinociais. A este ambiente associa-se cobertura vegetal típica, com desenvolvimento de flora especializada, caracterizada por espécies arbóreas, conferindo-lhe um aspecto peculiar. Este tipo de formação está associado a costas de baixa energia ou a ambientes estuarinos, lagunares, baías e enseadas, sendo considerada importante zona úmida costeira tropical, onde as marés permitem um constante intercâmbio de água, nutrientes, sedimentos e organismos com as regiões costeiras adjacentes. Apresentam grande valor ecológico para áreas que extrapolam os limites do próprio ecossistema, provendo diversos bens e serviços que atendem direta e indiretamente tanto seres humanos quanto organismos costeiros (LUGO & SNEDAKER, 1974; SCHAEFFER-NOVELLI, 1989; TWILLEY et al., 1996, SCHAEFFER-NOVELLI, 2002).

É importante tratar a conservação deste tipo de ecossistema como assunto de grande importância, pois a destruição dos manguezais pode vir a gerar enormes prejuízos, tanto ecologicamente quanto economicamente. Dentre os problemas mais recorrentes relacionados à destruição deste tipo de ecossistema, é possível citar a pesca predatória, o desmatamento e o aterro de manguezais para dar lugar a empreendimentos imobiliários, empresariais ou obras de infraestrutura portuária (MMA, 2004).

Por esses motivos, é importante que a relevância dos diferentes tipos de ecossistema e mais especificamente dos manguezais seja difundida, a fim de preservá-los, sua importância ecológica, geológica e social.

### **1.1. Objetivo**

O objetivo deste trabalho é realizar um levantamento, com análise e interpretação de dados geofísicos, utilizando especificamente o método de Caminhamento Elétrico na região do Mangue de Pedra, localizado na Praia Gorda em Armação de Búzios (RJ), a fim de identificar feições estruturais, como falhas, que possam estar em subsuperfície, já que estudos prévios apontam para tal ocorrência, bem como para identificação do comportamento do aquífero no seu entorno.

### **1.2. Justificativa**

O manguezal é um ecossistema costeiro fixado sobre substratos predominantemente lodosos, constituídos de silte e argila e alto teor de matéria orgânica. Entretanto, o manguezal da Praia Gorda apresenta-se fixado sobre substrato areno-rochoso com padrões estruturais que indicam que o mesmo está em processo de desenvolvimento (OLIVEIRA, 2007). Além disso, outra característica única do Mangue de Pedra é que o aporte de água doce é proveniente de água subterrânea, já que geralmente observa-se manguezais próximos a desembocaduras de cursos d'água, como rios, o que não ocorre neste caso. A combinação dessa água doce subterrânea com a água salgada resulta numa água salobra, fundamental para o desenvolvimento dos manguezais. Essas características são os fatores que tornam o Mangue de Pedra tão único, diferente de outros manguezais (MANSUR, 2010). Por isso, sua preservação é de grande importância científica mas também econômica, pois o mangue também oferece uma grande vari-

idade de bens e serviços à comunidade ao seu entorno de forma gratuita, como por exemplo, a pesca.

A comunidade quilombola do bairro da Rasa explora a área do manguezal como área de abrigo de barcos, pesca e extração de mariscos (MANSUR, 2010). Ela tem interesse na preservação do ecossistema. Nos últimos anos o Mangue de Pedra vem apresentando alterações devido à ação antrópica, seja pela presença de resíduos sólidos, trazidos pela maré, seja pela ocupação do entorno.

A área circunvizinha ao manguezal apresenta maior nível de degradação do que o manguezal e seu entorno imediato. Pode-se constatar desmatamento, incêndio, invasões e abertura de estradas irregulares, como o que ocorreu em 2012, com o licenciamento de um grande projeto imobiliário na área de entorno ao manguezal. Porém devido à pressão popular, a obra foi embargada por ação da justiça e posteriormente a Prefeitura de Armação dos Búzios cancelou a licença que havia concedido. Situações como esta é que fazem com que seja necessário agilizar o processo de preservação do mangue.

A ação contínua dos agentes antrópicos constitui um fator que pode dificultar o desenvolvimento do ecossistema ou mesmo torná-lo mais vulnerável aos distúrbios naturais aos quais está sujeito (LUGO & SNEDAKER, 1974).

Outro ponto a ser considerado é a importância geológica da região, sendo o primeiro o fato de a região do Mangue de Pedra apresentar 7 tipologias de patrimônio geológico na classificação quanto ao conteúdo (GARCIA-CORTÉS, 1996), sendo elas: Tectônico, Geoambiental, Sedimentar, Paleoambiental, Hidrogeológico, Estratigráfico e Geomorfológico. Além desses, ainda há o interesse Histórico e Cultural, possuindo assim densidade de tipologias muito alta (MANSUR, 2010). O segundo ponto que expressa sua importância geológica é o fato de a região ter sido considerada o 3º geossítio de maior importância científica do Domínio Tectônico Cabo Frio (DTCF), uma das mais relevantes do país em termos de geologia. Como consequência disso, a região integra o projeto Geoparque Costões e Lagunas do Estado do Rio de Janeiro (MANSUR et al., 2012).

A junção de todos esses fatores é o que confere a singularidade do ecossistema do Mangue de Pedra, e isso faz com que a região seja indicada a se tornar uma Unidade de Conservação (UC), e a realização não só deste, mas de todos os trabalhos anteriores relacionados ao tema

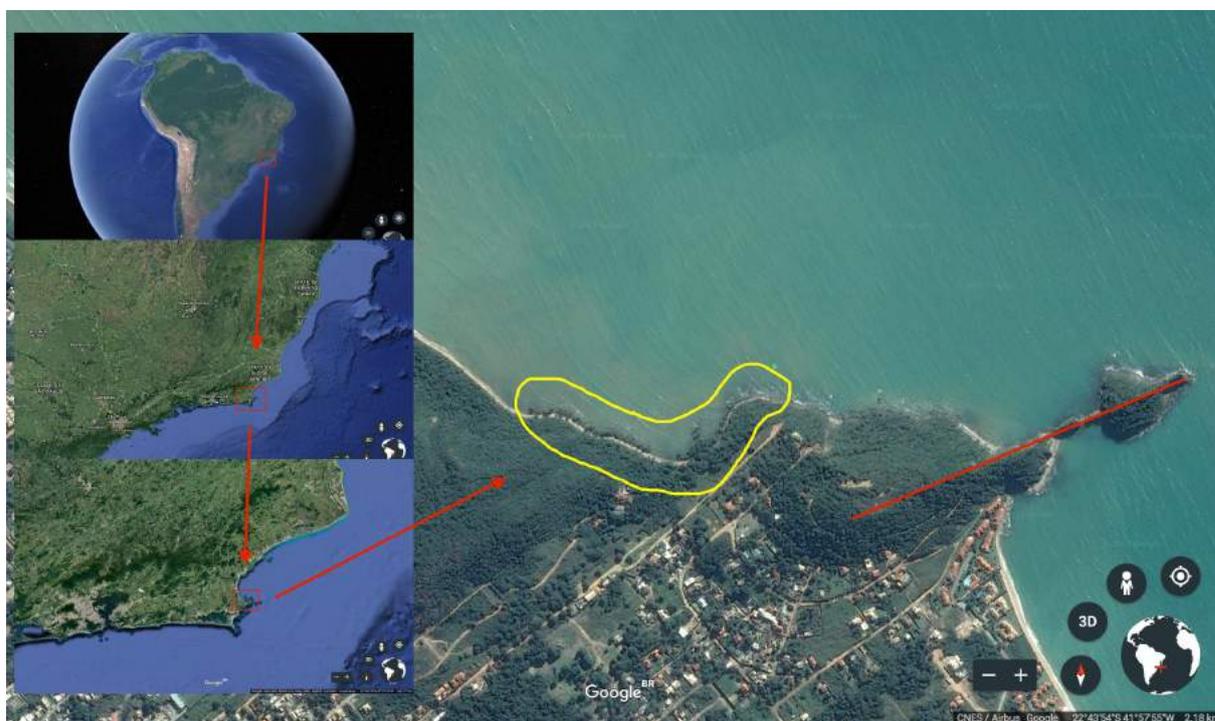
(MANSUR, 2010; REBELO, 2013; CAMPOS, 2014; PRADO, 2015; TIAGO E BENFEITA, 2016; BENFEITA, 2017), visam dar respaldo a esse processo.

Com base nas pesquisas realizadas, evidenciadas pela presença de conglomerados polimí-ticos e clasto sustentados no piso da praia e um deslocamento da paleofalésia em direção ao interior, Kátia Mansur (informação verbal) apontou a possibilidade da existência de pelo me-nos uma falha cortando transversalmente a linha de praia no limite norte do Manguezal. Além disto, dados obtidos nas pesquisas de Rebelo (2013), Campos (2014), Prado (2015), Tiago e Benfeita (2016), apontavam para um maior aporte de água doce na região central do mangue-zal. Com base nestas indicações, foram selecionadas áreas prioritárias para realização de le-vantamentos geofísicos. Este foi o principal motivo que levou à realização do levantamento geofísico apresentado neste trabalho.

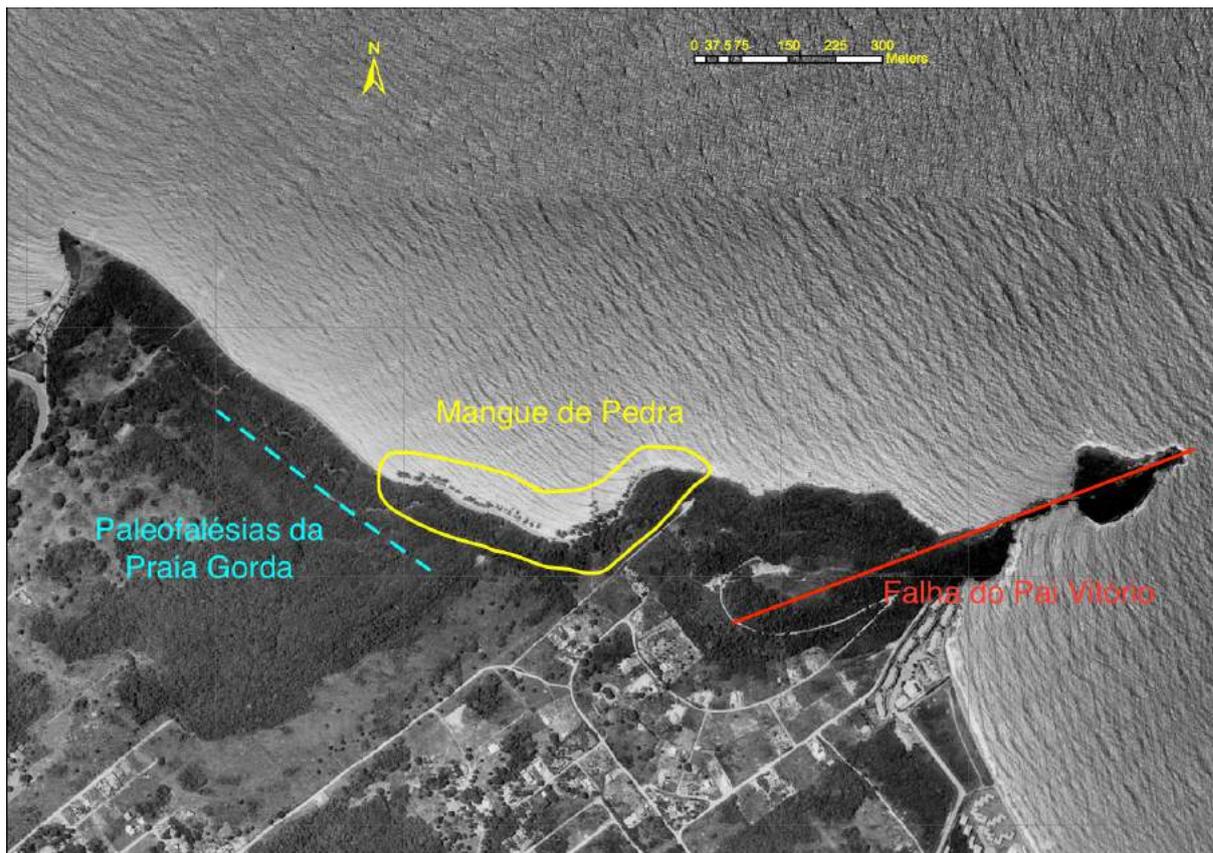
## 2. LOCALIZAÇÃO E ACESSO

### 2.1. Localização

A região do Mangue de Pedra (Figuras 1 e 2) se localiza na Praia Gorda ( $22^{\circ} 43'S$  e  $41^{\circ} 57' W$ ), no município de Armação de Búzios ( $22^{\circ} 74'S$  e  $41^{\circ} 88'W$ ), porção leste do estado do Rio de Janeiro, mais precisamente na região conhecida como Região dos Lagos (Figura 1). O município de Armação de Búzios faz fronteira apenas com o município de Cabo Frio, do qual fazia parte e emancipou-se em 1995, apresenta área territorial de  $69,287 \text{ km}^2$ , população residente estimada em 2017 de 32.260 habitantes, com densidade demográfica também estimada indicando  $465,60 \text{ hab/km}^2$  (IBGE, 2017).



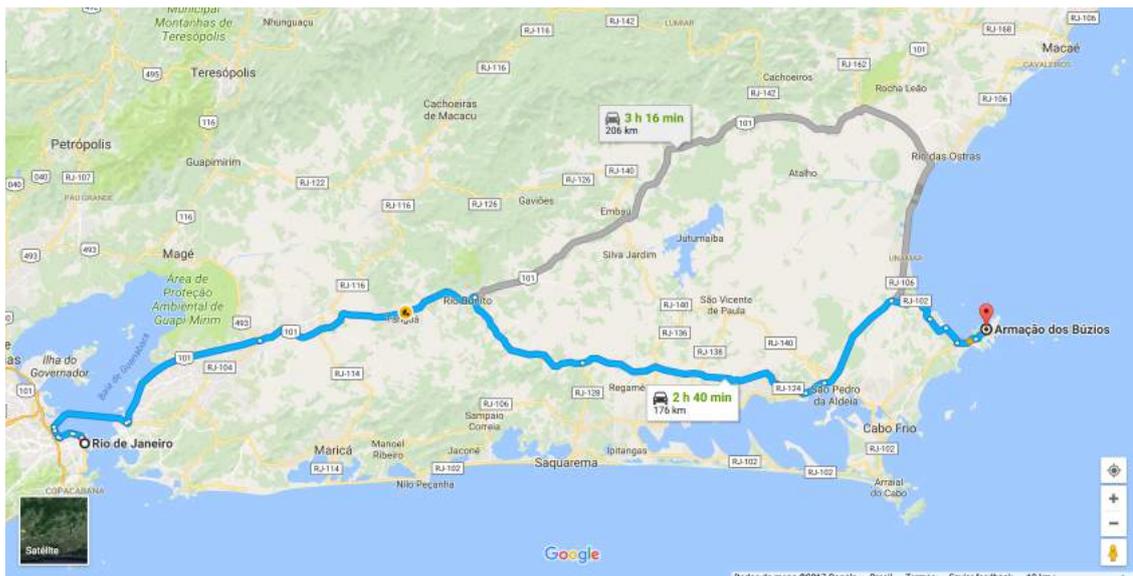
**Figura 1:** Mapa de localização da área de estudo, com a Falha do Pai Vitório indicada pela reta em vermelho e a área do Mangue de Pedra demarcada pela região em amarelo. (Foto: Google Earth).



**Figura 2:** Imagem com detalhamento da área do Mangue de Pedra, com destaque para o manguezal, demarcado pela região em amarelo, a Falha do Pai Vitório, indicado pela reta em vermelho e as Paleofalésias observadas na Praia Gorda, indicadas pela linha pontilhada em azul. (Foto: AMPLA, 2004).

## 2.2. Acesso

O município de Armação de Búzios encontra-se a aproximadamente 179 km da cidade do Rio de Janeiro, e por se tratar de uma região de forte viés turístico, o acesso entre ambas as cidades é facilitado, com estradas asfaltadas durante todo o percurso. Partindo do Rio de Janeiro, o acesso é possível de duas formas: BR-101 após a ponte Rio-Niterói, seguindo pela Rodovia Amaral Peixoto (RJ-106), acessando depois a RJ-102. O outro trajeto também começa pela BR-101, seguindo por ela até acessar a Via Lagos (RJ-124), seguindo por ela até chegar a Rodovia Amaral Peixoto (RJ-106) e depois a RJ-102 (Figura 3).



**Figura 3:** Vias de acesso para o trajeto Rio de Janeiro-Armação de Búzios, sendo o trajeto azul pela Via Lagos (RJ-124) e o trajeto cinza pela BR-101. (Fonte: Google Maps).

### **3. CONTEXTO TECTÔNICO E GEOLÓGICO**

#### **3.1. Geologia Regional**

##### **3.1.1. Introdução**

A evolução estrutural e geológica do Estado do Rio de Janeiro está intimamente ligada à evolução do paleocontinente Gondwana, mais precisamente a área que compreende a Faixa Ribeira. Gondwana tem sua formação datada do Neoproterozoico, como resultado da orogenia Panafricana-Brasiliana, e deu-se a partir da colagem de terrenos acrescidos aos crátons de São Francisco, do Amazonas, do Congo e do Rio de la Plata (ALMEIDA, 1967; ALMEIDA, 1969; ALMEIDA et al., 1976; ALMEIDA et al., 1981; CORDANI et al., 2000; HEILBRON et al., 2000).

A orogenia Panafricana-Brasiliana teve seu ápice no Neoproterozoico. Em seguida, as bacias sedimentares geradas foram preenchidas por uma fase de sedimentação intracratônica paleozóica (bacias do Paraná, Parnaíba, Amazonas) com diversos ciclos deposicionais (MILANI & ZALÁN, 1999; MILANI & THOMAZ-FILHO, 2000). No Mesozoico, essas bacias sofreram extinção, causada por ruptura continental, no caso a quebra de Gondwana, resultando em feições extensionais de riftes superpostos aos sedimentos anteriormente depositados. Também destaca-se a ocorrência de derrames basálticos, associados à abertura do Atlântico Sul. Outros eventos tectonomagmáticos também são registrados de forma marcante na Região Sudeste, durante os períodos Neocretáceo e no Paleógeno. Isso é evidenciado pela ocorrência de um sistema de rifes tafrogênicos entre os estados do Rio de Janeiro e de São Paulo (ALMEIDA, 1976; ALMEIDA, 1983; MELO et al., 1985; ALMEIDA, 1986; ALMEIDA & CARNEIRO, 1989).

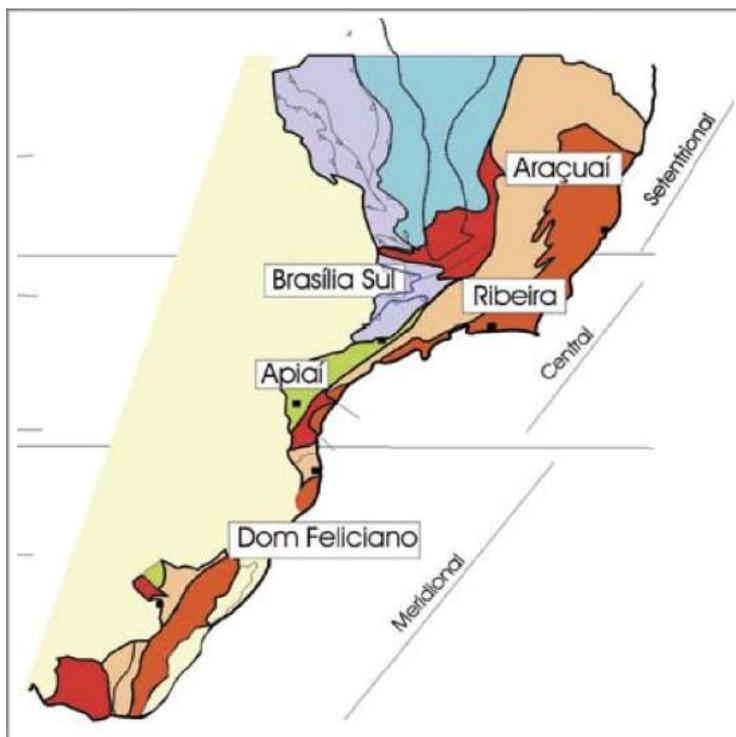
### 3.1.2. Arcabouço Tectônico da Região Sudeste

O sistema orogênico da Mantiqueira se estende entre as regiões Sul e Sudeste do Brasil, tem aproximadamente 3.000km de comprimento, 200km de largura na parte sul e 600km na parte norte. A oeste faz limite com o Cráton de São Francisco, com a porção sul da Faixa Brasília (sistema orogênico Tocantins) e com a cobertura sedimentar da bacia do Paraná. Em Santa Catarina e no Rio Grande do Sul, a continuidade do sistema orogênico da Mantiqueira está oculta justamente por essa cobertura sedimentar da bacia do Paraná. A leste faz limite com a Província Margem Continental Leste, onde se reconhece que o sistema tem continuidade, mas não está caracterizado por se encontrar submerso (HASUI, 2010).

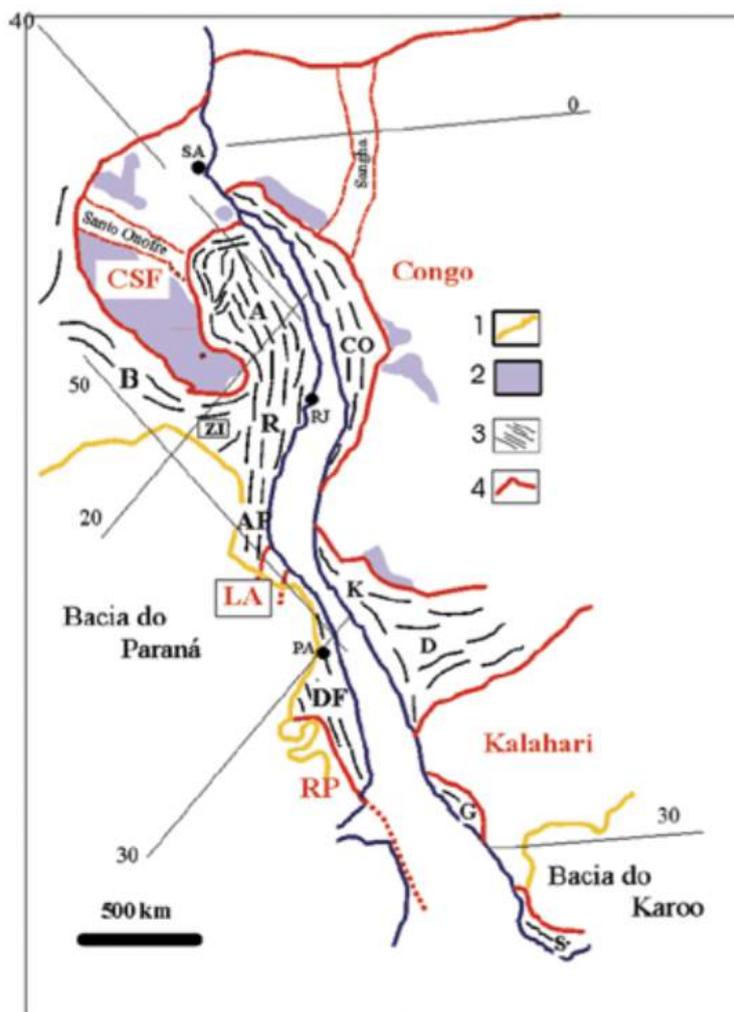
O sistema orogênico da Mantiqueira pode ser dividido em três partes: a parte setentrional, formada pelo orógeno Araçuaí, a parte central, formada pelos orógenos Ribeira, Brasília Sul e Apiaí e a parte meridional, formada pelos orógenos São Gabriel e Dom Feliciano (Figura 4) (HEILBRON et al., 2004).

