



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

**CARACTERIZAÇÃO GRANULOMÉTRICA E MINERALÓGICA  
EM AMOSTRAS DE AREIA DAS DUNAS DO PERÓ, CABO  
FRIO, RJ**

**Luis Eduardo Magalhães Santelli Maia**

**Trabalho Final de Curso  
(Geologia)**

UFRJ  
Rio de Janeiro  
2021



**Luis Eduardo Magalhães Santelli Maia**

**CARACTERIZAÇÃO GRANULOMÉTRICA E MINERALÓGICA  
EM AMOSTRAS DE AREIA DAS DUNAS DO PERÓ, CABO  
FRIO, RJ**

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

Orientadoras:

Andrea Ferreira Borges  
Taís Proença Cidade

Rio de Janeiro

Dezembro, 2021

Maia, Luis Eduardo Magalhães Santelli

Caracterização granulométrica e mineralógica em amostras de areia das Dunas do Perú, Cabo Frio, RJ  
, - Luis Eduardo Magalhães Santelli Maia - Rio de Janeiro: UFRJ, Instituto de Geociências, Departamento de Geologia, 2021. 57p.

Orientadores: Andrea Ferreira Borges  
Taís Proença Cidade

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

1. Caracterização Mineralógica.
2. Dunas Costeiras.
3. Dunas do Perú.
4. Minerais Pesados.

CARACTERIZAÇÃO GRANULOMÉTRICA E MINERALÓGICA EM AMOSTRAS DE  
AREIA DAS DUNAS DO PERÓ, CABO FRIO, RJ

Luis Eduardo Magalhães Santelli Maia

Orientadoras:

Andrea Ferreira Borges  
Taís Proença Cidade

Trabalho Final 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.

Aprovado em: \_\_/\_\_/\_\_\_\_

Por:

---

Presidente: Prof. Dra. Andrea Ferreira Borges  
(Orientadora)

---

Prof. Dra. Kátia Leite Mansur (UFRJ)

---

Prof. Dra. Sílvia Regina de Medeiros (UFRJ)

## AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Ana Elisa e José Roberto que sempre apoiaram todas as minhas decisões tanto no processo de graduação, quanto durante minha vida.

Aos meus irmãos João Felipe e Mario Henrique por estarem ao meu lado e me confortarem sempre que achava que tudo estava prestes a desmoronar.

A minha vó e tia vó Maria da Glória e Henrique Josefina por serem meu refúgio no Rio de Janeiro, disponibilizando sua casa e seus aconchegos para que pudesse estagiar e finalizar minha graduação.

A meu amigo Victor Menezes que se disponibilizou em fazer as análises no CETEM mesmo nos tempos pandêmicos.

A professora Silvia Regina por disponibilizar o laboratório de amostras geológicas (LAG) para realização do ensaio de separação por líquido denso e utilização do separador isodinâmico Frantz.

Ao professor Julio Mendes por disponibilizar o LabSonda para que pudesse realizar a observação em estereomicroscopia dos grãos e para a captura de fotos deles.

As minhas orientadoras Prof. Dra. Andrea Borges e Msc. Tais Cidade pela oportunidade que me deram e por todos os ensinamentos que me passaram durante esse projeto.

## RESUMO

### CARACTERIZAÇÃO GRANULOMÉTRICA E MINERALÓGICA EM AMOSTRAS DE AREIA DAS DUNAS DO PERÓ, CABO FRIO, RJ

Luis Eduardo Magalhães Santelli Maia

Orientadoras: Andrea Ferreira Borges

Taís Proença Cidade

O ambiente de dunas costeiras é considerado uma área de preservação permanente pela Constituição brasileira, devido à sua singularidade de fauna e flora, a sua capacidade de reservatório tanto de água vinda das percolações da água de chuva, quanto de sedimentos arenosos para o ambiente praias, além de servir como uma proteção dos ambientes subsequentes contra processos erosivos. Devido à sua relevância é necessário que haja a preservação deste tipo de ambiente, e para isso é preciso compreender como os fenômenos naturais em conjunto com a ação antrópica interferem no desenvolvimento e na migração da duna. Este estudo faz parte de um conjunto de projetos que têm como intuito compreender a dinâmica costeira das Dunas do Peró (Cabo Frio, RJ). O objetivo deste trabalho é realizar uma caracterização das areias da duna com foco na identificação e descrição dos minerais pesados do local. Foram feitos ensaios de caracterização granulométrica, determinação da densidade real dos grãos e observação das características morfométricas que evidenciaram a composição da duna predominantemente de areia fina, fortemente retrabalhada pela ação costeira e com densidade das amostras próxima a massa específica do quartzo, visto que os sedimentos são predominantemente quartzosos. Posteriormente foi feito o processamento de 3kg de material, utilizando-se de procedimentos de separação granulométrica, por líquido denso e por propriedades magnéticas dos grãos, para que se chegasse ao concentrado final de minerais pesados. Com isso, o concentrado foi observado em estereomicroscópio, onde foram identificados seis minerais distintos, são eles: magnetita, granada, zircão, rutilo, anfibólio e cianita. Os minerais em sua maioria possuem desgastes nas áreas, com grau de arredondamento de subarredondados a arredondados deixando evidenciado o processo de retrabalhamento.

