

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO  
CENTRO DE CIÊNCIAS MATEMÁTICAS E DA NATUREZA  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

CAIO ALMEIDA CARVALHO

**CARACTERIZAÇÃO LITOLÓGICA DO AQUÍFERO MANGUE DE PEDRA,  
ARMAÇÃO DE BÚZIOS - RJ**

Trabalho de Conclusão de Curso

(Geologia)

UFRJ  
Rio de Janeiro  
2023



**UFRJ**  
UNIVERSIDADE FEDERAL  
DO RIO DE JANEIRO

**CAIO ALMEIDA CARVALHO**

**CARACTERIZAÇÃO LITOLÓGICA DO AQUÍFERO MANGUE DE PEDRA –  
ARMAÇÃO DE BÚZIOS, RJ**

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

Orientadora:

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

Rio de Janeiro

Março de 2023

Almeida Carvalho, CAIO

**CARACTERIZAÇÃO LITOLÓGICA DO AQUÍFERO  
MANGUE DE PEDRA – ARMAÇÃO DE BÚZIOS, RJ/** Caio  
Almeida Carvalho - Rio de Janeiro: UFRJ / IGEO, 2023.

xiii, 079 p.: 42 il.; 30cm

Trabalho de Conclusão de Curso (Geologia) – Universidade  
Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Geociências,  
Departamento de Geologia, 2023.

Orientadora: Kátia Leite Mansur.

1. Geologia. 2. Geoconservação, Geologia Ambiental e  
Hidrogeologia – Trabalho de Conclusão de Curso. I. Kátia, Leite  
Mansur. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de  
Geociências, Departamento de Geologia. III. Caracterização  
Litológica do Aquífero Mangue de Pedra – Armação de Búzios,  
Rio de Janeiro, Brasil.

CAIO ALMEIDA DE CARVALHO

**CARACTERIZAÇÃO LITOLÓGICA DO AQUÍFERO MANGUE DE PEDRA –  
ARMAÇÃO DE BÚZIOS, RJ**

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

Orientadora:

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

Aprovada em: \_\_/\_\_/\_\_\_\_

Por:

---

Orientador: Prof<sup>a</sup>. Kátia Leite Mansur (UFRJ)

---

Prof. Gerson Cardoso da Silva Júnior (UFRJ)

---

Guido Monteiro Albuquerque

*Ao meu amado avô, Joaquim Ferreira da Silva que, falecido em janeiro do mesmo ano de apresentação deste trabalho, não teve a oportunidade de estar fisicamente comigo neste momento.*

## **Agradecimentos**

Agradeço primeiramente aos meus pais Bianca e Sérgio que sempre me incentivaram a buscar, no caminho dos estudos, a excelência acadêmica através de toda a estrutura familiar que me forneceram ao longo dos meus anos de estudo.

À minha orientadora e amiga Profa. Kátia Leite Mansur pela oportunidade de participar do presente projeto como bolsista, por todo seu esforço incondicional em fazer o projeto acontecer e por sua orientação frente a todas as dificuldades de se fazer ciência em meio a um contexto pandêmico e de escasso fomento financeiro.

Aos meus amigos, que não se limitam somente aos colegas de graduação da turma de geologia da UFRJ de 2016, mas também se espalham por outras esferas e me incentivaram durante toda a minha caminhada de graduação mantendo a minha moral e ânimo em alta, com uma gratidão ainda maior aqueles mais próximos de mim: Anna Alice Couto Gomes e Juliana Ferreira Barreto.

Aos meus colegas de laboratório Paulo Vinícius Tavares Pádua e Guilherme Tenório Smith da Costa sobrenome que por múltiplas vezes auxiliaram nas saídas de campo para coleta de dados.

A Universidade Federal do Rio de Janeiro, mais especificamente ao Instituto de Geociências da UFRJ pelo ensino acadêmico de excelência que me permitiu desenvolver de forma estrondosa o meu nível de conhecimento na área de geologia e em outras formas de conhecimento, também por fomentar o presente trabalho através da minha bolsa de iniciação científica através do CNPQ, e ajuda de custo através do pagamento de diárias de campo e disponibilização de transporte até a área de estudo.

Aos membros da banca examinadora por aceitarem o convite e disporem do tempo para participar e avaliar o presente trabalho.

## Resumo

CARVALHO, Caio Almeida. **CARACTERIZAÇÃO LITOLÓGICA DO AQUÍFERO MANGUE DE PEDRA – ARMAÇÃO DE BÚZIOS, RJ**. Rio de Janeiro, 2023. xiii, 079 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Geologia) – Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

É comum encontrar manguezais por toda a costa brasileira, porém o existente no geossítio Mangue de Pedra, localizado em Armação de Búzios, Região dos Lagos do estado do Rio de Janeiro, se diferencia destes outros de forma bastante singular: não apresenta substrato lamoso e nem mesmo aporte de água doce fluvial em sua extensão. O manguezal é mantido pela água meteórica que se infiltra nos sedimentos da Formação Barreiras, formando o aquífero costeiro, e é drenada em direção ao mar. Especificamente sobre o Mangue de Pedra, sua preservação e manutenção tange à comunidade geocientífica pelo caráter geológico único e interesse histórico e cultural associado à comunidade do Quilombo da Rasa. Pela necessidade de obter dados para seu manejo e preservação, este trabalho tem como objetivo promover uma caracterização litológica e petrográfica das rochas da Formação Barreiras, na região do Aquífero Mangue de Pedra, bem como uma avaliação hidrogeológica do nível d'água do aquífero. Através da perfuração de três poços de monitoramento foi possível verificar uma variação negativa no nível de água do aquífero durante mais de um ano de monitoramento, o que levanta um alerta a respeito das condições hidrogeológicas que sustentam o manguezal. A partir da coleta de 15 amostras de rochas para confecção de lâminas delgadas foi possível realizar uma caracterização litológica inédita no Mangue de Pedra que categorizou as rochas em que o aquífero está inserido como Arcóseos e Arcóseos líticos. No geral, essas rochas sedimentares possuem alta capacidade de armazenamento e transmissão de água. Através do mapeamento litológico, ficou clara a organização das rochas que compõem a região da Área de Proteção Ambiental Municipal do Mangue de Pedras, que inclui a Falha do Pai Vitório, borda sul do Gráben de Barra de São João. Esta falha separa os sedimentos do Neógeno, representados pela Formação Barreiras, ao norte e, ao sul, as rochas que fazem parte do embasamento como ortognaisses e ortoanfibolitos paleoproterozoicos do Complexo Região dos Lagos, da cobertura cambriana dos paragnaisses da Sucessão Búzios, todos cortados pelos diques toleíticos do Cretáceo.

Palavras-chave: Mangue de Pedra; Formação Barreiras; Petrografia.

## Abstract

CARVALHO, Caio Almeida. **LITHOLOGICAL CHARACTERIZATION OF THE MANGUE DE PEDRA AQUIFER - ARMAÇÃO DE BÚZIOS, RJ.** Rio de Janeiro, 2023. xiii, 079 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Geologia) – Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

It is common to find mangroves all over the Brazilian coast, but the Mangue de Pedra geosite, located in Armação de Búzios, in the Lakes Region of the state of Rio de Janeiro, differs from these others in a unique way: it does not have a muddy substrate nor even a contribution of fluvial fresh water in its extension. The mangrove is maintained by meteoric fresh water that infiltrates the sediments from the Barreiras Formation, forming the aquifer, and moving towards the sea. Concerning the Mangue de Pedra, its preservation and maintenance involves the scientific community due to its unique geological character and its historical and cultural interest associated with the Quilombo community of Rasa beach. Due to the need to obtain data for its management and preservation, this work aims to promote a lithological and petrographic characterization of the rocks of the Barreiras Formation, around the Mangue de Pedra Aquifer, including a hydrogeological analysis of the water levels variation. Through the drilling of three monitoring wells, it was possible to verify a negative variation in the water level of the aquifer for more than a year of monitoring, which raises an alert about the hydrogeological conditions that maintain the mangrove. With 15 rock samples collected for preparing thin sections, it was possible to perform an unprecedented lithological characterization in the Mangue de Pedra area, which categorized the rocks in which the aquifer is inserted as arkoses and lithic arkoses, sedimentary rocks that in general have a high storage and water transmission capacity. Through the lithological mapping it was possible to identify the organization of the rocks that make up the region of the Environmental Protection Area Mangue de Pedras including the Pai Vitório Fault, which marks the southern edge of the Barra de São João Graben and separates the neogene sediments, represented in the area by the Barreiras Formation to the north and, to the south, the rocks that form part of the basement of the graben were identified such as the paleoproterozoic orthogneisses and amphibolites of the Região dos Lagos Complex and Cambrian paragneisses of the Búzios Succession, all cut by the Cretaceous toleitic dykes.

Key-Words: Mangue de Pedra; Formação Barreiras; petrography.



## Lista de Figuras

Figura 1 - Localização da área de estudo. ....	5
Figura 2 - Mapa de acesso ao Mangue das Pedras, com partida da cidade do Rio de Janeiro. Retirado do <i>Google Maps</i> .....	6
Figura 3 - Subdivisão do sistema Orogênico Mantiqueira (Heilbron <i>et al.</i> , 2004). ....	7
Figura 4 - Esquema do segmento central da Faixa Ribeira (Heilbron <i>et al.</i> , 2004). ....	8
Figura 5 - Mapa Geológico do Domínio Tectônico de Cabo Frio (Schmitt <i>et al.</i> , 2016). ....	9
Figura 6 - Perspectiva geral da área de estudo. ....	14
Figura 7 - Mapa geológico da região do Mangue de Pedra e da Falha do Pai Vitório (Rubim, 2004).....	15
Figura 8 - Fácies identificadas na Formação Barreiras no estado do Rio de Janeiro. Retirado de Morais <i>et al.</i> (2006). ....	16
Figura 9 - Distribuição dos manguezais no litoral brasileiro. Retirado de Santos, 2012. A área pintada de verde não reflete de fato a área de cobertura dos manguezais e visa apenas ilustrar as áreas da costa, que de forma geral, possuem ocorrência de manguezais. ....	18
Figura 10 - Exemplo do processo de aquisição das características químicas da água retirada do poço. Na imagem é possível o medidor de potencial redox (cor verde), de pH (cor vermelha) e salinidade/total de sólidos dissolvidos/conductividade elétrica e temperatura (cor preta). ....	25
Figura 11 - Processo de perfuração e condicionamento dos poços. ....	27
Figura 12 - Mapa de pontos visitados durante o mapeamento litológico com indicação das amostras que foram laminadas e indicação dos poços de monitoramento perfurados. ....	29
Figura 13 - Mapa litológico gerado a partir do mapeamento litológico do presente projeto. ...	30
Figura 14 - Laje de ortognaisse dobrado localizada no Ponto 1.....	32
Figura 15 - Laje de anfibólito com laje de gnaiss ao se redor no Ponto 3.....	33

Figura 16 - Amostra de cataclasito retirada do núcleo da Falha do Pai Vitório, Ponto 6. ....	34
Figura 17 - Afloramento de brecha de falha localizado no Ponto 24. ....	34
Figura 18 - Falésia ativa de arcóseos da Formação Barreiras no Ponto 8. ....	35
Figura 19 - Conglomerado observado no piso da praia próximo ao Poço 1, no Ponto 30. ....	36
Figura 20 - Falésia ativa da Formação Barreiras localizada próxima ao Poço 3, no Ponto 17, com intercalação de arcóseos e conglomerados. ....	37
Figura 21 - Nível conglomerático com concreções e cimentação por precipitados de óxido de ferro no Ponto 35, próximo a colônia de pescadores da Rasa. ....	37
Figura 22 - Esquema simplificado representando a Falha do Pai Vitório e os depósitos de tálus. ....	38
Figura 23 - Depósito de tálus na área do Mangue de Pedra, composto principalmente por matações de brecha de falha. ....	39
Figura 24 - Detalhes da Lâmina P-1. Nicóis descruzados à esquerda e cruzados à direita. Indicação de siglas: BTA = Biotita, QTZ = Quartzo, PLG = Plagioclásio, KFEL = K-Feldspato e FE = Precipitados de Ferro. ....	40
Figura 25 - Detalhes da Lâmina P-1. Nicóis descruzados à esquerda e cruzados à direita. Indicação de siglas: BTA = Biotita, QTZ = Quartzo, PLG = Plagioclásio, KFEL = K-Feldspato, FL = Fragmento lítico e MB = Mica branca. ....	41
Figura 26 - Detalhes da Lâmina M-7. Nicóis descruzados à esquerda e cruzados à direita. Indicação de siglas: BTA = Biotita, FL = Fragmento lítico e CAL = Calcedônia. ....	42
Figura 27 - Detalhes da Lâmina P-8A. Nicóis descruzados à esquerda e cruzados à direita. Indicação de siglas: FL = Fragmento lítico, MB = Mica branca, QTZ = Quartzo. ....	43
Figura 28 - Intercalação de níveis conglomeráticos com níveis arcoseanos nas falésias da Formação Barreiras. ....	44

Figura 29 - Detalhes da Lâmina M-15. Nicóis descruzados à esquerda e cruzados à direita. Indicação de siglas: FL = Fragmento lítico, MB = Mica branca, QTZ = Quartzo, KFEL = K-Feldspato e BTA = Biotita.....	45
Figura 30 - Arcóseo localizado no Ponto 32. ....	46
Figura 31 - Detalhes da Lâmina A. Nicóis descruzados à esquerda e cruzados à direita. Indicação de siglas: QTZ = Quartzo e BTA = Biotita e PLG = Plagioclásio.....	47
Figura 32 - Detalhes da Lâmina B. Nicóis descruzados à esquerda e cruzados à direita. Indicação de siglas: QTZ = Quartzo e BTA = Biotita, PLG = Plagioclásio e KFEL = K-Fedlspato. ....	48
Figura 33 - Detalhes da Lâmina C. Nicóis descruzados à esquerda e cruzados à direita. Indicação de siglas: QTZ = Quartzo e BTA = Biotita e MCR = Microclina. ....	49
Figura 34 - Diagrama QFL com plotagem a partir da contagem modal dos minerais presentes nas lâminas petrográficas e cálculo de proporções segundo a Tabela 02.....	50
Figura 35 - Perfil de granulometria traçado ao longo do Poço 1 e descrição do material retirado do substrato.....	53
Figura 36 - Perfil de granulometria traçado ao longo do Poço 2 e descrição do material retirado do substrato.....	54
Figura 37 - Perfil de granulometria traçado ao longo do Poço 3 e descrição do material retirado do substrato.....	54
Figura 38 - Gráfico de variação do nível de água do Poço 1 entre dezembro de 2021 e fevereiro de 2023. ....	56
Figura 39 - Gráfico de variação do nível de água do Poço 2 entre dezembro de 2021 e fevereiro de 2023. ....	56
Figura 40 - Gráfico de variação do nível de água do Poço 3 entre dezembro de 2021 e fevereiro de 2023. ....	57

Figura 41 - Variação da precipitação mensal acumulada na região de Cabo Frio e Armação de Búzios em comparação com a variação do nível d'água observado nos Poços 1 e 2 ao longo do estudo.....	58
Figura 42 - Comparação entre a falha inferida com base no mapeamento litológico do presente projeto (A) e a família de falhas inferidas através do levantamento eletrorresistivo realizado na área de estudo (B), retirado de Albuquerque (2022). ....	60

### **Lista de Tabelas**

Tabela 1 - Equipamentos utilizados para aquisição de dados químicos e suas finalidades. ....	26
Tabela 2 - Cálculo da proporção de quartzo, feldspato e fragmentos líticos nas lâminas para plotagem no diagrama QFL.....	51
Tabela 3 - Composição modal das lâminas. ....	52
Tabela 4 - Valores médios de informações de cada poço.....	55

## SUMÁRIO

<b>Agradecimentos .....</b>	<b>v</b>
<b>Resumo .....</b>	<b>vi</b>
<b>Abstract .....</b>	<b>vii</b>
<b>Lista de Figuras .....</b>	<b>viii</b>
<b>Lista de Tabelas .....</b>	<b>xi</b>
<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>2 OBJETIVOS .....</b>	<b>4</b>
<b>3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....</b>	<b>5</b>
<b>3.1 Localização e Acesso .....</b>	<b>5</b>
<b>3.2 Geologia Regional .....</b>	<b>6</b>
<b>3.3 Geologia Local.....</b>	<b>12</b>
3.3.1 Formação Barreiras .....	15
<b>4 EMBASAMENTO TEÓRICO .....</b>	<b>18</b>
<b>4.1 Mangues.....</b>	<b>18</b>
<b>4.2 Áreas de Proteção Ambiental .....</b>	<b>20</b>
<b>4.3 Hidrogeologia .....</b>	<b>21</b>
<b>5 MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>23</b>
<b>5.1 Mapeamento Litológico.....</b>	<b>23</b>
<b>5.2 Petrografia Sedimentar .....</b>	<b>24</b>
<b>5.3 Poços de Monitoramento de Água.....</b>	<b>24</b>
<b>6 RESULTADOS .....</b>	<b>28</b>
<b>6.1 Mapa litológico-estrutural .....</b>	<b>28</b>
6.1.1 Descrição dos litotipos mapeados .....	31
<b>6.2 Descrição das lâminas.....</b>	<b>39</b>

<b>6.3 Classificação das amostras segundo diagrama QFL .....</b>	<b>49</b>
<b>6.4 Caracterização do aquífero .....</b>	<b>53</b>
6.4.1 Perfis dos poços .....	53
6.4.2 Variação do nível de água e análise físico-química .....	55
<b>7 DISCUSSÃO .....</b>	<b>59</b>
<b>8 CONCLUSÃO.....</b>	<b>63</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>65</b>
<b>ANEXO I – AUTORIZAÇÃO AMBIENTAL EMITIDA PELA PREFEITURA DA CIDADE DE BÚZIOS PARA REALIZAÇÃO DO PROJETO NA ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL MANGUE DE PEDRAS.....</b>	<b>70</b>
<b>APÊNDICE I - TABELA DE DESCRIÇÃO DOS PONTOS DE MAPEAMENTO. ....</b>	<b>71</b>
<b>APÊNDICE II – TABELA DE DADOS DO MONITORAMENTOS DOS POÇOS.....</b>	<b>74</b>
<b>APÊNDICE III - SCANS TOTAIS DAS LÂMINAS PETROGRÁFICAS. ....</b>	<b>75</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O manguezal é um ecossistema associado a regiões costeiras, desenvolvido na transição de ambiente terrestre para o marinho, sendo usualmente relacionado a foz de um rio e presença de substrato inconsolidado, lodoso e pouco oxigenado. Esse ecossistema hospeda uma extensa biodiversidade, sendo considerado como berçário natural, tanto por espécies vegetais típicas quanto por aves, peixes, moluscos ou crustáceos, devido suas condições ideais para reprodução, eclosão, criadouro, abrigo e alimentação (Soffiati, 2011). Infelizmente, a cada dia os manguezais são mais ameaçados por pressões antrópicas, historicamente relevantes em áreas costeiras.

É comum encontrar manguezais por toda a costa brasileira, porém o existente no geossítio Mangue de Pedra, localizado em Armação de Búzios, Região dos Lagos do estado do Rio de Janeiro, se diferencia destes outros de forma bastante singular: não apresenta substrato lamoso e nem mesmo aporte de água doce fluvial em sua extensão. O substrato do manguezal é formado em grande parte por fragmentos rochosos de tamanho areia até matacão, relacionados a leques aluviais cenozoicos de gênese atrelada à atividade da Falha do Pai Vitório, que por sua vez, constitui a borda sul do Gráben de Barra de São João (Rubim, 2004). O manguezal é mantido pela água doce meteórica que se infiltra a partir das áreas mais elevadas adjacentes e, por sua vez, desloca-se em direção ao mar e se infiltra para alimentar o aquífero inserido na Formação Barreiras (Mansur, 2010; Albuquerque *et al.*, 2019; Albuquerque *et al.*, 2022).

Historicamente observa-se uma concentração de ocupação populacional em áreas costeiras. Segundo o IBGE (2011), aproximadamente 26,6% da população brasileira ocupa municípios da zona costeira do Brasil. Essa concentração populacional diminui o espaço habitável disponível e abre margem para que haja um avanço da especulação imobiliária em áreas litorâneas, podendo gerar danos a ecossistemas costeiros apesar de sua importância

científica e ambiental. É necessário priorizar a conservação de manguezais, não só pela preservação das espécies que dele dependem para viver e se reproduzir, mas para evitar prejuízos econômicos e ambientais.

Descobertas recentes sugerem que os manguezais também podem ter importante papel nas mudanças climáticas do nosso planeta, agindo como reservatórios de carbono, uma vez que o seu solo, de caráter redutor, impede a decomposição da maior parte da matéria orgânica ali presente. As áreas de mangue podem sequestrar até 1 bilhão de toneladas de carbono por ano, tendo de duas a até quatro vezes mais potencial de sequestro de carbono do que outros biomas, quando comparados áreas de cobertura iguais (Rovai, 2022).

A manutenção dos manguezais implica em preservar a subsistência de comunidades pesqueiras que se localizam ao seu entorno, porque estes ecossistemas produzem a maior parte do alimento que o homem captura no mar e, em relação a dinâmica de sedimentos, contribui para a estabilidade da linha de costa uma vez que sua vegetação fixa o solo e impede a erosão (Soffiati, 2011). Especificamente sobre o Mangue de Pedra, sua preservação e manutenção tange a comunidade quilombola da Praia Rasa que explora a área para abrigar barcos, pesca e extrair mariscos.

A importância científica da região é outro fator a ser considerado. O Mangue de Pedra, do ponto de vista geológico, apresenta sete tipologias consideradas na classificação de patrimônio geológico quanto ao seu conteúdo: tectônica, geoambiental, sedimentar, paleoambiental, hidrogeológico, estratigráfico e geomorfológico (Mansur, 2010). Há também o interesse histórico e cultural, o que gera uma densidade de tipologias muito alta (Mansur, 2010). Além disso, também foi reconhecido como terceiro geossítio de maior importância científica do Domínio Tectônico Cabo Frio, motivo que justificou sua integração na lista de geossítios relevantes do território do projeto Geoparque Costões e Lagunas do Estado do Rio de Janeiro (Mansur *et al.*, 2012).



Devido sua relevância científica e ambiental, o Mangue de Pedra apresenta diversos argumentos para sua preservação. Este trabalho se justifica pela necessidade de sua preservação, sendo parte do projeto “Caracterização litológico-estrutural do geossítio Mangue de Pedra”, do qual o autor participou como bolsista em atividades de iniciação científica, sob orientação da Prof. Kátia Mansur. Este projeto tem como objetivo gerar dados de caráter geológico que auxiliem e integrem na produção do Plano de Manejo da APA Mangue de Pedras e seu aquífero, fornecendo uma caracterização geológica inédita naquela área de preservação, através do mapeamento litológico e estrutural, caracterização petrográfica e acompanhamento de poços de monitoramento de água do aquífero.

## 2 OBJETIVOS

Considerando a necessidade de dados sólidos, não só para conhecimento geológico-ambiental, mas também para gestão e administração de áreas protegidas, esta pesquisa almeja agregar informações para caracterização litológica-estrutural do geossítio Mangue de Pedra.

A Formação Barreiras, apesar de ser bastante distribuída pela costa brasileira, não é bem detalhada na região de estudo. A análise petrográfica da unidade, na localidade do Mangue de Pedra é pioneira e espera agregar informações para o conhecimento geológico e hidrogeológico da região.

Este trabalho tem como objetivo promover uma caracterização da região a partir de mapeamento geológico, análise petrográfica das rochas e sedimentos da Formação Barreiras, que compõem o Aquífero Mangue de Pedra, para preencher lacunas acerca desta formação geológica e seu comportamento enquanto aquífero.

### 3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

#### 3.1 Localização e Acesso

A área de estudo está localizada no estado do Rio de Janeiro, na Região dos Lagos. O Mangue de Pedras se situa na Praia Gorda (Figura 1) no município de Armação de Búzios, que faz divisa com o município de Cabo Frio, possui área territorial de cerca de 70,977 km<sup>2</sup> e população estimada em 35.060 habitantes (IBGE, 2021).