Segundo Heilbron et al. (2000) o Estado do Rio de Janeiro encontra-se inserido na parte Central do sistema orogênico da Mantiqueira, na porção denominada de Faixa Ribeira. Entretanto, é necessário apontar que para Schmitt et al. (2008a), o Domínio Tectônico Cabo Frio (DTCF), localizado na porção leste do estado e onde encontra-se a área estudada neste trabalho, tem afinidade com terrenos africanos, sendo assim, apresenta um registro geológico exótico ao encontrado na Faixa Ribeira.

Na Figura 5, observa-se um contexto de Gondwana Ocidental, e em particular a relação entre o Brasil e a África. Pela figura, é possível observar os orógenos Ribeira (R), Araçuaí (A), Brasília (B) e Apiaí (AP) e na África os orógenos do Congo (CO) e Kaoko (K). Nesse cenário, o cráton de São Francisco teria como correspondente na África o cráton do Congo, ambos de idade Neoproterozoica.



**Figura 4:** Subdivisão do Sistema Orogênico Mantiqueira: o segmento setentrional é o Orógeno Araçuaí; o segmento central inclui a porção sul do Orógeno Brasília e os orógenos Ribeira e Apiaí; e o segmento meridional inclui os orógenos Dom Feliciano e São Gabriel. As cores roxa e laranja indicam os terrenos que alojam os arcos magmáticos neoproterozoicos (Heilbron et al., 2004).

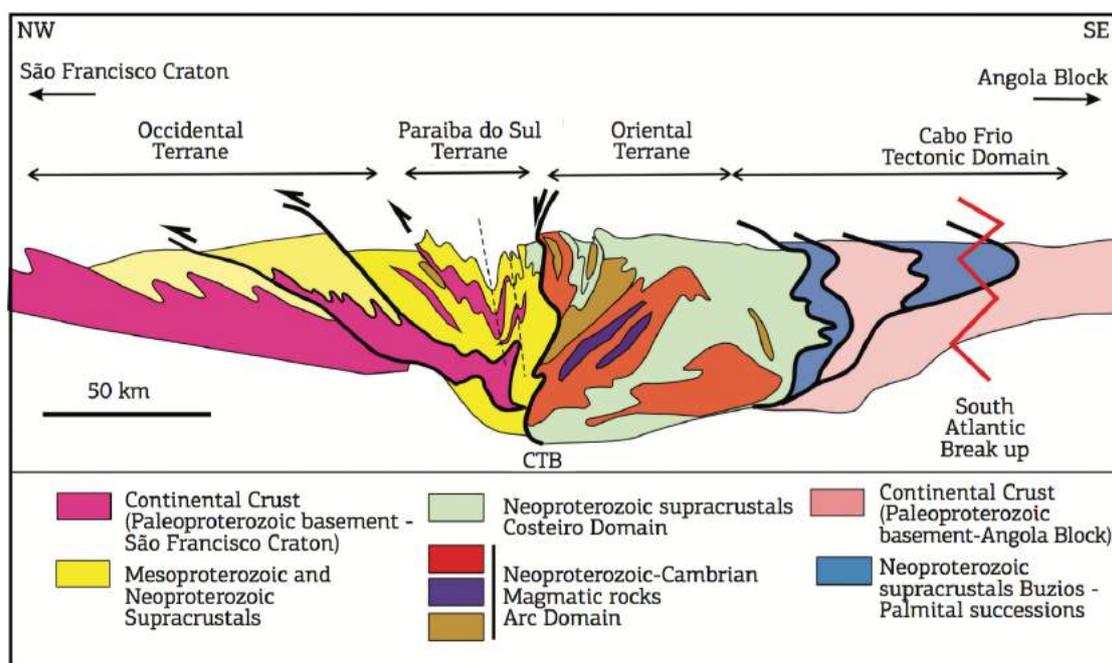


**Figura 5:** Localização dos orógenos do Sistema Orogênico Mantiqueira no contexto do Gondwana Ocidental (extraído de Heilbron et al., 2004; modificado de Trompette, 1994). 1- Bacias fanerozóicas. 2- Coberturas cratônicas. 3- Orógenos neoproterozoicos (B- Brasília, A- Araçuaí, R- Ribeira, ZI- Zona de Interferência, AP- Apiaí, DF- Dom Feliciano). 4- Crátons neoproterozoicos (CSF- São Francisco, LA- Luis Alves, RP- Rio de La Plata). Na África localizam-se as faixas neoproterozoicas do Congo Ocidental (CO), Kaoko (K), Damara (D), Garipe (G) e Saldania (S), relacionadas aos crátons do Congo e Kalahari.

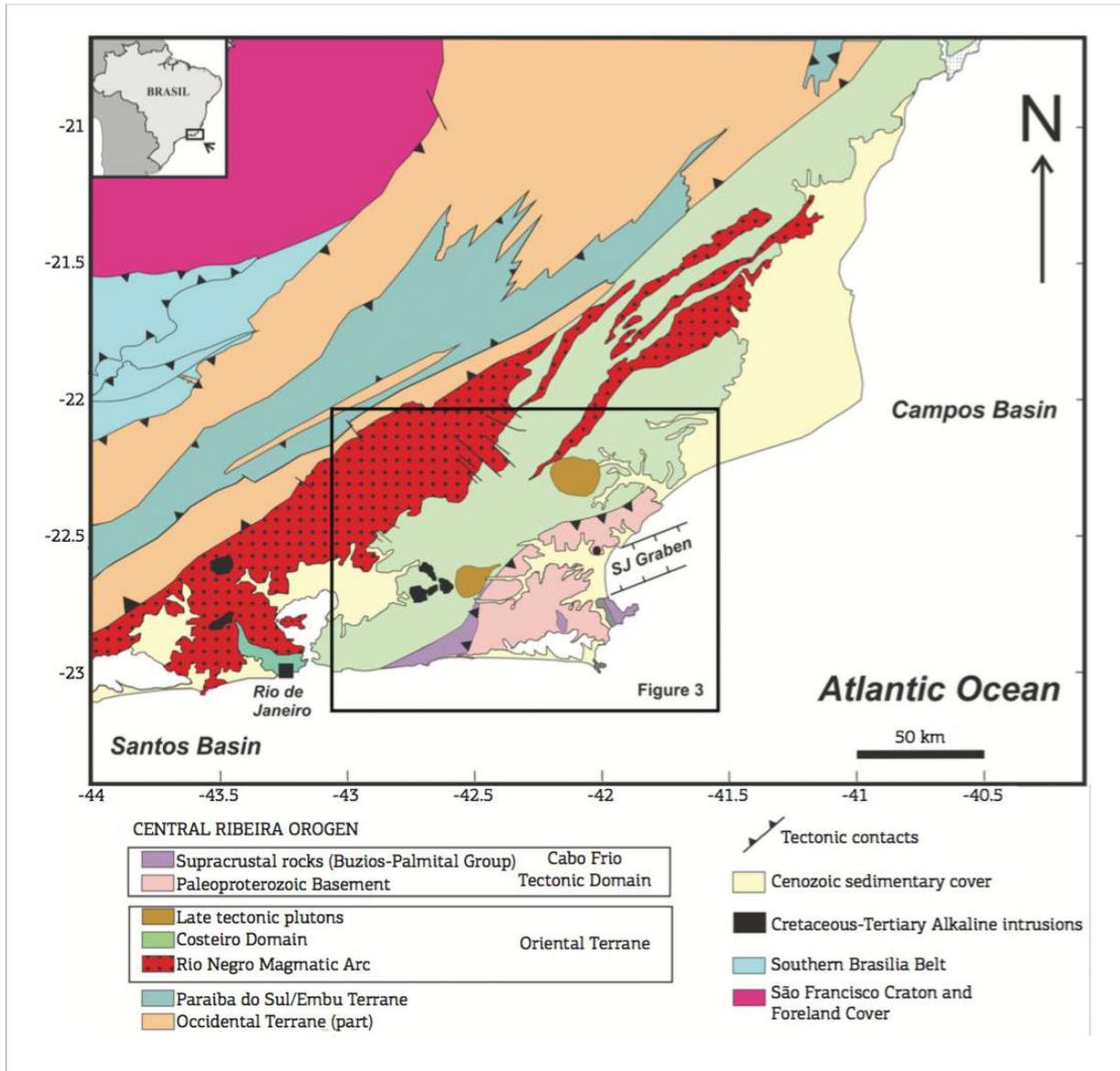
### 3.1.3. A Faixa Ribeira

A Faixa Ribeira (Figuras 6 e 7) possui uma extensão de aproximadamente 1.400 km ao longo da margem Atlântica da Região Sudeste e se desenvolveu na borda sudeste do Cráton do São Francisco. Pertence ao Sistema Orogênico da Mantiqueira, tendo se formado pela aglutinação de parte do Gondwana Ocidental durante a orogênese Panafricana-Brasiliana, entre o Neoproterozóico e o Cambriano. Compreende um conjunto de terrenos tectônicos empilhados sucessivamente sobre a margem sudeste do Cráton de São Francisco, resultado da interação deste paleocontinente com outra(s) (micro)placa(s) (HEILBRON et al., 2004).

O segmento central da Faixa Ribeira é constituído por quatro unidades tectônicas principais, limitadas por empurrões ou zonas de cisalhamento dúcteis oblíquas de alto ângulo, imbricados para NW/W em direção ao Cráton de São Francisco: o Terreno Ocidental, a Klippe Paraíba do Sul, o Terreno Oriental e o Domínio Tectônico de Cabo Frio (HEILBRON et al., 2000, 2004; SCHMITT, 2001). Os três primeiros foram amalgamados entre 605 e 580 M.a. (MACHADO et al., 1996; HEILBRON & MACHADO, 2003), enquanto que o último só foi tardiamente colado ao orógeno, já no Cambriano, há cerca de 530 M.a. (SCHMITT, 2001).



**Figura 6:** Modelo proposto para uma seção ao longo do Orógeno Ribeira, indo desde o Cráton de São Francisco a NW, até o Bloco Angola a SE (SCHMITT et al., 2016).



**Figura 7:** Configuração tectônica do Sudeste do Brasil, com o O Graben de Barra de São João indicado (SJ Graben), e a falha do Pai Vitório representando o limite sul do graben (SCHMITT et al., 2016).

#### 3.1.4. O Domínio Tectônico Cabo Frio (DTCF)

O Domínio Tectônico Cabo Frio (Figura 8) compõe o terreno mais a leste do que é conhecido como Orógeno Ribeira (Figura 6), este último composto pelo Terreno Ocidental (Embasamento Neoproterozoico retrabalhado, sob condições de metamorfismo de alto grau), Domínio Paraíba do Sul (Composto de unidades granulíticas, tectonicamente sobrepostas ao Terreno Ocidental), Terreno Oriental (Intrusões magmáticas Neoproterozoicas a Ordovicianas e sucessões de sedimentos vulcânicos do Neoproterozoico) e DTCF (SCHMITT et al., 2016).

Na sua porção central, o Orógeno Ribeira é formado por uma composição de embasamento e terrenos relacionados à um arco magmático, dispostos ao longo de uma seção NW-SE (HEILBRON et al., 2008).

O DTCF faz fronteira com o setor chamado de Terreno Oriental a Oeste, e a Leste é parcialmente coberto por depósitos vulcânicos e sedimentares Meso-Cenozoicos das bacias da margem continental brasileira. Suas principais características são a ocorrência de embasamento Paleoproterozoico e a ausência de plutons do Neoproterozoico. O domínio apresenta duas unidades litoestratigráficas dominantes, que são os ortognaisses Paleoproterozoicos do embasamento e as sucessões vulcano-sedimentares do Neoproterozoico, de alto grau metamórfico (Unidades Búzios e Palmital). O contato entre essas duas unidades é marcado pela presença de zonas de cisalhamento com forte deformação (SCHMITT et al., 2016).

Heilbron et al. (2008, 2010) interpretou o DTCF como a plataforma continental do Craton do Congo, parcialmente retrabalhada durante o Brasiliano devido à uma subducção em direção à África. O terreno foi acrecionado ao Orógeno Ribeira a cerca de 520 M.a. Schmitt et al. (2008), concorda com a raiz africana do DTCF, porém propõe que este foi amalgamado à Faixa Ribeira devido à uma subducção em direção ao continente americano, e que este foi acrecionado ao Orógeno Ribeira a cerca de 520 M.a.

#### 3.1.4.1. Evolução Tectônica Durante o Paleoproterozoico

A unidade geológica mais antiga conhecida do DTCF é um complexo de ortognaisses, graníticos em sua maioria, pertencentes ao Complexo Região dos Lagos (FONSECA et al., 1979). Essa crosta continental foi formada durante o Orosiriano, e é composto por séries magmáticas com afinidade cálcio-alcálica (SCHMITT et al., 2004, 2008b).

O litotipo mais antigo observado no DTCF é um grupo de anfibolito e biotita quartzo diorítico e também ortognaisses tonalíticos, com grãos de médio a grosso e textura equigranular. Apresenta foliação, que é interpretada como de origem ígnea, e esta é cruzada por outros granitóides do Complexo Região dos Lagos. Já o litotipo predominante é composto por ortognaisses graníticos, que variam de granodioríticos a sienograníticos em sua composição, com unidades quartzo-monzoníticas subordinadas. Todas essas rochas apresentam idade de cristalização que variam entre 2,0 e 1,95 G.a. (SCHMITT et al., 2016).

A ausência registros que indiquem eventos metamórficos antes do Cambriano indica que o DTCF pode ter sido resultado de uma acreção de margem durante o Paleoproterozoico (SCHMITT & ARMSTRONG, 2014). Além disso, a ausência de relação temporal entre o DTCF e o Bloco Angola com as unidades litológicas do Craton de São Francisco e suas margens retrabalhadas podem indicar que estes foram separados por um oceano.

#### 3.1.4.2. Evolução Tectônica entre o Neoproterozoico e o Cambriano

Após a consolidação da crosta Paleoproterozoica, não há evidências de unidades litológicas durante o Mesoproterozoico. A primeira evidência litológica após isso são os diques toleíticos que cortam as rochas do embasamento, mas não as rochas supracrustais do Neoproterozoico, corroborando a hipótese de que as rochas supracrustais são nappes que surgiram no final do Cambriano. Análises de U-Pb indicam que a idade desses diques é neoproterozoica, entre 590 e 560 M.a. (SCHMITT et al., 2016).

A unidade supracrustal foi depositada no fim do Neoproterozoico, apresentando idade máxima de deposição 570 M.a. A unidade inclui gnaisses máficos e paragnaisses. Quatro litofácies composicionais foram identificadas, sendo elas rochas aluminosas contendo cianita e/ou

sillimanita, rochas calcio-silicáticas, rochas quartzo-feldspáticas e metabasitos (SCHMITT et al., 2008a), e baseando-se nas proporções observadas entre essas litofácies, definiram-se duas unidades, denominadas Unidade Búzios e Unidade Palmital.

A Unidade Búzios é composta principalmente de paragnaisses pelíticos, contendo sillimanita, cianita, granada e biotita. Também ocorrem metabasitos, como camadas de desde poucos centímetros até metros de espessura, intercalados com sedimentos meta-aluminosos e rochas calcio-silicáticas ou em pacotes mais homogêneos de até 40 m de espessura (SCHMITT. et al., 2016).

A Unidade Palmital é principalmente composta de granada-sillimanita-biotita paragnaisses leucocráticos a mesocráticos, com intercalações de camadas de quartzito feldspático e calcio-silicatos esverdeados (SCHMITT. et al., 2016).

Fernandes et al. (2015) propôs que as unidades Búzios e Palmital foram formadas em ambientes tectônicos distintos. A primeira foi depositada por volta de 600 M.a., em um ambiente extensional, já a segunda foi depositada em um ambiente convergente entre 590 a 550 M.a., que culminou com uma colisão continental, conhecida como Orogenia Búzios.

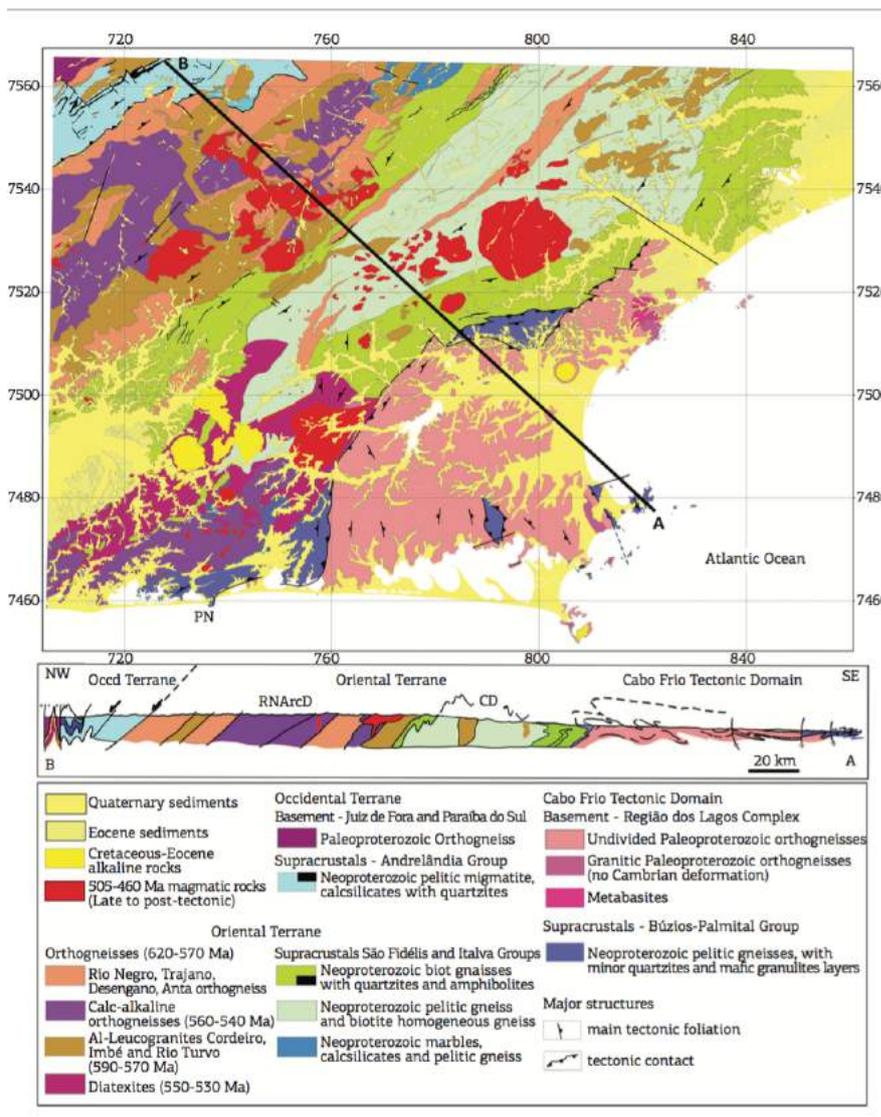
Uma série de eventos tectônicos ocorridos no final do Brasiliano é considerada a responsável pela evolução metamórfica e deposicional do DTCF, já que as unidades Búzios e Palmital são alóctones em relação ao embasamento, provenientes de partes distais da margem continental e também de áreas mais profundas da litosfera. Esses eventos resultaram na deposição das unidades acima do embasamento do DTCF (SCHMITT. et al., 2016).

#### 3.1.4.3. Evolução Tectônica Durante o Mesozoico e o Cenozoico

O DTCF encontra-se atualmente parcialmente exposto na margem continental brasileira. Este apresenta unidades tanto sedimentares quanto magmáticas relacionadas a um grande evento extensional que teve seu início no Cretáceo Inferior e culminou com o rifteamento do paleocontinente Gondwana e a consequente abertura do Atlântico Sul. Durante o rifteamento, ocorreram derrames de lava que vieram a formar basaltos toleíticos, e estes são encontrados tanto no DTCF quanto na Faixa Ribeira sob a forma de diques máficos, com orientação prefe-

rencial NE-SW, e dando origem ao Enxame de Diques Serra do Mar, que data do Cretáceo Inferior (148 a 132 M.a.) (SCHMITT. et al., 2016).

Após isso, um evento extensional pós-rifte causou reativação do embasamento Pré-Cambriano entre o Neocretáceo e o Cenozoico, tendo como ápice a formação do Sistema de Riftes Cenozoicos do Sudeste (RICOMINI et al., 2004), que é caracterizado por uma série de grabens e horsts próximos à costa, com orientação ENE, que são sistematicamente segmentados por falhas com orientação NW-SE. O Graben de Barra de São João (MOHRIAK & BARROS, 1990), um dos grabens que fazem parte desse sistema, é particularmente importante pois sua formação afetou o embasamento do DTCF e é localizado próximo à costa, formando um sistema de falhas com orientação ENE e E-W, como a Falha do Pai Vitório e a Falha Araruama (Souza, 2011).



**Figura 8:** Mapa geológico detalhado do Domínio Tectônico de Cabo Frio e parte do Terreno Oriental do Orógeno Ribeira (SCHMITT et al., 2016).

### 3.2. Geologia Local

O Mangue de Pedra situa-se geologicamente no que é conhecido como Domínio Tectônico de Cabo Frio, e próximo a área do manguezal encontra-se a Falha do Pai Vitório, uma feição importante na geologia da região, pois representa o limite sul do Graben de Barra de São João. Esta estrutura apresenta direção N70E e estrias com obliquidades variadas, que demonstram movimentações predominantemente normais com variações direcionais (RUBIN et al. 2003).