Palavras-chave: Dunas costeiras, Dunas do Peró, minerais pesados, caracterização mineralógica

## ABSTRACT

### GRANULOMETRIC AND MINERALOGICAL CHARACTERIZATION IN SAMPLES OF SAND FROM THE DUNAS DO PERÓ, CABO FRIO, RJ

Luis Eduardo Magalhães Santelli Maia

Academic Advisors: Andrea Ferreira Borges

Taís Proença Cidade

The coastal dune environment is considered an area of permanent preservation by the Brazilian constitution, due to its unique fauna and flora, its capacity as a reservoir for both water from rainwater percolation and sandy sediments for the beach environment, besides serving as a protection of the next environments against erosive processes. Due to its relevance, is necessary to preserve this type of environment, and for this it is necessary to understand how natural phenomena together with anthropic action interfere in the development and migration of the dune. This study is part of a set of projects that aim to understand the coastal dynamics of the Dunas do Peró (Cabo Frio, RJ). The objective of this work is to perform a characterization of the sands of the dune focusing on the identification and description of heavy minerals present. Granulometric characterization, determination of the real density of the grains and observation of morphometric characteristics were made, which showed the mainly composition of the dune of fine sand, heavily reworked by the coastal action and with sample density close to the mass of quartz, since the sediment they are predominantly quartz. Subsequently, the processing of 3kg of material was carried out, using granulometric, dense liquid and magnetic properties of the grains for separation, in order to reach the final concentration of heavy minerals. Thus, the concentrate was observed under stereomicroscopy where 6 distinct minerals were identified, they are: magnetite, large, zircon, rutile, amphibole and kyanite. Most minerals are anhedral, sub-rounded to rounded, making the reworking process clear.

Keywords: Coastal Dunes, Peró Dunes, Heavy Minerals

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Avanço das dunas sobre construções (Foto retirada do Google, março 2021). .....	13
Figura 2: Avanço das dunas do Perú (Foto retirada do O Globo: <a href="https://oglobo.globo.com/rio/para-proteger-dunas-do-pero-inea-impoe-restricoes-obra-10697184">https://oglobo.globo.com/rio/para-proteger-dunas-do-pero-inea-impoe-restricoes-obra-10697184</a> Acesso em: Março 2021).....	14
Figura 3: Comparação de imagem de satélite da região das Dunas do Perú em 1958 e 2019 (Fonte: Autor).....	16
Figura 4: Localização do município de Cabo Frio, no estado do Rio de Janeiro. ....	16
Figura 5: Localização do Campo de Dunas do Perú (Fonte da imagem de satélite: Mapas base ARCGIS- Coordenada SIRGAS 2000: 193289/7469853). ....	17
Figura 6: Mapa tectônico do Sudeste do Brasil. Destaque para os domínios tectônicos Terreno Oriental e Cabo Frio (Schmitt et al. 2016).....	19
Figura 7: Mapa geológico detalhado do Domínio Tectônico Cabo Frio e de parte do Terreno oriental da Faixa Ribeira (SCHMITT et al. 2016).....	20
Figura 8: Diagrama Esquemático do sistema praial. Disponível em: <a href="https://www.aprh.pt/rgci/glossario/praias.html">https://www.aprh.pt/rgci/glossario/praias.html</a> (Acessado em 23 de março de 2021). ....	21
Figura 9: Representação dos tipos de mecanismo de transporte eólico (Grotzinger & Jordan, 2013). ....	22
Figura 10: Processo de migração de uma duna, mostrando face de erosão e de avalanche (Para Entender a Terra, 4a edição).....	22
Figura 11: Tipos de dunas. Modificado de (BROOKFIELD, 2011). ....	23
Figura 12: Peculiaridades geológicas, geomorfológicas, oceanográficas e climáticas da região de Cabo Frio (Coe & Carvalho, 2010). ....	25
Figura 13: Mapa geomorfológico da Planície do Perú (FERNANDEZ & ROCHA, 2015; modificado por PEÇANHA,2019). ....	26