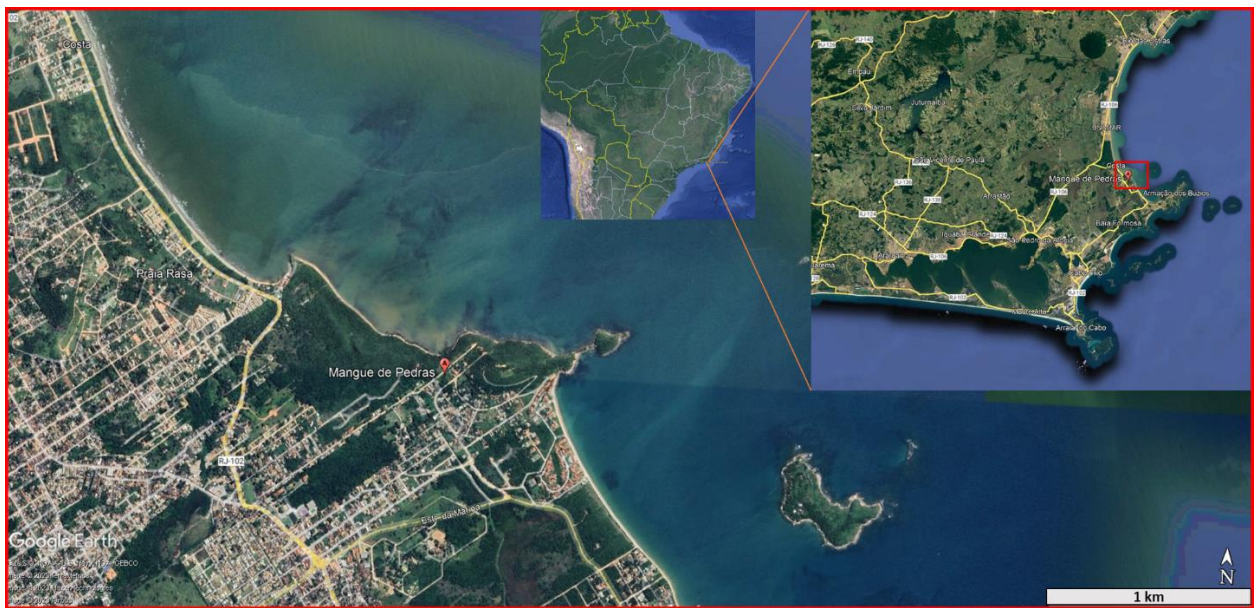


Figura 1 - Localização da área de estudo.

O acesso ao município de Armação de Búzios é facilitado devido seu caráter turístico, tendo vias expressas bem estruturadas durante todo o percurso do Rio de Janeiro até a sede municipal. Partindo do Rio de Janeiro, o acesso é possível pela ponte Rio-Niterói, BR-101, seguindo pela Via Lagos (RJ-124) ou pela Rodovia Amaral Peixoto (RJ-106) e, por fim, a rodovia RJ-102 (Figura 2).

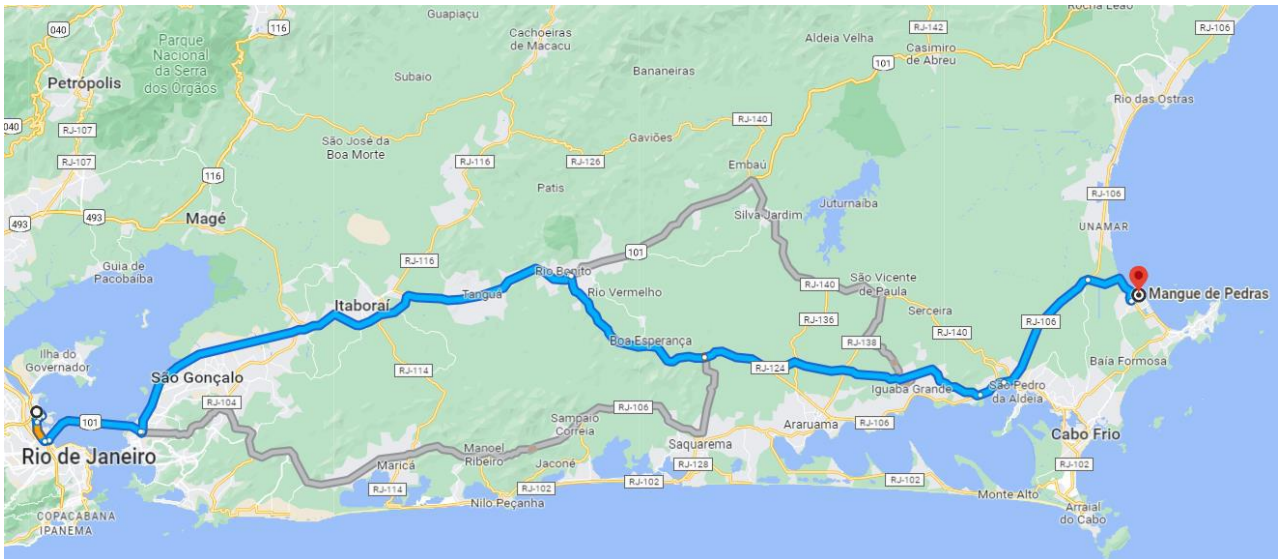


Figura 2 - Mapa de acesso ao Mangue das Pedras, com partida da cidade do Rio de Janeiro. Retirado do *Google Maps*.

### 3.2 Geologia Regional

O Rio de Janeiro está contido geologicamente no Sistema Orogênico Mantiqueira, uma faixa na costa brasileira que se estende do sul da Bahia até o Uruguai. Pode ser dividido em três setores, sendo eles uma porção setentrional, que engloba o orógeno Araçuai, uma porção central, englobando os orógenos Brasília Sul, Ribeira e Apiaí, e uma porção meridional englobando os orógenos Dom Feliciano e São Gabriel (Figura 3). O estado do Rio de Janeiro faz parte da porção central da Província Mantiqueira, dentro da Faixa Ribeira (Heilbron *et al.*, 2000). Schmitt *et al.* (2008a) consideram o Domínio Tectônico Cabo Frio como terreno exótico à Faixa Ribeira, sendo associado a terrenos africanos.

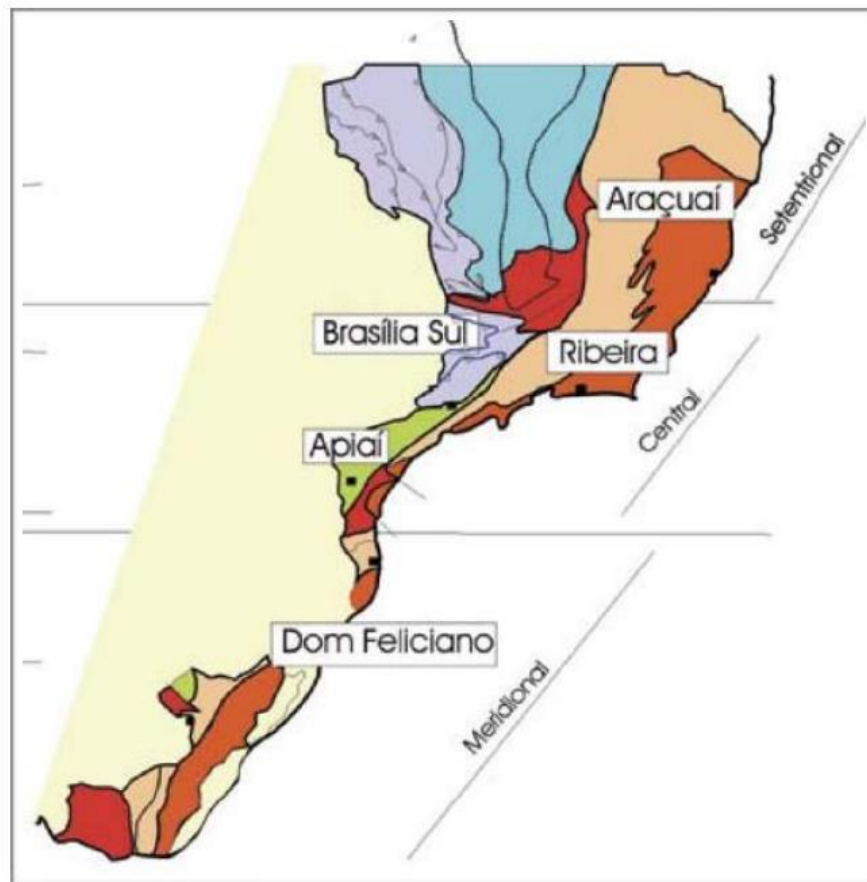


Figura 3 - Subdivisão do sistema Orogênico Mantiqueira (Heilbron *et al.*, 2004).

### **Faixa Ribeira**

A Faixa Ribeira se estende ao longo da margem Atlântica da região sudeste brasileira e desenvolveu-se a partir da aglutinação parcial do Gondwana Ocidental, durante a orogênese Brasiliana-Panafricana, formada entre o Neoproterozoico e o Cambriano. Como resultado da interação deste paleocontinente com outras microplacas, formou-se um conjunto de terrenos tectônicos empilhados sucessivamente sobre a margem sudeste do Cráton São Francisco (Heilbron *et al.*, 2004).

O segmento central da Faixa Ribeira é constituído por quatro unidades tectônicas principais (Figura 4), limitadas por empurrões ou zonas de cisalhamento dúcteis oblíquas de alto ângulo, imbricados para NW-W em direção ao Cráton 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 Ma. (Machado *et al.*, 1996; Heilbron & Machado, 2003), enquanto o último só foi tardiamente colado ao orógeno, já no Cambriano, há cerca de 530 Ma. (Schmitt, 2001).

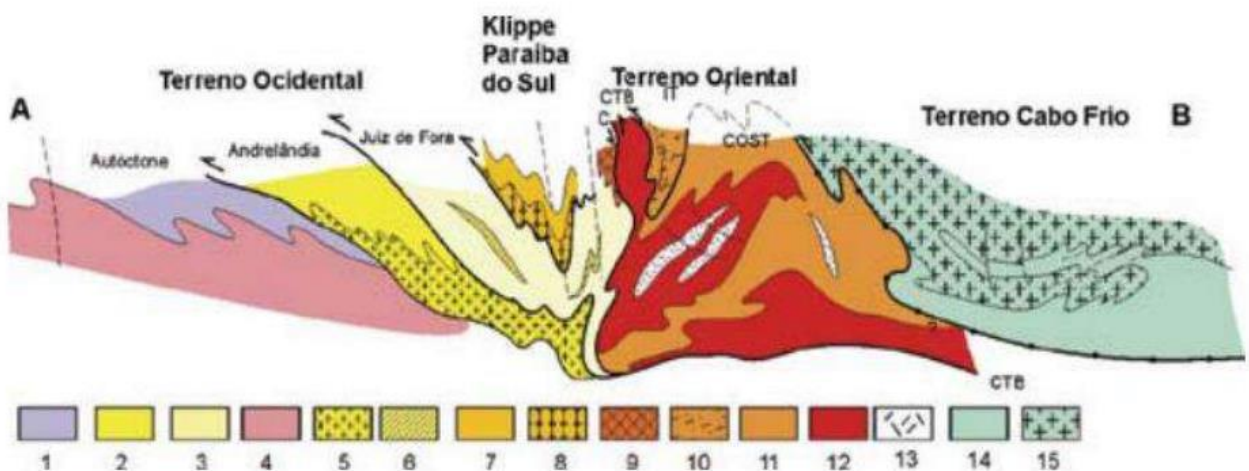


Figura 4 - Esquema do segmento central da Faixa Ribeira (Heilbron *et al.*, 2004).

### **Domínio Tectônico Cabo Frio (DTCF)**

O Terreno ou Domínio Tectônico Cabo Frio (Figura 5) é caracterizado como uma associação de feições geológicas que se distinguem de terrenos adjacentes, a partir de uma evolução geológica própria e separada dos outros terrenos por uma sutura tectônica. Uma interpretação do DTCF é de que este seria a parte do continente africano que se manteve colado ao continente americano mesmo depois do rifteamento durante o Mesozoico, sendo a última região amalgamada ao Gondwana durante o Cambriano, por volta de aproximadamente 520 Ma (Schmitt *et al.*, 2004; 2008a).

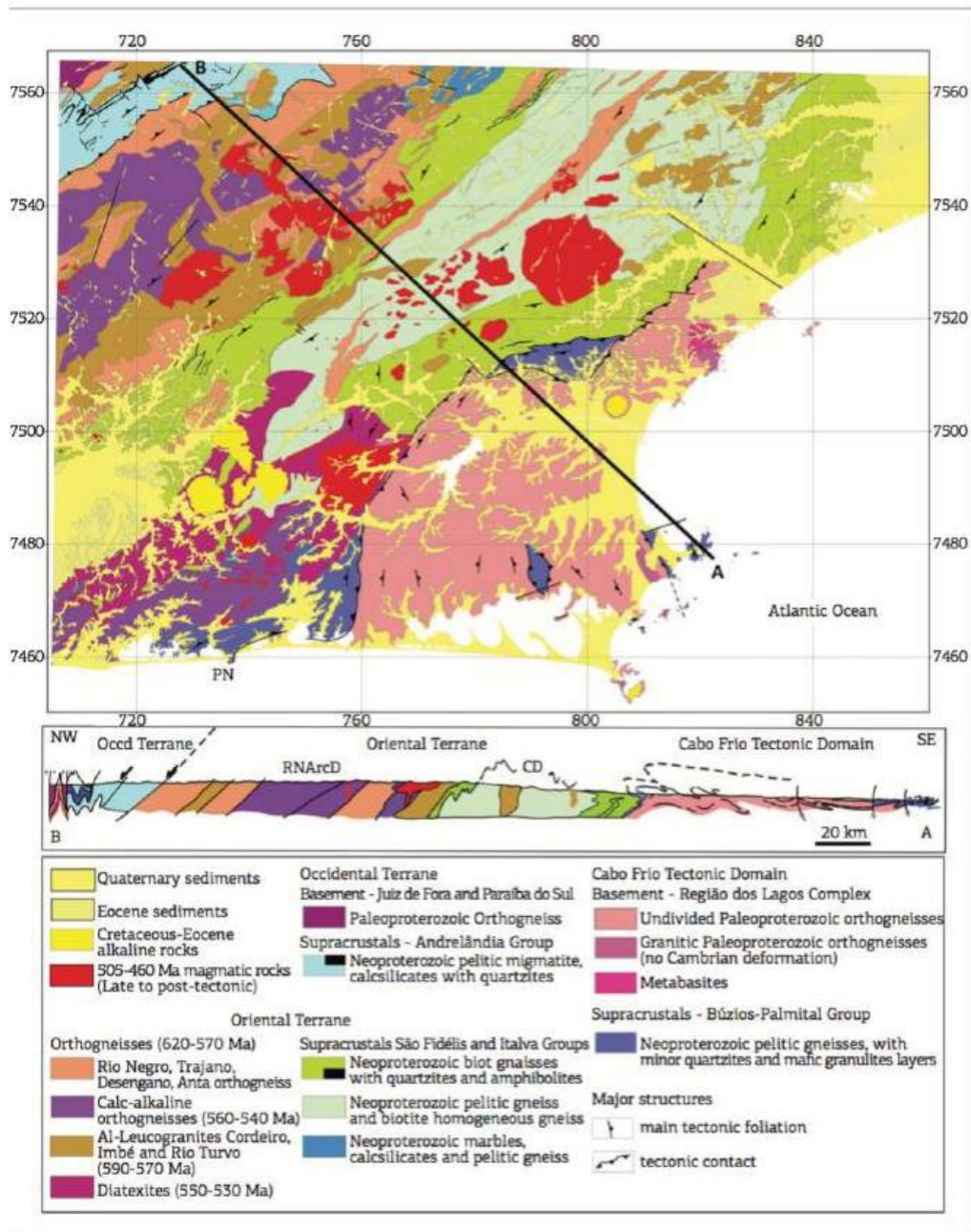


Figura 5 - Mapa Geológico do Domínio Tectônico de Cabo Frio (Schmitt *et al.*, 2016).

### **Embasamento Paleoproterozoico**

O embasamento do DTCF é associado ao Complexo Região dos Lagos (Fonseca *et al.*, 1979), composto em sua grande maioria por ortognaisses graníticos. Esta unidade é associada a uma crosta continental formada durante o Orosiriano por séries magmáticas cálcio-alcálicas (Schmitt *et al.*, 2004; 2008a). A litologia mais antiga observada é um grupo de anfibolito, biotita quartzo diorítico e ortognaisses tonalíticos. Tanto essas rochas mais antigas como os

ortognaisses graníticos predominantes apresentam idade de cristalização que variam de 1,95 Ga a 2,0 Ga (Schmitt *et al.*, 2016).

### **Rochas Neoproterozóicas**

Não há registro de unidades litológicas no decorrer do Mesoproterozoico. O próximo registro de unidades aparece como diques toleíticos que cortam as rochas do embasamento, mas não as rochas supracrustais do Neoproterozoico, corroborando para a hipótese de que essas rochas supracrustais seriam *nappes* surgidas no final do Cambriano (Schmitt *et al.*, 2016).

Esse grupo de rochas inclui gnaisses máficos e paragnaisses e, a partir das litofácies observadas, foram definidas em duas unidades denominadas como Unidade Búzios e Unidade Palmital. A Unidade Búzios é principalmente composta por paragnaisses pelíticos, contendo silimanita, cianita, granada e biotita, enquanto a Unidade Palmital é principalmente composta de granada-silimanita-biotita paragnaisses, leucocráticos a mesocráticos, com intercalações de camadas de quartzito feldspático e calcissilicatos esverdeados (Schmitt *et al.*, 2016). Segundo Fernandes *et al.* (2015) a Unidade Búzios foi formada em ambiente extensional por volta de 600 Ma e a Unidade Palmital foi depositada em ambiente convergente, entre 590-550 Ma, culminando numa colisão continental conhecida como Orogenia Búzios.

### **Rochas Mesozoicas**

Durante o Mesozoico há registro de magmatismo e as rochas afloram como diques extensos de rocha não metamorfizada preenchendo falhas e fraturas. Esses diques são interpretados como sendo registros da abertura do Oceano Atlântico no Cretáceo Inferior, ou seja, as rochas deste período estão relacionadas a quebra continental do Gondwana com o fim da estabilidade tectônica do supercontinente por volta de 130 Ma (Mohriark & Barros, 1990).



Ainda entre o Neocretáceo e o Cenozoico há ocorrência de um evento extensional pós rifte que culmina na formação do Sistema de Riftes Cenozoicos do Sudeste (Riccomini *et al.*, 2004), importante pela formação de estruturas como o Gráben de Barra de São João (Mohriak & Barros, 1990), particularmente importante devido sua formação ter afetado o embasamento do DTCF e formado um sistema de falhas de orientação ENE e E-W, como a Falha do Pai Vitório (Souza, 2011).

### **Corpos intrusivos alcalinos**

No Estado do Rio de Janeiro, entre as cidades de Resende e Cabo Frio, ocorrem corpos alcalinos. Suas idades variam de 93 a 40 Ma (Sichel, *et al.*, 1997, Thomaz Filho & Rodrigues, 1999; Sichel, *et al.*, 2005). Iniciando em Poços de Caldas, em Minas Gerais, formam o dito Alinhamento Magmático de Cabo Frio, de direção aproximada Leste-Oeste (Almeida, 1991; Thomaz-Filho, *et al.*, 2008).

Essa ocorrência de magmatismo alcalino foi associada à reativação da Plataforma Sul-Americana, estando ligado às bacias terciárias do sudeste do Brasil e possivelmente aos eventos que resultaram na elevação da Serra do Mar.

Este evento de magmatismo alcalino é registrado através de derrames nas bacias terciárias e corpos plutônicos, além de diques e cones vulcânicos localizados mais próximos a costa (Mohriak & Barros, 1990; Zalán & Oliveira, 2005). Destacam-se na região as ocorrências na Ilha do Cabo Frio e o Morro de São João.

### **Sedimentação Cenozoica**

#### Sedimentos da Formação Barreiras

A Formação Barreiras é uma unidade sedimentar de origem continental, mas com evidências de influência marinha (Arai, 2006). Tem idade estimada entre o Mioceno e Plioceno,

com ocorrência registrada nos municípios de Armação dos Búzios, Cabo Frio, Macaé, Maricá e São Pedro da Aldeia (Bezerra *et al.*, 2006).

Análises integradas a partir da estratigrafia de sequências possibilitou relacionar a origem da Formação Barreiras com a elevação eustática global. Sua deposição teria se interrompido durante o Tortoniano (Neomioceno), devido ao rebaixamento eustático que culminou em extensa erosão das áreas emersas. Com a subida eustática durante o Plioceno (4-5 Ma), depositou-se o Barreiras Superior, segundo ciclo de deposição da unidade (Arai, 2006).

Estes depósitos são representados por níveis descontínuos e alternados de materiais friáveis e mal selecionados, variam desde conglomeráticos a areno-argilosos, às vezes apresentam horizontes de concreções lateríticas próximos à superfície. Nos leitos conglomeráticos, observa-se a presença de seixos de vários tamanhos, angulosos e/ou arredondados, em matriz arenosa, por vezes areno-argilosa, podendo também conter leitos argilo-arenosos (Morais & Mello, 2006).

### **Sedimentos Pleistocênicos e Holocênicos**

Os registros quaternários do DTCTF são representados pelas restingas, praias atuais, paleopraias, pântanos e brejos, paleolagunas, dunas, depósitos fluviais, entre outros ambientes costeiros (Mansur, 2010). É possível destacar registros associados à Lagoa de Araruama e lagunas associadas, nas cascalheiras da Praia de José Gonçalves e nos campos de dunas de Cabo Frio, Tucuns e Massambaba.

### **3.3 Geologia Local**

O Mangue de Pedra se localiza dentro dos limites do DTCTF, próximo a falha do Pai Vitório, uma estrutura importante, pois define o limite da borda sul do Gráben de Barra de São

João. Esta estrutura tem orientação N70E e estrias que demonstram movimentações predominantemente normais com variações direcionais (Rubin *et al.*, 2003).

Seis unidades litológicas foram identificadas ao longo da zona de falha (Rubin & Almeida, 2003):

1) Ortogneisse migmatítico com intrusões pegmatíticas e diques anfibolíticos, 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 seguindo em direção ao plano de falha.

2) Com a proximidade do plano de falha, o gnaisse torna-se altamente fraturado e lixiviado, adquirindo coloração amarelada devido à perda de biotita. É possível notar a presença de clastos centimétricos matriz suportados, sendo a matriz fina. Estes são resultados de paleobrechas que indicam a reativação da falha.

3) Brechas de coloração marrom são observadas próximo ao plano de falha. Nestas brechas é possível encontrar clastos milimétricos matriz-suportados, com matriz formada por material silicoso e amorfo, de coloração marrom, compondo a paisagem da APA (Figura 6).

4) Arenito conglomerático intercalado com gnaisse brechado, intercalações essas de tamanho decimétrico. É um arenito lítico-feldspático, rosado e litoclastos de brechas com centímetros de tamanho e arredondados.

5) Ultracataclasitos observados no plano de falha, aflorando sob a forma de bolsões em seu núcleo. 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. Sua origem provavelmente está relacionada com as intensas reativações da falha ao longo do tempo.

6) Afloramento local de brecha intensamente fraturada em forma de treliça, formando espaços preenchidos por material ferruginoso.

A Falha do Pai Vitório tem grande importância local para o Mangue de Pedra pois coloca as rochas do embasamento paleoproterozoico, com idade de 2,0 Ga, em contato com os sedimentos conglomeráticos da Formação Barreiras (Figura 7), com idade atribuída entre 20-2 Ma (Dias, 2009).



Figura 6 - Perspectiva geral da área de estudo.

Sua interação com a Formação Barreiras é importante, pois o rebaixamento de um lado da falha possibilitou a acumulação 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 estava abaixo do atual, sendo assim, os rios da região depositavam seus sedimentos onde hoje está encoberto pelo mar (Morais & Mello, 2003).

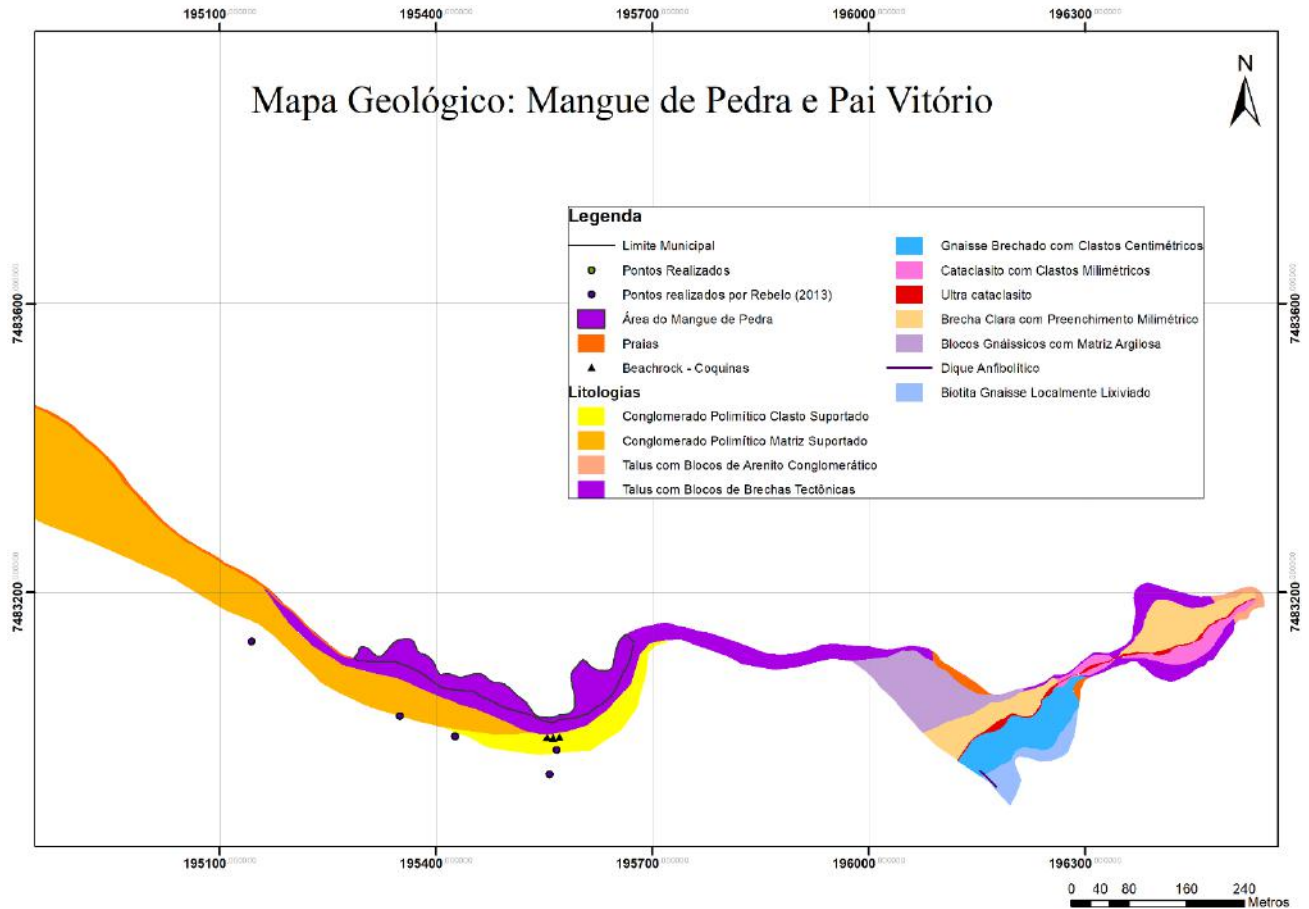


Figura 7 - Mapa geológico da região do Mangue de Pedra e da Falha do Pai Vitório (Fonte: Rubim (2004) modificado por Campos (2014)).