Rubin e Almeida (2003) identificaram seis unidades litológicas ao longo da zona da falha:

- (a) Ortognaisse migmatítico com intrusões pegmatíticas e diques anfíbolíticos, seguida por intensas zonas de fraturamento que são perpendiculares ao plano de falha. Análises petrográficas apontam para uma redução gradativa do teor de quartzo em detrimento de um aumento do teor de feldspato conforme caminha-se em direção ao plano de falha.
- (b) Conforme aproxima-se do plano de falha, o gnaisse torna-se altamente fraturado e lixiviado, adquirindo coloração amarelada devido à perda de biotita. Nesta unidade é possível notar a presença de clastos centimétricos matriz suportados, sendo a matriz fina. Estes clastos são resultados de paleobrechas, o que aponta para a recorrência de reativações da falha.
- (c) Brechas de coloração marrom são observadas próximo ao plano de falha. Nestas brechas é possível encontrar clastos milimétricos matriz suportados, sendo a matriz formada por material silicoso e amorfo, de coloração marrom.
- (d) Arenito conglomerático intercalado com gnaisse brechado, intercalações essas de tamanho decimétrico. Trata-se de um arenito lítico-feldspático, com coloração rosada e litoclastos de brechas com centímetros de tamanho e arredondados.
- (e) Ultracataclasitos observados no plano de falha, aflorando sob a forma de bolsões no núcleo desta. Apresenta cor marrom avermelhada, e tem como principal característica a pouca presença de clastos, sendo constituída quase que integralmente por uma matriz de material silicoso e amorfo. A origem desse material provavelmente está relacionado com as intensas reativações da falha ao longo do tempo.
- (f) Localmente, aflora uma brecha caracterizada por intenso fraturamento em forma de treliça, e este formou espaços que foram preenchidos por material ferruginoso.

A seção completa da Falha do Pai Vitório tem aproximadamente 60 m de espessura, sendo o núcleo da brecha e ultracataclasitos têm espessura em torno de 3 m, apresentam forma tabular e valores de mergulho em média de 70° NW (RUBIN & ALMEIDA, 2003).

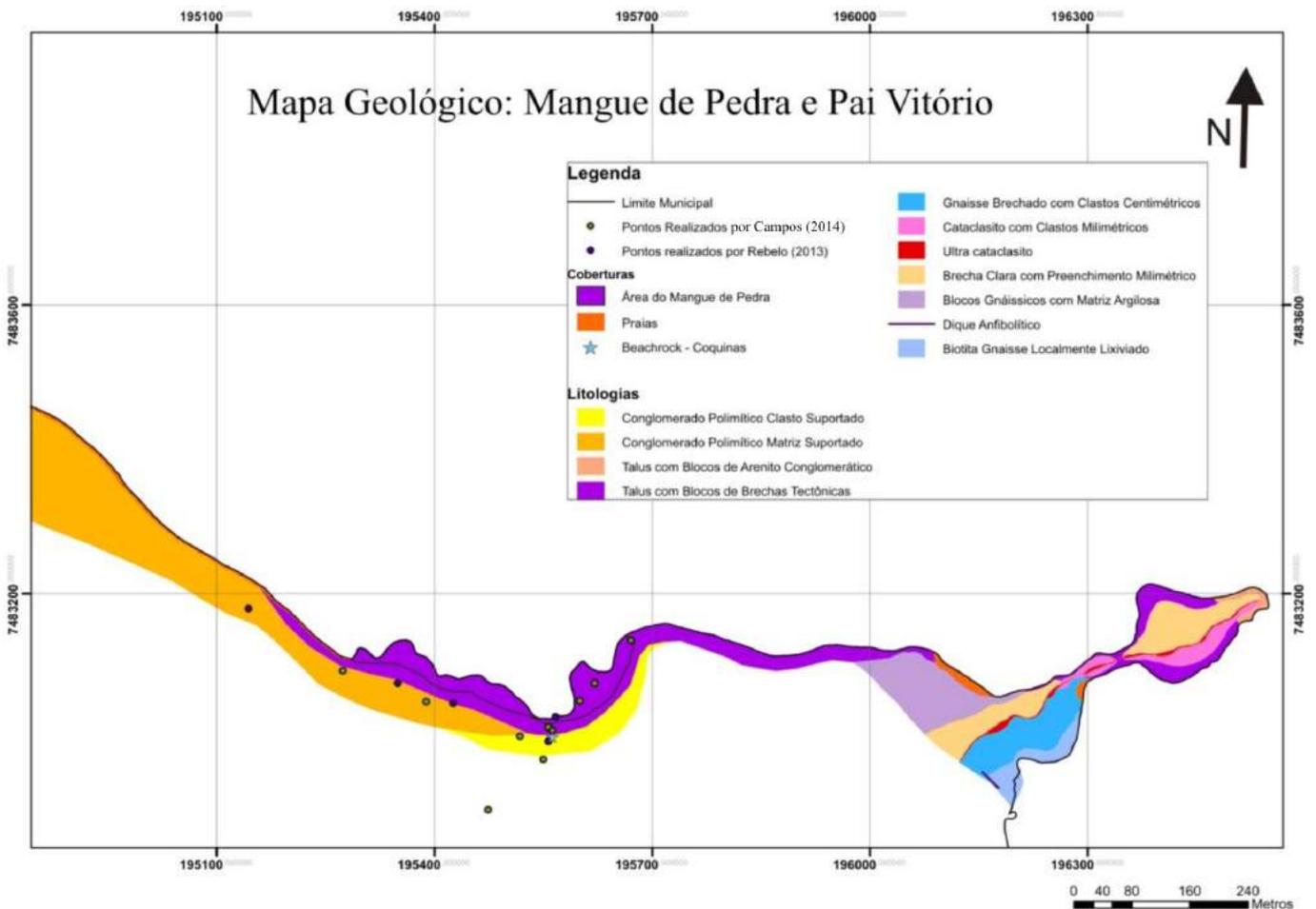
A Falha do Pai Vitório é responsável por colocar em contato rochas do embasamento, como ortognaisses e ortoanfibolitos paleoproterozoicos de cerca de 2 G.a. de idade (SCHMITT, 2001) com sedimentos conglomeráticos de origem fluvial da Formação Barreiras, cuja idade é atribuída ao Mioceno, de cerca de 20 a 2 M.a. (DIAS, 2009). A relação entre a Falha do Pai Vitório e os sedimentos da Formação Barreiras é de grande importância para a geologia local, porque o rebaixamento de um lado da falha normal permitiu o acúmulo de sedimentos na forma de leques aluviais condicionados à escarpa da falha. Além disso, a ocorrência dos depósitos fluviais da Formação Barreiras próximo à praia indica que a deposição deste ocorreu numa época em que o nível do mar era inferior ao atual, sendo assim os rios da região depositavam seus sedimentos onde hoje está encoberto pelo mar (MORAIS & MELLO, 2003).



**Figura 9:** Embasamento paleoproterozoico observado na área imediatamente ao sul da falha do Pai Vitório (BENFEITA, 2017).



**Figura 10:** Sedimentos conglomeráticos da Formação Barreiras, observado no leito do Mangue de Pedra (Foto: Kátia Mansur).



**Figura 11:** Mapa geológico da região do Mangue de Pedra e da Falha do Pai Vitório (Campos 2014).

## 4. EMBASAMENTO TEÓRICO

### 4.1. Manguezais

O manguezal é definido com um ecossistema costeiro sujeito ao regime de marés, e que se desenvolve geralmente em áreas abrigadas como estuários, deltas, baías e lagunas (TOMLINSON, 1986). As florestas de mangue tem sua distribuição geográfica abrangendo as regiões tropicais e subtropicais da Terra, ocorrendo em regiões onde observa-se a interação mar-continente (GIRI et al., 2011).

Estima-se que aproximadamente 70% das zonas costeiras tropicais e subtropicais do planeta sejam ocupadas por manguezais (LACERDA & SCHAEFFER-NOVELLI, 1999), correspondendo a 14 milhões de hectares em todo o mundo (GIRI et al., 2011). Em relação ao Brasil, estima-se que a área ocupada por manguezais seja de aproximadamente 13.000 km<sup>2</sup> (LACERDA et al., 2006). Ocorrem praticamente ao longo de todo o litoral brasileiro, existindo desde a foz do Rio Oiapoque, no Estado do Amapá, até o Estado de Santa Catarina, tendo como limite sul o município de Laguna (Figura 12).



**Figura 12:** Distribuição dos manguezais na costa brasileira (MMA, 2001).

#### 4.1.1. Condições de Ocorrência

A ocorrência ou ausência dos manguezais está relacionada a uma série de fatores. Para Cintrón e Schaeffer-Novelli (1985), a ocorrência das florestas de mangue nas regiões tropicais do planeta, onde a temperatura não é um fator limitante, deve-se em grande parte a disponibilidade de fatores fundamentais para a existência desse tipo de ecossistema, como a fisiografia adequada, a presença de água salgada, a grande amplitude de marés, a influência fluvial, a disponibilidade de água doce, o tipo de sedimentação e a presença de proteção adequada. Além disso, segundo Alongi (2009), os manguezais são limitados globalmente por correntes oceânicas e por uma isoterma da água do mar de 20° durante o inverno.

Cintrón e Novelli (1983) citando Chapman (1940) classificam o substrato dos manguezais em quatro tipos, o tipo pedregoso, o pantanoso, o arenoso e o turfoso. Porém sabe-se que apenas o pantanoso e o turfoso são os que possibilitam a existência de bosques bem desenvolvidos, enquanto que em substratos pedregosos e arenosos as árvores costumam atingir apenas pequenas estaturas (Sendo o Mangue de Pedra uma exceção a essa regra). Apesar disso, com o processo de colonização, o manguezal pode mudar a natureza do seu substrato através da deposição de sedimentos finos e de matéria orgânica, possibilitando assim que os bosques alcancem um maior porte (SOFFIATI, 2012).

Devido a isso, conclui-se que para a ocorrência dos manguezais, apenas são de fato imprescindíveis as condições relacionadas às temperaturas intertropicais e a baixa energia marinha (SOFFIATI, 2012).

#### 4.1.2. Tipos Fisiográficos

Das classificações fisiográficas dos manguezais, duas se destacam: o sistema descrito por Thom (1982) e o sistema de Lugo e Snedaker (1974). Thom (1982) classificou os manguezais utilizando escalas regionais, sendo elas as geofísicas, que leva em consideração as mudanças que ocorrem nos níveis das marés; as geomorfológicas, que observa diferenças nas características dos sedimentos; e as biológicas (PELLEGRINI et al., 2009).

Já o sistema de Lugo e Snedaker (1974), utiliza escalas locais, e divide os manguezais de acordo com fatores topográficos associados com variações no nível do mar, hidrologia e ca-

racterísticas bióticas. Seu sistema gerou seis diferentes tipos: ribeirão, franja, bacia, ilhote, anão e rede. Cintrón et al. (1985) propuseram a divisão em apenas três tipos de manguezal, levando em consideração os processos físicos dominantes em cada ambiente. São eles: ribeirão, franja e bacia.

De acordo com Cintrón et al. (1985), o manguezal do tipo ribeirão apresenta florestas bem desenvolvidas, devido a grande entrada de nutrientes e baixos níveis de salinidade, favorecendo o desenvolvimento da vegetação.

O manguezal do tipo franja ocorre ao longo de costas protegidas ou ao redor de ilhas oceânicas. Esses locais são caracterizados em geral pela alta salinidade, por serem próximos ao mar, e possuem entrada de nutrientes inferior ao tipo ribeirão. São manguezais constantemente inundados durante as oscilações das marés, e apesar disso não sofrem com a acumulação de sal durante esses períodos.

O manguezal do tipo bacia é caracterizado pela presença de florestas que se desenvolvem ao longo de depressões, onde o fluxo de água pode ser sazonal, e podendo esta também ficar acumulada e escoar lentamente ao longo do tempo. O tipo bacia apresenta um menor fluxo das marés se comparado aos outros dois tipos (ribeirão e franja), podendo assim estar restrito a marés mais altas. Manguezais do tipo bacia necessitam de entrada de água da chuva para se desenvolverem, portanto, este tipo de manguezal se desenvolve melhor em locais onde as taxas de precipitação excedem o potencial de evapotranspiração (CINTRÓN & SCHAEFFER-NOVELLI, 1992).

#### 4.1.3. Importância

Os manguezais desempenham diversas funções naturais de grande importância tanto na ecologia quanto na economia (PEREIRA FILHO & ALVES, 1999). Dentre essas funções, os autores destacaram:

**Proteção da Linha de Costa:** A vegetação dos manguezais atua como uma barreira, ajudando a conter a ação erosiva das ondas e marés, protegendo contra a ação dos ventos e reduzindo o impacto de desastres naturais, como tsunamis e furacões.

**Área de Concentração de Nutrientes:** Devido a sua localização em zonas estuários, os manguezais recebem águas provenientes de rios e do mar, ricas em nutrientes. Aliado a essa localização privilegiada, a vegetação local apresenta produtividade elevada, sendo considerada a principal fonte de carbono do ecossistema. Esses fatores tornam as áreas de manguezais ricas em nutrientes.

**Renovação de Biomassa Costeira:** Por serem áreas de águas rasas e calmas, ricas em alimentos, os manguezais fornecem condições ideais para a reprodução e desenvolvimento de diversas espécies, atuando como berçários naturais. Algumas dessas espécies são inclusive de interesse econômico, como peixes e crustáceos.

**Retenção de Sedimentos Carregados pelos Rios:** Como resultado da baixa atividade hidrodinâmica observada nas áreas dos manguezais, as partículas carregadas acabam precipitando e somam-se ao substrato. Esse tipo de sedimentação possibilita a ocupação e a propagação da vegetação, viabilizando a estabilização da vasa lodosa a partir do sistema radicular dos mangues.

**Áreas de Alimentação, Abrigo, Nidificação e Repouso de Aves:** As espécies que ocorrem nesse ambiente podem ser endêmicas, ou seja, estreitamente ligadas ao sistema, ou também podem ser visitantes e migratórias, onde neste caso os manguezais atuam como importantes mantenedores da diversidade biológica.

**Ação Depuradora:** O ecossistema dos manguezais funciona como um filtro biológico, onde bactérias tanto aeróbias quanto anaeróbias trabalham a matéria orgânica presente, e a lama promove a fixação e a inertização de partículas contaminantes, como metais pesados.

#### 4.1.4. Manguezais no Estado do Rio de Janeiro

Os manguezais no Estado do Rio de Janeiro ocupam uma área de cerca de 16 km<sup>2</sup> (KJERFVE & LACERDA, 1993) e observam-se formações mais extensas na região Norte

Fluminense, mais especificamente na foz do rio Paraíba do Sul; na baía de Guanabara, na região Metropolitana do Rio de Janeiro; na baía de Sepetiba, em Guaratiba; e na baía de Ilha Grande, que está localizada nos municípios de Mangaratiba, Angra dos Reis e Paraty e Sul Fluminense (MENEZES et al., 2000).

Essas áreas de manguezal no Estado do Rio de Janeiro têm sofrido com frequentes ações de degradação, dentre as quais o lançamento de efluentes domésticos, aterros de áreas de manguezal para crescimento urbano e desmatamento para utilização da madeira de mangue ou para implantação de pastagem (BERNINI & REZENDE, 2004). No Estado do Rio também é notável a contaminação por óleo e seus derivados nos manguezais, porém o grau de contaminação está diretamente relacionado à localização do manguezal. Próximo à região dos municípios de Angra dos Reis e Paraty, encontram-se manguezais menos impactados ou até não impactados, porém o mesmo não acontece com os manguezais localizados próximos a grandes centros urbanos, principalmente os localizados na baía de Guanabara, onde são observados poluição crônica e eventos agudos relacionados à derramamentos e acidentes que ocorreram no passado (MMA, 2001).

#### **4.2. Hidrogeologia**

A Hidrogeologia é a ciência que estuda a água quanto a sua quantidade, distribuição, composição química e sua movimentação quando se trata de ocorrência subterrânea. Portanto, é a ciência que estuda as águas subterrâneas (aquíferos), seu movimento, ocorrência, propriedades, interações com o meio físico e biológico, assim como os impactos que a ação do homem causa sobre esta, como poluição, contaminação e superexploração (SRHU/MMA, 2007).

O limite entre as zonas não saturadas e saturadas é denominado lençol freático. Quando perfurado um poço raso, o nível de água observado representa a profundidade do lençol freático naquele ponto, e a este nível é dado o nome de nível freático, nível d'água ou nível potenciométrico (IRITANI & EZAKI, 2008). A água presente nas zonas saturadas é denominada água subterrânea, e as camadas que contem essas zonas são chamadas de aquíferos. Sendo assim, os aquíferos podem ser formados por qualquer formação geológica que apresente porosidade, permeabilidade e capacidade para armazenar e transmitir a água subterrânea (SCHÄFER et al., 2009).

Segundo Rebouças et al. (2006), as águas subterrâneas representam uma parcela da hidrosfera que ocorre na superfície da Terra, e elas tem três origens principais: meteórica, conata e juvenil.

Águas de origem meteórica são de longe as mais importantes, representando 97% dos estoques de água doce que ocorrem em estado líquido em continentes e ilhas. Sua origem meteórica indica que essas águas são naturalmente recarregadas pela infiltração de uma fração das precipitações de chuvas, neves e neblinas, principalmente.

Águas conatas são águas que estão retidas ou conatas nos sedimentos desde as épocas de formação dos depósitos. Apresentam elevados teores salinos devido à características herdadas dos paleoambientes nos quais essas águas foram depositadas.

Já as águas juvenis são aquelas geradas pelos processos magmáticos da Terra.

#### 4.2.2. Tipos de Aquífero

Os aquíferos comportam-se de acordo com sua litologia e estruturas geológicas que o contenham, ou conforme a natureza das pressões hidrostáticas, e em alguns casos litostáticas, exercidas sobre a água subterrânea. A classificação litológica de aquíferos leva em consideração sua natureza geológica, e desta forma, pode-se ter (FREITAS, 1997; SRHU/MMA, 2007; GIAMPÁ & GONÇALVES, 2006):

- **Aquíferos Fissurais:** Condicionados à existência de fraturas e/ou falha em rochas que possuem pouca ou nenhuma porosidade;
- **Aquíferos Porosos:** Permitem o armazenamento e a circulação das águas pelos poros vazios entre os grãos sedimentados;
- **Aquíferos Cársticos:** Ocorrem principalmente em rochas carbonáticas, e constituem um tipo de aquífero gerado a partir do contato da água com a rocha, que é dissolvida, formando dutos.

Pode haver ainda aquíferos mistos, com características de mais de um tipo de aquífero.

Quanto à localização e estrutura, estes são classificados como (FREITAS, 1997; SRHU/MMA, 2007; GIAMPÁ & GONÇALVES, 2006):

- **Livres (ou Freáticos):** Localizados mais próximos à superfície, a água assume pressão igual à atmosférica;
- **Confinados:** Apresentam camada confinante onde a água é submetida a uma pressão superior à atmosférica, podendo jorrar sem a necessidade de equipamento de bombeamento quando furado um poço;
- **Semi-confinados:** Quando ocorrem situações intermediárias entre os livres e confinados.

#### 4.2.2. Principais Funções dos Aquíferos

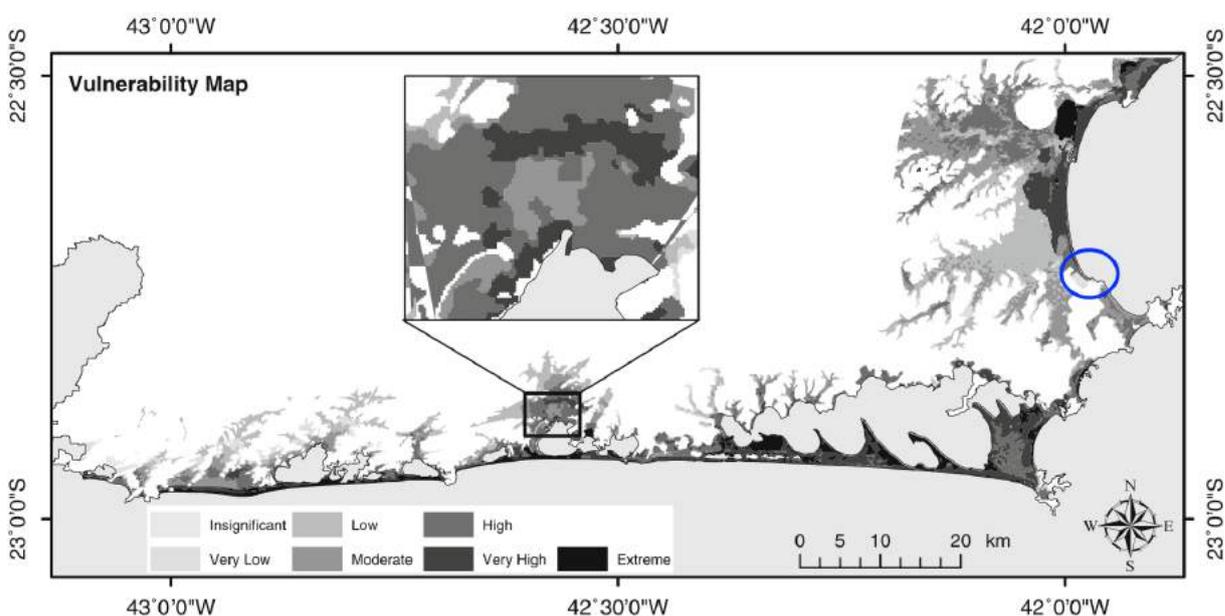
Para Giampá e Gonçalves (2006), os aquíferos podem desempenhar diversas funções. As principais são:

- **Função Produção:** É a função mais tradicional, que visa à exploração dos aquíferos para abastecimento humano, industrial ou para irrigação;
- **Função Filtro:** Ocorre quando se utiliza a capacidade filtrante e de depuração biogeoquímica do maciço natural permeável, como forma de reduzir os custos do tratamento convencional das águas dos mananciais de superfície;
- **Função Estratégica:** É uma utilização complementar do manancial subterrâneo, natural ou artificial recarregado pelas enchentes dos rios ou reutilização de águas tratadas, para fazer face às situações de escassez periódica ou eventual de água nos grandes centros urbanos, bem como de falta de águas resultantes de acidentes ou de grandes picos de demanda;
- **Função Transporte:** Ocorre quando o aquífero é utilizado como tubulação para transportar água das zonas de recarga artificial ou natural abundante para áreas de extração excessiva;
- **Função Energética:** Relacionada à utilização da água subterrânea aquecida pelo gradiente geotermal natural ou mediante a infiltração de água aquecida por sistemas de ar condicionado ou processos industriais;
- **Função Ambiental:** É resultado da percepção do problema ambiental como consequência de uma questão abrangente, isto é, o ambiente não existe como uma esfera desvinculada das ações, ambições e necessidades humanas.

### 4.2.3. Hidrogeologia no DTCF

Em relação à hidrogeologia, o DTCF pode ser dividido em duas unidades principais. A primeira unidade inclui os aquíferos do tipo granular (que ocorrem em rochas sedimentares consolidadas, sedimentos inconsolidados e solos arenosos decompostos *in situ*), localizada nas planícies de origem sedimentar marinha, fluvial e eólica, incluindo os solos e rochas alteradas. Já a segunda unidade inclui os aquíferos do tipo fissural, localizada onde ocorrem as rochas cristalinas ígneas e metamórficas (MANSUR, 2010).

Seabra et al. (2008) afirma que a costa Leste do Estado do Rio de Janeiro apresenta diversos pontos de vulnerabilidade à contaminação, sendo a grande maioria das regiões cobertas com sedimentos marinhos e/ou costeiros classificadas como áreas de extrema ou muito alta vulnerabilidade à contaminação (Figura 13). Isto inclui a área do Mangue de Pedra, reforçando a necessidade de preservação do ecossistema local e de uma melhor gestão dos recursos hídricos da região.



**Figura 13:** Mapa de vulnerabilidade dos aquíferos costeiros da costa Leste do Estado do Rio de Janeiro, na região entre Niterói e Rio das Ostras. O círculo azul destaca a região onde ocorre o Mangue de Pedra (Modificado de SEABRA *et al.*, 2008).

Em Rio das Ostras, Armação dos Búzios e Arraial do Cabo observa-se predominância de ambientes bastante salinizados devido ao avanço da cunha salina. Como consequência, a salinidade da água aumenta em direção ao litoral e com o aumento da profundidade. Este fenô-

meno sofre influência da ocupação na região, pois a exploração do aquífero pelos moradores agrava a tendência à salinização, que sob condições naturais já ocorre no município de Búzios em função do déficit hídrico (SILVA JR., 2003).

### **4.3. Métodos Geofísicos**

Os métodos geofísicos são técnicas indiretas de investigação das estruturas de subsuperfície através da aquisição e interpretação de dados instrumentais, caracterizando-se, portanto, como métodos não invasivos ou não destrutivos. Essa metodologia permite avaliar as condições geológicas locais através dos contrastes das propriedades físicas dos materiais em subsuperfície, como, por exemplo, a condutividade ou resistividade elétrica, permissividade dielétrica, magnetismo e densidade, que podem ter como origem as diferenciações litológicas e outras heterogeneidades naturais ou não (CETESB, 1999).

Uma das principais vantagens da aplicação das técnicas geofísicas em relação aos métodos tradicionais de investigação de subsuperfície, como, por exemplo, as sondagens, é a rapidez na avaliação de grandes áreas com custo relativamente menor. Além disso, os levantamentos geofísicos propiciam a execução de perfis contínuos, possibilitando a identificação com maior precisão das variações laterais decorrentes das mudanças litológicas ou originadas pela presença da contaminação subterrânea. No diagnóstico ambiental de áreas contaminadas, a realização de levantamentos geofísicos tem por objetivo básico a identificação da presença da contaminação subterrânea, além da definição das feições geológicas e hidrogeológicas dos locais investigados. As características do meio geológico, além da natureza da contaminação, podem determinar o comportamento dos contaminantes em subsuperfície.

Nesse contexto, a interpretação dos dados geofísicos pode contribuir para a obtenção de informações sobre a litologia, estratigrafia, profundidade do nível d'água, profundidade do embasamento, presença de falhas ou fraturas, existência de aquíferos importantes, caminhos preferenciais de propagação subterrânea e outras feições geológicas de interesse.

#### **4.3.1. Principais Métodos Geofísicos Para Investigações Ambientais**

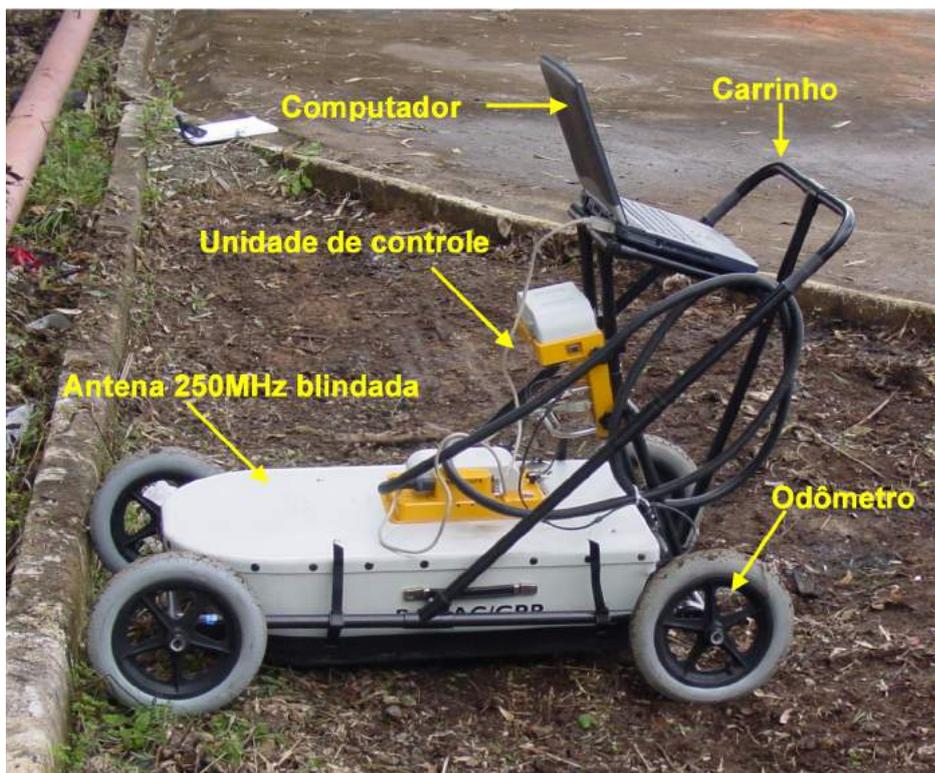
Segundo a CETESB (1999) existe uma variedade de métodos geofísicos que podem ser utilizados nos estudos ambientais. Porém, os principais e mais adequados métodos são o georadar (GPR), o eletromagnético indutivo (EM), a eletrorresistividade (ER) e a magnetometria.

#### **4.3.1.1. GPR (Ground Penetrating Radar):**

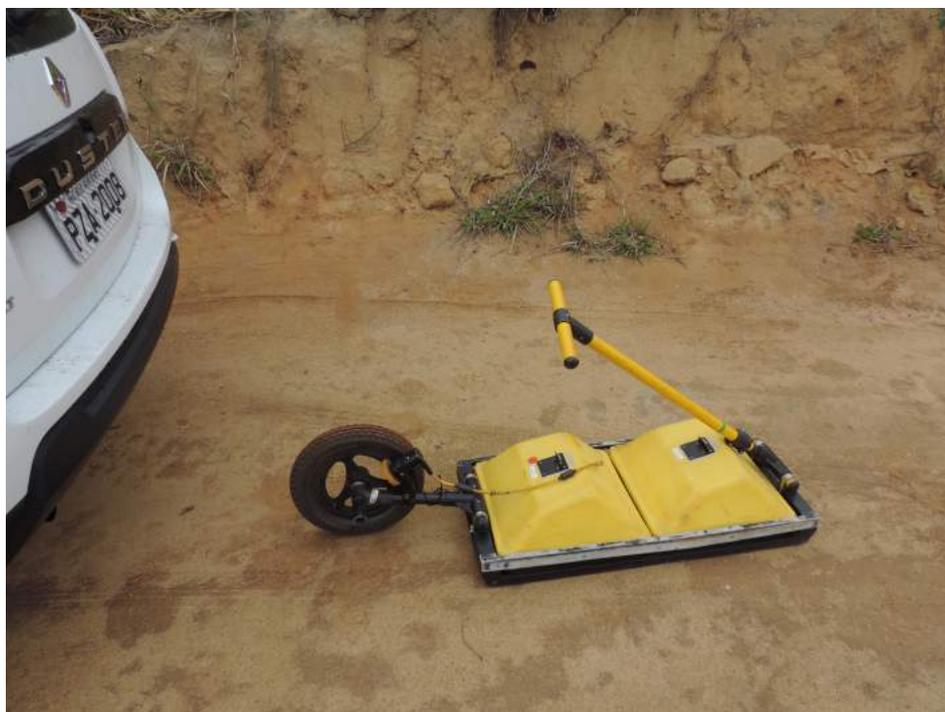
O método do GPR utiliza pulsos de ondas eletromagnéticas em altas frequências, geralmente da ordem de 10 a 2500 MHz, conhecidas como ondas de rádio. É um método de investigação de alta frequência, sendo melhor empregado em aquisições de baixa profundidade (CETESB, 1999).

O princípio do radar é baseado no pulso da onda eletromagnética a uma determinada frequência o qual é transmitida para o meio a ser investigado através de uma antena emissora. Ao incidir em uma interface que separa meios com contrastes significativos de propriedades eletromagnéticas (permissividade dielétrica, permeabilidade magnética e condutividade elétrica) é parcialmente refletido até a superfície, onde é detectado e registrado por uma antena receptora (Figuras 14 e 15) (SOUZA, 2005).

Apresenta como vantagens as medições relativamente fáceis de fazer e não invasivas, a mobilidade do veículo contendo o GPR permite uma boa aquisição de dados num curto espaço de tempo, os dados adquiridos podem ser visualizados no campo em tempo real e permitir uma primeira interpretação no local e por ser um método relativamente rápido e econômico quando comparado com outros métodos de prospecção. Sua aplicação ocorre principalmente em construção e engenharia em geral, levantamentos de meio ambiente, estudos geológicos e arqueológicos e avaliação de áreas industriais, por exemplo (CETESB, 1999). Em relação à água do mar, é importante considerar que aquisições realizadas próximo a áreas com presença de água salgada está sujeita a interferência na leitura do GPR, pois a salinidade da água causa distorção na leitura do equipamento. Por isso, o GPR também é melhor empregado em locais secos ou com água doce.



**Figura 14:** Equipamento de geo-radar da marca *MalaGeoscience*, modelo *RAMAC* (SOUZA, 2005).



**Figura 15:** GPR em campo, da marca *Sensors & Softwares Inc.*

#### 4.3.1.2. Eletromagnético Indutivo:

O método eletromagnético indutivo realiza a leitura de possíveis variações na condutividade elétrica do corpo a ser analisado.

Sua aplicação (Figura 16) consiste da indução de um campo eletromagnético no subsolo. Como campos elétricos tentem a sofrer interferência de materiais metálicos, a principal desvantagem desse método é justamente a interação desse campo eletromagnético com estruturas metálicas, fios de alta tensão, tambores metálicos e outras estruturas, resultando em valores de condutividade muito superiores ao que real. Apesar disso, a aplicação do método Eletromagnético Indutivo em estudos ambientais reside na possibilidade de execução de leituras de condutividade aparente do terreno para diversas profundidades. As principais vantagens desta técnica geofísica são a facilidade de aquisição de dados, realização de leituras em diversas profundidades, versatilidade do equipamento em campo e a possibilidade de varredura de grandes áreas num curto espaço de tempo. Estas vantagens são traduzidas em rapidez e baixo custo (MCNEILL, 1980a).

Pode ser utilizado para definir as condições hidrogeológicas naturais em um meio, localização de resíduos, tambores e tanques enterrados, galerias subterrâneas e delimitação de plumas de contaminação inorgânica (CETESB, 1999).



**Figura 16:** Condutivímetro da marca *Geonics*, modelo EM31 (Fonte: Laboratório de Geofísica, Geotecnia e Tratamento de Minérios da Universidade de Coimbra).

#### 4.3.1.3. Eletrorresistividade:

A Eletrorresistividade é um método de aquisição geofísica baseado na determinação da resistividade elétrica dos materiais. Consiste na injeção de corrente elétrica no solo, e a resposta é medida na forma de diferença de potencial (voltagem) observada também através de contato direto com o solo (Figura 17). Para sua aplicação, utiliza-se dois tipos de arranjos: o Schlumberger, empregado principalmente no método de sondagem elétrica vertical, e o arranjo Dipolo-Dipolo, empregado principalmente no método do caminhamento elétrico (Figura 18).

Sua aplicação ocorre geralmente em situações como caracterização hidrogeológica, determinação dos estratos geológicos, localização de resíduos enterrados e mapeamento de plumas de contaminantes inorgânicos.



**Figura 17:** Resistímetro de campo, modelo *MiniSting R1*, da marca *AGI* (Fonte: AGI).

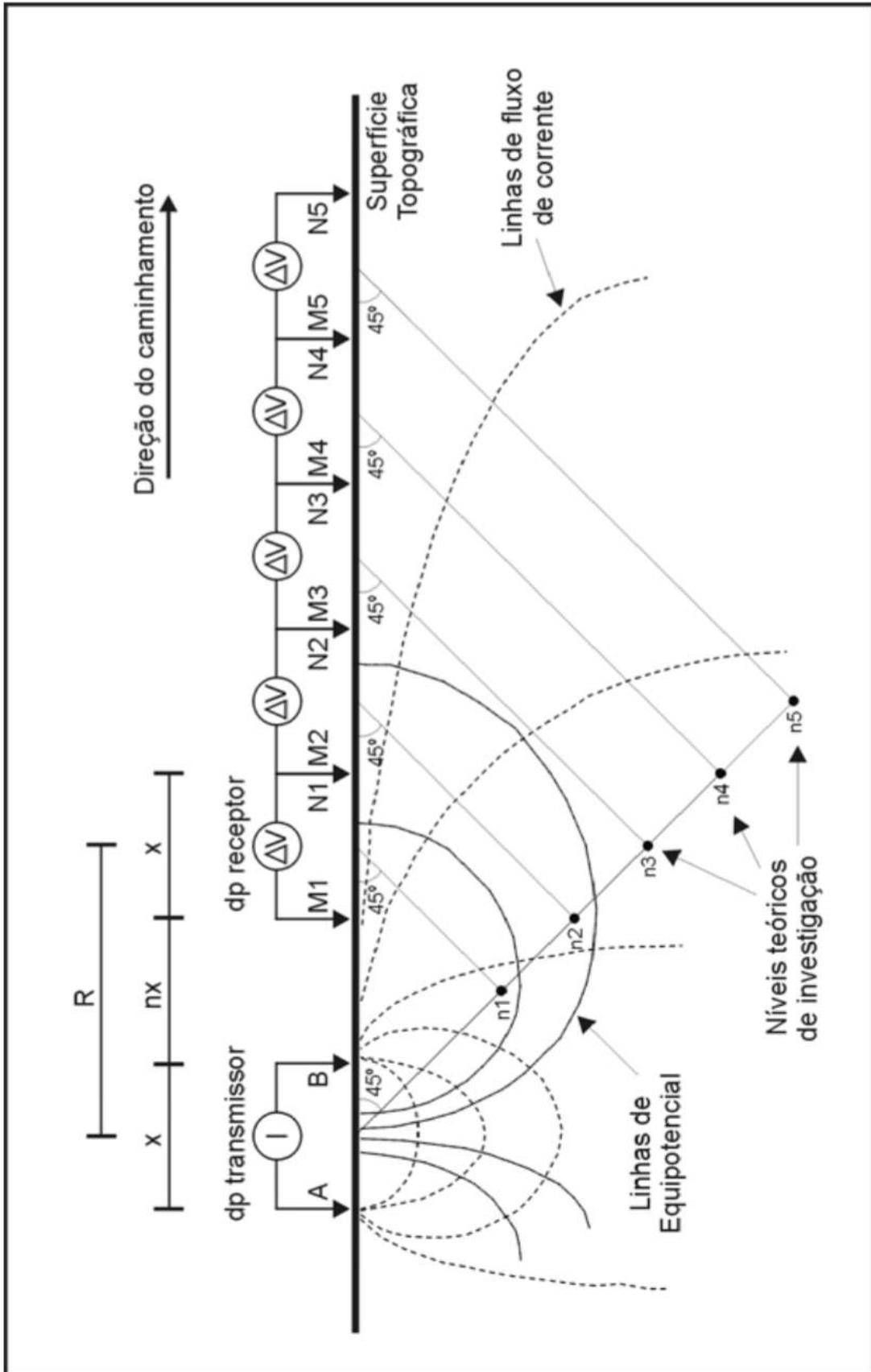


Figura 18: Esquema de arranjo Dipolo-Dipolo, utilizado em caminhamento elétrico (BORGES, 2002).

#### 4.3.1.4. Magnetometria

O método da Magnetometria consiste na aquisição geofísica baseado na leitura da suscetibilidade magnética dos materiais. Mede o movimento de precessão dos elétrons, resultado da diferença de orientação e intensidade da magnetização das rochas em relação ao campo magnético atual da Terra. Com isso, é possível determinar prováveis anomalias em materiais ferromagnéticos (CETESB, 1999).

Trata-se de um método rápido e eficiente de aquisição e processamento das informações, que pode ser usado com eficiência em conjunto com demais métodos geofísicos para a avaliação dos alvos de interesse do levantamento. Suas principais aplicações são na localização de tanques, tambores, de resíduos metálicos ferrosos enterrados, na busca de minerais metálicos, que normalmente apresentam um contraste de suscetibilidade magnética adequado para a investigação geofísica, e na determinação de parâmetros regionais de profundidade média de fontes magnéticas para modelagem de bacias sedimentares e estruturas afins (CETESB, 1999).



**Figura 19:** Magnetômetro modelo *G-858 MagMapper*, da marca *Geometrics* (Fonte: Geometrics).

## **5. MATERIAL E MÉTODOS**

O trabalho foi dividido em 4 etapas, detalhadas abaixo:

### **5.1. Levantamento Bibliográfico**

Essa etapa consistiu no levantamento, leitura e análise de diversos tipos de materiais acadêmicos, como dissertações, monografias, teses, relatórios, dentre outros, e que tivessem relevância para o trabalho, tratando de temas como a geologia, ecologia, hidrogeologia, hidroquímica e história da região. Além disso, notícias de jornais e informações obtidas na internet sobre o tema também foram consideradas.

### **5.2. Criação de Acervo Bibliográfico**

Consistiu no armazenamento de todo tipo de informação relevante ao tema que foi obtido ao longo do trabalho, a fim de servir como material para posterior consulta. Utilizou-se a base cartográfica do município de Armação dos Búzios, além dos mapas geológicos de Heilbron et al. (2004); Schmitt et al. (2016) e de Rubim (2004), modificado por Campos (2014) e Prado (2015).

### **5.3. Etapa de Campo (Levantamento Geofísico)**

O levantamento geofísico foi realizado no Mangue de Pedra, município de Armação de Búzios, Rio de Janeiro, nos dias 24 e 25 de Agosto de 2017, pela empresa Neogeo Geotecnologia. Os métodos geofísicos utilizados foram o GPR e o Caminhamento Elétrico.

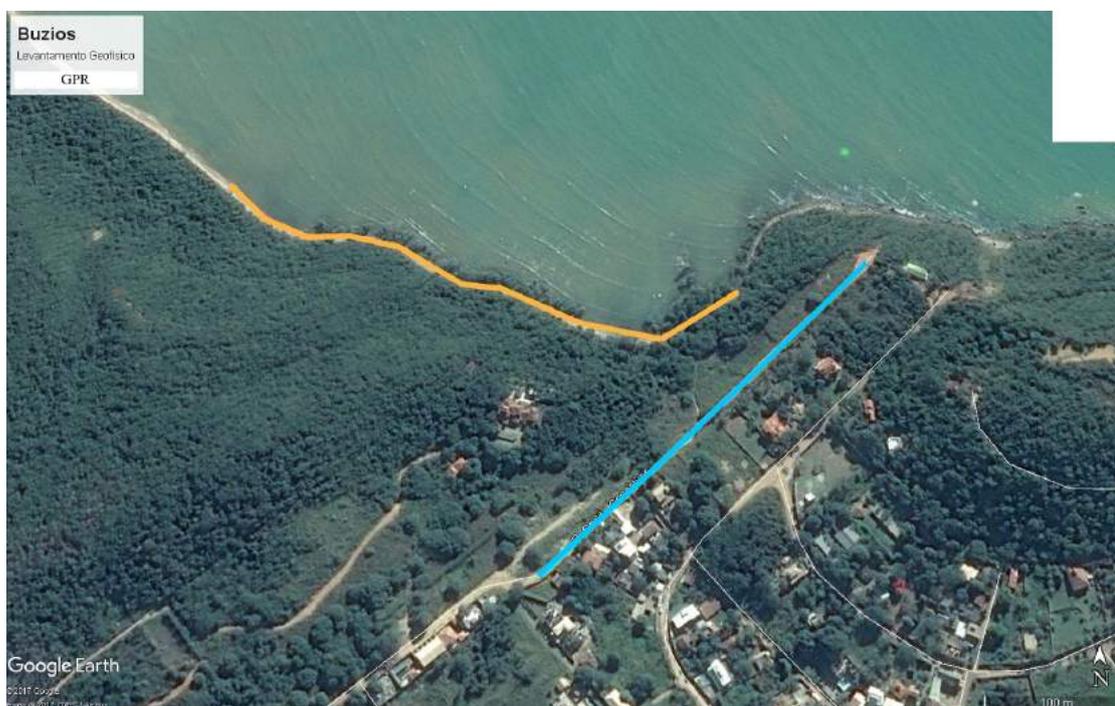
#### **5.3.1. GPR**

Na etapa do GPR, utilizou-se um aparelho da marca *Sensors & Softwares Inc.*, com uma antena de 250 MHz. O procedimento para o levantamento consistiu em arrastar o carrinho ao longo da linha desejada para o levantamento (Figura 20). Os dados obtidos com o levantamento de GPR não serão analisados neste trabalho.

Foram selecionadas duas linhas para a aquisição utilizando o GPR, uma na beira da praia e outra ao longo da rua Carlito Gonçalves (Figura 21).



**Figura 20:** Processo de aquisição dos dados, utilizando o GPR.



**Figura 21:** Linhas utilizadas para aquisição com GPR. A de cor laranja na praia e a de cor azul na rua Carlito Gonçalves.

### 5.3.2. Caminhamento Elétrico

Já o levantamento aplicando o método do Caminhamento Elétrico consistiu de cinco linhas elétricas, três feitas na beira da praia e duas na rua Carlito Gonçalves (Figura 28).

O equipamento deste levantamento consistiu em dois cabos com eletrodos com 77,5 m de comprimento cada, piquetes, cabos conectores, um equipamento *Super Sting R8 IP* (computador que controla o processo e armazena os dados), uma *Switch Box* (responsável por distribuir para os cabos o pulso elétrico), ambos da marca *AGI (Advanced Geosciences Inc.)* e uma bateria de carro de 12V, que representava a fonte de energia para todo o equipamento.

O procedimento do Caminhamento Elétrico consistiu no espalhamento dos cabos ao longo da linha a ser investigada. A cada 2,5 m o cabo continha um eletrodo (Figura 23).

Esses eletrodos eram conectados a piquetes cravados no chão por cabos conectores (Figura 24). Os cabos eram conectados à *Switch Box* e esta ao computador, responsável por controlar o processo e armazenar os dados, que era operado pelo técnico responsável. O computador era conectado à bateria, que fornecia a força para todo o processo (Figura 22). Utilizou-se o arranjo Dipolo-Dipolo para a realização deste caminhamento elétrico.