### 3.3.1 Formação Barreiras

Na região sudeste do Brasil, a Formação Barreiras se distribui desde o litoral norte do Espírito Santo até as vizinhanças da Baía de Guanabara. Morais *et al.* (2006) descreveram a Formação Barreiras no estado do Rio de Janeiro, na região entre Maricá e São Francisco de Itabapoana, dividida em três setores para melhor agrupar as seções estratigráficas: Região Norte Fluminense, Região de Búzios e Região dos Lagos.

Para a Região de Búzios os autores destacam a associação das fácies de conglomerados matriz sustentados, descritos como muito grossos, maciços e podendo apresentar gradação normal, fácies de arenitos, muito grossos, maciços e matriz argilosa, e fácies lamosas, intensamente ferruginizadas (Figura 8). Os conglomerados apresentam clastos de rochas gnáissicas, graníticas e básicas (Morais, 2001), de tamanho seixo a matacão. Seus depósitos se

distribuem em camadas de geometria lenticular e lenticular extensa e se intercalam com os arenitos maciços e lamitos argilosos e arenosos, podendo ocorrer também com geometria lenticular a subtabular intercalado com conglomerado sustentado por clastos e arenito com estratificação acanalada.

Os depósitos na Região de Búzios indicam importante atuação de fluxos gravitacionais de sedimentos (associados a intercalação de conglomerado matriz suportado, arenito maciço e lamitos argilosos) com atuação de episódios de processos trativos de alta energia (associados ao conglomerado clasto suportado e arenito com estratificação acanalada). Estes depósitos podem ser relacionados a leques aluviais dominados por fluxos gravitacionais em associação a ambiente fluvial entrelaçado dominado por cascalhos (Morais *et al.*, 2006).

<b>Código</b>	<b>Descrição</b>	<b>Interpretação</b>
Cch	Cascalhos sustentados pelos clastos, com estratificação horizontal pouco definida e clastos comumente imbricados	Barras longitudinais; depósitos residuais
Ccp	Cascalhos sustentados pelos clastos, com estratificação cruzada	Migração de barras transversais de cascalhos
Cmm	Cascalhos sustentados pela matriz, maciços	Fluxo de detritos de alta energia
Aca	Areias com estratificação cruzada acanalada de baixo ângulo	Migração de megaondulações de crista sinuosa
Ah	Areias com estratificação horizontal	Migração de formas de leito plano
Am	Areias maciças ou sem estrutura aparente	Depósitos de fluxos gravitacionais de sedimentos; modificações pós-deposicionais; intensa decantação de areia em suspensão
La1	Lamitos argilosos	Decantação de finos ou fluxos gravitacionais de sedimentos
La2	Lamitos arenosos	Fluxos gravitacionais de sedimentos

Figura 8 - Fácies identificadas na Formação Barreiras no estado do Rio de Janeiro. Retirado de Morais *et al.* (2006).

Segundo Morais (2001), o controle tectônico da Região de Búzios pode ser evidenciado pelos depósitos de conglomerado matriz suportado, produzido por um fluxo gravitacional de altíssima energia, em situação adjacente à Falha do Pai Vitório, na Praia Rasa. Reativações tectônicas durante o Cenozoico explicam outros falhamentos, como na Colônia de Pescadores, com a mesma orientação que a Falha do Pai Vitório. Depósitos mais arenosos podem

representar uma condição mais distal do sistema fluvial entrelaçado mesmo inserido neste mesmo contexto deposicional.

## 4 EMBASAMENTO TEÓRICO

### 4.1 Mangues

Os manguezais podem ser definidos como ecossistemas ligados a regiões costeiras, desenvolvido na transição de ambiente terrestre para o ambiente marinho (Soffiati, 2011). Sua distribuição geográfica abrange regiões tropicais e subtropicais em zonas onde se observa uma interação de ambientes continental-marinho, estimado em 14 milhões de hectares em todo o mundo (Giri *et al.*, 2011). No Brasil é encontrado em praticamente em toda faixa litorânea, desde o extremo norte do estado do Amapá até o estado de Santa Catarina (Figura 9).



Figura 9 - Distribuição dos manguezais no litoral brasileiro. Retirado de Santos, 2012. A área pintada de verde não reflete de fato a área de cobertura dos manguezais e visa apenas ilustrar as áreas da costa, que de forma geral, possuem ocorrência de manguezais.

Segundo Pereira Filho & Alves (1999), dentre as funções naturais de grande importância que os manguezais desempenham, é possível destacar: a proteção de linha de costa, área de



concentração de nutrientes, renovação de biomassa costeira, retenção de sedimentos carregados pelos rios, ação depuradora e áreas de alimentação, abrigo, nidificação e repouso de aves.

Existem cinco condições de ocorrência de manguezais (Walsh, 1974), embora estes possam se desenvolver sem atender a todos os requisitos. São elas:

- Temperaturas tropicais (temperatura média do mês mais frio acima 20°C e variação de temperatura em cada estação não excedendo 5°C);
- Costas livres da ação de vagas e marés violentas;
- Presença de água salgada (espraiada pelo avanço e recuo das marés) e de uma fonte de água doce;
- Aluvião fino particulado, criando um substrato frouxo, constituído por silte e argila fina, rico em matéria orgânica fornecida principalmente pelas plantas do manguezal;
- Larga amplitude de marés.

O substrato dos mangues também pode ser classificado em pedregoso, arenoso, pantanoso e turfoso, segundo Chapman (1940, *apud* Citrón & Novelli, 1983). Apenas os substratos pantanosos e turfosos permitem a existência de bosques bem desenvolvidos, enquanto em substratos pedregosos e arenosos as árvores geralmente atingem pequenas estaturas, sendo o Mangue de Pedra uma exceção à regra (Soffiati, 2012). Todavia, o manguezal pode mudar a natureza do seu substrato, com o processo de colonização, através da deposição de sedimentos finos e de matéria orgânica, possibilitando assim que os bosques alcancem um maior porte. 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).

Lugo & Snedaker (1974) identificaram seis categorias de manguezal. No entanto Citrón *et al.* (1980), reduziram a proposta original para três tipos (Soffiati, 2012):

- **Manguezal ribeirinho:** É o tipo mais comum de manguezal. Ele se desenvolve em margens de rios da zona intertropical, aproveitando-se dos estuários, onde a água doce se encontra com a água salgada, reduzindo a salinidade e produzindo grande quantidade de nutrientes. Esse ambiente é altamente favorável a todo os gêneros de espécies exclusivas de manguezal

- **Manguezal de bacia:** Desenvolve-se nas partes mais interiores dos manguezais ribeirinhos ou de borda, caso existam partes fundas que represem água salobra. Nesses locais. A circulação da água é mais lenta. As espécies exclusivas de manguezal costumam promover adaptações muito desenvolvidas para obter oxigênio pelo sistema radicular e tolerar salinidade mais elevada que as do manguezal ribeirinho.

- **Manguezal de borda ou de franja:** Trata-se de um tipo que se desenvolve em costas marinhas protegidas, nas quais a energia oceânica é baixa. Ele não carece necessariamente, de uma fonte de água doce a montante. Dependendo da salinidade da água do mar e do substrato, esse tipo contará com espécies que se adaptem às condições físico-químicas.

## 4.2 Áreas de Proteção Ambiental

O Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (SNUC) corresponde ao conjunto de Unidades de Conservação (UCs) nas esferas federal, estadual e municipal (MMA, 2022). As unidades de conservação podem ser definidas como espaços e seus recursos ambientais com características naturais relevantes, instituídos pelo Poder Público, visando sua conservação e limites definidos, ao qual se aplicam garantias adequadas de proteção. Essas unidades podem se dividir em Unidades de Conservação de Proteção Integral e Unidade de Conservação de Uso Sustentável, sendo diferenciadas pelos objetivos e grau de proteção. As UCs de Uso Sustentável têm como objetivo associar a conservação da natureza com o uso sustentável de parte de seus recursos. A Área de Proteção Ambiental (APA) é uma categoria

dessas UCs que têm como objetivos principais proteger os ecossistemas e diversidade biológica e, ter visitação e pesquisa controladas por normas e restrições definidas pela Secretaria Municipal de ambiente, pesca e turismo do Município de Búzios.

A APA Mangue de Pedras foi instituída pela Prefeitura Municipal de Armação de Búzios através do Decreto 1059, em 9 de novembro de 2018. Este decreto permite a visitação, recreação, interpretação, educação e pesquisa científica, além de possibilitar o desenvolvimento do turismo ecológico no interior da APA. Instituiu uma área protegida de 75 hectares, incluindo a Ponta do Pai Vitório e a Praia da Gorda. O decreto levou em consideração o caráter sustentável e de preservação do SNUC devido às características particulares do Mangue de Pedra que o tornam um ecossistema único. Diferente de outros mangues tradicionais, o aporte de água não é feito por um rio que chega à praia. A água que sustenta o mangue vem por meio de um aquífero, através da infiltração de água da chuva pela encosta que cerca a praia. Além disso, o aspecto geológico por ser um mangue composto por pedras e sua relação com moradores quilombolas tornam o espaço de interesse de preservação. Existe uma oposição local quanto ao tipo de UC estabelecida para o Mangue de Pedra. Ambientalistas e pesquisadores entendem que o melhor arranjo deve ser o de uma UC de Proteção Integral, como um Monumento Natural ou Parque Municipal Natural.

### **4.3 Hidrogeologia**

Água subterrânea é toda a água que ocorre abaixo da superfície, preenchendo poros, fraturas, falhas e fissuras das rochas. Pode ser classificada de acordo com suas três origens principais em meteórica, conata e juvenil (Rebouças *et al.*, 2006). Águas de origem meteórica são as mais importantes uma vez que representam 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 principalmente pela infiltração das precipitações. Águas conatas são

águas que estão retidas ou conatas nos sedimentos desde as épocas de formação dos depósitos. Estas apresentam teores elevados de salinidade devido às características herdadas dos paleoambientes nos quais foram depositadas. Por fim, as águas juvenis são aquelas geradas pelos processos magmáticos da Terra.

O aquífero seria a unidade geológica capaz de servir como reservatório e transmissor da água armazenada. Um aquífero pode ter extensão de poucos até milhares de quilômetros quadrados, ou também, apresentar espessuras de alguns poucos metros a centenas de metros (Rebouças *et al.*, 2002). A constituição da porosidade do aquífero irá determinar a que tipo de sistema aquífero ele pertence, sendo dividida em aquíferos porosos, associados a rochas sedimentares e a porosidade entre os grãos da rocha, aquífero fraturado, associado a falhas e fraturas em rochas cristalinas, e aquífero cárstico, associado a rochas carbonáticas onde circula por entre fraturas e descontinuidades.

Além da porosidade os aquíferos podem ser divididos ainda quanto a pressão das águas em suas superfícies limitantes, sendo as duas principais classificações sendo entre aquíferos livre e confinados.

Aquífero livre é aquele constituído por uma formação geológica permeável e superficial, totalmente aflorante em toda a sua extensão, e limitado na base por uma camada impermeável. A superfície superior da zona saturada está em equilíbrio com a pressão atmosférica, com a qual se comunica livremente. Os aquíferos livres têm recarga direta e o nível da água varia segundo a quantidade de chuva.

Aquífero confinado é aquele constituído por uma formação geológica permeável, confinada entre duas camadas impermeáveis ou semipermeáveis. A pressão da água no topo da zona saturada é maior do que a pressão atmosférica naquele ponto, o que faz com que a água ascenda no poço para além da zona aquífera. Estes aquíferos têm recarga indireta e quase sempre estão em locais onde ocorrem rochas sedimentares profundas (bacias sedimentares).

## 5 MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho pode ser dividido em três abordagens: mapeamento litológico, petrografia sedimentar e perfuração e acompanhamento mensal de poços de monitoramento de água. Esses três tópicos são discutidos separadamente a seguir.

### 5.1 Mapeamento Litológico

Durante o mapeamento litológico foi utilizada a técnica de mapeamento por caminhamento, onde a equipe se desloca pela superfície da área de interesse observando as rochas aflorantes e descrevendo-as. As rochas de igual características são atribuídas a uma unidade específica que pode ser relacionada a uma unidade já existente e descrita na literatura ou se pode criar um nome para estas unidades que se aplicam apenas no contexto do presente projeto. Foram marcados, fotografados e descritos trinta e quatro pontos atrelados às diversas localidades de interesse visitadas (APÊNDICE I). As principais características observadas nos afloramentos durante o mapeamento foram, nas rochas metamórficas, a sua textura, composição mineral, presença de veios de quartzo e/ou pegmatitos, presença de xenólitos e contatos com as rochas ao seu redor. Já nos afloramentos de rochas sedimentares buscou-se observar principalmente a litologia, granulometria, composição mineral, grau de seleção, proporção de matriz/arcabouço e espessura do pacote sedimentar.

Foram utilizados equipamentos adequados às atividades de campo como martelo geológico, lupa de bolso, máquina fotográfica, sacos para amostras, imagens de satélite e mapas. O aplicativo *SW Maps* foi utilizado para marcar pontos e coordenadas durante as atividades. Após a coleta das coordenadas, esses pontos foram organizados em uma planilha do *Microsoft Excel* e importadas no software *ArcGIS* onde foram plotados em um mapa base da região visando georreferenciar a localidade de cada uma dessas rochas e seus respectivos

contatos litológicos e auxiliar na confecção de polígonos que representam as unidades mapeadas.

## **5.2 Petrografia Sedimentar**

Durante as idas ao campo foram coletadas amostras representativas das rochas que compõem o Aquífero Mangue de Pedra, totalizando quinze amostras coletadas e 9 lâminas delgadas foram confeccionadas, sendo três delas pelo Laboratório de Laminação da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) e as outras seis lâminas delgadas foram produzidas no Laboratório de Laminação do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo (USP). A lâmina P8-B foi descartada da análise devido a problemas de produção.

As lâminas foram descritas e fotomicrografadas no LAGESED do Departamento de Geologia da UFRJ, utilizando microscópio binocular de luz transmitida da marca Zeiss modelo *Axio Scope A1*. O *scan* total das lâminas se encontra no Apêndice II.

As características observadas nas lâminas para sua descrição foram granulometria, mineralogia, forma dos grãos, organização entre grãos e porosidade aparente. Foi realizada a plotagem da composição dessas três amostras em diagrama QFL (Folk, 1980), que mede a proporção quantitativa (em % de área) entre os grãos de quartzo, feldspato e fragmentos líticos existentes na amostra, atribuindo assim um nome a essas rochas sedimentares.

## **5.3 Poços de Monitoramento de Água**

Foram selecionadas três localidades de interesse na área da APA Mangue de Pedras para que fossem realizadas as perfurações de poços de monitoramento do nível de água do aquífero. Os Poços 1 e 3 se encontram na área de pós-praia no extremo norte e na área central do manguezal e o Poço 2, se encontra em uma área mais elevada que a praia, próximo a trilha de acesso à área central do Mangue de Pedra. Foram realizadas, mensalmente, medições do nível

de água e de propriedades físico-químicas da água (temperatura, pH, potencial Redox, condutividade elétrica, salinidade e total de sólidos dissolvidos). Na Figura 10 abaixo é possível visualizar um exemplo de aquisição de dados físico-químicos da água retirada de um dos poços de monitoramento realizada no campo. É importante ressaltar que todas as amostras de água retiradas dos poços se deram sempre em contexto de marés baixas, que variavam de 0.1 a 0.5m.

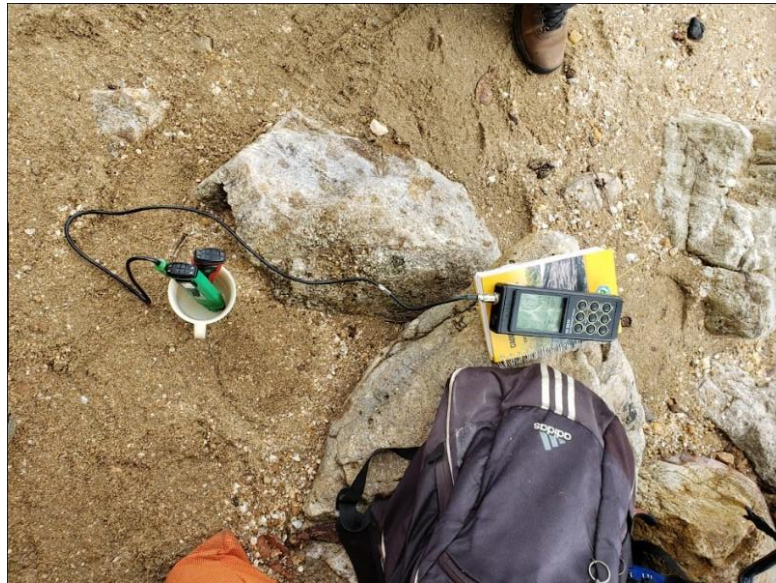


Figura 10 - Exemplo do processo de aquisição das características químicas da água retirada do poço. Na imagem é possível o medidor de potencial redox (cor verde), de pH (cor vermelha) e salinidade/total de sólidos dissolvidos/condutividade elétrica e temperatura (cor preta).

A lista de equipamentos utilizados durante a aquisição de dados químicos está representada na Tabela 1.

Tabela 1 - Equipamentos utilizados para aquisição de dados químicos e suas finalidades.

<b>Equipamento</b>	<b>Tipo de medida</b>
pHEP®4 Hanna	pH + Temperatura
ORP/Temperatura Hanna	Potencial Redox + Temperatura
Hanna HI9635	Total de sólidos dissolvidos + Salinidade + Condutividade Elétrica + Temperatura
Medidor elétrico HSNA	Nível de água

Como a área de estudo se encontra em uma área protegida, a retirada ou movimentação de qualquer mineral, rocha, vegetação e ou água só pode ser feita perante uma autorização da prefeitura municipal. Para tal, foi protocolado o pedido, seguido de uma autorização ambiental, localizada no Anexo I, para que fosse possível a perfuração desses poços.

Para a perfuração foi contratada uma equipe de perfuradores de poços da região, na comunidade de moradores do Quilombo da Rasa. Os poços foram realizados se utilizando da técnica de perfuração a trado, onde uma sonda manual perfura o substrato e traz para a superfície os sedimentos. Os materiais utilizados durante a perfuração dos poços foram uma sonda de perfuração e cordas, martelo geológico e marreta, cavadeira e pá-de-bico, canos de PVC de 3 polegadas, tampos (caps de PVC) e tela.

Após a perfuração, todos os três poços foram revestidos com canos de PVC, visando a estabilidade e manutenção de toda a sua extensão sem obstruções. Foram confeccionados também filtros com tela que foram posicionados na base de cada um dos poços, visando uma diminuição da entrada de sedimentos pela base dos canos de PVC e a obstrução deste. Também foram realizadas aberturas lineares (ranhuras) próximas à base dos canos de PVC, facilitando a livre circulação da água do aquífero para dentro e para fora dos poços. Visando a discrição dos poços no ambiente da APA e a diminuição da possibilidade de vandalização destes por terceiros



alheios ao presente projeto de pesquisa, os poços foram ocultados se utilizando de materiais facilmente encontrados nas localidades de cada um deles, como pedras, galhos, terra, folhas, madeira e conchas.

Durante a perfuração dos poços, ilustrada pelas Figura 11, as rochas que compõem os sedimentos do substrato foram descritas conforme foram trazidos à superfície pelos perfuradores. As características analisadas foram granulometria, mineralogia, grau de seleção e forma dos grãos.



Figura 11 - Processo de perfuração e condicionamento dos poços.

## **6 RESULTADOS**

### **6.1 Mapa litológico-estrutural**

O mapeamento litológico de detalhe na escala de 1:5000, que percorreu diversos pontos da área de estudo, como é possível observar na Figura 12, revelou informações preciosas acerca da organização das rochas na APA Mangue de Pedra e em seus arredores. Observando o mapa gerado na Figura 13, as rochas do embasamento tiveram sua presença muito bem delimitadas ao sul da Falha do Pai Vitório, enquanto as rochas sedimentares da Formação Barreiras se erguem em forma de paleofalésias e falésias ativas ao norte deste importante marco estrutural do Gráben de Barra de São João. Localmente, a Formação Barreiras se apresenta principalmente em forma de conglomerados de matriz arenosa a argilosa e arcóseos e arcóseos líticos ricos em fragmentos líticos, brechas de falha e seixos de quartzo. No Apêndice I se encontram as descrições dos pontos mapeados.



Figura 12 - Mapa de pontos visitados durante o mapeamento litológico com indicação das amostras que foram laminadas e indicação dos poços de monitoramento perfurados.



Figura 13 - Mapa litológico gerado a partir do mapeamento litológico do presente projeto.

Também foi possível identificar a presença de cataclasito em algumas localidades do núcleo da Falha do Pai Vitório, principalmente na região de encontro da estrutura com o mar e depósitos de tálus na área.

#### 6.1.1 Descrição dos litotipos mapeados

##### **Rochas do embasamento**

As rochas do embasamento na área estão representadas por afloramentos em forma de laje de ortognaisse e ortoanfibolito do Complexo Região dos Lagos. A maioria dos afloramentos encontrados estão localizados na área da praia ou no chão de estradas de terra próximas a praia.

Os ortognaisse (Figura 14) representam a maior parte da área mapeada ao sul da Falha do Pai Vitório, apresentando coloração mesocrática e são ricos em quartzo e feldspato, biotita, podendo apresentar ainda magnetita e anfibólio. Não foram confeccionadas lâminas dessas rochas porque estas são muito bem descritas em artigos, monografias, dissertações e teses desenvolvidas na área. Possuem em quase toda a sua extensão o bandamento gnáissico marcado pela presença de cristais de biotita orientados segundo eixos preferenciais que também seguem as múltiplas dobras e dobras parasíticas, abundantes nessas rochas de grau elevado de deformação do embasamento. Há também a presença abundante de veios de quartzo e pegmatitos.



Figura 14 - Laje de ortogneisse dobrado localizada no Ponto 1.

Já os afloramentos de ortoanfibolito representam uma área mapeada bem menor frente aos afloramentos de gnaiss, sendo localizados em apenas dois pontos ao sul da Falha do Pai Vitório. As rochas apresentam coloração verde escura a preta e cristais de anfibólio abundantes em toda a sua superfície. As lajes de anfibolito foram observadas sempre em contato com as lajes de gnaiss, sendo esses contatos bastante irregulares como se observa na Figura 15, muitas vezes formando boudins.



Figura 15 - Laje de anfibolito com laje de gnaissse ao se redor no Ponto 3.

### **Brechas de Falha e Cataclasito**

Os afloramentos de cataclasito foram encontrados somente nas zonas por onde o núcleo da Falha do Pai Vitório passa, devido a sua natureza de gênese. O cataclasito (Figura 16) apresenta coloração branca, de textura maciça e se mostra bastante friável.

As brechas de falha são observadas ao longo de toda a praia nos depósitos de tálus até o afloramento do Ponto 24 (Figura 17), próximo ao Poço 1, como grânulos e matações de material rico em quartzo e calcedônia.



Figura 16 - Amostra de cataclasito retirada do núcleo da Falha do Pai Vitório, Ponto 6.



Figura 17 - Afloramento de brecha de falha localizado no Ponto 24.



### **Formação Barreiras**

Os afloramentos da Formação Barreiras representam a maior parte da área mapeada na região ao norte da Falha do Pai Vitório. Os afloramentos, em sua grande maioria, aparecem na região como falésias (Figura 18 e Figura 20) e paleofalésias que também ocorrem pelo piso da praia. No geral, ao se retirar camada de conchas e areia de praia, de aproximadamente 30cm de espessura, se encontra sem dificuldades os afloramentos da Formação Barreiras.



Figura 18 - Falésia ativa de arcóseos da Formação Barreiras no Ponto 8.

Também foram identificados afloramentos na área mais do interior, chegando até na área da Fazenda Campos Novos, em Cabo Frio, portanto fora da área mapeada.

Esses afloramentos são compostos por intercalações de arcóseos, arcóseos líticos e pacotes conglomeráticos polimíticos que podem alcançar até 2m de espessura em afloramento nas falésias e possuem coloração avermelhada devido a diversos graus de precipitação de óxidos de ferro. Não foi possível encontrar estruturas sedimentares preservadas nos pacotes

aflorantes, o que é comum em afloramentos da Fm. Barreiras. A diferenciação dos afloramentos da Fm. Barreiras em avançada transformação pedogenética dos solos derivados de outras rochas de deu principalmente pela presença de outras estruturas residuais como veios de quartzo.

Os arcóseos apresentam variação granulométrica de areia fina a areia grossa e são ricos em quartzo, biotita e feldspato. Os arcóseos líticos também apresentam grânulos de fragmentos de rochas metamórficas e/ou ígneas como gnaiss, anfibolito e diabásio.

Os níveis de conglomerado se apresentam tanto como clasto suportados (Figura 19) quanto matriz suportados. A matriz também apresenta variações, podendo ser arenosas ou argilosas, semelhantes aos arcóseos e arcóseos líticos, e o arcabouço polimítico é bastante variado, sendo composto por grânulos, seixos e matações de quartzo, brecha de falha / calcedônia, gnaiss, diabásio muitas vezes com esfoliação esferoidal e anfibolito, sendo a maioria dos clastos angulosos e de formatos elipsoidais.

Há também a presença de grânulos de calcedônia / brecha de falha arredondados em diversos pacotes sedimentares observados.



Figura 19 - Conglomerado observado no piso da praia próximo ao Poço 1, no Ponto 30.



Figura 20 - Falésia ativa da Formação Barreiras localizada próxima ao Poço 3, no Ponto 17, com intercalação de arcóseos e conglomerados.

Níveis conglomeráticos com seixos e blocos de quartzo com concreções e cimento ferruginoso são encontrados na falésia da Colônia de Pescadores da Rasa, como observado na Figura 21.



Figura 21 - Nível conglomerático com concreções e cimentação por precipitados de óxido de ferro no Ponto 35, próximo a colônia de pescadores da Rasa.

### Depósito de Tálus

Os depósitos de tálus cobrem boa parte da área de encontro do continente com o mar desde a Falha do Pai Vitório (Figura 22) até o ponto onde termina o Mangue de Pedra e são compostos, principalmente, por matacões e blocos de brecha de falha e quartzo. Na Figura 23 é possível observar a forma como esse tipo de depósito compõe parte importante do ecossistema da área de estudo.



Figura 22 - Esquema simplificado representando a Falha do Pai Vitório e os depósitos de tálus.



Figura 23 - Depósito de tálus na área do Mangue de Pedra, composto principalmente por matacões de brecha de falha.

## 6.2 Descrição das lâminas

### Lâmina P-1

Todas as lâminas a seguir foram retiradas de afloramentos de falésias ativas da Fm. Barreiras na área de estudo. A Lâmina P-1 é uma rocha clasto-suportada de matriz argilosa com proporção de aproximadamente 85% de clastos e 15% de matriz e grau de seleção moderado (Figura 24). Cristais de quartzo e biotita abundantes, acompanhados de K-Feldspato, calcedônia, plagioclásio, fragmentos líticos e mica branca em menor quantidade. Há a presença de precipitados de ferro em baixa quantidade (<3%). Os cristais apresentam, em sua grande maioria, bordas angulosas a subangulosas, com exceção de cristais de calcedônia que se mostram arredondados em todas as amostras observadas. O contato entre os grãos se dá em sua maioria de forma pontual, havendo assim espaço preenchido entre eles pela matriz argilosa. Os cristais de biotita, de coloração marrom escura a nicóis descruzados, apresentam direção

preferencial de organização e pontualmente se encontram deformados pelos cristais de outros minerais mais rígidos.

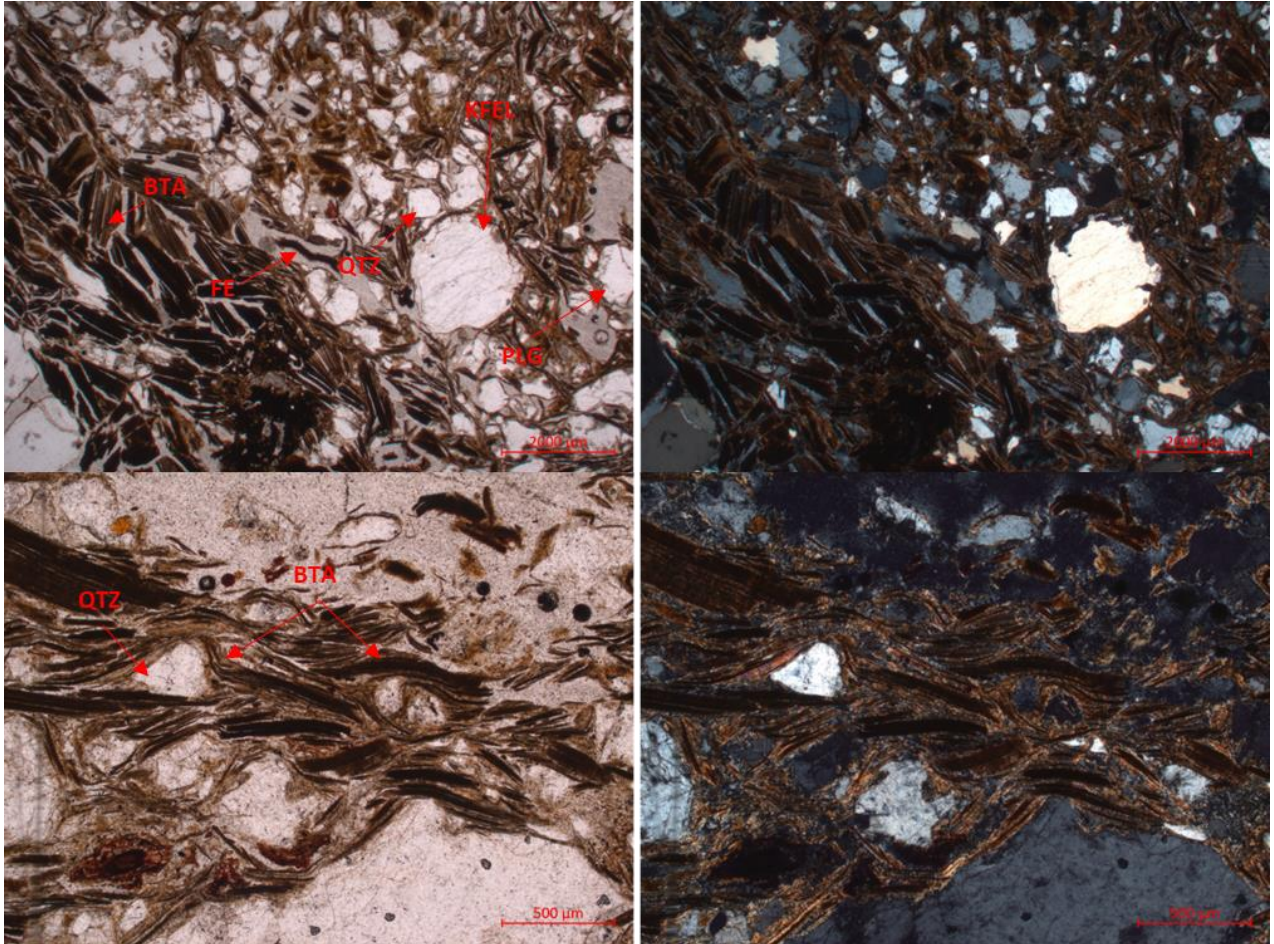


Figura 24 - Detalhes da Lâmina P-1. Nicóis descruzados à esquerda e cruzados à direita. Indicação de siglas: BTA = Biotita, QTZ = Quartzo, PLG = Plagioclásio, KFEL = K-Feldspato e FE = Precipitados de Ferro.

### **Lâmina M-14**

Rocha matriz suportada com proporção de aproximadamente 45% de matriz e 55% de cristais com abundante presença de cristais mal selecionados de quartzo monocristalino, K-Feldspato e plagioclásio, conforme Figura 25. A matriz é argilosa e há a presença de cimentação por compostos oriundos de precipitação de ferro em determinadas visadas. Há também a presença, em menor quantidade, de cristais de calcedônia, mica branca, biotita, zircão pontual e fragmentos líticos ricos em plagioclásio, quartzo e k-feldspato. As bordas dos cristais se

apresentam, no geral, como subangulosas, com exceção dos cristais de calcedônia que apresentam elevado grau de arredondamento e dos grãos de quartzo que se apresentam como subarredondados a angulosos. O contato entre os grãos é pouco comum, porém quando existe se dá de forma pontual. Não foi observada nenhuma orientação preferencial de organização entre os cristais.

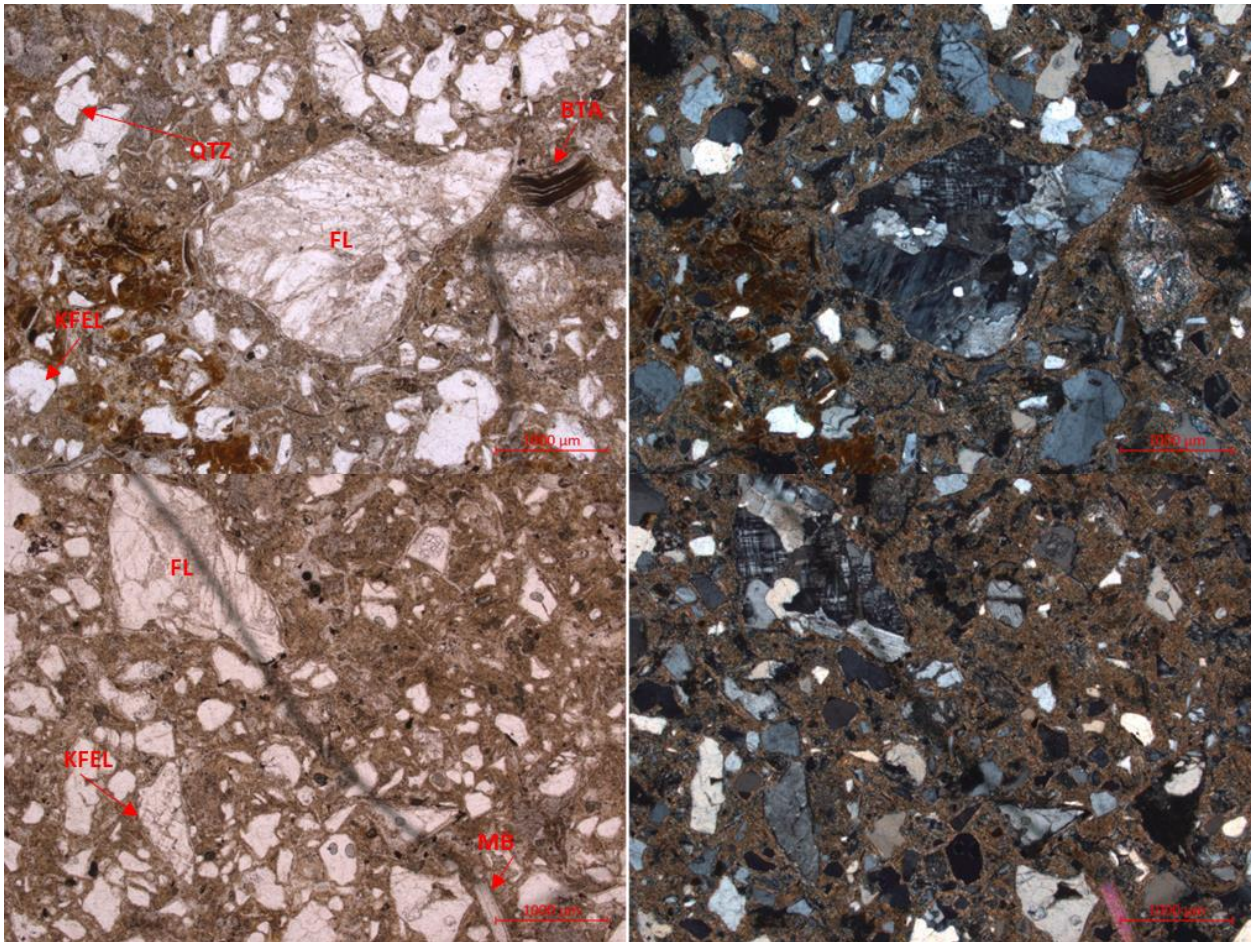


Figura 25 - Detalhes da Lâmina P-1. Nicóis descruzados à esquerda e cruzados à direita. Indicação de siglas: BTA = Biotita, QTZ = Quartzo, PLG = Plagioclásio, KFEL = K-Feldspato, FL = Fragmento lítico e MB = Mica branca.

### **Lâmina M-7**

Rocha matriz suportada com proporção de, aproximadamente, 60% de matriz e 40% de cristais com abundante presença cristais de quartzo monocristalino, plagioclásio e fragmentos líticos (Figura 26). A matriz é argilosa e há presença de cimentação por precipitação de

compostos de ferro em determinadas visadas. Outros cristais também observados, em menor quantidade, são cristais de calcedônia, K-Feldspato, biotita, mica branca, minerais opacos e zircão pontual. Os cristais apresentam bordas subarredondadas a subangulosas, com exceção dos cristais de calcedônia que apresentam elevado grau de arredondamento. O contato entre os grãos é pouco comum, porém pontual quando observado. Não foi observada nenhuma orientação preferencial na organização dos grãos que compõem a rocha.

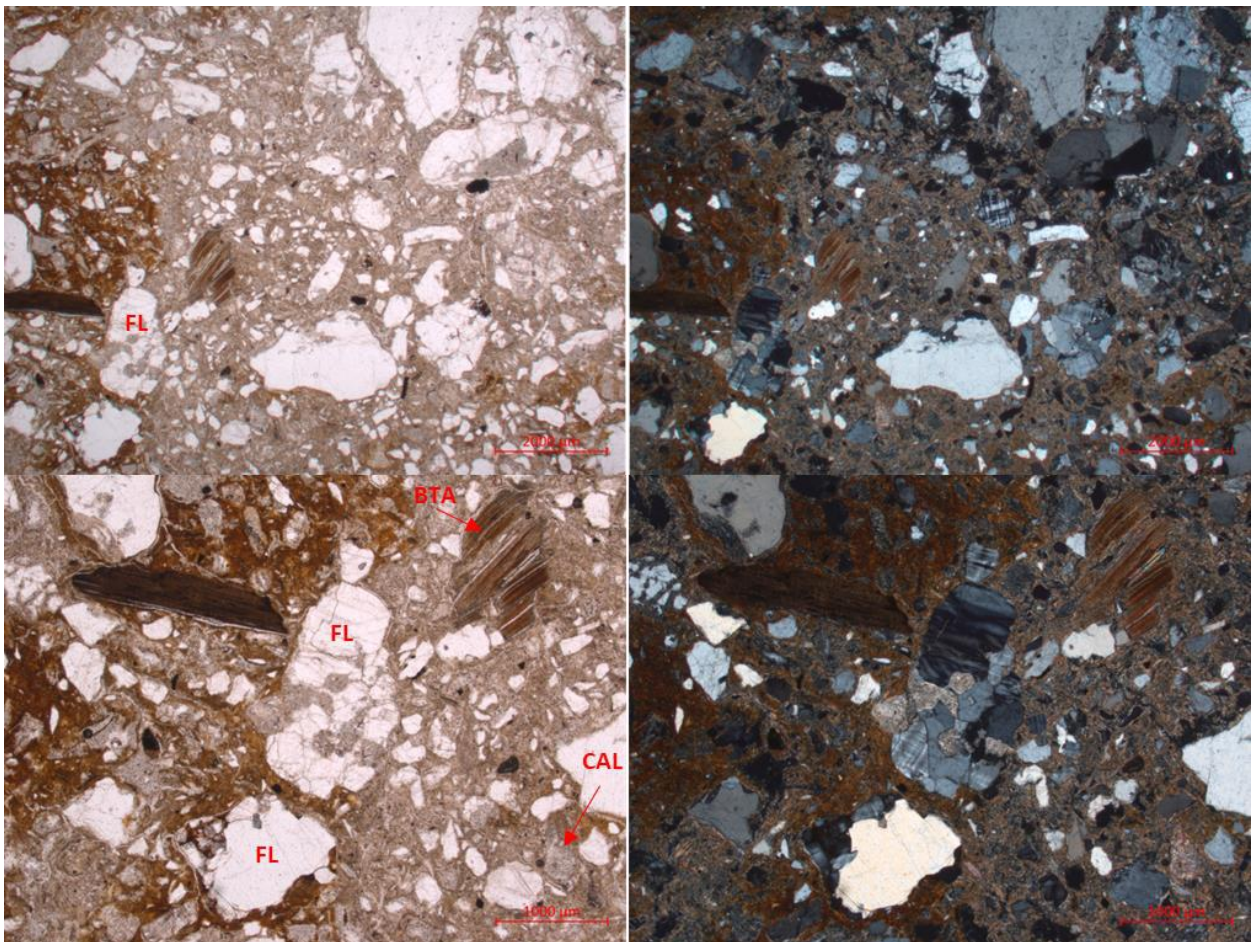


Figura 26 - Detalhes da Lâmina M-7. Nicóis descruzados à esquerda e cruzados à direita. Indicação de siglas: BTA = Biotita, FL = Fragmento lítico e CAL = Calcedônia.

### **Lâmina P-8A**

Rocha matriz suportada com proporção aproximada de 55% matriz e 45% cristais. Abundante em fragmentos líticos, cristais de quartzo monocristalino, plagioclásio e calcedônia (Figura 27). A matriz é argilosa, com presença de cimentação através da formação de



precipitados de compostos de ferro e a rocha apresenta grau de seleção moderado. Outros cristais, observados em menor quantidade, são cristais de k-feldspato, minerais opacos e mica branca. Os fragmentos líticos observados são compostos, majoritariamente, por cristais quartzo monocristalino, calcedônia e plagioclásio. Os cristais em sua grande maioria apresentam bordas subarredondadas, porém os fragmentos líticos e cristais de calcedônia apresentam bordas arredondadas. O contato entre os grãos é pouco comum, porém pontual quando observado. Não foi observada nenhuma orientação preferencial na organização dos grãos que compõem a rocha.

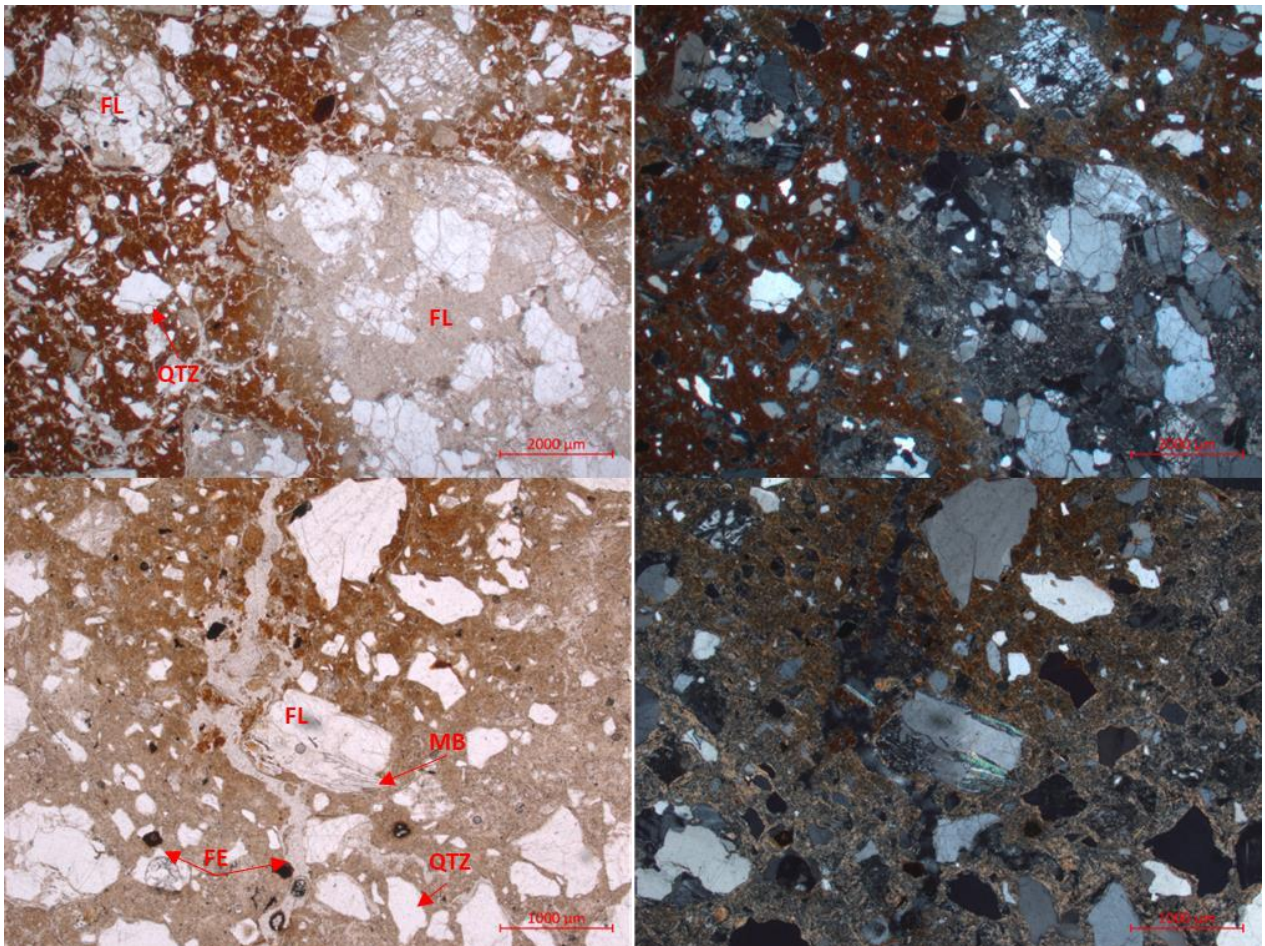


Figura 27 - Detalhes da Lâmina P-8A. Nicóis descruzados à esquerda e cruzados à direita. Indicação de siglas: FL = Fragmento lítico, MB = Mica branca, QTZ = Quartzo.

As Lâminas P1, M14, M7 e P8 foram retidas das falésias ativas da Formação Barreiras em suas porções de arcóseos que se intercalam com os conglomerados polimíticos, como observado na Figura 28.



Figura 28 - Intercalação de níveis conglomeráticos com níveis arcoseanos nas falésias da Formação Barreiras.

### **Lâmina M-15**

Rocha clasto suportada com proporção aproximada de 85% de cristais e 15% de matriz argilosa (Figura 29). Abundante em quartzo monocristalino, k-feldspato e biotita. Apresenta grau de seleção moderado e grãos com bordas majoritariamente subangulosas a angulosas, com exceção dos fragmentos líticos que apresentam bordas arredondadas. Outros minerais também observados são cristais de plagioclásio, calcedônia, minerais opacos, mica branca e calcita preenchendo fraturas. Os fragmentos líticos observados são compostos, principalmente, por cristais de plagioclásio, k-feldspato e quartzo monocristalino. O contato entre os grãos é bastante comum e se dá em sua maioria das vezes de forma pontual, podendo apresentar contatos retos em determinados pontos. Não foi observada nenhuma orientação preferencial na organização dos grãos que compõem a rocha.