**Figura 22:** Equipamento utilizado no Caminhamento Elétrico realizado no Mangue de Pedra.



**Figura 23:** Espalhamento dos cabos para a aquisição das linhas elétricas, no Mangue de Pedra.



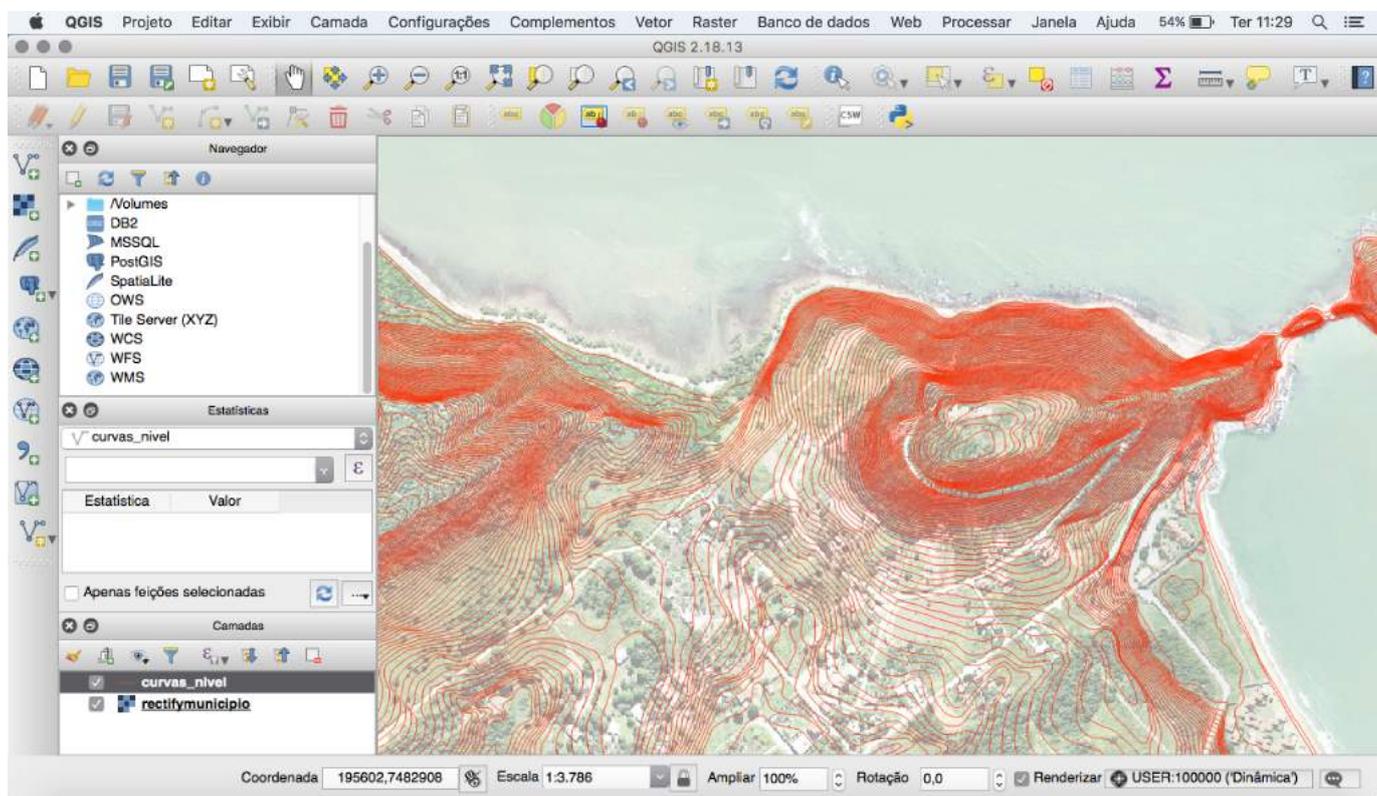
**Figura 24:** Eletrodo, piquete e cabo conector, utilizados na aquisição.

## 5.4. Etapa Pós-Campo

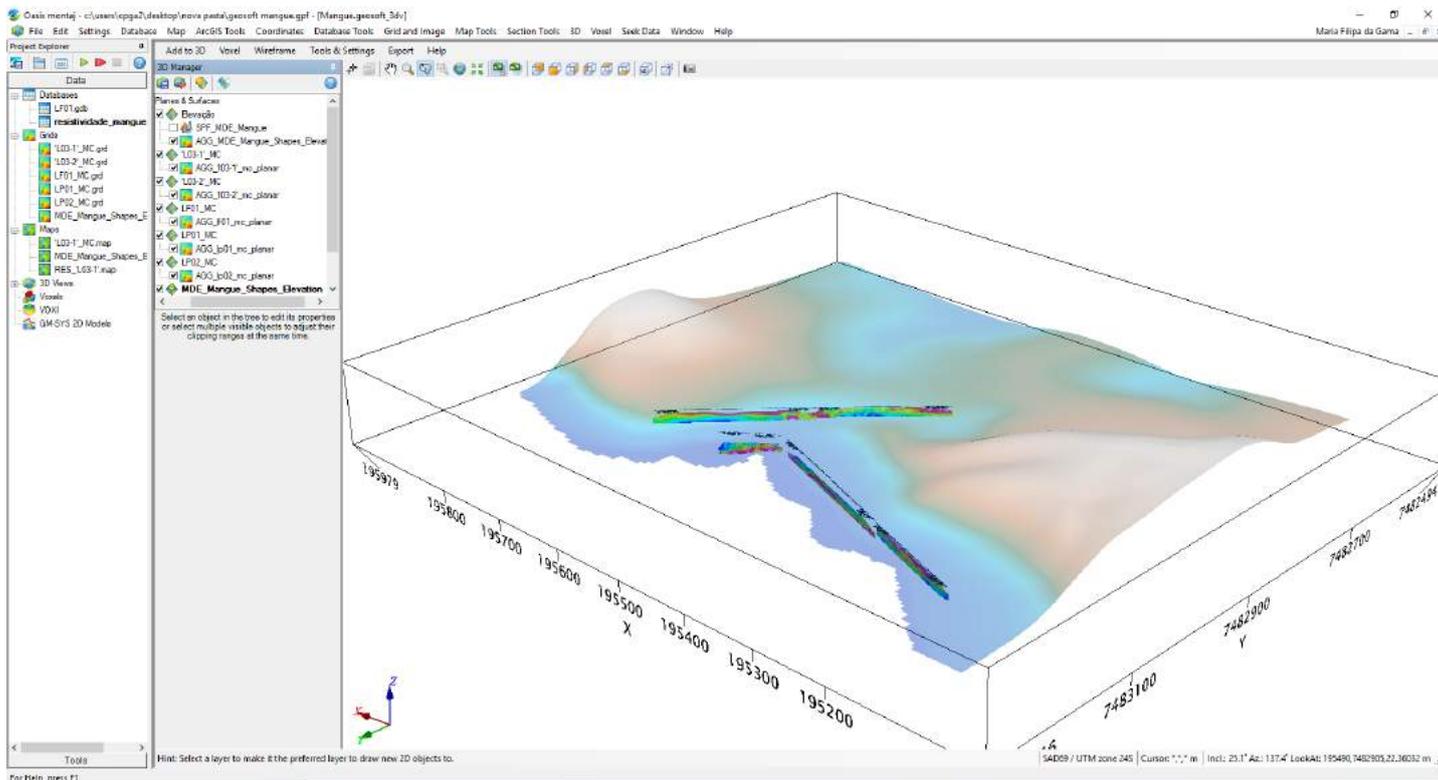
Após o levantamento em campo, todos os dados foram enviados para a empresa Neogeo Geotecnologia, onde eles foram analisados, tratados e interpretados. Os resultados foram entregues pela Neogeo tanto da forma já tratada, em planilhas do Excel e com as linhas elétricas e de GPR já prontas, como os dados brutos, para posterior utilização e formulação do trabalho. Após o recebimento dos dados, os dados de campo referentes ao Caminhamento Elétrico foram reprocessados, a fim de garantir a precisão dos resultados para o trabalho.

Após o recebimento dos dados, foram utilizados os softwares ArcGIS e QGIS (Figura 25) para gerar um modelo digital de elevação da região do Mangue de Pedra.

Com o arquivo do modelo gerado, transportou-se esse arquivo para o programa Geosoft (Figura 26), e a partir desse modelo e das planilhas em Excel, foi possível gerar todas as linhas de eletrorresistividade presentes neste trabalho e gerar também todos os modelos em 3D da área do Mangue de Pedra, com as linhas elétricas georreferenciadas e posicionadas no seu local de aquisição. Esses modelos são de fundamental importância, pois é baseado neles que ocorrem as interpretações, discussões e resultados deste presente trabalho.



**Figura 25:** Impressão da tela do *Software* QGIS durante sua utilização para visualização do Modelo Digital de Elevação.



**Figura 26:** Impressão da tela do *Software* Geosoft, durante sua utilização para criação das visualizações em 3D do Mangue de Pedra.

## 6. RESULTADOS

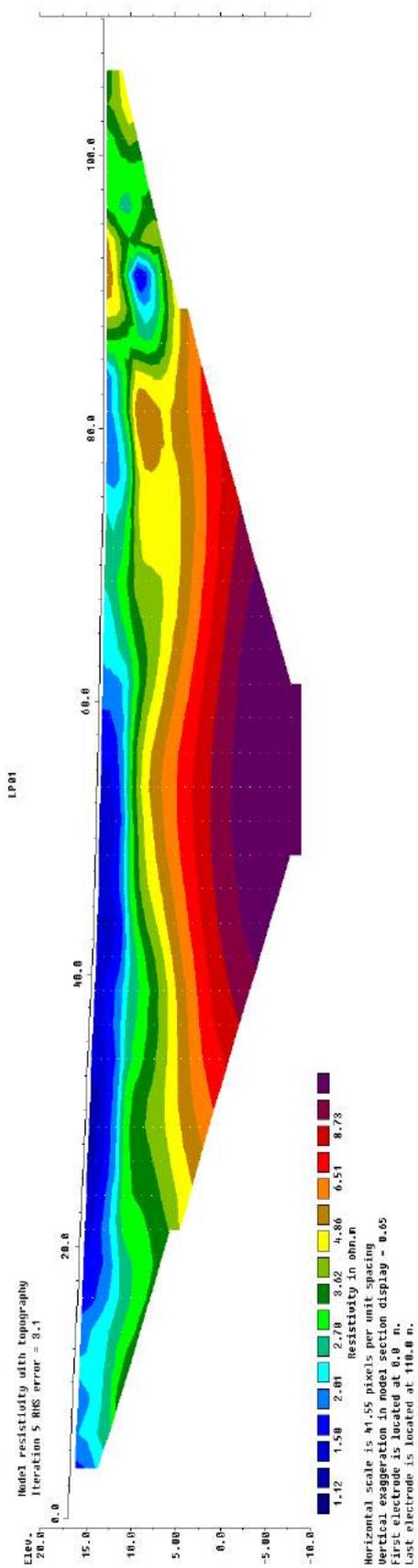
### 6.1. Resultados de Campo

Dos dados processados pela empresa Neogeo, foi obtido o mapa com a localização das linhas elétricas (Figura 27) e a feição de cada uma delas, separadas individualmente.

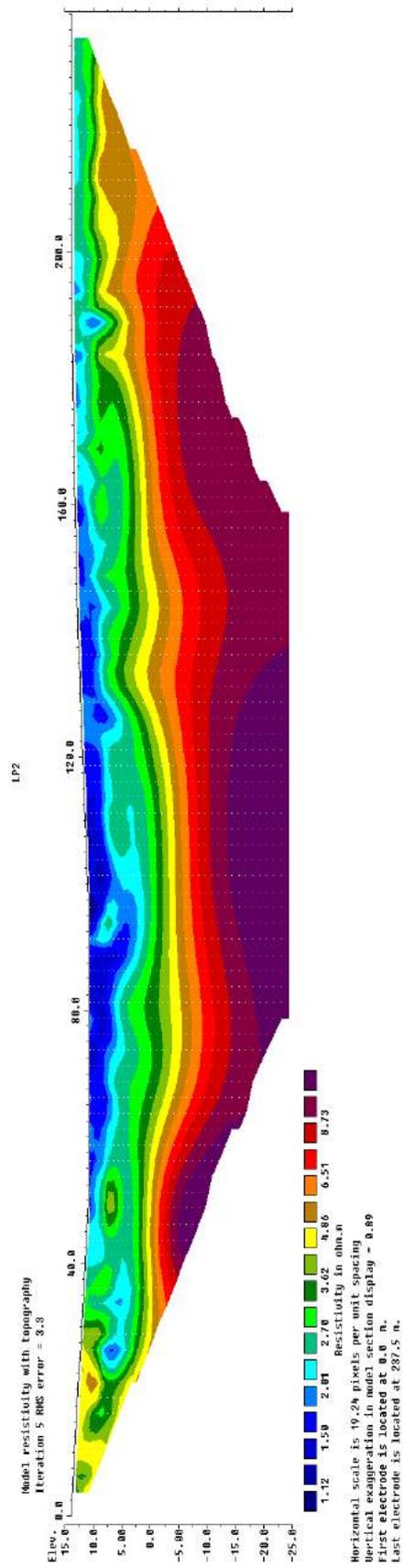
Conforme o esperado, as três linhas localizadas na praia (Figuras 28, 29 e 30) apresentaram baixa resistividade na área mais próxima à superfície, com aumento gradual desta conforme o aumento da profundidade.



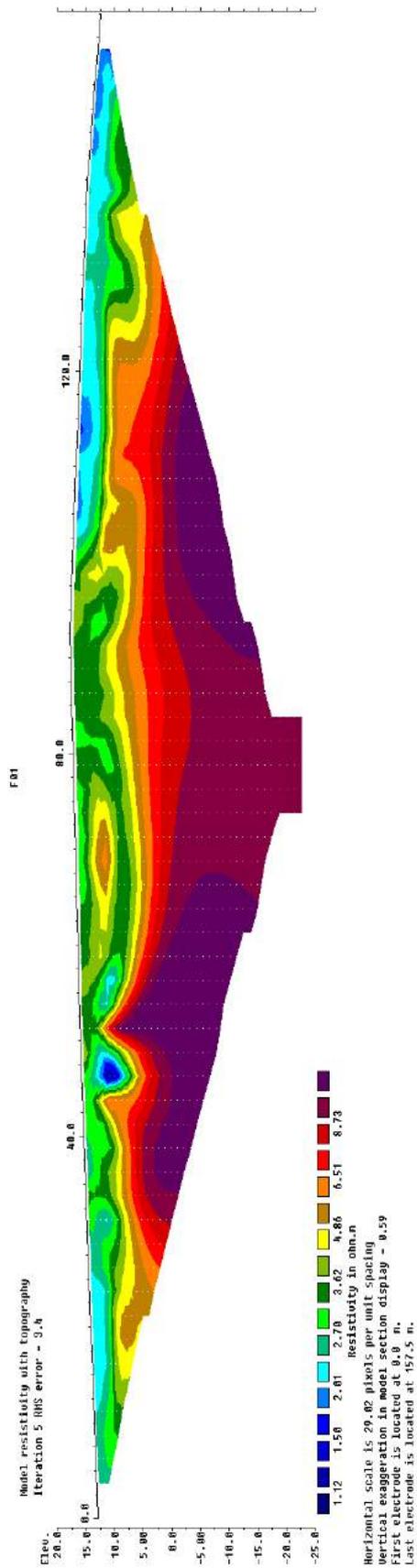
**Figura 27:** Fotografia aérea do Mangue de Pedra, com a localização das linhas do caminhamento elétrico realizado indicadas. As linhas amarela, verde e vermelha se encontram na praia e representam, respectivamente, as linhas, LP01, LP02 e LF01. Já as linhas azul e roxa se encontram na rua Carlito Gonçalves e representam, respectivamente as linhas L03-2 e L03-1.



**Figura 28:** Linha elétrica LP01, indicada pela cor amarela no mapa da Figura 28, localizada na praia do Manguê de Pedra.



**Figura 29:** Linha eléctrica LP02, indicada pela cor verde no mapa da Figura 28, localizada na praia do Manguê de Pedra.

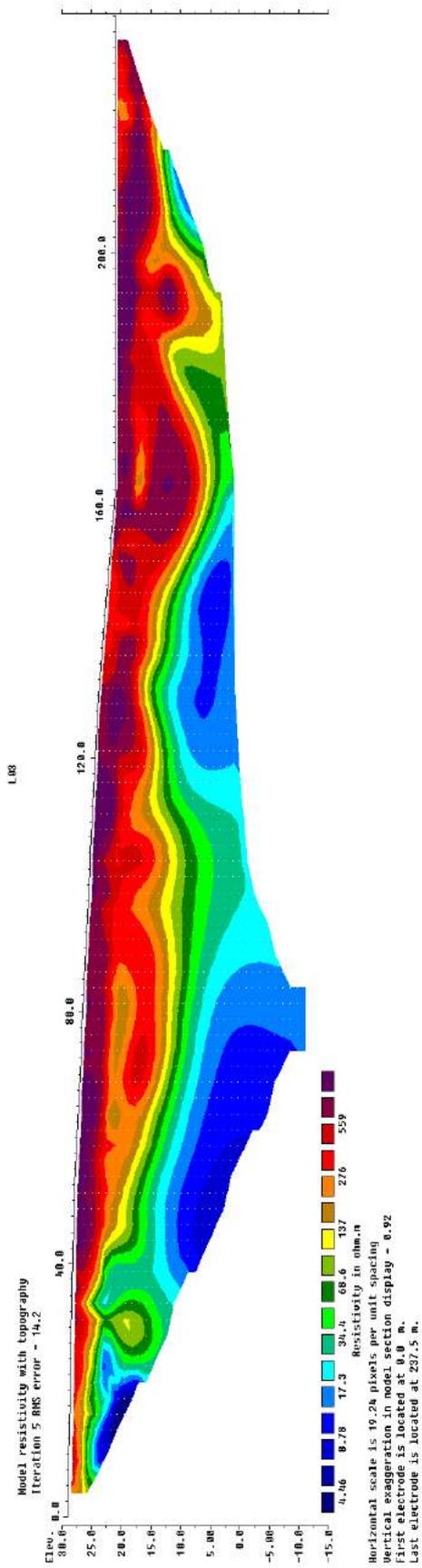


**Figura 30:** Linha elétrica LF01, indicada pela cor vermelha no mapa da Figura 28, localizada na praia do Mangue de Pedra.

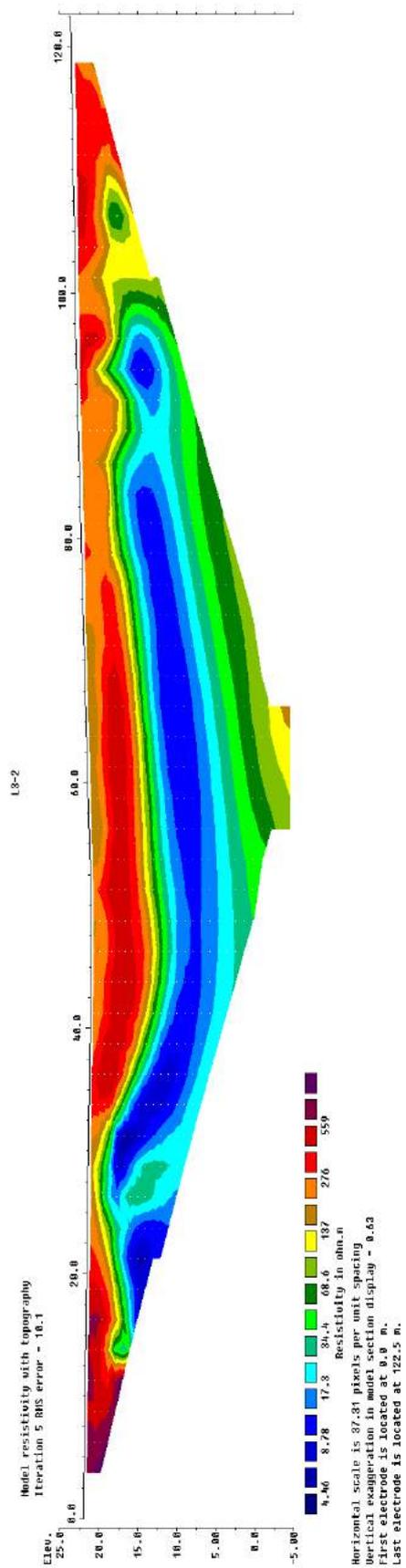
Já as duas últimas linhas (Figuras 31 e 32), localizadas na Rua Carlito Gonçalves, apresentam o comportamento diferente. Os valores de resistividade indicados por elas, por estarem localizadas em uma área mais alta e longe da ação direta da água das marés, são muito altos se comparados às linhas da beira de praia.

Além disso, a variação da resistividade ocorre com a área próxima à superfície com valores muito elevados, enquanto conforme aumenta-se a profundidade esses valores vão reduzindo.

Isso ocorre porque em profundidade, e conforme indicado pelos trabalhos de Rebelo (2013), Tiago et al. (2016) e Benfeita (2017), ocorre passagem de água doce.