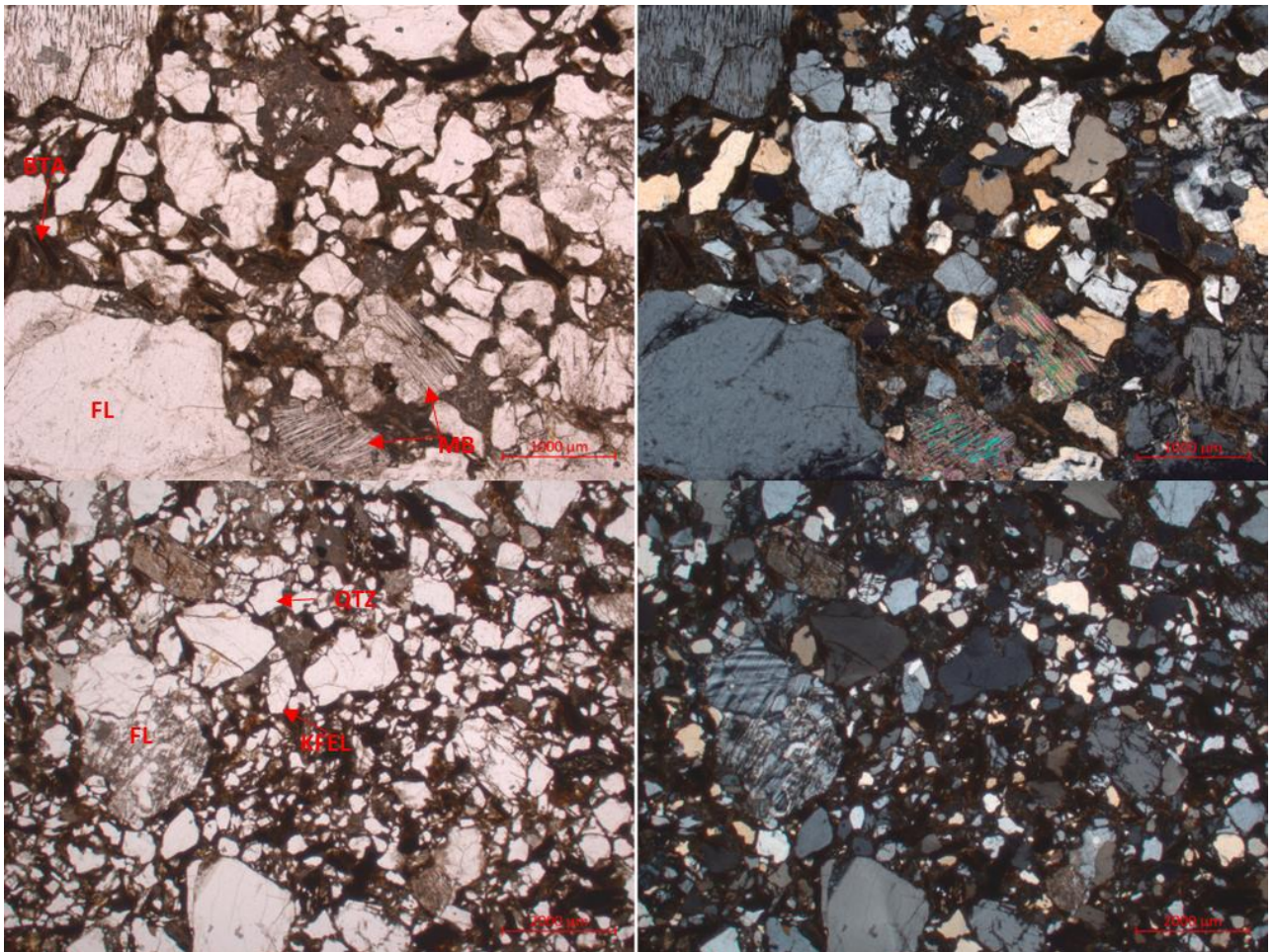


Figura 29 - Detalhes da Lâmina M-15. Nicóis descruzados à esquerda e cruzados à direita. Indicação de siglas: FL = Fragmento lítico, MB = Mica branca, QTZ = Quartzo, KFEL = K-Feldspato e BTA = Biotita.

### **Lâmina A (Pai Vitória)**

Rocha matriz suportada com proporção aproximada de 35% matriz argilosa e 65% de cristais (Figura 31). Rocha abundante em quartzo monocristalino, plagioclásio, k-feldspato e biotita. Apresenta grau de seleção moderado e granulometria variando de areia fina a areia muito grossa, tendo as bordas dos grãos predominantemente subangulosas. Outros minerais observados, em menor quantidade, são cristais de minerais opacos, mica branca, fragmentos líticos e zircão. O contato entre os grãos é bastante comum e se dá na maioria das vezes de forma pontual, podendo apresentar contatos retos de forma mais rara. Os cristais de biotita apresentam certo ordenamento preferencial de direção na acomodação dos cristais, apesar dessa direção não ser tão bem definida. Ao se observar a grande presença de resina azul, usada na

impregnação da amostra, na seção delimitada se observa uma porosidade aparente consideravelmente alta, podendo chegar até aproximadamente 30% em determinadas visadas. O afloramento de onde a amostra laminada foi colhida para se obter a Lâmina A pode ser observado na Figura 30 abaixo.



Figura 30 - Arcóseo localizado no Ponto 32.

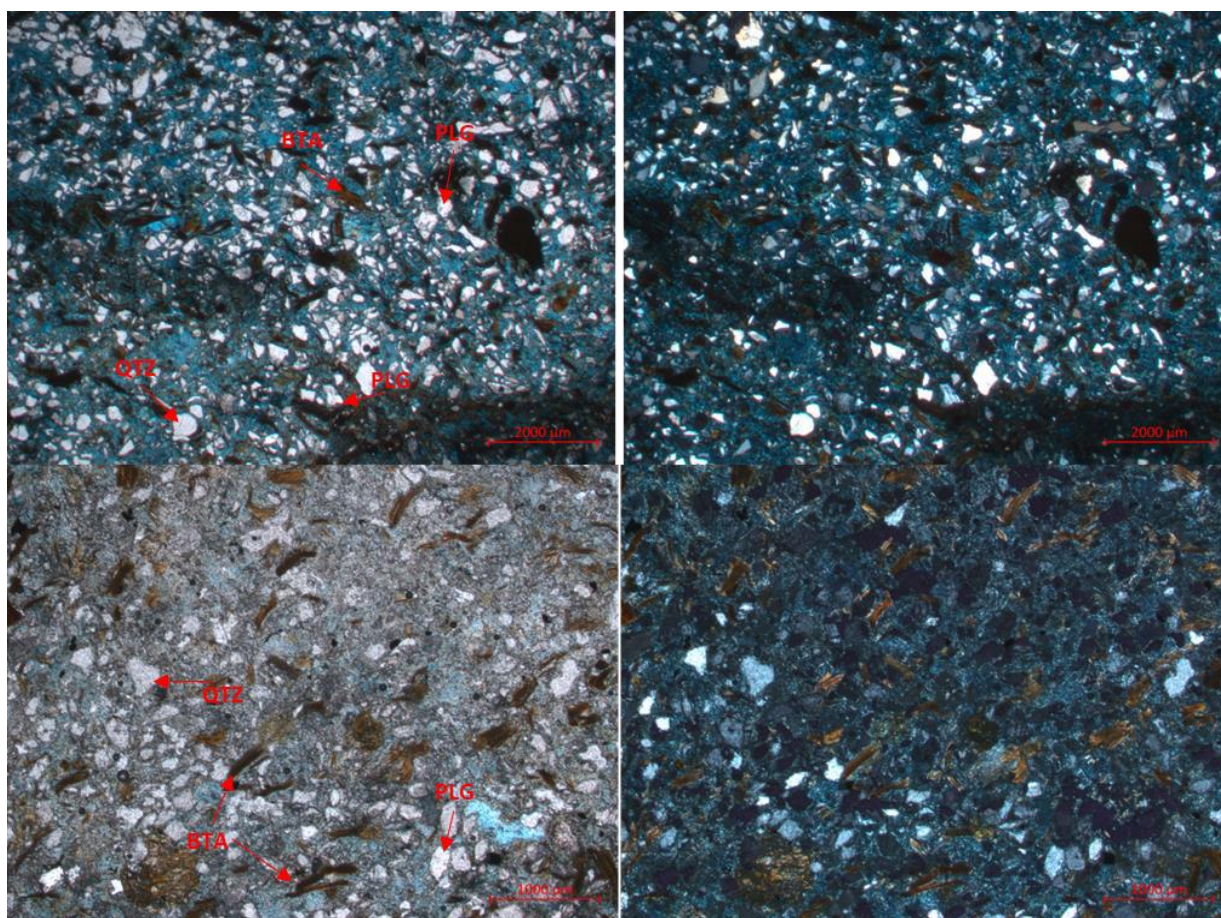


Figura 31 - Detalhes da Lâmina A. Nicóis descruzados à esquerda e cruzados à direita. Indicação de siglas: QTZ = Quartzo e BTA = Biotita e PLG = Plagioclásio.

### **Lâmina B (Fina-Mangue)**

Rocha clasto suportada com uma proporção aproximada de 10% de matriz argilosa e 90% de cristais (Figura 32). Abundante em K-Feldspato, quartzo monocristalino, plagioclásio e biotita de coloração marrom claro a nicóis descruzados. Apresenta grau de seleção moderado e granulometria variando entre areia fina e areia muito grossa, tendo as bordas dos grãos predominantemente subangulosos a subarredondados, com exceção dos cristais de calcedônia que se apresentam arredondados. Os outros minerais presentes na lâmina, em menor quantidade, são cristais de minerais opacos e fragmentos líticos. O contato entre os grãos é bastante comum e se dá tanto de forma pontual como de forma reta. Os cristais de biotita apresentam certo ordenamento preferencial de direção na acomodação dos cristais, apesar dessa direção não ser tão bem definida. A porosidade aparente observada foi considerável, chegando

a aproximadamente 15% em determinadas visadas. A amostra que resultou na Lâmina B foi retirada da matriz do conglomerado (Figura 19) do Ponto 30.

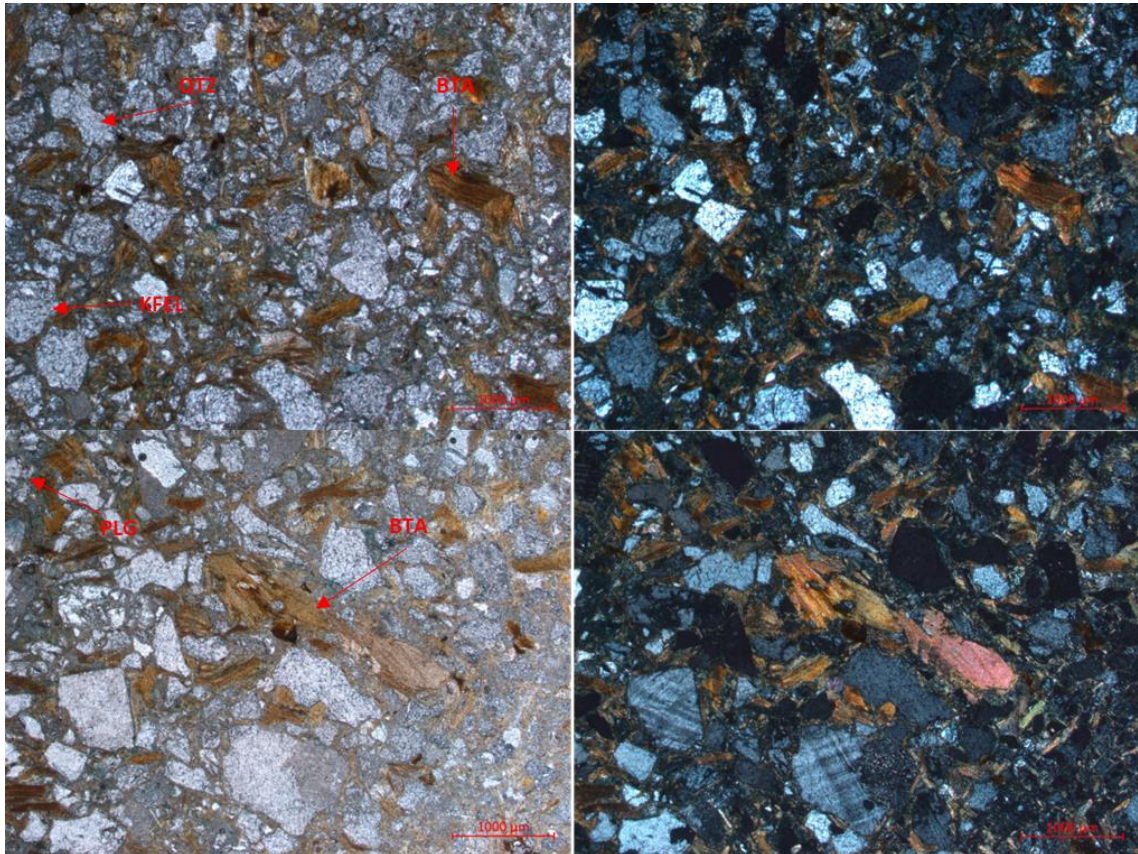


Figura 32 - Detalhes da Lâmina B. Nicóis descruzados à esquerda e cruzados à direita. Indicação de siglas: QTZ = Quartzo e BTA = Biotita, PLG = Plagioclásio e KFEL = K-Feldspato.

### **Lâmina C (Grossa-Mangue)**

Rocha clasto suportada com proporção aproximada de 10% de matriz argilosa e 90% de cristais (Figura 33). Abundante em cristais de quartzo monocristalino, k-feldspato, plagioclásio, microclina e biotita de coloração marrom clara a nicóis descruzados. Apresenta grau de seleção moderado e granulometria variando de areia fina a areia muito grossa, sendo as bordas dos grãos classificadas como subangulosas a angulosas. Outros cristais presentes em menor quantidade são os cristais de calcedônia, minerais opacos e mica branca. O contato entre os grãos é constante em toda a extensão da rocha, sendo estes pontuais, retos e côncavos. Não foi

observado nenhuma direção preferencial de organização entre os grãos, porém se observa que os cristais de biotita foram deformados por outros minerais mais rígidos, provavelmente devido a esforços direcionais na rocha. Se esperava que essa fosse a lâmina que apresentasse uma maior porosidade aparente dentre as amostras, porém devido ao preenchimento dos espaços dentre os grãos pela matriz, a rocha apresentou uma porosidade aparente relativamente baixa de aproximadamente 5%.

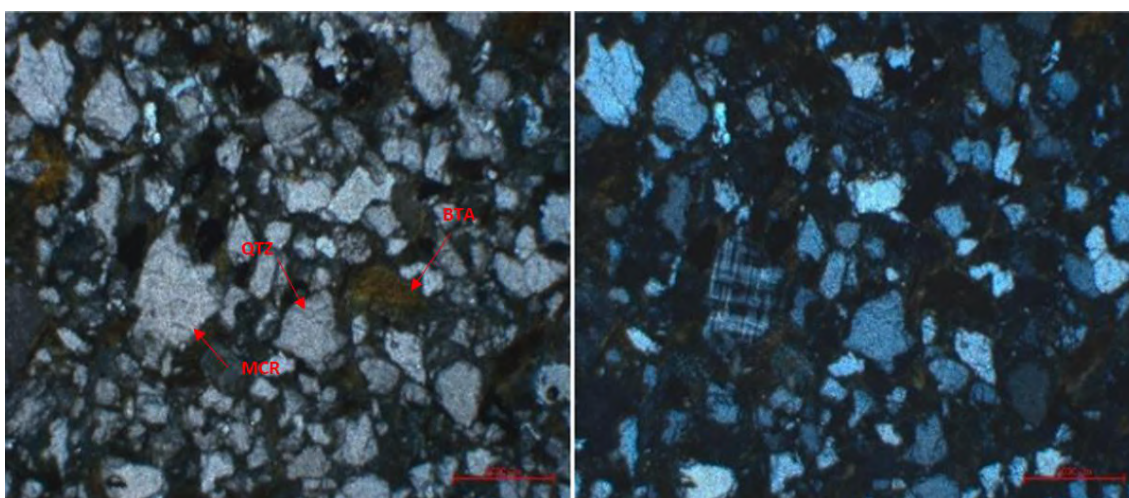


Figura 33 - Detalhes da Lâmina C. Nicóis descruzados à esquerda e cruzados à direita. Indicação de siglas: QTZ = Quartzo e BTA = Biotita e MCR = Microclina.

### 6.3 Classificação das amostras segundo diagrama QFL

As características observadas entre as lâminas foram relativamente similares e obtiveram uma classificação de arcóseo, segundo plotagem no diagrama QFL como se observa na Figura 34. Apresentam um grau de seleção pobre a moderado e sua granulometria variando entre areia fina a areia muito grossa, além da ocorrência de grânulos em determinados pontos. A porosidade aparente entre as lâminas apresentou uma variação considerável, indo de aproximadamente 5% e chegando até 30% da Lâmina A.

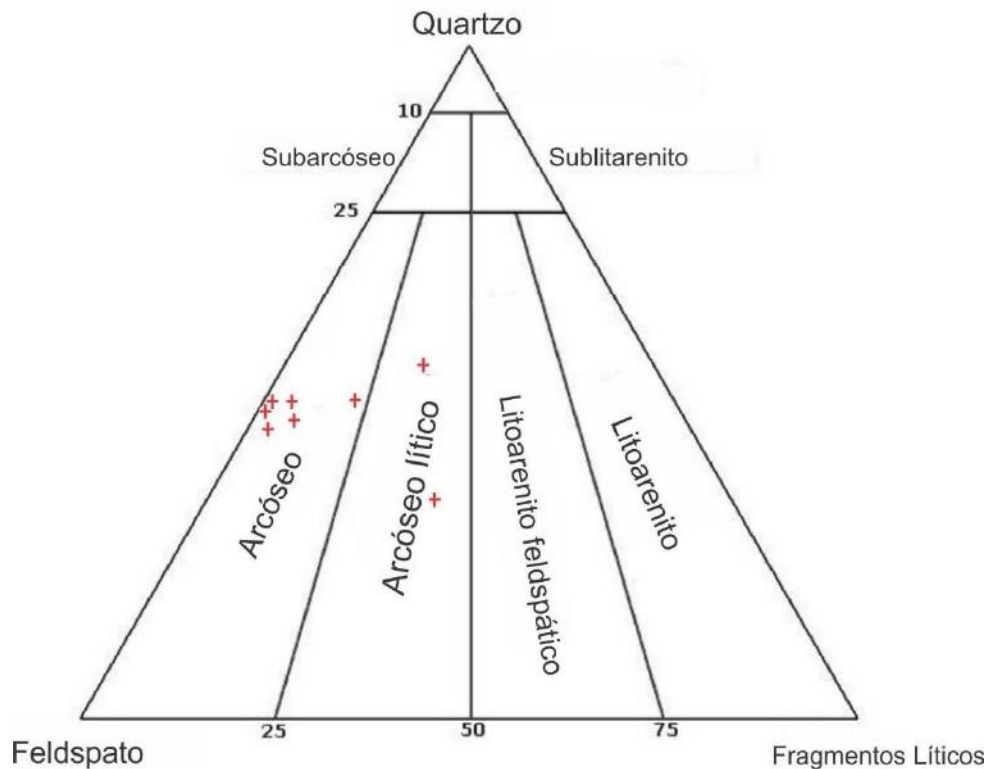


Figura 34 - Diagrama QFL com plotagem a partir da contagem modal dos minerais presentes nas lâminas petrográficas e cálculo de proporções segundo a Tabela 02.

As amostras apresentaram considerável grau de compactação, devido a observação da deformação de minerais mais plásticos como a biotita. A mineralogia das amostras e as proporções de presença desses minerais, vide Tabela 03 se mostrou relativamente semelhante entre as Lâminas A, B e C e entre M-7, M-14 e M-15, enquanto na lâmina P-1 aparece de forma expressiva e na lâmina P-8A está ausente. Os minerais mais abundantes, em média entre todas as lâminas, são o quartzo monocristalino, com presença de aproximadamente 30%, os plagioclásios, com presença de aproximadamente 20%, os álcali-feldspatos, com presença de aproximadamente 17% e a biotita, com presença de aproximadamente 15%. Outros minerais menos abundantes também se mostraram presentes, como calcedônia arredondada, micas brancas, minerais opacos, fragmentos líticos e zircão, com presenças que variaram entre 0,25% até 10% dentre as lâminas.



Tabela 2 - Cálculo da proporção de quartzo, feldspato e fragmentos líticos nas lâminas para plotagem no diagrama QFL.

Lâmina	Quartzo	F. Líticos	K-Feldspato	Plagioclásio	Total de Feldspatos	Qtz + Total de feldspato + F. Líticos	QFL			Total
							Quartzo	Feldspatos	F. Líticos	
<b>P-1</b>	25%	3%	9%	20%	29%	57%	44,1	51,1	4,8	100,0
<b>M-14</b>	30%	6%	22%	18%	40%	76%	39,5	52,6	7,9	100,0
<b>M-7</b>	32%	15%	8%	18%	26%	73%	43,8	35,6	20,5	100,0
<b>P-8A</b>	25%	30%	9%	15%	24%	79%	31,6	30,4	38,0	100,0
<b>M-15</b>	35%	15%	10%	10%	20%	70%	50,0	28,6	21,4	100,0
<b>A</b>	30%	3%	24%	24%	48%	81%	37,0	59,3	3,7	100,0
<b>B</b>	30%	0%	25%	20%	45%	75%	40,0	60,0	0,0	100,0
<b>C</b>	31%	0%	25%	20%	45%	76%	40,8	59,2	0,0	100,0

Tabela 3 - Composição modal das lâminas.

	<b>P-1</b>	<b>M-14</b>	<b>M-7</b>	<b>P-8A</b>	<b>M-15</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>
Biotita	34%	5,75%	6,75%		8%	15%	16%	17%
Calcedônia	5%	10%	10%	15%	10%		7%	4,5%
Calcita					2%			
Fragmentos líticos	2,75%	6%	15%	30%	15%	3%		
K-feldspato	9%	22%	8%	9%	10%	24%	25%	25%
Mica branca	2%	4%	4%	1%	5%	0,75%		0,5%
Minerais opacos	2%	4%	6%	5%	5%	3%	1%	2%
Plagioclásio	20%	18%	18%	15%	10%	24%	20%	20%
Quartzo monocristalino	25%	30%	32%	25%	35%	30%	30%	31%
Zircão	0,25%	0,25%	0,25%			0,25%		

## 6.4 Caracterização do aquífero

### 6.4.1 Perfis dos poços

Conforme os três poços de monitoramento foram confeccionados, foram realizados perfis granulométricos ao longo de sua extensão com base no material que foi sucessivamente retirado do substrato da área de estudo, trazendo à tona importantes dados a respeito da composição desse substrato. As profundidades alcançadas nos poços 1, 2 e 3, foram, respectivamente, 1,65m, 1,81m e 1.5m.

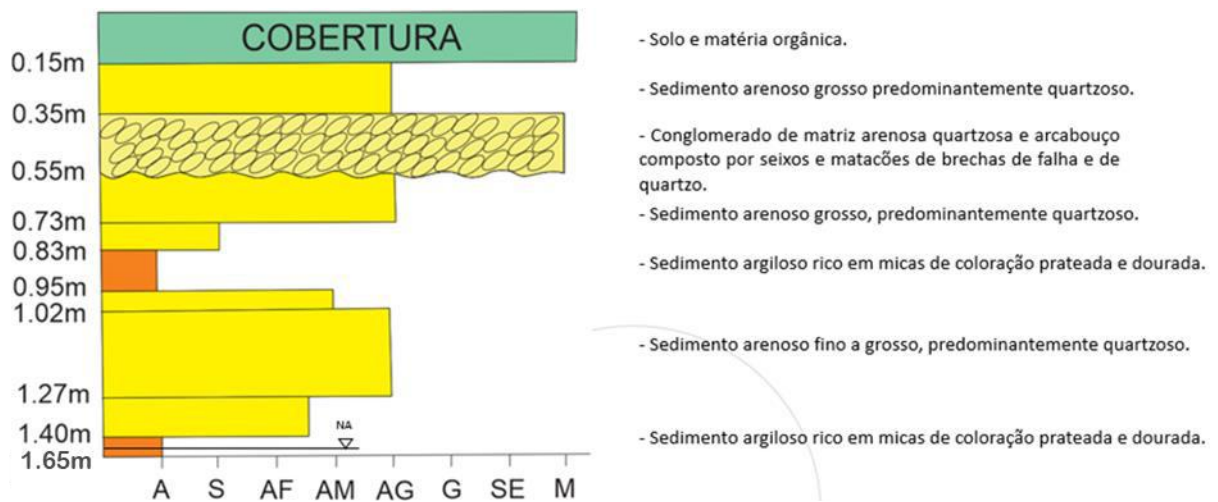


Figura 35 - Perfil de granulometria traçado ao longo do Poço 1 e descrição do material retirado do substrato.

Analisando o perfil do Poço 1 (Figura 35), pode-se observar a dominância de material arenoso predominantemente quartzoso, eventualmente intercalado com camada de conglomerado e sedimentos argilosos.

O perfil do Poço 2 (Figura 36) também é formado predominantemente por material arenoso com predominância de quartzo, com algumas camadas de material argiloso e conglomerado na base do perfil de poço.

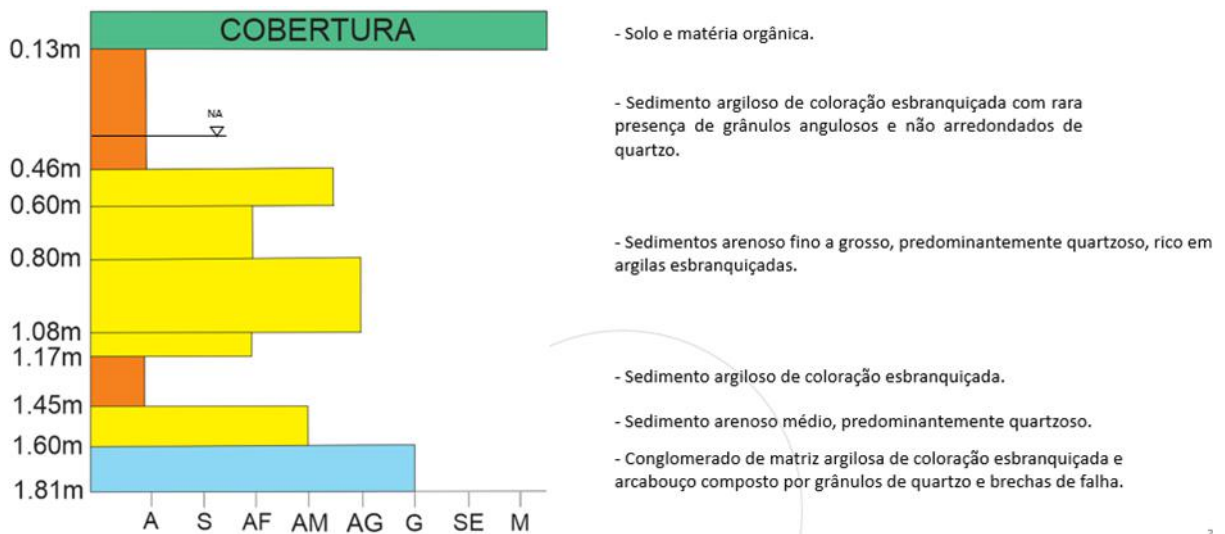


Figura 36 - Perfil de granulometria traçado ao longo do Poço 2 e descrição do material retirado do substrato.

Já o poço 3 (Figura 37), ao se observar seu perfil, apresenta um horizonte maior de cobertura sendo formado por depósito de praia e matéria orgânica. Apresenta camadas intercaladas de material arenoso grosso com seixos, material arenoso-quartzoso e matações de brecha de falha na base do perfil.

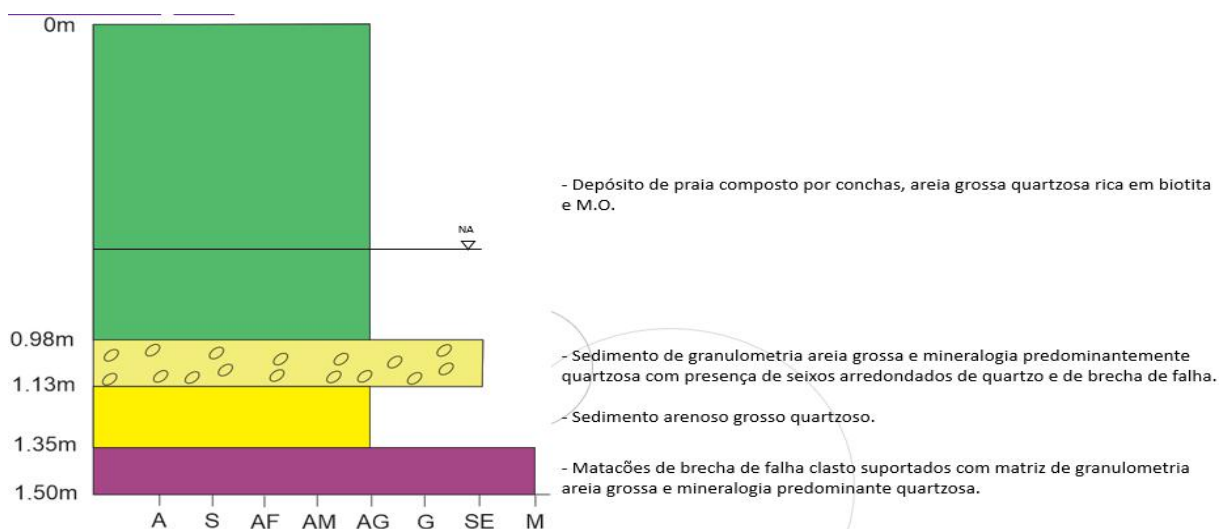


Figura 37 - Perfil de granulometria traçado ao longo do Poço 3 e descrição do material retirado do substrato.

#### 6.4.2 Variação do nível de água e análise físico-química

O monitoramento dos poços durante todo o ano de 2022 e início de 2023 trouxe uma base razoável de dados para entendimento da variação do nível de água do aquífero como o comportamento químico da água armazenada no substrato em aproximadamente um ano hidrológico. A Tabela 4 apresenta os valores médios de NA, pH e temperatura analisados ao longo do tempo. Os dados compreendem medidas entre dezembro de 2021 e fevereiro de 2023. O Poço 3 apresenta NA médio mais superficial atingindo 0,64 m, enquanto o Poço 1 tem o NA médio mais profundo com 1,54 m. Entre os dados de pH todos se mostraram similares com variações que podem ser consideradas dentro da margem de erro do equipamento (0,1 pontos para mais ou para menos) e a temperatura média variou em 1,75 °C entre eles. É possível inferir que o Poço 3 é fortemente influenciado pela variação das marés, tendo em vista a sua elevada salinidade média quando comparada com a dos outros poços.

Tabela 4 - Valores médios de informações de cada poço.

Poço	NA (m)	Temperatura (°C)	pH	Condutividade Elétrica
Poço 1	1,54	26,35	6,04	2.227 $\mu$ S
Poço 2	0,66	24,64	6,01	1.852 $\mu$ S
Poço 3	0,64	25,31	6,15	17.490 $\mu$ S

Desde o início do monitoramento do nível de água do aquífero foi possível observar ciclo de recarga que acompanham a precipitação na área de estudo. Ao se observar a Figura 38 e o Apêndice II, fica visível que o nível de água registrado no Poço 1 sempre esteve próximo do fundo do poço, ficando sem registros devido ao poço se encontrar seco em diversos meses.

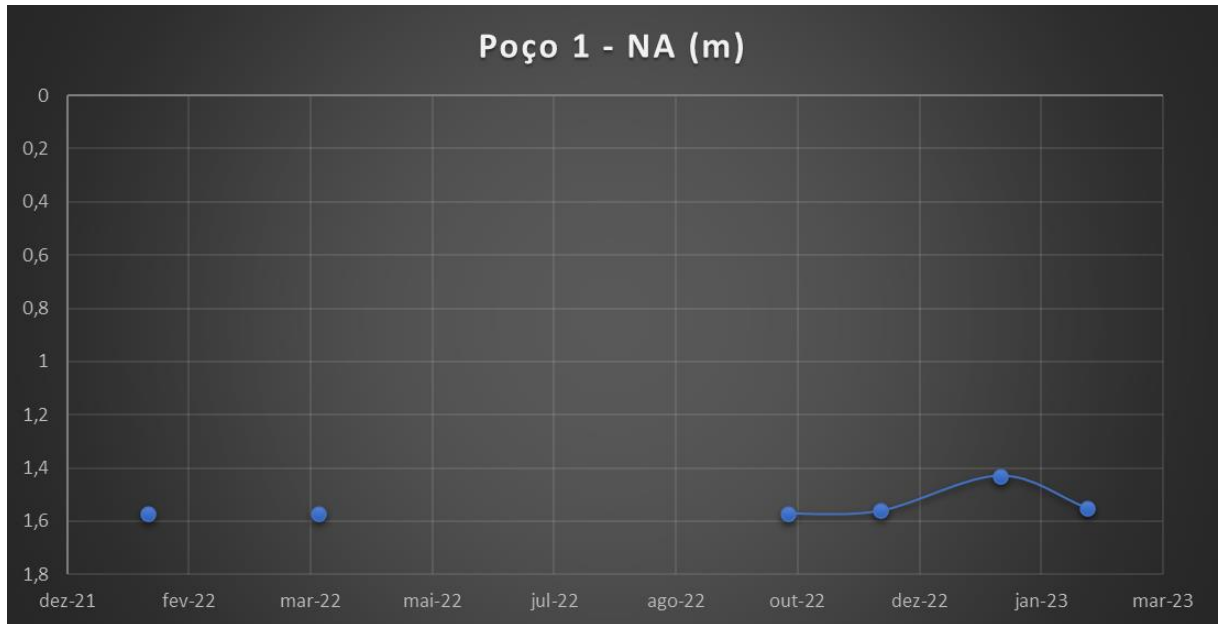


Figura 38 - Gráfico de variação do nível de água do Poço 1 entre dezembro de 2021 e fevereiro de 2023.

A análise do gráfico de nível de água do Poço 2, na Figura 39, indica um pequeno ciclo crescente no início do monitoramento seguido por um grande ciclo de rebaixamento entre março e novembro de 2022, tendo uma retomada de níveis d'água mais próximos da superfície no poço em janeiro e fevereiro de 2023.

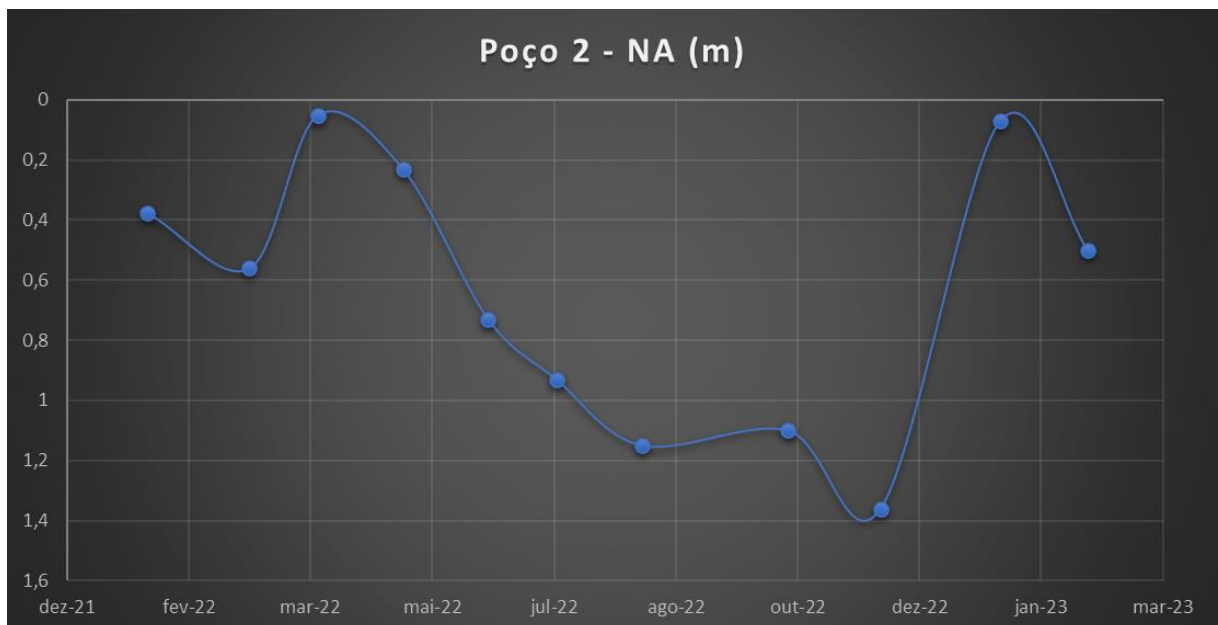


Figura 39 - Gráfico de variação do nível de água do Poço 2 entre dezembro de 2021 e fevereiro de 2023.

Ao se observar a variação do nível de água do Poço 3 na Figura 40 é possível observar uma tendência muito diferente da variação observada nos Poços 1 e 2, com nítidas variações de rebaixamento do NA entre os meses. Neste caso, pode ser que exista certo grau de influência da maré neste poço, que é o que se encontra mais próximo do mar. Corrobora esta afirmação, o fato deste poço possuir água com maior valor de condutividade elétrica dentre os três monitorados.

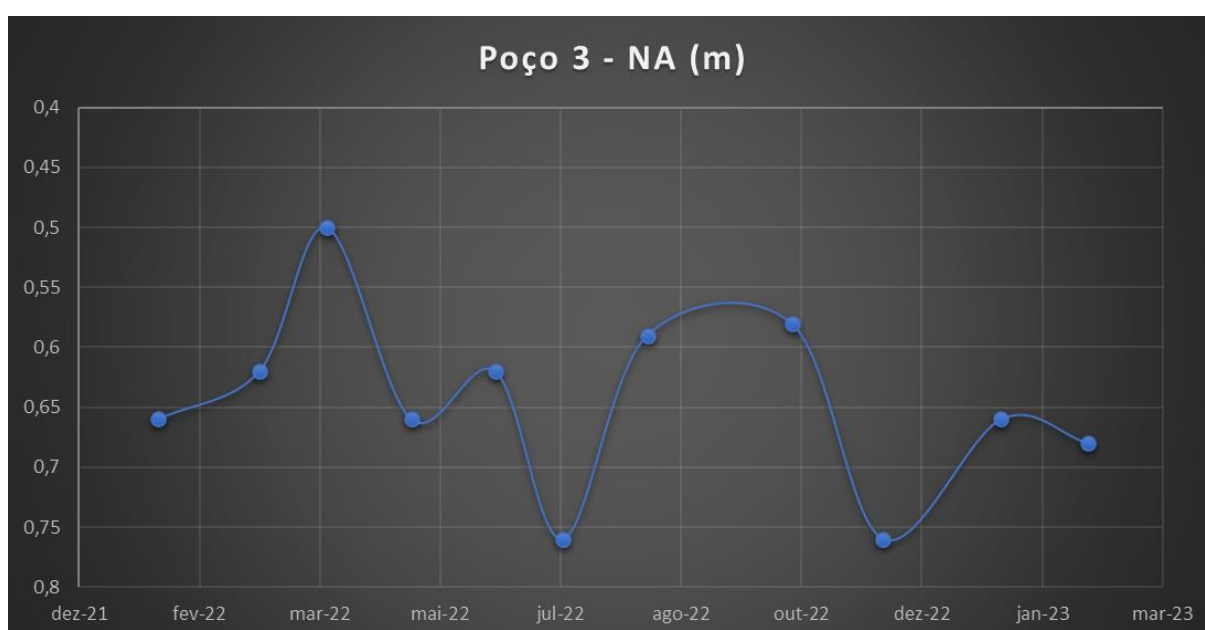


Figura 40 - Gráfico de variação do nível de água do Poço 3 entre dezembro de 2021 e fevereiro de 2023.

Com base no banco de dados de precipitação para a região de Cabo Frio e Armação dos Búzios do Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (Cemaden) foi possível traçar uma comparação entre a variação do nível de água dos Poços 1 e 2, que são os poços onde se acredita haver menor influência da variação das marés na variação do nível d'água (Figura 41). Observa-se claramente a resposta do NA à precipitação pluviométrica na região.

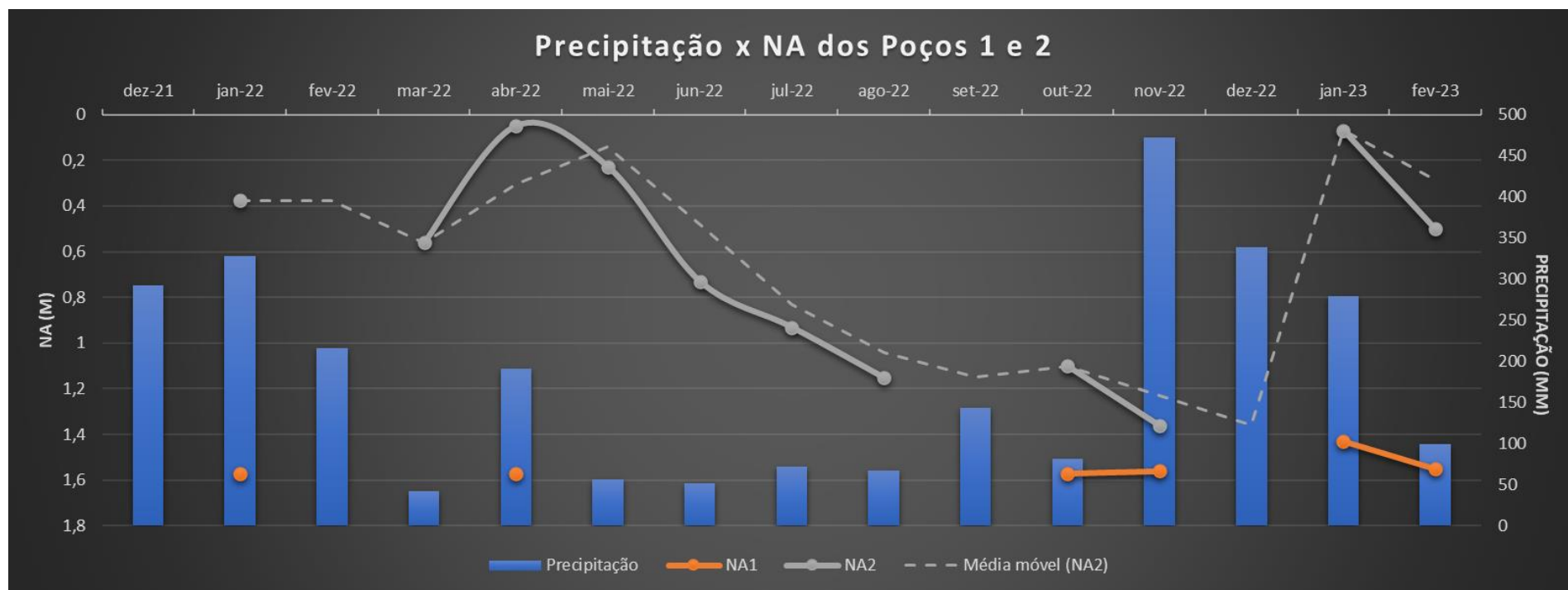


Figura 41 - Variação da precipitação mensal acumulada na região de Cabo Frio e Armação de Búzios em comparação com a variação do nível d'água observado nos Poços 1 e 2 ao longo do estudo.



## 7 DISCUSSÃO

Outros estudos utilizando de métodos geofísicos foram feitos no Mangue de Pedra com objetivo de auxiliar na caracterização de águas subterrâneas. Albuquerque *et al.* (2022) utilizaram de métodos eletrorresistivos para avaliar a interação de falhas com o sistema aquífero local. A partir de seu trabalho foram inferidas falhas menores com mesma orientação que a falha do Pai Vitório, limitando a região do mangue e seu aquífero.

A partir do mapeamento realizado, as rochas do embasamento foram bem definidas ao sul da Falha do Pai Vitório, enquanto as rochas da Formação Barreiras aparecem em falésias e paleofalésias ao norte dessa estrutura. No decorrer de atividades uma importante evidência veio através da observação de uma brecha de falha aflorante próximo a localização do Poço 1. Este afloramento indica uma validação do proposto por Albuquerque *et al.* (2022), ao indicar a presença de uma família de falhas menores neste ponto exato, no limite norte do manguezal. Essa relação fica clara na Figura 42, que compara mapas gerados nos dois trabalhos.

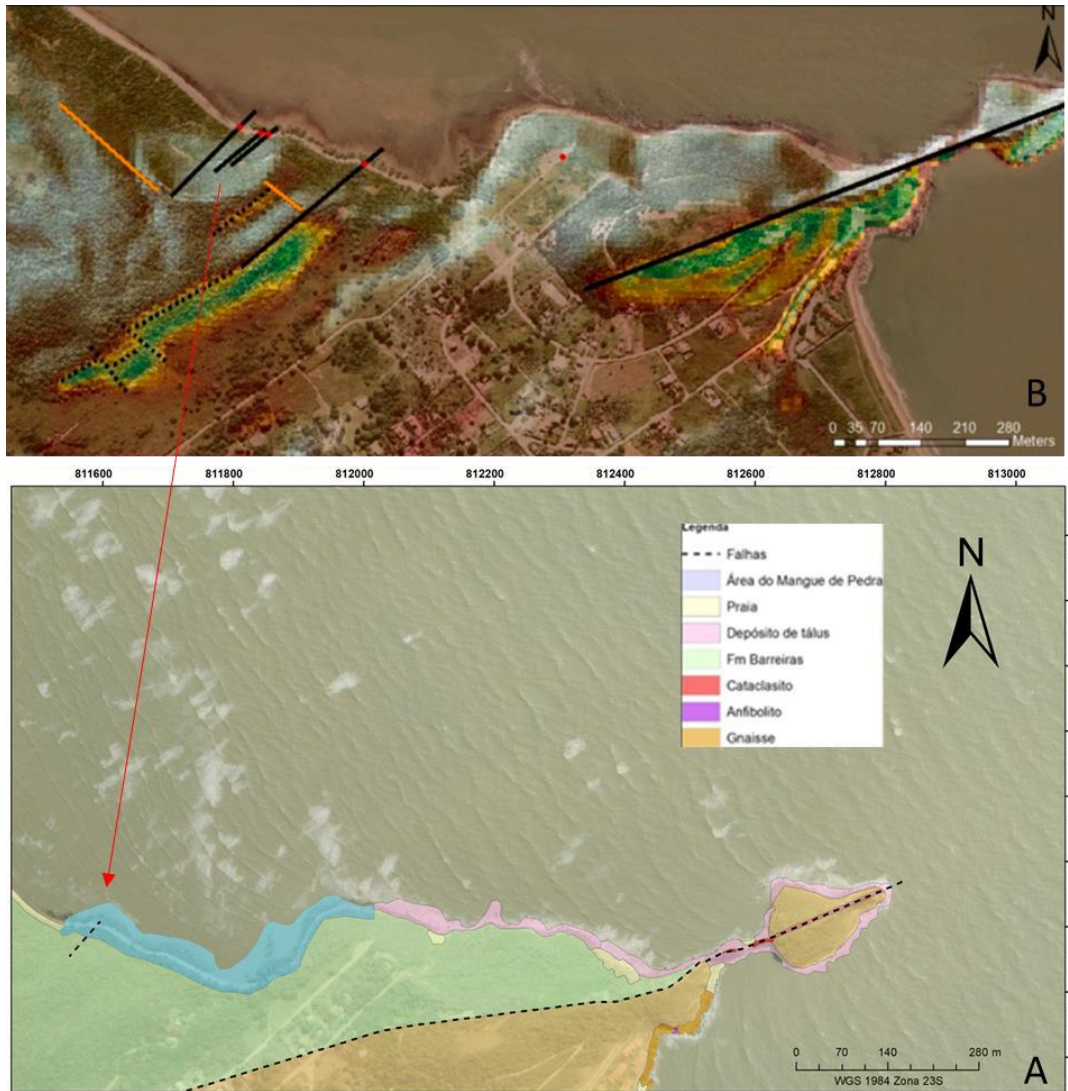


Figura 42 - Comparação entre a falha inferida com base no mapeamento litológico do presente projeto (A) e a família de falhas inferidas através do levantamento eletrorresistivo realizado na área de estudo (B), retirado de Albuquerque (2022).

No Estado do Rio de Janeiro a Formação Barreiras tem ocorrência ao longo de vários trechos do litoral, em especial na região norte, mas ainda carece de estudos detalhados. Conforme análise de Morais (2001) e Morais *et al.* (2006), foi possível identificar três tipos de fácies sedimentares na unidade: fácies de cascalhos, fácies de arenitos e fácies lamosas. Suas variações na Região de Búzios foram associadas a fluxos gravitacionais e processos trativos de alta energia.

A partir da confecção dos perfis granulométricos dos poços, foi possível observar o predomínio de areias argilosas e argilas arenosas entre o material analisado. A descrição

petrográfica das lâminas indica uma significativa presença de feldspatos, embora o mineral predominante em quase todas as lâminas analisadas tenha sido o quartzo com presença de fragmentos líticos menos comum, o que leva a classificação das rochas descritas, segundo diagrama QFL como arcóseos e arcóseos líticos. Sua composição arcoseana e baixa maturidade textural são evidências que levam a concluir que são rochas de considerável proximidade com área-fonte, processos de erosão e deposição rápidas em áreas tectonicamente instáveis. Ao longo de toda a extensão da área de estudo foi possível observar a presença de conglomerados onde o arcabouço era comumente composto por seixos de diabásio, gnaisses e anfibolitos, o que reforça a conclusão a respeito à proximidade com a área-fonte. A presença de uma matriz fina pode ser um indício de processos de alteração dos grãos de feldspato como a caulinização, indicando então uma origem pós-deposicional. A biotita é outro mineral que aparece em menor quantidade, por vezes orientada em meio a grãos dispersos, indicando uma possível deformação por compactação deste material. Outro fato que corrobora com esta hipótese é a deformação de grãos de biotita, um mineral bastante elástico, ao redor de grãos de minerais mais rígidos, o que pode ser facilmente observado no imageamento da Lâmina P1, através da Figura 24. Núcleos de concentração de precipitados de ferro indicam a passagem de fluidos ricos neste elemento por toda a área de estudo.

Na Região de Búzios as principais fácies descritas por Morais *et al.* (2006) foram os arenitos maciços associados a arenitos com estratificação, material cascalhoso matriz suportado e lamitos. Conforme observado nos perfis de poços confeccionados, as camadas associadas à água subterrânea, marcando a variação do nível de água registrado, foram sedimentos arenosos ricos em quartzo associados a camadas de conglomerados e sedimentos finos, com ou sem a presença de grânulos, alterados.

Através da descrição do material do substrato retirado durante a perfuração dos poços e análise petrográfica das lâminas fica caracterizado material semelhante ao descrito previamente

sobre a Formação Barreiras na região. Os arcóseos analisados têm concentração em areias grossas a finas, podendo assim servir como bom reservatório de água doce para o manguezal. Assim, o Aquífero Mangue de Pedra se caracteriza como um aquífero livre, granular, alocado nas rochas da Formação Barreiras.