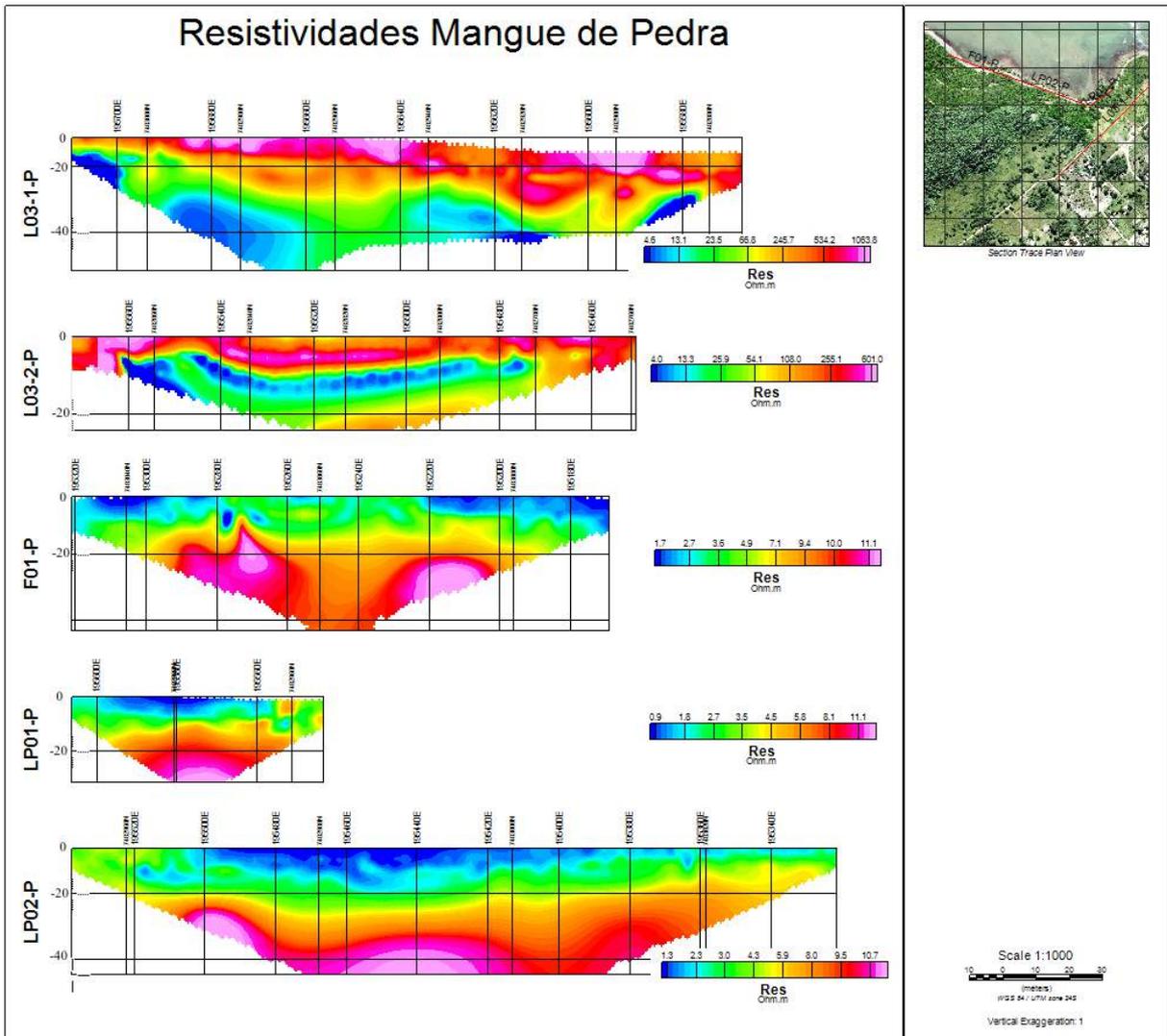


**Figura 31:** Linha elétrica L03-1, indicada pela cor roxa no mapa da Figura 28, localizada na Rua Carlito Gonçalves.

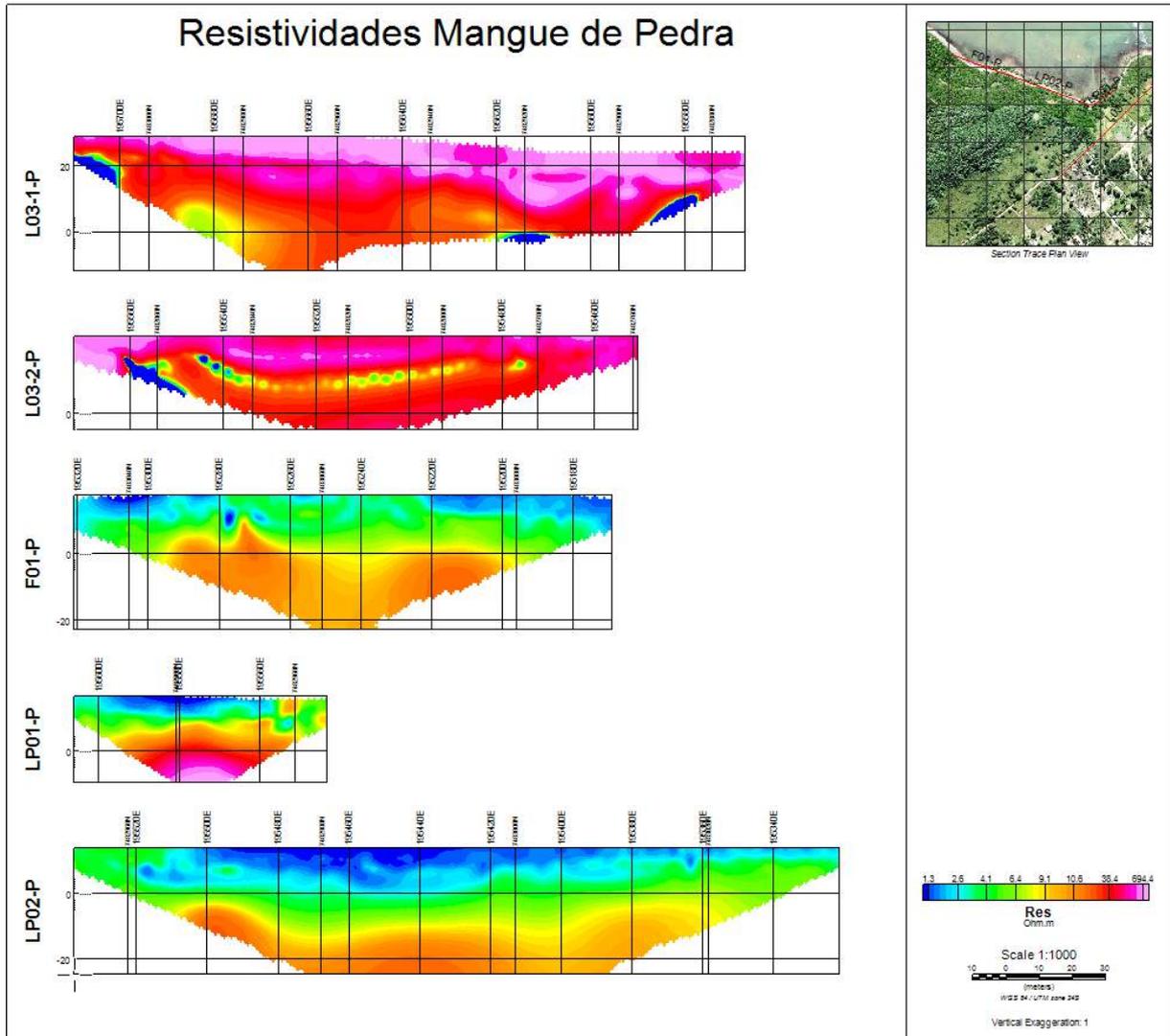


**Figura 32:** Linha elétrica L03-2, indicada pela cor azul no mapa da Figura 28, localizada na Rua Carlito Gonçalves.

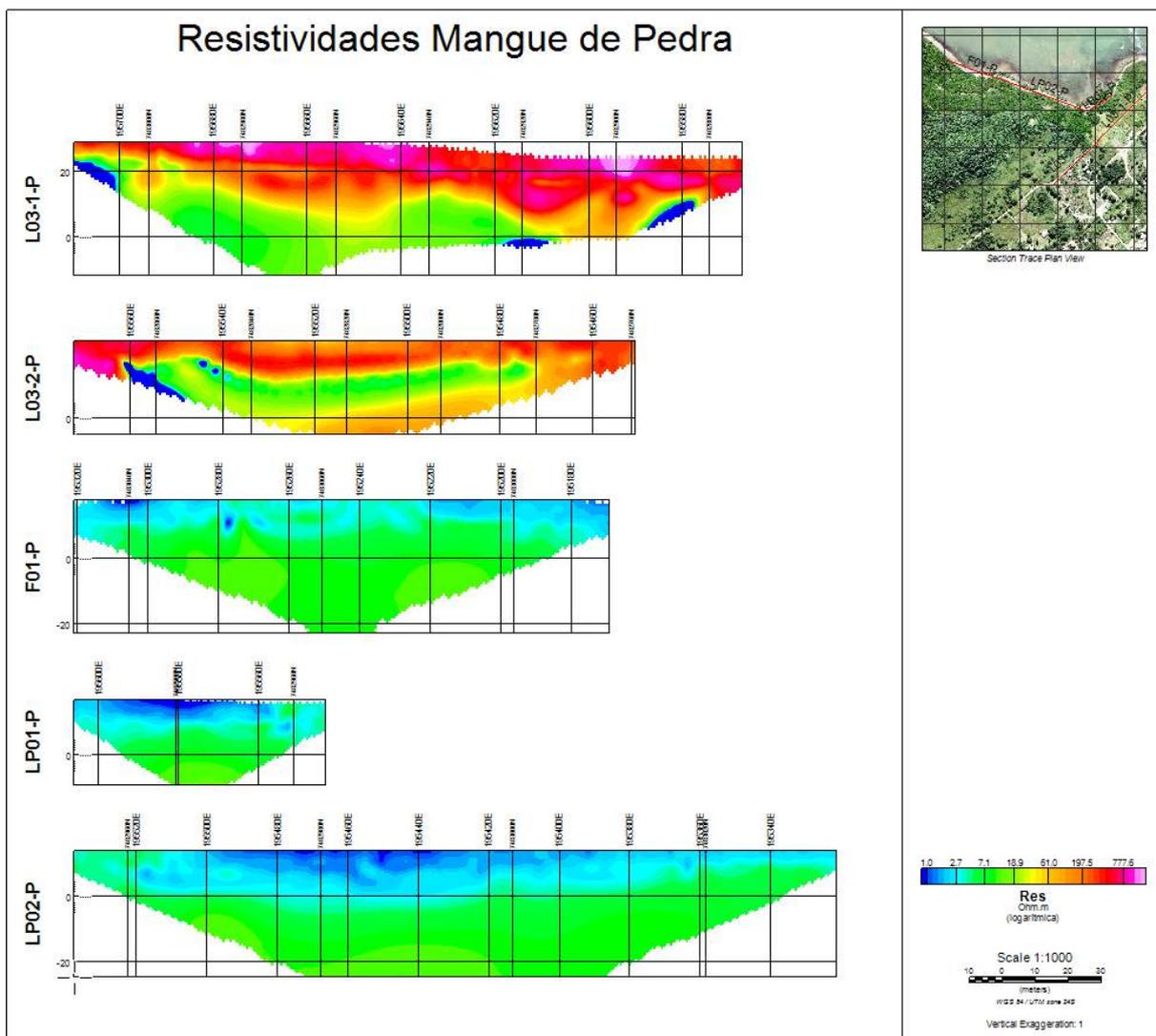
A fim de juntar todos os dados coletados, utilizou-se o software Geosoft para, a partir dos dados brutos fornecidos pela empresa, criarmos nossas próprias linhas elétricas e compará-las com o resultado enviado pela empresa. Então, a partir dos dados de campo fornecidos em planilha do Excel, obteve-se um conjunto de linhas elétricas (Figura 33, 34 e 35) georreferenciadas e associadas a um modelo digital de elevação.



**Figura 33:** Conjunto das linha elétricas levantadas no Mangue de Pedra, com escalas individuais para da uma das linhas, obtido utilizando o software Geosoft.



**Figura 34:** Conjunto das linha elétricas levantadas no Mangue de Pedra, com a mesma escala para todas das linhas, obtido utilizando o software Geosoft.

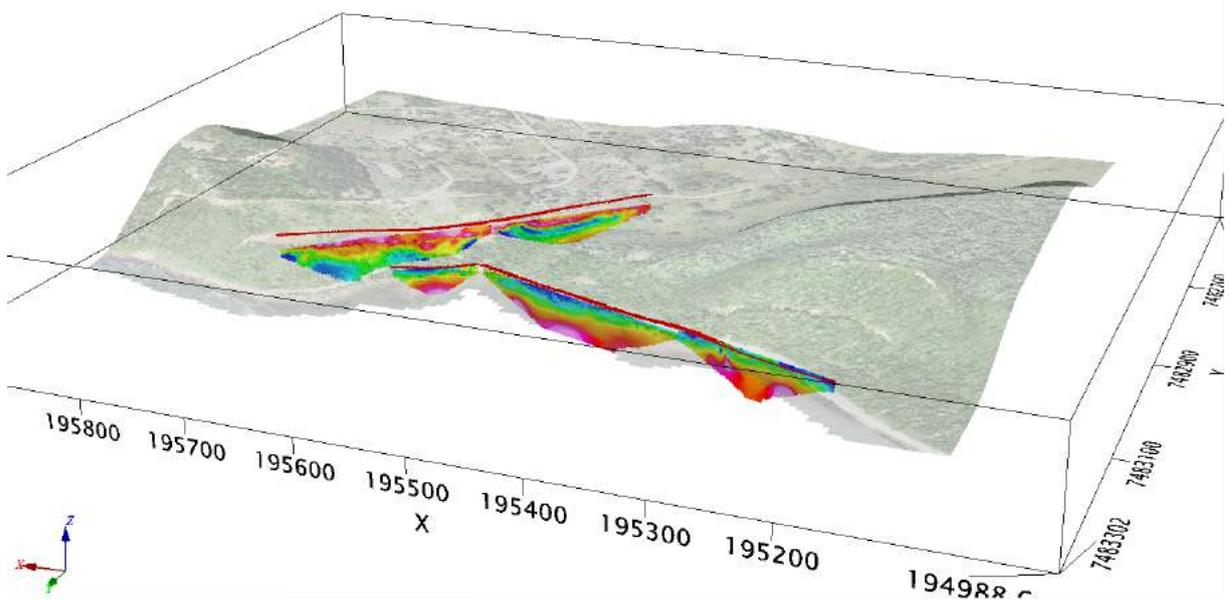


**Figura 35:** Conjunto das linha elétricas levantadas no Mangue de Pedra, com escala logarítmica aplicada às linhas elétricas, obtido utilizando o software Geosoft.

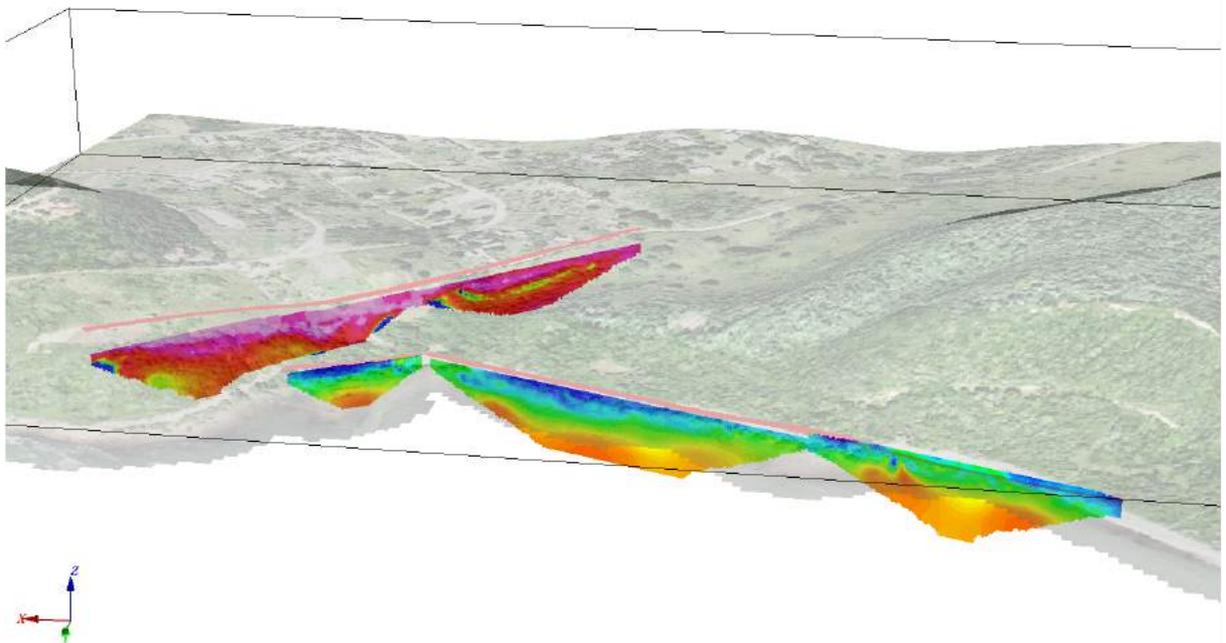
Após obter as linhas, passo seguinte era conectá-las, ou seja, transportá-las para o mapa, em um modelo 3D, no qual fosse possível não só colocar essas linhas lado a lado, mas também comparar o que era possível observar nas linhas elétricas com a topografia.

Esse último ponto é especialmente importante para ser possível realizar melhores observações em relação à presença de estruturas em relação à influência da topografia no trajeto da água superficial e subterrânea.

Para alcançar ao resultado esperado, utilizou-se os softwares ArcGIS e QGIS, a fim de obter um Modelo Digital de Elevação da área, e o Geosoft para utilizar o modelo digital e as linhas elétricas georreferenciadas e gerar os modelos 3D. O resultado pode ser observado nas Figuras 36 e 37.



**Figura 36:** Visualização em 3D do Mangue de Pedra, utilizando as linhas elétricas com escalas individuais, obtido utilizando o software Geosoft.



**Figura 37:** Visualização em 3D do Mangue de Pedra, utilizando as linhas elétricas geradas todas com a mesma escala, obtido utilizando o software Geosoft.

## 7. DISCUSSÃO

### 7.1. Discussão das Linhas Elétricas

Para a interpretação das linhas, é necessário conhecer o comportamento da resistividade de determinados materiais. Segundo Lobarinhas et al. (2011), a água salgada apresenta em média uma resistividade da ordem de 0,2 ohm.m, enquanto a água doce apresenta resistividade em geral da ordem de  $2 \times 10^1$  a  $2 \times 10^3$  ohm.m. Também é importante conhecer a resistividade de diferentes tipos de rocha (Figura 38), tanto em zonas não saturadas, ou seja, com ausência ou pouca presença de água, quanto em zonas saturadas, onde ocorre um preenchimento total da água.

Cruzando essas informações, é possível interpretar o resultado das linhas elétricas da praia como zona saturada composta de material argiloso. A resistividade é mais baixa em superfície e cresce conforme a profundidade aumenta, Isso ocorre pois próximo à superfície, a presença da água salgada é mais dominante pela ação das marés (TIAGO et al., 2016), enquanto que conforme aumenta-se a profundidade, a água do aquífero, que flui do continente para o mar, já se torna mais presente, dando origem a uma água mais salobra e conseqüentemente com valores de resistência mais baixos.

Já as linhas da Rua Carlito Gonçalves apresentam no topo uma zona não saturada e, conforme o aumento da profundidade, é possível interpretar uma zona saturada de arenito, com valores de resistividade já bem inferiores em relação ao topo, e uma zona saturada em argilito, agrupando as áreas com menor valor de resistividade nessas linhas. A resistividade segue o caminho inverso aos valores da praia, estando na superfície a zona mais resistiva, e com valores reduzindo conforme o aumento da profundidade. Isso ocorre porque os sedimentos das linhas L03-1 e L03-2 (Rua Carlito Gonçalves) encontram-se fora da zona de influência das marés, e em profundidade ocorre passagem de água do aquífero continental.

A existência desse aquífero deve-se, localmente, ao graben de Barra de São João, cujo limite sul é representado pela falha do Pai Vitório. A escarpa de falha condicionou a deposição em leque aluvionar de sedimentos compostos por intercalações de cascalhos, areias e argilas. Essa junção de fatores é o que resultou na formação do aquífero Mangue de Pedra.

Devido à maior descarga de água causada pela transmissividade do aquífero, que é de 59,8 m<sup>2</sup>/dia segundo Rebelo (2013), a interação entre a água continental e a água do mar na região do Mangue de Pedra gera uma água salobra com teores de sal inferiores ao observado na re-

gião. O resultado desta condição incomum na região é surgimento do ecossistema único que é o Mangue de Pedra.

TIPO LITOLÓGICO	Cargabilidade (mV/V)	Resistividade (ohm.m)
Zona não saturada	0,4 a 23,4	100 a 30.000
Argiloso	1,5 a 1,9	≤ 20
Argilo-Arenoso		20 a 40
Areno-Argiloso	7,1 a 45,0	40 a 60
Siltito Argiloso		10 a 60
Siltito Arenoso	0,1 a 5,8	≥ 60
Arenoso		10 a 20
Argilito	1,5 a 1,9	80 a 200
Arenito	0,1 a 5,8	200 a 500
Basalto/Diabásio	20,0 a 30,0	500 a 1.000
Calcário		3.000 a 5.000
Granito/Gnaiss	10,0 a 20,0	

Figura 38: Valores de resistividade de alguns tipos litológicos principais (BRAGA, 2006).

## 7.2. Caracterização de Estruturas Geológicas

Segundo Braga (2006), em interpretações do Caminhamento Elétrico em aquisições do tipo Dipolo-Dipolo, normalmente tem-se uma anomalia com dois flancos nas linhas elétricas de áreas onde ocorrem falhas. De fato, essa anomalia com dois flancos é observada nos dados obtidos no Mangue de Pedra, como é possível observar na Figura 39. Para critério de comparação, observa-se o mesmo tipo de anomalia, na cor cinza, na figura de Braga (2006) (Figura 40). Também podem ocorrer em determinadas situações de campo, a observação apenas um flanco, porém essas situações são mais específicas e menos frequentes.