Um problema encontrado durante as medições de nível de água foi a limitação de profundidade que os poços alcançaram, o que levou o Poço 1 a se apresentar seco na maior parte do monitoramento enquanto os outros mantiveram seu nível de água em níveis passíveis de medição. A impossibilidade de perfurar poços mais profundos se deu justamente porque a Formação Barreiras, nesta localidade, apresenta muitos seixos e matações de brecha de falha e quartzo, materiais incompatíveis com o método de perfuração utilizado. Vale destacar a impossibilidade de uso de equipamento de grande porte na área, uma vez que o acesso à praia se dá por trilhas estreitas e irregulares. Apesar de um dos poços ter se mostrado seco durante boa parte do ano, provavelmente não seriam necessários novos poços com profundidades muito maiores do que as atuais para acompanhamento do nível de água de aquífero, visto que os Poços 2 e 3 mantiveram um nível de água suficiente para permitir a medição do NA e coleta de amostras de água para análise físico-química.

## 8 CONCLUSÃO

Conforme observado, o mapeamento levou a uma delimitação das unidades do embasamento e dos litotipos da Formação Barreiras, assim como agregou a evidência da presença de falhas menores na área da APA. A observação de uma brecha de falha corrobora a hipótese de haver falhas menores de orientação similar a Falha do Pai Vitório, que é a principal estrutura da área de estudo. A importância da presença de uma ou mais famílias de falhas é a de que estas influenciam na geomorfologia local, gerando barreiras físicas para proteção a ação de ondas, como observado no limite norte do manguezal e na Falha do pai Vitório, delimitação do aquífero e facilitação na percolação de águas subterrâneas, além de terem potencial de influência na cunha salina da área de estudo.

A análise petrográfica também indicou a classificação granulométrica do material, sua imaturidade textural e composicional, mais uma vez evidenciando o papel da interação tectônica da região e sua proximidade com a área fonte destes sedimentos. Através da descrição de lâminas delgadas, a Formação Barreiras, na localidade do Mangue de Pedra, foi caracterizada como arcóseos e arcóseos líticos com presença de níveis conglomeráticos de arcabouço polimítico, coincidindo com o proposto para os afloramentos desta unidade no litoral do estado.

Os poços de monitoramento foram importantes para avaliar a dinâmica do nível de água na região. O Poço 1 permaneceu seco a maior parte do monitoramento, levantando uma possível associação a alterações de fluxo da água neste ponto específico do aquífero devido a presença de ao menos uma falha próxima ao limite norte do manguezal. Os poços 2 e 3 indicaram um grande ciclo de rebaixamento ao longo do ano, aparentemente seguido por um aumento do nível de água ao fim de 2022, indicando um reflexo da recarga do aquífero em resposta à precipitação pluviométrica, demonstrando o caráter de aquífero livre. Ao se comparar a variação do acumulado mensal de precipitação com a variação do nível de água observada, mais

especificamente nos Poços 1 e 2 ficou claro que a recarga do aquífero se dá de forma bastante abrupta nos períodos de maior volume de chuva nessa região do estado do Rio de Janeiro, que costuma acontecer no verão, porém o NA diminui rapidamente, o que pode causar algum tipo de estresse hídrico para o ecossistema do Mangue de Pedras, principalmente em anos onde mesmo nos períodos chuvosos não há tanto volume de precipitação.

Os perfis granulométricos dos poços serviram para avaliar o material do reservatório e realizar correlações a outros depósitos já descritos da Formação Barreiras.

Este trabalho visou contribuir de maneira inovadora à APA Mangue de Pedras, caracterizando a Formação Barreiras e seu papel enquanto aquífero do Mangue de Pedra, tendo sua importância muito bem definida por ser o aquífero o responsável pelo sustento do ecossistema. Espera-se que novos trabalhos contribuam com mais dados robustos para o manejo e preservação deste ecossistema único. Os produtos do presente trabalho mostram-se como poderosas ferramentas para a elaboração do plano de manejo para a área. Um mapa geológico contendo a distribuição dos diferentes tipos de rochas na área e estruturas deformacionais, somado com uma descrição de detalhe das rochas que compõem o Aquífero Mangue de Pedra e um monitoramento ativo de mais de 14 meses do comportamento da variação do nível de água do aquífero já são uma base sólida com importância científica para que outros estudos possam ser desenvolvidos nas áreas de geologia ambiental, hidrogeologia e petrografia neste ecossistema singular.

Como objetivos futuros sugiro o desenvolvimento de um trabalho que caracterize em um nível de detalhe maior as fácies sedimentares observadas na Fm. Barreiras na área da APA e seus arredores e compare estes dados com as fácies sedimentares da mesma Fm. Barreiras descritas em outras localidades, fortalecendo a caracterização destas rochas, enquanto que o monitoramento de variação do NA e características físico-químicas pode continuar enquanto os poços se mantiverem funcionais, o que ainda serão, provavelmente, muitos anos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARAI, M. A Grande Elevação Eustática do Mioceno e Sua Influência na Origem do Grupo Barreiras. *Geologia USP, Sér. Cient.*, São Paulo, v. 6, n. 2, p.1-6, 2006.
- ALBUQUERQUE, G.; MANSUR, K. L.; SILVA JR, G.C.; GAMA, M. F. P.; BRAGA, M. A. Parâmetros hidroquímicos, estruturas tectônicas e relações ambientais na caracterização do Geossítio Mangue de Pedra In: XVII Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos, 2019, Bento Gonçalves. *Anais do XVII SNET*. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Geologia - Núcleo Sul, 2019. v.Único. p. 60
- ALBUQUERQUE, G.M.; MANSUR, K.L.; SILVA, G.C.; MELLO, C.L.; BRAGA, M.A. Fault mapping and characterization of a coastal aquifer related to a mangrove ecosystem, using electrical resistivity tomography (ERT), ground penetrating radar (GPR) and hydrochemical data: The case of the Mangue de Pedra Aquifer, Armação dos Búzios, Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, v. 120, p. 104095, 2022.
- ALMEIDA, F.F.M. (1991). O alinhamento de Cabo Frio. In: 2º Simpósio de Geologia do Sudeste. São Paulo - SP. SBG, Atas, p.423-428.
- BEZERRA, F.H.R.; MELLO, C.L.; SUGUIO, K. A Formação Barreiras: Recentes Avanços e Antigas Questões. *Geologia USP, Série Científica*, v. 6, n. 2, p. iii-vi. 2006
- CHAPMAN, V.J. (1940). A note upon the geological work of mangroves in Jamaica. *Pembroke College Library*.
- CICCO, R. C. Caracterização Geofísica pelo Método de Caminhamento Elétrico do Aquífero Mangue de Pedra – Armação de Búzios. TCC – Faculdade de Geologia, UFRJ, Rio de Janeiro, 2018.
- CINTRÓN, G.; LUGO A.E.; MARTINEZ, R. (1980). Structural and functional properties of Mangrove Forests. In: *Annals of the Symposium Signaling the Complexion of the "Flora of Panama"*. Panamá. University of Panama, p. 53-67.
- CINTRÓN, G.; SCHAEFFER-NOVELLI, Y. (1983). *Introducción a la ecología del manglar*. UNESCO/ROSTLAC, Montevideo. 109p.
- 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.
- FOLK, R. L. 1980. *Petrology of sedimentary rocks*: Austin, Hemphill, 184 p

- 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.
- 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.
- 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
- 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.; 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.
- <<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/rj/armacao-dos-buzios.html>>
- HEILBRON, M.; MACHADO, N. (2003). Timing of terrane accretion in the Neoproterozoic-Eopaleozoic Ribeira orogen (SE Brazil). *Precambrian Research*, v.125, p.87-112.
- 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). UPb geochronology of the cen-tral 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.; GUEDES, E.; SILVA JR., G.C.; LAS CASAS REBELO, V.A. (2012). Groundwater and Biodiversity: the singular case of the Mangue de Pedra, Armação dos Búzios, State of Rio de Janeiro, Brazil. 22nd Salf Water Intrusion Meeting – SWIM. Armação dos Búzios – RJ.
- 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.



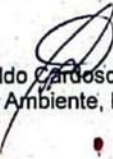


- MOHRIAK, W.U.; BARROS, A.Z. (1990). Novas evidências de tectonismo cenozóico na região sudeste do Brasil: o graben de Barra de São João na plataforma continental de Cabo Frio, Rio de Janeiro. *Revista Brasileira de Geociências*, v.20, n.1-4, p.187- 196.
- MORAIS, R. M. O.; MELLO, C. L.; COSTA, F. O.; SANTOS, P. F. 2006. Fácies sedimentares e ambientes deposicionais associados aos depósitos da Formação Barreiras no Estado do Rio de Janeiro. *Geologia USP: Série Científica*, São Paulo, 6(2): 19-30.
- MORAIS, R. M. O. 2001. Estudo Faciológico da Formação Barreiras na Região entre Maricá e Barra de Itabapoana, Estado do Rio de Janeiro. Dissertação de Mestrado (Programa de Pós-Graduação em Geologia), Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 113 p.
- PEREIRA, F. O.; ALVES, J.R.P. (1999). *Conhecendo o Manguezal*. Apostila técnica, Grupo Mundo da Lama, RJ. 4a ed. 10p
- REBOUÇAS, A.C. Água doce no mundo e no Brasil. In: Rebouças, A. Da C.; Braga, B.; Tundisi, J. G. *Águas doces no Brasil capitais ecológicos usos e conservação*. 3 ed. São Paulo: Escrituras, 2002. p. 269-324
- RICOMINI 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.
- ROVAI, A. S.; TWILLEY, R. R. Brazilian Mangroves: Blue Carbon Hotspots of National and Global Relevance to Natural Climate Solutions. *Frontiers in Forests and Global Change*, 2022.
- RUBIM, 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.
- RUBIM, I.N. (2004). *Análise Cinemática e Petrográfica de Brechas Tectônicas Silicificadas em Dois Alvos no Estado do Rio de Janeiro*, Monografia de Graduação da Faculdade de Geologia – UERJ.
- SANTOS, A.B. *Manguezais do Rio de Janeiro: Um estudo sobre os riscos ambientais a este importante ecossistema costeiro* / Aline Bernardino dos Santos. — 2012.
- 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

- 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.; 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
- 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. 5º Simpósio Brasileiro do Sudeste. Penedo/Itatiaia - RJ. Atas, SBG, p. 62-64.
- SICHEL, S.E.; SCHMITT, R.S.; ALVES, E.C.; ARAÚJO, A.L.N.; GUERRA, J.V.; SAVI, D.C.; SKREPNEK, C.; STANTON, N.S.G. (2005). Registro da atividade magmática meso-cenozóica nas Ilhas offshore do Alto de Cabo Frio. Guia de Excursão. III Simpósio de Vulcanismo e Ambientes Associados. Cabo frio. p.1-23.
- THOMAZ-FILHO, A.; RODRIGUES, A.L. (1999) O Alinhamento de Rochas Alcalinas Poços de Caldas-Cabo Frio (RJ) e sua continuidade na Cadeia Vitória-Trindade. *Revista Brasileira de Geociências*, v.29, n. 2, p.189-194.
- THOMAZ FILHO, A.; MIZUSAKI, A.M.P.; ANTONIOLI, L. (2008). Magmatismo nas bacias sedimentares brasileiras e sua influência na geologia do petróleo. *Revista Brasileira de Geociências*, v.38, n.2 / suplemento, p.128-137.
- SOFFIATI, A. (2012). Parecer sobre a proteção do “Mangue de Pedra”, no município de Búzios, por um Monumento Natural. Campos dos Goytacazes - RJ.
- SOFFIATI, A. (2011). Os Manguezais de Búzios. *Boletim do Obs. Amb. Alberto Ribeiro Lamego. Campos dos Goytacazes - RJ.* v.5, n.1, p.11-33.
- SOUZA, P.C.M. (2011). Análise cinemática e dinâmica do sistema de falhas cenozoicas ENEWSW do entorno da Lagoa de Araruama (RJ). Tese de Mestrado, Federal University of Rio de Janeiro. 139 p.
- WALSH, G. E. Mangroves: a Review. Raimond, R.J. e Queen, W.H. (editores). *Ecology of Halophytes*. Academic Press, 1974.

ZALÁN, P.V.; OLIVEIRA, J.A.B. (2005). Origem e evolução estrutural do Sistema de Riftes Cenozóicos do Sudeste do Brasil. Boletim de Geociências da Petrobrás, v.13, n.2, p.269-300.

**ANEXO I – AUTORIZAÇÃO AMBIENTAL EMITIDA PELA PREFEITURA DA  
CIDADE DE BÚZIOS PARA REALIZAÇÃO DO PROJETO NA ÁREA DE  
PROTEÇÃO AMBIENTAL MANGUE DE PEDRAS.**

	<b>PREFEITURA DA CIDADE DE ARMAÇÃO DOS BÚZIOS</b> SECRETARIA MUNICIPAL DE AMBIENTE, PESCA E URBANISMO														
<b>AUTORIZAÇÃO AMBIENTAL</b>															
<b>Processo:</b>	9203/2021														
<b>Requerente:</b>	Kátia Leite Mansur - CPF 677.253.847-15														
<b>Endereço:</b>	APA Mangue de Pedras – Armação dos Búzios														
<b>Assunto:</b>	Pesquisa Hidrogeológica na APA Municipal Mangue de Pedras														
<table border="1"> <tr> <td align="center" colspan="2">Controle SEAPUR</td> </tr> <tr> <td align="center" colspan="2">Nº: 025/2021</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Via:</td> </tr> <tr> <td><input checked="" type="checkbox"/></td> <td>Requerente</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/></td> <td>Processo</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/></td> <td>Fiscalização</td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/></td> <td>Arquivo</td> </tr> </table>		Controle SEAPUR		Nº: 025/2021		Via:		<input checked="" type="checkbox"/>	Requerente	<input type="checkbox"/>	Processo	<input type="checkbox"/>	Fiscalização	<input type="checkbox"/>	Arquivo
Controle SEAPUR															
Nº: 025/2021															
Via:															
<input checked="" type="checkbox"/>	Requerente														
<input type="checkbox"/>	Processo														
<input type="checkbox"/>	Fiscalização														
<input type="checkbox"/>	Arquivo														
<b>Autorização:</b>	Perfuração de 04 poços rasos, em torno de 3m de profundidade, com 03 polegadas de diâmetro, para monitoramento mensal.														
<b>Condicionantes Gerais para a pesquisa:</b>															
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Esta autorização se restringe à atividade especificada, não se estendendo à nenhuma outra;</li> <li>2. Comunicar por escrito a esta secretaria o início da pesquisa;</li> <li>3. O trabalho de pesquisa deverá ser executado por equipe treinada com conhecimento técnico e profissionais devidamente identificados;</li> <li>4. Esta autorização diz respeito aos aspectos ambientais e não exime o requerente do atendimento das demais licenças previstas para a atividade. Este documento não poderá sofrer qualquer alteração nem ser plastificado, sob pena de perder a validade;</li> <li>5. Este documento deverá ficar disponível para verificação do serviço de fiscalização;</li> <li>6. Conforme determinado na lei Municipal Complementar nº 19 de 28 de novembro de 2007: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Art. 128. Todo trabalho ou publicação oriundo do material coletado deverá ser enviado à Secretaria Municipal de Ambiente, Pesca e Urbanismo, para que seja incorporado ao acervo de pesquisas municipais. Deverá ser apresentado a SEAPUR uma cópia impressa e outra digital dos relatórios semestrais da atividade de pesquisa e cópia de quaisquer publicações de materiais resultantes desta;</li> </ul> </li> <li>7. A Secretaria de Meio Ambiente não possui responsabilidade técnica pela execução dos trabalhos de pesquisa, sendo a execução de inteira responsabilidade da requerente, podendo responder civil e criminalmente por seus atos;</li> <li>8. A Secretaria de Meio Ambiente exigirá novas medidas de controle, sempre que julgar necessário;</li> <li>9. Para a perfuração dos poços, poderá ser feita a limpeza discreta num raio de no máximo 1m no local do furo, sendo selecionados pontos onde a vegetação já se encontra degradada;</li> <li>10. Os estudos deverão ser realizados pelos profissionais com vínculo estudantil ou empregatício na Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ - Instituto de Geociências;</li> <li>11. Atender ao que preconiza a legislação ambiental, em especial o Novo Código Florestal, Lei nº12.551 de 25 de maio, a lei da Mata Atlântica, Lei 11.428 de 22 de dezembro de 2006, Legislação Estadual, sem prejuízo de outras sanções e penalidades cabíveis;</li> <li>12. Esta Autorização é válida até <b>25 de outubro de 2022</b>, 01(um) ano, (12 meses) podendo ser prorrogada por igual período por solicitação do requerente, respeitadas as condições nela estabelecidas.</li> </ol>															
Armação dos Búzios, 25 de outubro de 2021.															
 Diana Régennes Gerente de Licenciamento Port. 304/2021.	 Evanildo Cardoso Nascimento Secretário de Ambiente, Pesca e Urbanismo														

**APÊNDICE I - TABELA DE DESCRIÇÃO DOS PONTOS DE MAPEAMENTO.**

ID	Nome	Lâmina	Data e Hora	Latitude	Longitude	Elevação	Litologia	Descrição
1	Ponto 1	NA	01/22/2022 11:51:44.000 BRT	-22,7345	-41,9583	6,0363	Gnaiss	Início da laje de gnaiss no final da praia. Apresenta dobras e dobras parasíticas com presença de grandes veios de quartzo. Apresenta bandas bem definidas por sua extensão, sendo estas marcadas por cristais de biotita orientados.
2	Ponto 2	NA	01/22/2022 12:06:41.000 BRT	-22,7338	-41,9582	3,8825	Gnaiss	Continuação da laje de gnaiss partindo do ponto imediatamente anterior. Presença de xenólitos de anfibólito.
3	Ponto 3	NA	01/22/2022 12:18:22.000 BRT	-22,7338	-41,9578	1,7214	Anfíbólito	Contato entre um grande xenólito de anfibólito de aproximadamente 10x10m em superfície e a laje de gnaiss.
4	Ponto 4	NA	01/22/2022 12:33:43.000 BRT	-22,7332	-41,9573	3,1054	Gnaiss	Fim da laje de gnaiss que começa no Ponto 1 e início da praia próxima ao mirante do Pai Vitório.
5	Ponto 5	NA	01/22/2022 12:43:45.000 BRT	-22,7329	-41,9575	9,8678	Gnaiss	Laje de gnaiss com bandamento gnaissico.
6	Ponto 6	NA	01/22/2022 13:49:44.000 BRT	-22,7326	-41,9567	-0,4561	Cataclásito	Cataclásito encontrado no núcleo da Falha do Pai Vitório. Rocha de coloração branco-leitosa e bastante friável. É encontrada ao longo de boa parte do núcleo da falha neste local.
7	Ponto 7	NA	01/22/2022 14:19:34.000 BRT	-22,7337	-41,9583	19,9695	Quaternário	Cobertura de solo escura e espessa que se acomoda sobre a laje de gnaiss que aflora na praia.
8	Ponto 8	NA	01/22/2022 14:35:38.000 BRT	-22,733	-41,9618	55,5407	Fm barreiras	Paleofalésia da Fm. Barreiras localizada próximo a um mirante com vista para o mar. Rocha de coloração avermelhada e bastante alterada.
9	Ponto 9	NA	01/22/2022 15:05:06.000 BRT	-22,7382	-41,962	5,8396	Fm barreiras	Solo de coloração avermelhada e níveis de seixos de quartzo.
10	Ponto 10	P1	03/05/2022 11:44:33.000 BRT	-22,7323	-41,9618	2,0042	Talus	Depósito de talus com seixos e matações de brechas de falha e quartzo em contato com paleofalésias da Fm. Barreiras, que neste local é composta por conglomerados de matriz argilosa e arcabouço de seixos de quartzo, gnaiss e anfibólito.
11	Ponto 11	NA	03/05/2022 11:56:13.000 BRT	-22,7325	-41,9613	-2,799	Fm Barreiras	Depósito de talus com seixos e matações de brechas de falha e quartzo em contato com paleofalésias da Fm. Barreiras, que neste local é composta por conglomerados de matriz argilosa e arcabouço de seixos de quartzo, gnaiss e anfibólito.
12	Ponto 12	NA	03/05/2022 12:11:13.000 BRT	-22,7324	-41,9606	0,0748	Fm Barreiras	Depósito de talus com seixos e matações de brechas de falha e quartzo em contato com paleofalésias da Fm. Barreiras, que neste local é composta por conglomerados de matriz argilosa e arcabouço de seixos de quartzo, gnaiss e anfibólito.
13	Ponto 13	NA	03/05/2022 12:23:28.000 BRT	-22,7324	-41,96	2,874	Fm Barreiras	Depósito de talus com seixos e matações de brechas de falha e quartzo em contato com paleofalésias da Fm. Barreiras, que neste local é composta por conglomerados de matriz argilosa e arcabouço de seixos de quartzo, gnaiss e anfibólito.

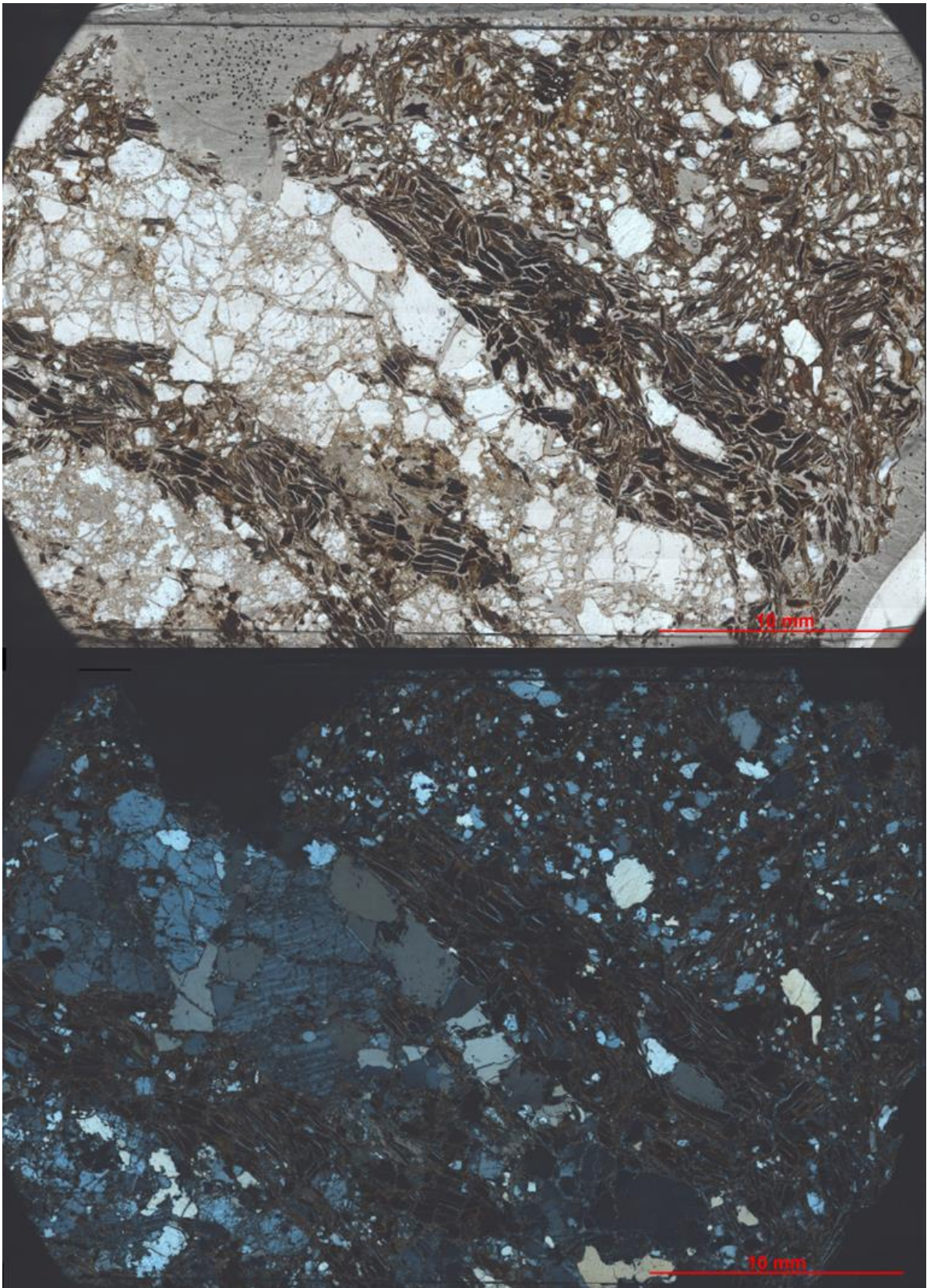
14	Ponto 14	NA	03/05/2022 12:34:26.000 BRT	-22,7325	-41,9596	-1,7228	Fm Barreiras	Depósito de talus com seixos e matacões de brechas de falha e quartzo em contato com paleofalésias da Fm. Barreiras, que neste local é composta por conglomerados de matriz argilosa e arcabouço de seixos de quartzo, gnaiss e anfíbolito.
15	Ponto 15	NA	03/05/2022 12:58:40.000 BRT	-22,7328	-41,959	-6,9489	Fm Barreiras	Paleofalésias da Fm. Barreiras ao chegar na Praia da Mosqueira, seguindo o caminhamento dos últimos pontos. Nesta localidade as paleofalésias se mostram como arcóseos ricos em quartzo, biotita e feldspato que se intercalam com níveis conglomeráticos.
16	Ponto 16	NA	03/05/2022 13:18:58.000 BRT	-22,7322	-41,9623	-1,8634	Fm Barreiras	Paleofalésias da Fm. Barreiras próximo ao fim da área do Mangue de Pedra em seu extremo leste. Intercalação entre arcóseos e níveis conglomeráticos ricos em seixos de quartzo, brecha de falha, anfíbolito e basalto.
17	Ponto 17	NA	03/05/2022 13:24:07.000 BRT	-22,7327	-41,9634	7,2683	Fm Barreiras	Paleofalésias da Fm. Barreiras próximo ao Poço 3. Intercalação entre arcóseos e níveis conglomeráticos ricos em seixos de quartzo, brecha de falha, anfíbolito e basalto. Há também a presença de possíveis rochas do embasamento em elevado grau de alteração, sendo representadas por matacões de argila esverdeada e cinza com presença de veios de quartzo.
18	Ponto 18	NA	03/05/2022 14:04:46.000 BRT	-22,7328	-41,9626	28,5004	Fm Barreiras	Paleofalésias da Fm. Barreiras no mirante localizado ao fim da rua que dá acesso a trilha para o Mangue de Pedra.
19	Ponto 19	NA	03/05/2022 14:38:06.000 BRT	-22,7459	-41,9669	23,6068	Para-Gnaiss	Afloramento de solo de coloração avermelhada derivado de rochas para-derivadas. Apresente resquícios de veios de quartzo e alta presença de bioturbação.
20	Ponto 20	NA	04/02/2022 12:08:28.000 BRT	-22,7345	-41,9614	53,1665	Gnaiss	Laje de gnaiss no chão da estrada de terra com destino ao "Lugar de oração Monte do fogo". Presença de considerável grau de alteração e, ao menos, duas famílias de fraturas quase que perpendiculares.
21	Ponto 21	NA	04/02/2022 12:27:11.000 BRT	-22,7338	-41,9616	71,1219	Gnaiss	Laje de gnaiss no chão da estrada de terra com destino ao "Lugar de oração Monte do fogo". Presença de considerável grau de alteração e, ao menos, duas famílias de fraturas quase que perpendiculares.
22	Ponto 22	NA	04/02/2022 12:37:39.000 BRT	-22,7338	-41,9606	74,2565	Brecha de falha	Blocos e matacões de brecha de falha e quartzo. Possivelmente transportadas.
23	Ponto 23	M14	05/07/2022 14:37:16.000 BRT	-22,7325	-41,9616	12,9504	Fm Barreiras	Depósito de talus com seixos e matacões de brechas de falha e quartzo em contato com paleofalésias da Fm. Barreiras, que neste local é composta por conglomerados de matriz argilosa e arcabouço de seixos de quartzo, gnaiss e anfíbolito.
24	Ponto 24	NA	10/12/2022 11:43:30.000 BRT	-22,7327	-41,9667	10,9797	Brecha de falha	Afloramento de brecha de falha subindo o relevo a partir do Poço 1. Possível correlação com as famílias de falhas mapeadas com a geofísica do Guido.

25	Ponto 25	M15	10/12/2022 12:06:53.000 BRT	-22,7326	-41,9667	4,3404	Fm Barreiras	Conglomerado polimítico no chão da praia imediatamente em frente ao Poço 1. Matriz arenosa e arcabouço composto por grânulos e seixos de basalto, anfíbolito e gnaisse.
26	Ponto 26	NA	10/12/2022 12:29:23.000 BRT	-22,7332	-41,9638	4,4292	Deposito de praia	Depósito de praia próximo ao Poço 3, composto principalmente por conchas, matéria orgânica e grânulos de quartzo e brecha de falha.
27	Ponto 27	NA	10/12/2022 13:23:18.000 BRT	-22,7393	-41,9674	18,2084	Fm Barreiras	Afloramento de Fm. Barreiras nos fundos de uma casa próxima a área do Mangue de Pedra. Intercalação de arcóseos e conglomerados de matriz arenosa e arcabouço composto por grânulos de quartzo.
28	Ponto 28	NA	11/19/2022 12:28:43.000 BRT	-22,7328	-41,9675	21,3182	Fm Barreiras	Solo derivado de paleofalésia da Fm. Barreiras localizada próxima ao Poço 1. Níveis conglomeráticos de matriz arenosa e arcabouço composto por seixos de quartzo e brecha de falha.
29	Ponto 29	NA	11/19/2022 12:51:50.000 BRT	-22,733	-41,9661	6,397	Fm Barreiras	Solo derivado de paleofalésia da Fm. Barreiras localizada próxima ao Poço 1. Níveis conglomeráticos de matriz arenosa e arcabouço composto por seixos de quartzo e brecha de falha.
30	Ponto 30	C		-22,7327	-41,966		Fm. Barreiras	Conglomerado polimítico no chão da praia imediatamente em frente ao Poço 1. Matriz arenosa e arcabouço composto por grânulos e seixos de basalto, anfíbolito e gnaisse.
31	Ponto 31	B		-22,7325	-41,9666		Fm. Barreiras	Conglomerado polimítico no chão da praia imediatamente em frente ao Poço 1. Matriz arenosa e arcabouço composto por grânulos e seixos de basalto, anfíbolito e gnaisse.
32	Ponto 32	A		-22,732	-41,96		Fm. Barreiras	Depósito de talus com seixos e matações de brechas de falha e quartzo em contato com paleofalésias da Fm. Barreiras, que neste local é composta por conglomerados de matriz argilosa e arcabouço de seixos de quartzo, gnaisse e anfíbolito.
33	Ponto 33	NA		-22,733	-41,9637		Fm. Barreiras	Paleofalésias da Fm. Barreiras com intercalação entre arcóseos ricos em quartzo, feldspato e fragmentos líticos e níveis conglomeráticos de matriz arenosa, por vezes cimentada por precipitados ferro, e arcabouço composto principalmente por seixos de quartzo e brecha de falha.
34	Ponto 34	NA		-22,7292	-41,9723		Fm. Barreiras	Paleofalésias da Fm. Barreiras com intercalação entre arcóseos ricos em quartzo, feldspato e fragmentos líticos e níveis conglomeráticos de matriz arenosa, por vezes cimentada por precipitados ferro, e arcabouço composto principalmente por seixos de quartzo e brecha de falha.

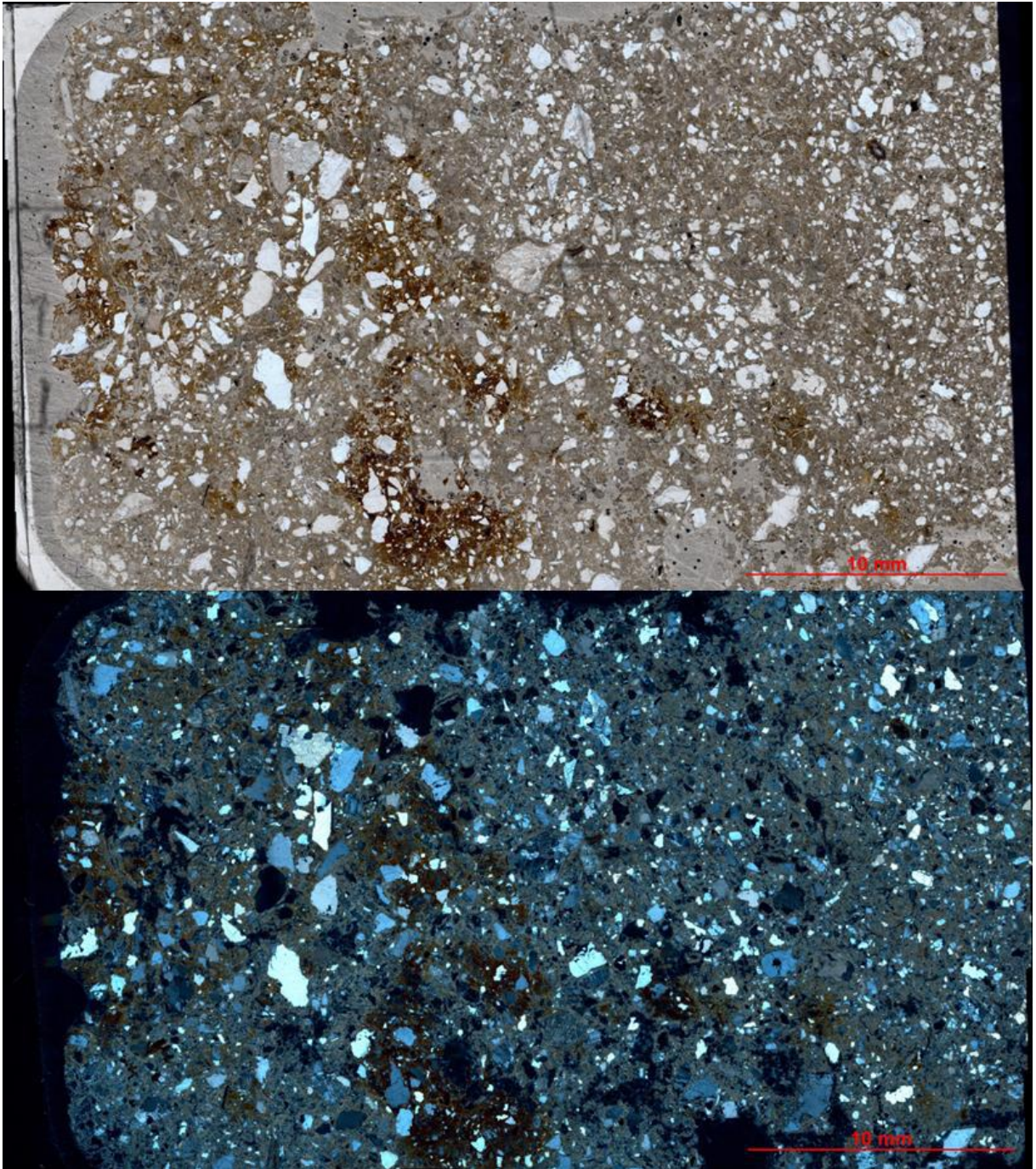
**APÊNDICE II – TABELA DE DADOS DO MONITORAMENTOS DOS POÇOS.**

<b>Poço 1</b>					
<b>Dia</b>	<b>NA (m)</b>	<b>ORP (mV)</b>	<b>Temperatura (C)</b>	<b>pH</b>	<b>Condutividade Elétrica</b>
22/01/2022	1,57	3	27,1	5,98	3999 $\mu$ S (Máximo do equipamento)
05/03/2022	SECO	-	-	-	-
02/04/2022	1,57	126	25.6	6,1	2.227 $\mu$ S
07/05/2022	SECO	-	-	-	-
11/06/2022	SECO	-	-	-	-
09/07/2022	SECO	-	-	-	-
13/08/2022	SECO	-	-	-	-
12/10/2022	1,57	-	-	-	-
19/11/2022	1,56	-	-	-	-
07/01/2023	1,43	-	24	-	54.700 $\mu$ S
12/02/2023	1,55	-	-	-	-
<b>Poço 2</b>					
<b>Dia</b>	<b>NA (m)</b>	<b>ORP (mV)</b>	<b>Temperatura (C)</b>	<b>pH</b>	<b>Condutividade Elétrica</b>
22/01/2022	0,375	142	29	5,59	1.746 $\mu$ S
05/03/2022	0,56	38	26	5,9	-
02/04/2022	0,05	75	26	6,27	1.515 $\mu$ S
07/05/2022	0,23	246	24,2	5,7	1.689 $\mu$ S
11/06/2022	0,73	224	22	6,45	1.811 $\mu$ S
09/07/2022	0,93	267	23,5	6,14	2.206 $\mu$ S
13/08/2022	1,15	196	22,4	6,1	1.828 $\mu$ S
12/10/2022	1,1	-99	24	6.16	1.725 $\mu$ S
19/11/2022	1,36	32	24,7	5,81	1.809 $\mu$ S
07/01/2023	0,07	-			2.295 $\mu$ S
12/02/2023	0,5	-	24	5,91	1.905 $\mu$ S
<b>Poço 3</b>					
<b>Dia</b>	<b>NA (m)</b>	<b>ORP (mV)</b>	<b>Temperatura (C)</b>	<b>pH</b>	<b>Condutividade Elétrica</b>
22/01/2022	0,66	- 125	25,9	6,68	3999 $\mu$ (Máximo do equipamento)
05/03/2022	0,62	128	25, 7	6,28	-
02/04/2022	0,5	132	25,6	6	23.370 $\mu$ S
07/05/2022	0,66	-117	25,2	5,97	26.300 $\mu$ S
11/06/2022	0,62	85	25,4	6,1	25.200 $\mu$ S
09/07/2022	0,76	-92	24,4	6,2	1.672 $\mu$ S
13/08/2022	0,59	-130	25,1	6,07	23.340 $\mu$ S
12/10/2022	0,58	-125	25,4	5,9	18.830 $\mu$ S
19/11/2022	0,76	-150	25,5	6,17	11.690 $\mu$ S
07/01/2023	0,66	-	24,1	-	5.620 $\mu$ S
12/02/2023	0,68	-	26,1	7,5	5.600 $\mu$ S

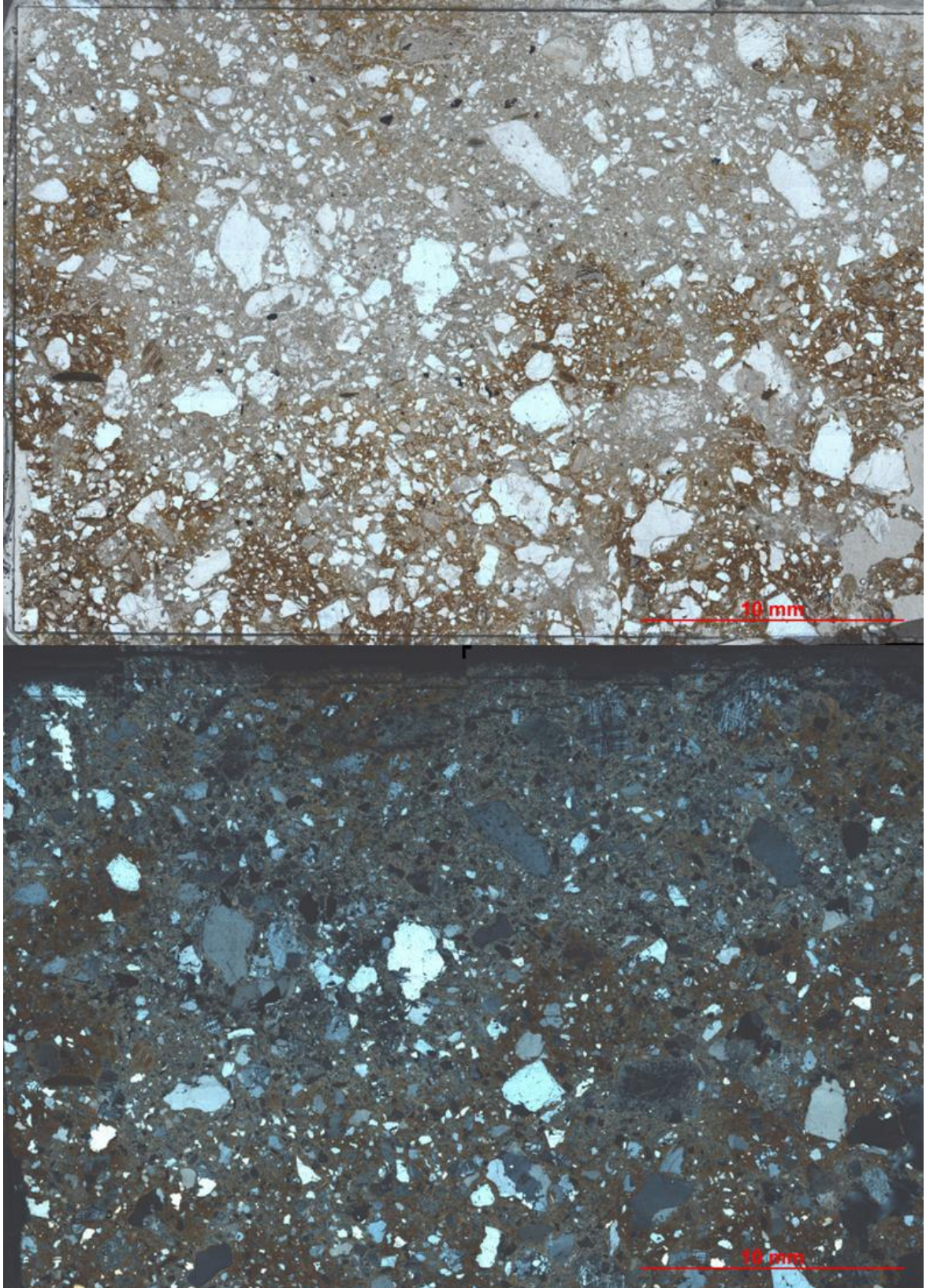


**APÊNDICE III - SCANS TOTAIS DAS LÂMINAS PETROGRÁFICAS.**

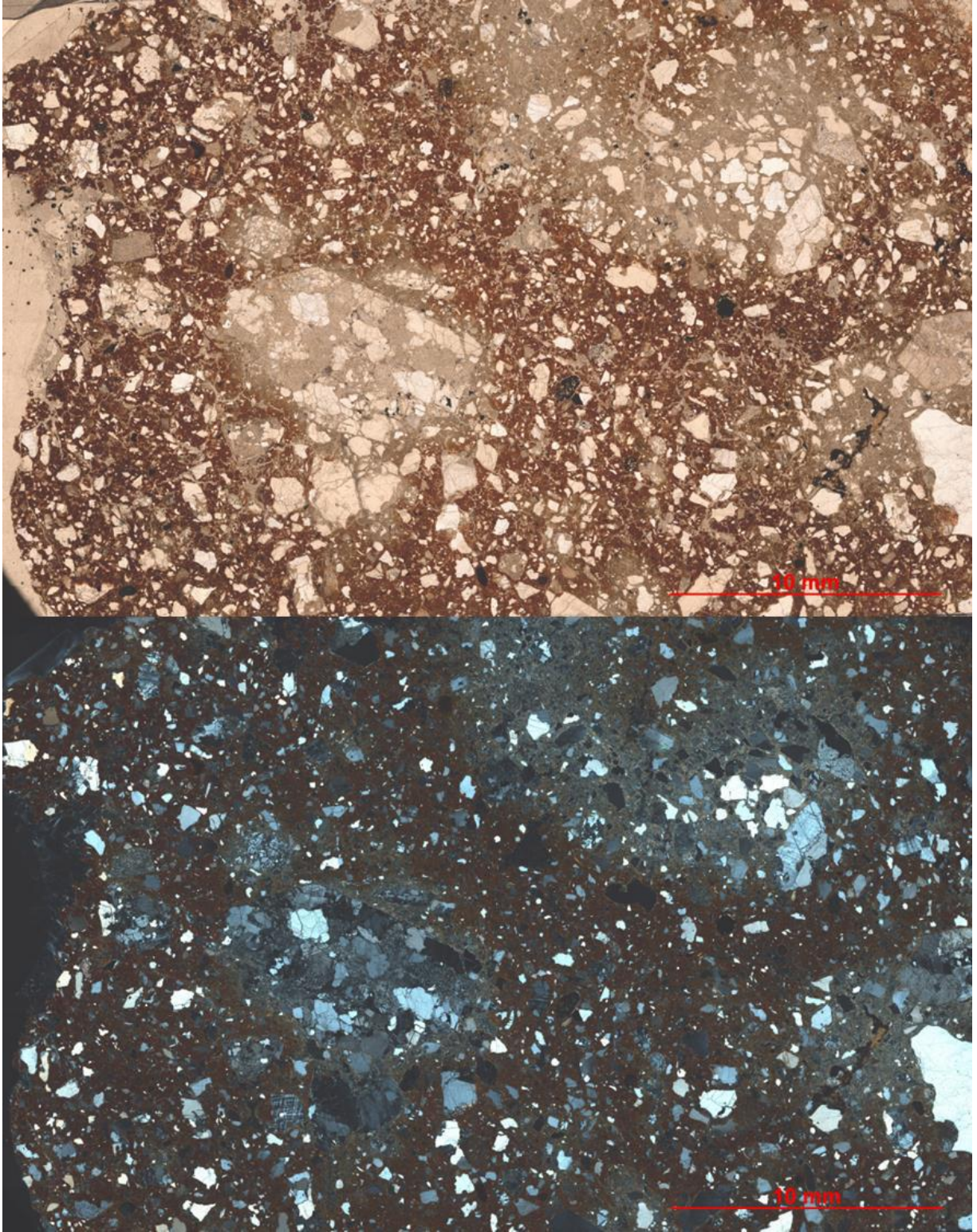
Lâmina P-1



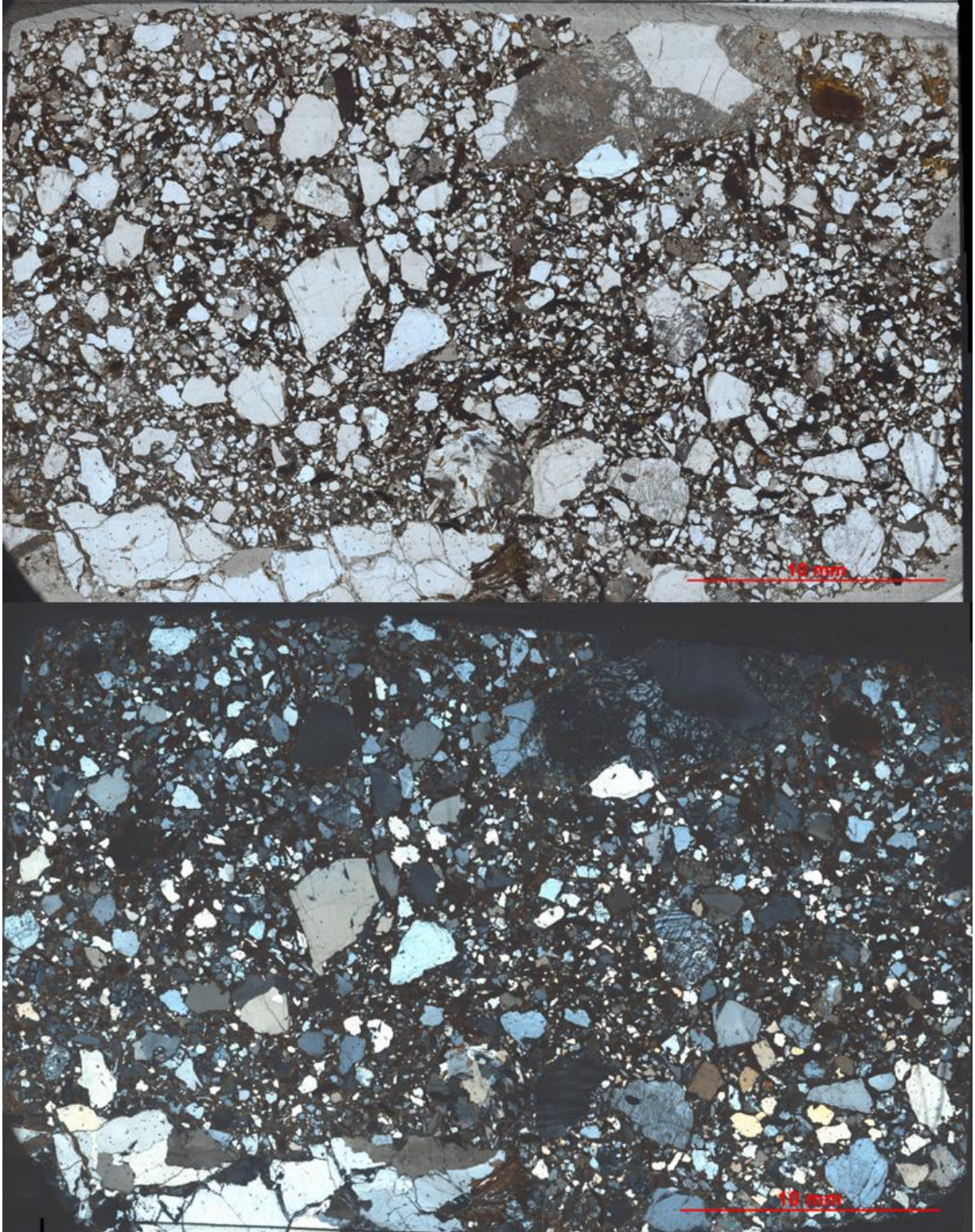
Lâmina M-14



Lâmina M-7



Lâmina P8-A



Lâmina M-15