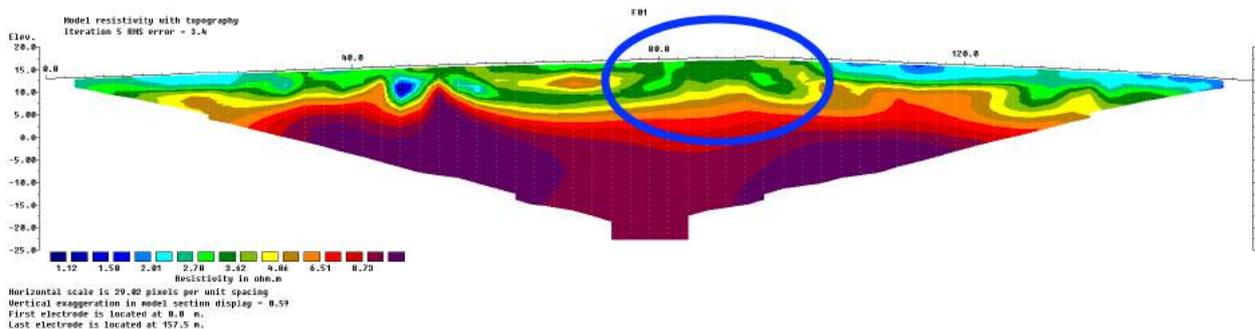
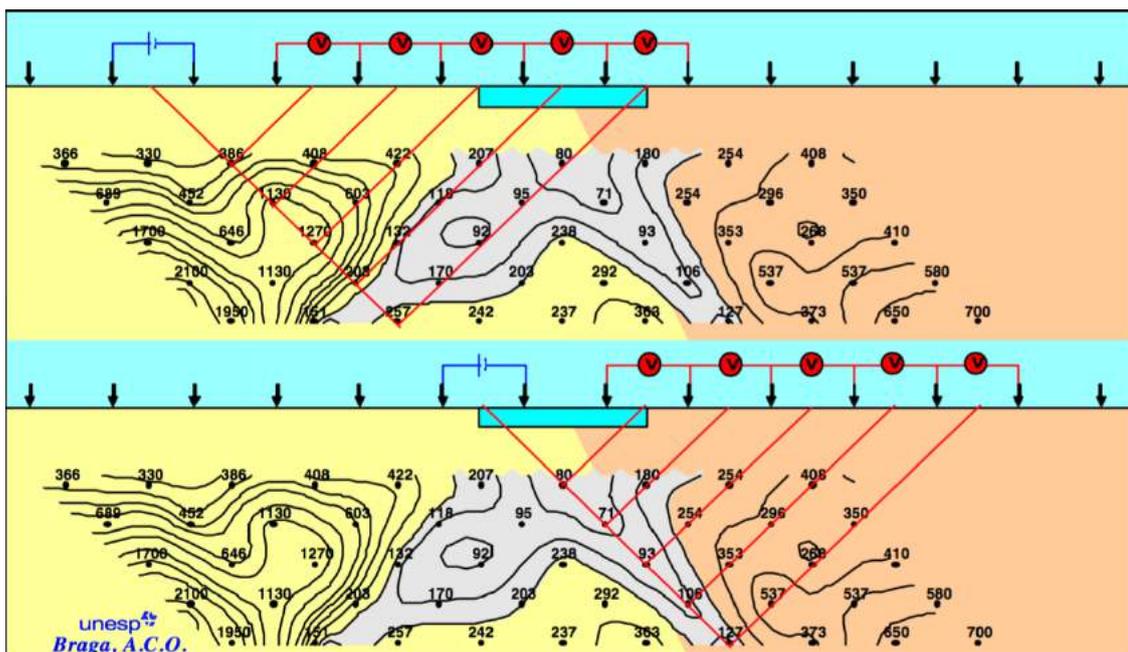
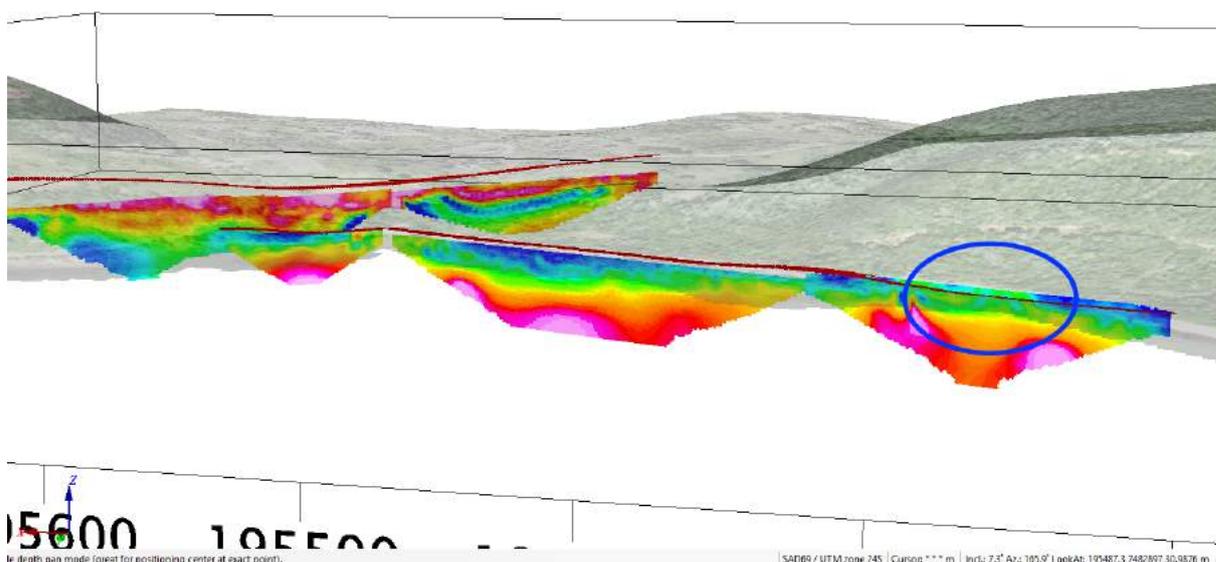


Figura 39: Linha elétrica LF01, com destaque em azul para a anomalia com dois flancos, característica de talhamentos em Caminhamento Elétrico.

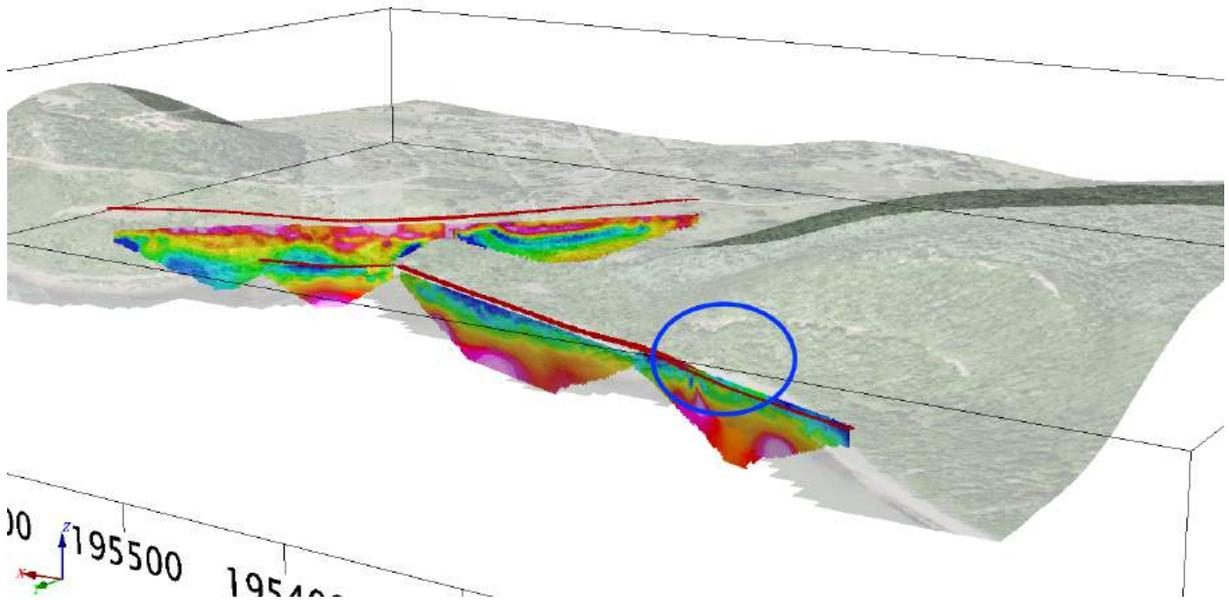


**Figura 40:** Interpretação do Caminhamento Elétrico, arranjo Dipolo-Dipolo (BRAGA, 2006).

Colocando as linhas elétricas no modelo 3D (Figuras 41 e 42), observa-se estruturas que indicam possivelmente a presença de uma falha. No campo também existem indícios de uma falha, dados pelo recuo abrupto da escarpa e a presença de um afloramento de conglomerado polimítico no piso da praia. A extensão do manguezal acaba abruptamente bem próximo à localização deste ponto, onde há o recuo da encosta em direção ao continente. Com isso, a praia fica mais exposta a ação das ondas, o que não favorece a fixação da vegetação.



**Figura 41:** Visualização em 3D do Mangue de Pedra, com registro da falha observado na linha elétrica destacado em azul.



**Figura 42:** Visualização em 3D do Mangue de Pedra, com topografia indicando um recuo da escarpa da praia, destacado em azul.

### 7.3. Caracterização do Aquífero

Segundo o Prof. Arthur Soffiati (Jornal O Eco, de 30/09/2005), o aquífero Mangue de Pedra é responsável pelo armazenamento de grande parte da água “doce” que flui para o manguezal. A água com mais baixa salinidade permite o desenvolvimento de espécies exclusivas de manguezal (no Mangue de Pedra encontram-se 3 das 4 espécies exclusivas de manguezal existentes no Brasil) (DRM-RJ, 2006), além de ajudar no desenvolvimento de árvores maiores, devido ao menor estresse causado pelo sal.

O fluxo das águas que fluem na região pode ser observado relacionando as linhas do caminamento elétrico. Através dessas linhas, é possível observar fluxo de água em subsuperfície nas linhas obtidas na Rua Carlito Gonçalves, e a desembocadura dessa água em direção à praia e conseqüentemente ao aquífero (Figura 44). A topografia na modelagem em 3D também ajuda a fazer observações sobre os possíveis caminhos que a água faz em direção à praia, geralmente seguindo o terreno (Figura 45). O mapa potenciométrico de Rebelo (2013) (Figura 43) ajuda a corroborar essa afirmação.

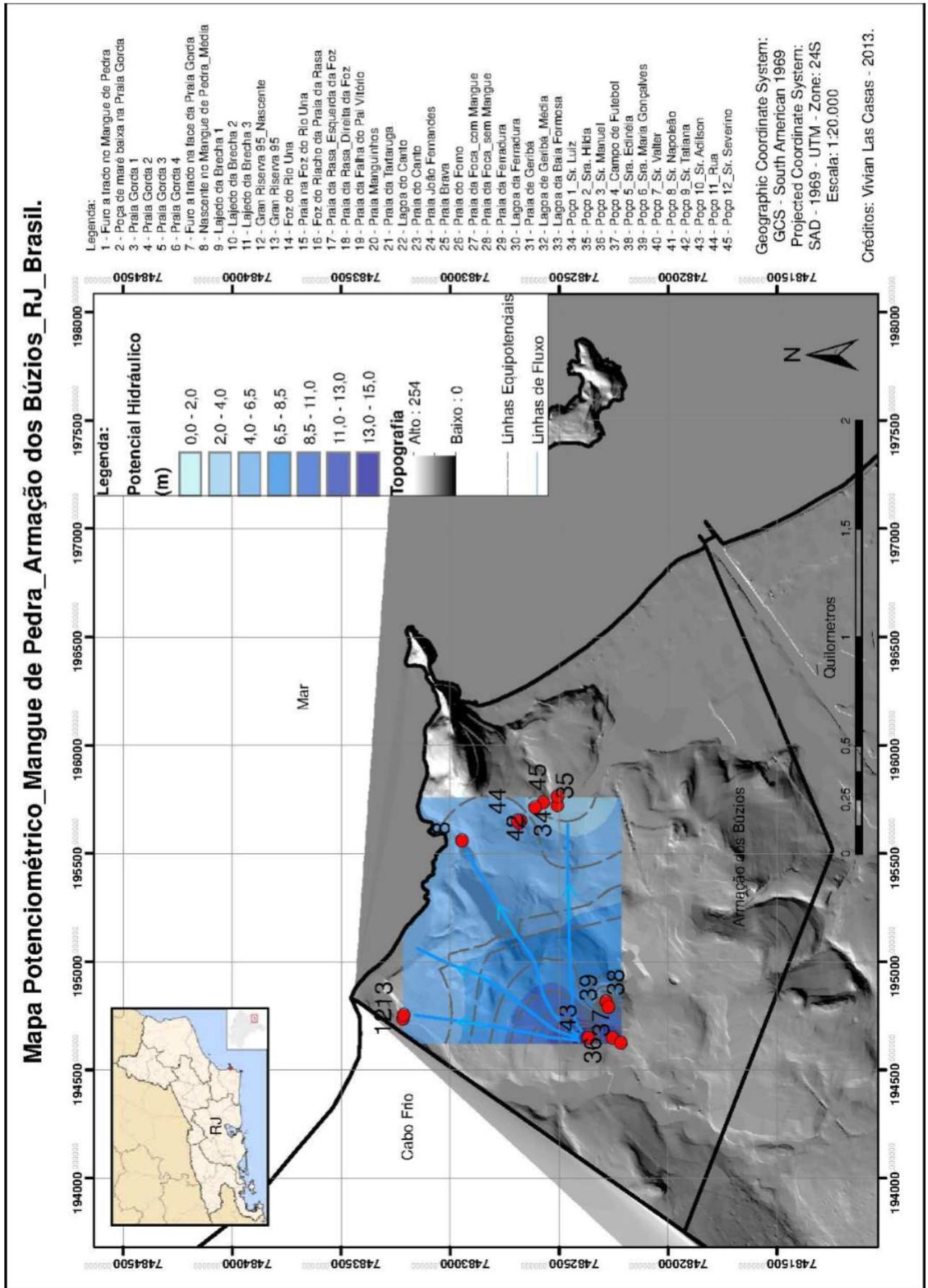
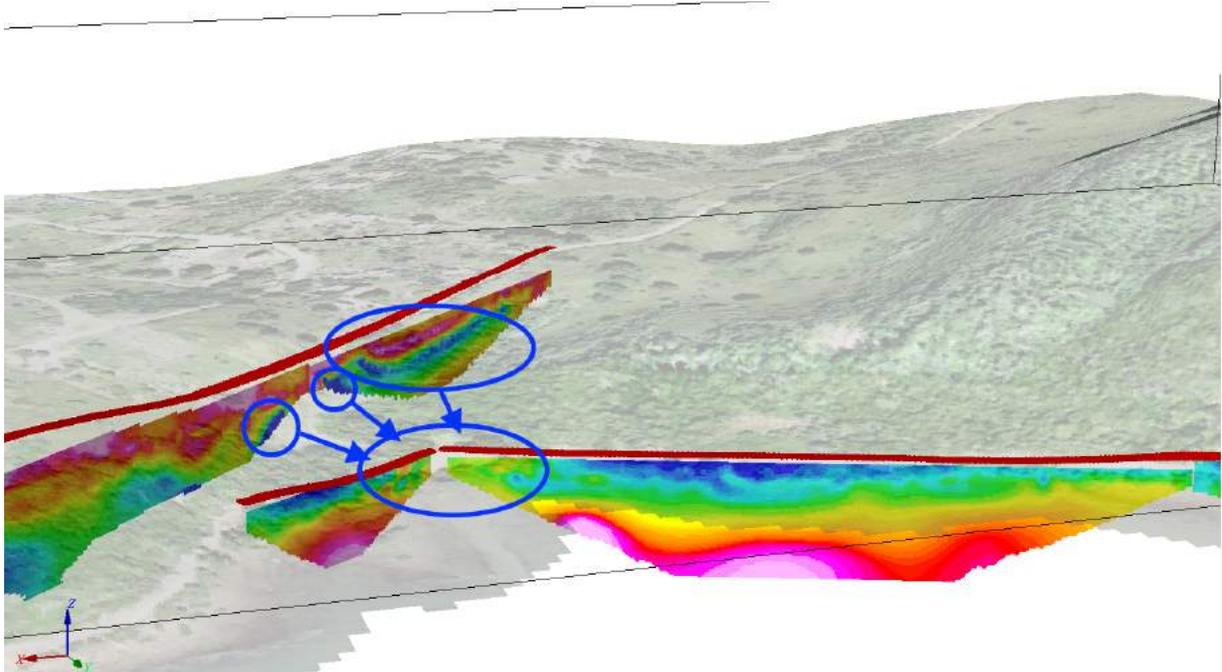
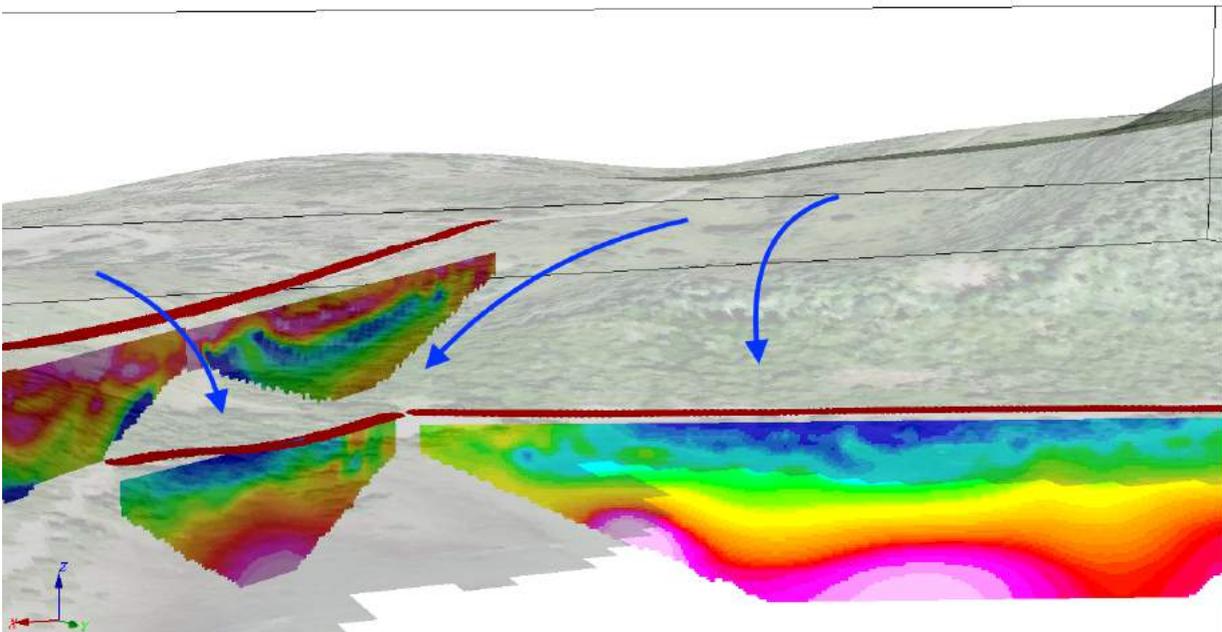


Figura 43: Mapa Potenciométrico do Mangue de Pedra, Armação dos Búzios, RJ (REBELO, 2013).



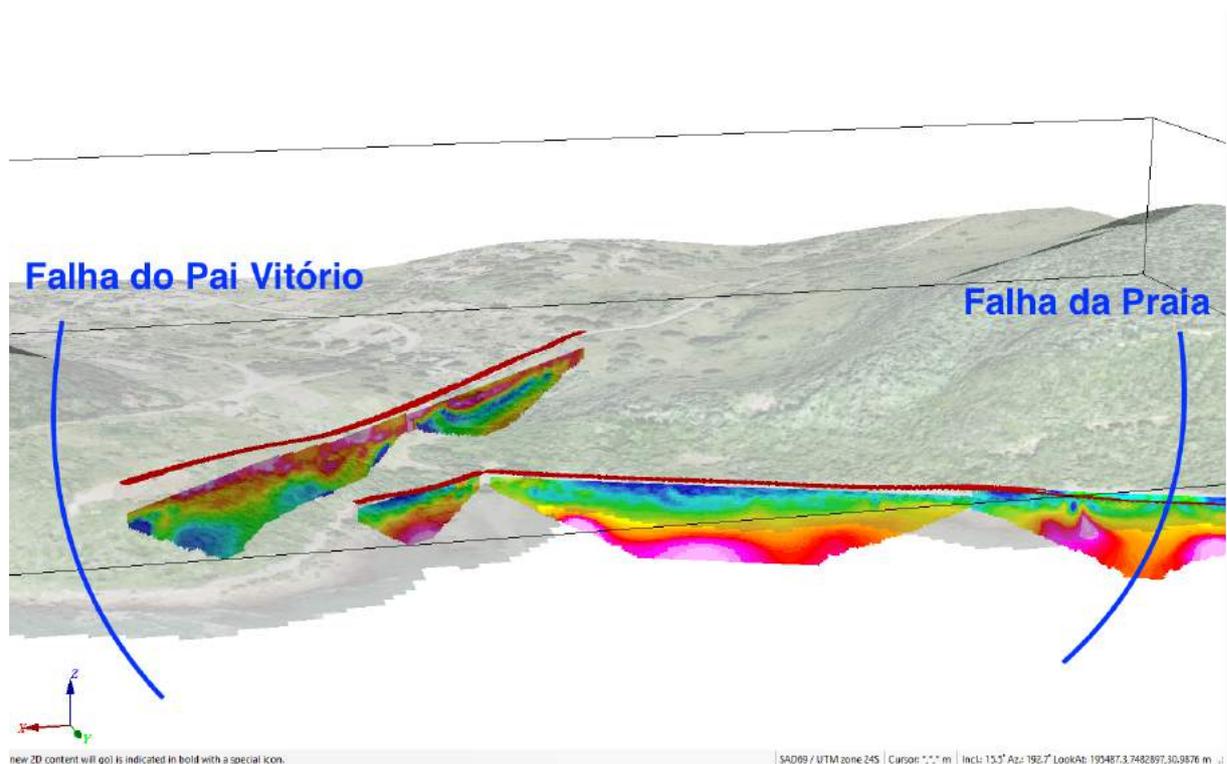
**Figura 44:** Visualização em 3D do Mangue de Pedra, com trajeto da água observado entre as linhas da rua Carlito Gonçalves e da praia, com o fluxo proveniente das águas de subsuperfície da Rua Carlito Gonçalves (Linhas L03-1 e L03-2) desembocando na praia (Região próxima ao contato entre as linhas LP01 e LP02), destacado em azul.



**Figura 45:** Visualização em 3D do Mangue de Pedra, com topografia indicando possíveis caminhos percorridos pela água, em direção ao aquífero que alimenta o Mangue de Pedra, destacado em azul.

Outra feição importante para o aquífero é justamente a falha tratada neste trabalho. Sua importância deve-se ao fato de que ela indica que o aquífero está compartimentado na região, sendo a outra feição importante para esta compartimentação justamente a falha do Pai Vitório (Figura 46), além de juntas propiciar a formação de uma enseada protegida, característica tão importante para a existência de manguezais.

Essas duas feições estruturais também são os limites do Mangue de Pedra, e o fato de as falhas representarem os limites tanto do mangue quanto do aquífero, é mais um indicativo da importância que o aquífero tem para o mangue.



**Figura 46:** Imagem afastada da visualização em 3D do Mangue de Pedra, com indicação das falhas que limitam o aquífero, com a falha do Pai Vitório de um lado, e a falha da praia na outra margem, destacados em azul.

## 8. CONCLUSÕES/CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com os resultados obtidos, tanto em campo quanto na interpretação em escritório, há evidências suficientes para apontar a existência de uma falha no limite norte do Mangue de Pedra. A linha elétrica da área em questão apresenta anomalia característica deste tipo de situação e a topografia do local indica um recuo abrupto da paleofalésia justamente no local aonde encontra-se a falha. Além disso, a concordância do limite norte do aquífero sob o mangue com o limite norte da vegetação do mangue, justamente nas proximidades de ocorrência falha, também colaboram com a afirmação.

Através do levantamento geofísico e da modelagem 3D, também é possível observar, através da diferença de resistividade, como se dá o fluxo d'água em subsuperfície, com as águas fluindo em direção ao aquífero, e aonde ocorre preferencialmente a desembocadura das águas.

A interpretação das linhas elétricas também indica, conforme esperado, valores de resistividade muito baixos nas linhas elétricas obtidas na praia, devido a forte influência da água do mar com valores em geral entre 1,0 e 1,5 ohm.m, e que em profundidade essa resistividade tende a diminuir, devido ao aumento da presença da água do aquífero, chegando a atingir aproximadamente 9 ohm.m. Esses valores, considerando a mistura de água salgada com água doce, estão de acordo com o observado por Lobarinhas et al. (2011), que encontrou 0,2 ohm.m para água salgada e  $2 \times 10^1$  a  $2 \times 10^3$  ohm.m para água doce. Isso aponta para um predomínio da água salgada nas linhas da praia, com valores de resistividade muito baixos. Em relação à litologia, segundo os valores de resistividade para alguns tipos litológicos apontados por Braga (2006) (Figura 36), o substrato da zona da praia é uma zona saturada formado majoritariamente por material argiloso, indicado por valores de resistividade inferiores a 20 ohm.m.

Já as linhas da Rua Carlito Gonçalves apresentam valores de resistividade muito superiores aos da praia por ser uma zona não saturada, com valores variando em por volta de 250 a 600 ohm.m, e com o aumento de profundidade, observaram-se pontos ou áreas em específico com valores de resistividade bem inferiores, e algumas vezes até próximos aos observados nas linhas da praia, com valores entre 4 e 8 ohm.m nas zonas mais profundas. Isso parece ser indicativo de passagem de água doce, com transição de uma zona não saturada para uma zona saturada, pois a redução abrupta dos valores das resistividades foi possivelmente causada pelo fluxo d'água subterrânea em direção à praia.

Em relação a litologia, a resistividade das linhas da Rua Carlito Gonçalves indicam no topo uma zona não saturada, com valores de resistividade de 100 a 30.000 ohm.m (BRAGA, 2006), e conforme o aumento da profundidade, é possível interpretar uma variação entre as faixas de zona saturada compatíveis com a presença de arenito e argilito, com valores de resistividade variando entre 200 até próximos a zero (BRAGA, 2006). A resistividade segue o caminho inverso aos valores da praia, sendo a superfície a zona mais resistiva, e com valores reduzindo conforme o aumento da profundidade.

Este trabalho de levantamento geofísico foi pioneiro na área do Mangue de Pedra, e sua realização visa contribuir, junto com todos os outros trabalhos de diferentes áreas já realizados, para a fundamentar a criação de uma Unidade de Conservação que preserve esse ecossistema, englobando não somente o mangue, mas também as áreas de recarga do aquífero, a fim de evitar a contaminação ou prejudicar o fluxo d'água, que conseqüentemente resultaria em danos a este raro ecossistema, que é considerado um Patrimônio Geológico de alta relevância.

## 9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, F.F.M.; HASUI, Y.; BRITO NEVES, B.B. (1976). The Upper Precambrian of South América. São Paulo-SP. Boletim do instituto de Geociências – USP, v.7, p.45-80.

ALMEIDA, F.F.M. de, (1983). Relações tectônicas das rochas alcalinas mesozoicas da região meridional da Plataforma SulAmericana. Revista Brasileira de Geociências 13, 139-158.

ALMEIDA, F.F.M. de, (1986). Distribuição regional e relações tectônicas do magmatismo Pós-Paleozoico no Brasil. Revista Brasileira de Geociências 16, 325-349.

ALMEIDA F.F.M.; CARNEIRO C.D.R. (1989). Magmatic occurrences of post-Permian age of the South American Platform. Boletim IG/USP Série Científica, 20:71-85.

ALMEIDA, F.F.M. (1991). O alinhamento de Cabo Frio. In: 2ºSimpósio de Geologia do Sudeste. São Paulo - SP. SBG, Atas, p.423-428.

ALONGI, D. M. (2009) Paradigm Shifts in Mangrove Biology. In: PERILLO, G. M. E.; WOLANSKI, E., et al (Ed.). Coastal Wetlands: An Integrated Ecosystem Approach: Elsevier, cap. 22, p.974.

BENFEITA, J. V. E. (2017). Hidroquímica do aquífero do Mangue de Pedra(Armação dos Búzios, RJ). Trabalho de Conclusão de Curso. Rio de Janeiro. UFRJ / IGEO.

BERNINI, E.; REZENDE, C. E. (2004). Estrutura da vegetação em florestas de mangue do estuário do rio Paraíba do Sul, Estado do Rio de Janeiro, Brasil. Acta Botanica Brasilica, v. 18, p. 491-502.

BORGES W.R. (2002). Investigações geofísicas na borda da Bacia Sedimentar de São Paulo, utilizando-se GPR e Eletrorresistividade. Dissertação de Mestrado. Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 153 p.

BRAGA, A.C.O. (2006). Métodos da Eletrorresistividade e Polarização Induzida Aplicados nos Estudos da Captação e Contaminação de Águas Subterrâneas: Uma Abordagem

Metodológica e Prática. Tese de Livre-Docência na disciplina Métodos Geométricos Aplicados à Hidrogeologia do Programa de Pós-Graduação em Geociências e Meio Ambiente do Instituto de Geociências e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista - Unesp. 121p.

CAMPOS, C. (2014) Caracterização Hidrogeoquímica da Região do Mangue de Pedra, Armação dos Búzios, RJ. Relatório final PIBIC. 24p.

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (1999). Métodos Geofísicos. Norma CETESB 6200. Projeto CETESB-GTZ. São Paulo.

CINTRÓN, G.; SCHAEFFER-NOVELLI, Y. (1983). Introducción a la ecología del manglar. UNESCO/ROSTLAC, Montevideo. 109p.

CINTRÓN, G.; SCHAEFFER-NOVELLI, Y. (1985). Características y desarrollo estructural de los manglares de Norte e Sur America. Ciencia Interamericana, v. 25, p. 4-15.

CINTRÓN, G.; LUGO, A.E. e MARTINEZ, R. (1985). Structural and functional properties of mangrove forests. Anals of the Simposium Signaling the Complexion of the Flora of Panama. University of Panama, Panama. p. 53-67.

CINTRÓN-MOLERO, G.; SCHAEFFER-NOVELLI, Y. (1992) Ecology and management New World Mangroves. In: SEELIGER, U. (Ed.). Coastal Plant Communities of Latin America. San Diego: Academic Press, p.233-258.

DIAS, F.F.; CASTRO, J.W.A.; SEOANE, J.W.S.; CAMARGO, L.H.R. (2009). Indicadores de Mudanças Climáticas e de Variações do Nível do Mar na Costa do Rio de Janeiro: Aquecimento ou resfriamento. Observatorium: Revista Eletrônica de Geografia, v.1, n.1, p.21-32.

DRM-RJ (2006). Parecer sobre delimitação de áreas de preservação permanente no município de Armação dos Búzios - RJ. Rio de Janeiro. 26 p.

FERNANDES G.L., SCHMITT R.S., BONGIOLO E., MENDES J.C., BASEI M.A.S. (2015). Unraveling the tectonic evolution of a Neoproterozoic- Cambrian active margin in the Ribeira Orogen (SE Brazil): U-Pb and Lu-Hf provenance data. Precambrian Research, 266:337-360.

FONSECA M.J.G., SILVA Z.C,G, CAMPOS D.A., TOSATTO P. (1979). Folhas do Rio de Janeiro, Vitória e Iguape. *Texto explicativo e Mapa. DNPM*, Brasília, 239 p.

FONSECA, M.J.G.; HEILBRON, M.; CHRISPIM, S. (1984). Geologia estrutural da área de Cabo Frio e Armação dos Búzios. In: 33º Congresso Brasileiro Geologia. Rio de Janeiro - RJ. SBG, Anais, v. XII, p.5393-5424.

GARCIA-CORTÉS, A.G. (1996). Inventario del Patrimonio Geológico. In: Ministério de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente, Sociedad Española de Geología Ambiental y Ordenación del Territorio, Comisión de Patrimonio Geológico de la Sociedad Geológica de España (ed.). El Patrimonio Geológico. Bases para su valoración, protección, conservación y utilización. Madrid. Serie monografías. p.53-60.

GIAMPÁ, C.E.Q.; GONÇALVES, V.G. (2006). Águas Subterrâneas e Poços Tubulares Profundos. São Paulo - SP. Ed. Signus.

GIRI, C.; OCHIENG, E.; TIESZEN, L. L.; ZHU, Z.; SINGH, A.; LOVELAND, T.; MASEK, J.; DUKE, N. (2011). Status and distribution of mangrove forests of the world using earth observation satellite data. *Global Ecology and Biogeography*, v. 20, n. 1, p. 154-159.

HASUI, Y., (2010). A Grande colisão pré-Cambriana do sudeste brasileiro e a estruturação regional. *Geociências* 29 (2), 141–169.

HEILBRON, M.; MOHRIAK, W.; VALERIANO, C.M.; MILANI, E.; ALMEIDA, J.C.H.; TUPINAMBÁ, M., (2000). From collision to extension: the roots of the south-eastern continental margin of Brazil. In: TALWANI & MOHRIAK (Eds). *Atlantic Rifts and Continental Margins*. Washington - USA. American Geophysical Union. Geophysical Monograph Series, 115, p.1-34.

HEILBRON, M.; MACHADO, N. (2003). Timing of terrane accretion in the Neoproterozoic-Eopaleozoic Ribeira orogen (SE Brazil). *Precambrian Research*, v.125, p.87- 112.

HEILBRON, M.; PEDROSA-SOARES, A.C.; CAMPOS-NETO, M.; SILVA, L.C.; TROUW, R.A.J.; JANASI, V.C., (2004). A Província Mantiqueira. In: V. MANTESSO-NETO; A. BARTORELLI; C.D.R.; CARNEIRO; B.B.; BRITO-NEVES. (Eds). *O Desvendar de um*

Continente: A Moderna Geologia da América do Sul e o Legado da Obra de Fernando Flávio Marques de Almeida. São Paulo: Beca Produções Culturais Ltda. Cap. XIII. p.203-234.

HEILBRON M., VALERIANO C.M., TASSINARI C.C.G., ALMEIDA J.C.H., TUPINAMBÁ M., SIGA JR. O., TROWER A.J. (2008). Correlation of Neoproterozoic terranes between the Ribeira Belt, SE Brazil and its African counterpart: comparative tectonic evolution and open questions. In: Pankhurst R.J., Trouw R.A.J., Brito Neves B.B., De Wit M.J. (eds.), West Gondwana Pre-Cenozoic Correlations Across the South Atlantic Region. Geological Society, London, Special Publications, 294, 279-296.

HEILBRON M., DUARTE B.P., VALERIANO C.M., SIMONETTI A., MACHADO N., NOGUEIRA J.R. (2010). Evolution of reworked Paleoproterozoic basement rocks within the Ribeira belt (Neoproterozoic), SE-Brazil, based on U–Pb geochronology: Implications for paleogeographic reconstructions of the São Francisco-Congo paleocontinent. *Precambrian Research*, 178: 136-148.

IBGE (2011). Atlas geográfico das zonas costeiras e oceânicas do Brasil. / IBGE, Diretoria de Geociências. - Rio de Janeiro : IBGE, 2011.176p.

IBGE (2017). Estimativas da População Residente no Brasil e Estados da Federação com Data de Referência em 1º de Julho de 2017. 118p.

IRITANI, M. A.; EZAKI, S. (2008). São Paulo: Secretaria de Estado do Meio Ambiente - SMA. 104p.

KJERFVE, B.; LACERDA, L. D. (1993). Mangroves of Brazil. In: LACERDA, L. D. (Ed.). Conservation and Sustainable Utilization of Mangrove Forests in Latin America and Africa Regions. Mangrove Ecosystems technical reports, p.245-272.

LACERDA, L. D.; SANTOS, J. A.; MADRID, R. M. (2006). Copper emission factors from intensive shrimp aquaculture. *Marine Pollution Bulletin*, v. 52, n. 12, p. 1823-1826.

LOBARINHAS, D.; GOMES, R.; LIMA, A.; SILVA, J. (2011). Determinação da interface água doce/água salgada no litoral de Viana do Castelo (NW de Portugal) com recurso ao

método da resistividade eléctrica. In: Resumos do VI Congresso Planeamento e Gestão das Zonas Costeiras dos Países de Expressão Portuguesa. Ilha da Boavista, Cabo Verde.

LUGO, A.E.; SNEDAKER, S.C. (1974). The Ecology of Mangroves. Annual Review of Ecology and Systematics.

MACHADO, N.; VALLADARES, C.; HEILBRON, M.; VALERIANO, C. (1996). U- Pb geochronology of the central Ribeira belt (Brazil) and implications for the evolution of the Brazilian orogeny. Precambrian Research, v.79, n.3-4, p.347-361.

MANSUR, K.L. (2010). Diretrizes para a Geoconservação do Patrimônio Geológico do Estado do Rio de Janeiro: o caso do Domínio Tectônico de Cabo Frio. Tese de Doutorado. UFRJ.

MANSUR, K.L.; GUEDES, E.; SILVA JR.; G.C., REBELO, V.A.L.C. (2012). Groundwater and Biodiversity: the singular case of the Mangue de Pedra, Armação dos Búzios, State of Rio de Janeiro, Brazil. 22nd Salt Water Intrusion Meeting – SWIM. Armação dos Búzios – RJ.

McNEILL J. (1980a). Electromagnetic Terrain Conductivity Measurement at Low Induction Numbers. Technical Note TN, 6: 6-15.

MELO, M.S. et al. (1985). Geologia e evolução do sistema de bacias tafrogênicas continentais do sudeste do Brasil. Revista Brasileira de Geociências - USP. São Paulo - SP. v.15, n.3, p. 193-201.

MENEZES, L. F. T.; PEIXOTO, A. L.; MACIEL, N. C. (2000). A riqueza ameaçada dos manguezais. Ciência Hoje, v. 27, n. 158, p. 63-67.

MMA, (2001). Manguezais: educar para proteger / Organizado por Jorge Rogério Pereira Alves. - Rio de Janeiro: FEMAR: SEMADS, 2001.96 p.: il.

MMA, (2004). Subsídios para um projeto de gestão / Brasília: MMA e MPO. (Projeto Orla). 104 p.

MOHRIAK, W.U.; BARROS, A.Z. (1990). Novas evidências de tectonismo cenozóico na região sudeste do Brasil: o graben de Barra de São João na plataforma continental de Cabo Frio, Rio de Janeiro. Revista Brasileira de Geociências, v.20, n.1-4, p.187- 196.

MORAIS, R.M.O.; MELLO, C.L. (2003). Ponto de Interesse Geológico: Praia Rasa. Projeto Caminhos Geológicos. Disponível em: < <http://www.drm.rj.gov.br/index.php/downloads/section/13-placas-caminhos-geologicos> >. Último acesso em: 30/12/2017.

OLIVEIRA, A.E.S. (2007). Caracterização do Mangue da Praia Gorda, Armação dos Búzios, Estado do Rio de Janeiro - RJ. Revista Cient. Cent. Univ. Barra Mansa – UBM. Barra Mansa - RJ.

PELLEGRINI, J. A. C. et al. (2009). A Method for the Classification of Mangrove Forests and Sensitivity/Vulnerability Analysis. Journal of Coastal Research, p. 443-447.

PEREIRA FILHO, O.; ALVES, J.R.P. (1999). Conhecendo o Manguezal. Apostila técnica, Grupo Mundo da Lama, RJ. 4a ed. 10p.

PRADO, T.P.M. (2015). “Caracterização Hidrogeoquímica da Região do Mangue de Pedra Armação dos Búzios, RJ Departamento de Geologia – IGEO / UFRJ.

REBELO, V. A.L.C. (2013). Caracterização Hidrogeológica e Hidrogeoquímica da região do Mangue de Pedra (Armação dos Búzios, RJ). Trabalho de Conclusão de Curso. Rio de Janeiro. UFRJ / IGEO.

REBOUÇAS, A.C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J.G. (2006). Águas doces do Brasil: capital ecológico, uso e conservação. 3. ed., São Paulo. Escrituras Editora.

RICOMINNI C., SANT’ANNA L.G., FERRARI A.L. (2004). Evolução geológica do ri e Continental do Sudeste do Brasil. In: Mantesso Neto V., Bartorelli A., Carneiro C.D.R, Brito Neves B.B. (eds.). Geologia do Continente Sul-Americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida. Ed. Beca, São Paulo, Brasil, 647 p.

RUBIN, I.N.; ALMEIDA, J.C.H. (2003). Petrografia de Brechas Tectônicas - Um Modelo de Descrição e Classificação. In: 3º International Symposium on Tectonics. Armação dos Búzios. Boletim de Resumos. SBG, v.1, p.149-152.

RUBIN, I.N.; ALMEIDA, J.C.H.; VALLADARES, C.S. (2003). Falha do Pai Vitório: Anatomia do limite de um graben. In: 8º Simpósio de Geologia do Sudeste. São Pedro - SP. Anais. SBG, p.89.

SCHAEFFER-NOVELLI Y. (1989). Perfil dos ecossistemas litorâneos brasileiros, com especial ênfase sobre o ecossistema manguezal. Publicação Especial Instituto de Oceanografia de São Paulo (7): 16p.

SCHAEFFER-NOVELLI Y. (2002). Manguezal: ecossistema que ultrapassa suas próprias fronteiras. In: Congresso Nacional de Botânica, 53., 2002, Recife.

SCHÄFER, A.; LANZER, R.; PEREIRA, R. (2009). Atlas socioambiental: municípios de Mostardas, Tavares, São José do Norte e Santa Vitória do Palmar. Caxias do Sul: Educs, 2009.

SCHMITT, R.S. (2001). A origem de Búzios: Um evento Tectono-Metamórfico Cambro-Ordoviciano caracterizado no Domínio Tectônico de Cabo Frio, Faixa Ribeira – Sudeste do Brasil. Tese de Doutorado. UFRJ.

SCHMITT, R.S.; TROUW, R.A.J.; VAN-SCHUMUS, W.R.; PIMENTEL, M.M. (2004). Late Amalgamation in the central part of Western Gondwana: New Geochronological Date and the Characterization of a Cambrian Collision orogeny in the Ribeira Belt (SE, Brazil). *Precambrian Research*, v.133, p.29-61.

SCHMITT, R.S.; FRIMMEL, H.; FAIRCHILD, T. (2008). Neoproterozoic-Early Paleozoic events in Southwest Gondwana: Introduction. *Gondwana Research*, v.13, p.435-436.

SCHMITT R.S.; TROUW, R.A.J.; VAN SCHMUS, W.R.; PASSCHIER, C.W. (2008a). Cambrian orogeny in the Ribeira Belt (SE Brazil) and correlations within West Gondwana: ties that bind underwater. In: PANKHURST, R.J.; TROUW, R.A.; BRITO NEVES, B.B.; DE WIT, J.J. Eds. *West Gondwana: Pre-Cenozoic Correlations Across the South Atlantic Region*. London: Geological Society of London, Special Publications, v. 294, p.279-296.

SCHMITT, R. S.; TROUW, R. A.J.; MEDEIROS, S.R.; DANTAS, E. L. (2008b). Age and geotectonic setting of a Late-Neoproterozoic amphibolite and paragneiss association from

southeastern Brazil based on geochemistry and Sm-Nd data. *Gondwana Research*, v.13, p. 502-515.

SCHMITT, R.S.; GÓES, N.F.B.; MORAES, J.M.; GERALDES, M.C.; GUERRA, J.V.; MELLO, C.L.; MORAIS, R.M.O.; MENDES, J.C.; HEILBRON, M.; ALMEIDA, J.C.H.;

SCHMITT R.S. & ARMSTRONG R. (2014). Unraveling the tectonic evolution of Brasiliano orogens from the actual South Atlantic margins – new U-Pb data. In: 9<sup>th</sup> South American Symposium on Isotope Geology. Program and Abstracts, 91 p.

SCHMITT, R.S.; TROW, R.; VAN SCHMUS, W.R.; ARMSTRONG, R.; STANTON, N.S.G. (2016). The tectonic significance of the Cabo Frio Tectonic Domain in the SE Brazilian margin: a Paleoproterozoic through Cretaceous saga of a reworked continental margin. *Brazilian Journal of Geology*, 46 (1): 37-66.

SEABRA, V.S.; SILVA JR., G.C.; CRUZ, C.B.M. (2008). The Use of Geoprocessing to Assess Vulnerability on the East Coast Aquifers of Rio de Janeiro State, Brazil. *Environmental Geology*, Berlin, v.55, p.1345-6.

SICHEL, S.E; ALVES, E.C.; SPERLE, M.D.; ARAUJO, A.N.; CHIANELLO, E.L. (1997). Geocronologia dos Maciços Alcalinos de Itatiaia, Tanguá, Rio Bonito, Morro de São João e Ilha de Cabo Frio (RJ) e a Natureza do Lineamento Alcalino de Cabo Frio. 5<sup>o</sup> Simpósio Brasileiro do Sudeste. Penedo/Itatiaia - RJ. Atas, SBG, p. 62 -64.

SILVA JR, G.C. (2003) Relatório Final do Projeto Estudo de aquíferos costeiros no leste do Estado do Rio de Janeiro. (Proc. Número 478975/2001-5).

SOFFIATI, A., (2012). Parecer sobre a proteção do “Mangue de Pedra”, no município de Búzios, por um Monumento Natural. Campos dos Goytacazes - RJ.

SOUZA, M. M. (2005). Uso do Georadar (GPR) em investigações ambientais. PUC, Departamento de Engenharia Civil. Rio de Janeiro. 120 p.

SOUZA, P.C.M. (2011). Análise cinemática e dinâmica do sistema de falhas cenozóicas ENE-WSW do entorno da Lagoa de Araruama (RJ). Tese de Mestrado, Federal University of Rio de Janeiro. 139 p.

SRU/MMA. (2007). Secretaria de Recursos Hídricos e Ambiente Urbano - Ministério do Meio Ambiente. Brasília. p. 40.

TETZNER, W. (2002). Tectônica, petrografia e geoquímica dos diques toleíticos do Cabo de Búzios (RJ). Dissertação de Mestrado. UERJ. 88p.

TETZNER, W. (2010). Unidades Litoestratigráficas. In: SCHMITT, et al. Geologia das Folhas Cabo Frio e Rio das Ostras. Capítulo 3. Programa Geologia do Brasil - PRONAGEO. CPRM-UERJ.

THOM, B.G. (1982). Mangrove ecology: a geomorphological perspective. In: B.F. Clough (Ed.). Mangrove ecosystems in Australia, structure, function and management. Australian National University Press, Camberra, p. 3-17.

TIAGO, N; BENFEITA, J.V.E; MANSUR, K.L; SILVA. (2016). Avaliação de série temporal de parâmetros do aquífero para caracterização do funcionamento hidrogeológico do Mangue de Pedra, Armação dos Búzios – RJ. Trabalho de Iniciação Científica; Departamento de Geologia – IGEO / UFRJ.

TOMLINSON, P. B. (1986). The Botany of Mangroves. New York: Cambridge University Press.170p.

TWILLEY, R. R.; SNEDAKER, S.C.; YÁÑES-ARANCIBIA, A.; MEDINA, E. (1996). Biodiversity and ecosystem processes on tropical estuaries: perspectives of mangrove ecosystems. In: MOONEY, H. A.; J. H. CUSHMAN & E. MEDINA (eds): Functional Roles Biodiversity: A Global Perspective, p.327-370.