Figura 14: Mapa de localização da APA do Pau do Brasil (Fonte da imagem de satélite: Mapas base ARCGIS).....	27
Figura 15: Localização dos pontos utilizados nos ensaios de granulometria, densidade dos grãos e caracterização morfométrica (Fonte da imagem de satélite: Mapas base ARCGIS).....	30
Figura 16: Localização dos pontos utilizados para análise dos minerais pesados (Fonte da imagem de satélite: Mapas base ARCGIS). ....	30
Figura 17: Conjunto de peneiras utilizado no agitador para o peneiramento fino (Fonte: Fotos do autor).....	32
Figura 18: Determinação da massa específica dos grãos (Fonte: PINTO 2006).....	33
Figura 19: Fluxograma das etapas de preparação em campo e em laboratório dos concentrados de minerais pesados até a fase de estudo em estereomicroscópio. ....	34
Figura 20: Etapa de separação gravimétrica com bromofórmio como líquido denso. (A) Grãos sendo despejados no líquido denso. (B) Minerais pesados acumulados no fundo do tubo. (C) Minerais pesados após filtragem do líquido denso. ....	35
Figura 21: Separador magnético isodinâmico <i>Frantz</i> .....	36
Figura 22: Curva granulométrica da amostra PERÓ 1. ....	37
Figura 23: Curva granulométrica da amostra PERÓ 12. ....	37
Figura 24: Curva granulométrica do ponto 5 .....	38
Figura 25: Curva granulométrica do ponto 8. ....	38
Figura 26: Curva granulométrica do ponto 9. ....	39
Figura 27: Curva granulométrica do ponto 10. ....	39
Figura 28: Curva granulométrica do ponto 16. ....	40
Figura 29: Curva granulométrica do ponto 15. ....	40

Figura 30: Curva granulométrica do ponto 20. .... 41

Figura 31: Gráficos de distribuição granulométrica dos pontos Perú 1, Perú 12 e 5..... 41

Figura 32: Gráficos de distribuição granulométrica dos pontos 8, 9 e 10. .... 41

Figura 33: Gráficos de distribuição granulométrica dos pontos 16, 15 e 20. .... 42

Figura 34: Distribuição espacial da densidade específica dos grãos da peneira de nº60..... 45

Figura 35: Distribuição espacial da densidade específica dos grãos da peneira de nº100..... 45

Figura 36: Distribuição espacial da densidade específica dos grãos da peneira de nº200..... 46

Figura 37: Grãos minerais obtidos utilizando a corrente de 0,5A no separador magnético isodinâmico Frantz. (A) Visada geral dos grãos. (B) Grãos anédricos de granada. (C) Grãos de anfibólio com tons pretos a verde. (D) Grãos transparentes de zircão..... 46

Figura 38: Grãos minerais obtidos utilizando a corrente de 1,0A no separador magnético isodinâmico Frantz. (A) Visada geral dos grãos. (B) Grãos anédricos de granada. (C) Grãos de rutilo de colorações variadas. (D) Grãos translúcidos, brancos e rosados de zircão..... 47

Figura 39: Grãos minerais obtidos utilizando a corrente de 1,5A no separador magnético isodinâmico Frantz. (A) Visada geral dos grãos. (B) Grãos anédricos de granada. (C) Grãos de rutilo de colorações variadas. (D) Grãos translúcidos de zircão ..... 8

Figura 40: Grãos minerais não atraídos pelas amparegem no separador magnético isodinâmico Frantz. (A) Visada geral dos grãos. (B) Grãos de cianita. (C) Grãos de rutilo de colorações variadas. (D) Grãos translúcidos de zircão ..... 9

## LISTA DE TABELAS

	Tabela 1: Coordenadas dos pontos utilizados nos ensaios de granulometria, densidade dos grãos e caracterização morfométrica .....	28
	Tabela 2: Coordenadas dos pontos utilizados para análise dos minerais pesados .....	29
	Tabela 3a: Massa específica calculada para as amostras.....	42
	Tabela 3b: Massa específica calculada para as amostras.....	31
	Tabela 3c: Massa específica calculada para as amostras.....	32
	Tabela 4: Massa específica calculada para os grãos menores que 0,074mm.....	46

## Sumário

AGRADECIMENTOS .....	v
RESUMO .....	vi
ABSTRACT .....	vii
LISTA DE FIGURAS .....	viii
LISTA DE TABELAS .....	x
1. INTRODUÇÃO .....	13
2. OBJETIVOS.....	15
3. ÁREA DE ESTUDO .....	15
Localização .....	15
3.2. Geologia Regional.....	17
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	20
4.1 Dunas Costeiras.....	20
4.2 Dunas Costeiras.....	24
5. METODOLOGIA.....	27
6. ENSAIOS.....	31
6.1 Caracterização Granulométrica.....	31
6.2 Massa Específica dos grãos .....	32
6.3 Concentração e Análise dos Minerais Pesados .....	33
7. RESULTADOS .....	36
7.1 Granulometria .....	36
7.2 Massa Específica dos Grãos.....	42
7.3 Caracterização dos Minerais Pesados .....	47
8. DISCUSSÃO E CONCLUSÃO .....	52
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	54
8. CONCLUSÃO.....	40
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	41

## 1. INTRODUÇÃO

O homem com o passar dos séculos procurou se abrigar em regiões próximas a corpos d'água como rios, lagos e mares. Essa predisposição se dá pela grande presença de recursos naturais próximo às zonas costeiras, facilitando a vida da sociedade que ali se insere. Com o passar dos anos, a procura por ambientes próximos a costa se deu não só pela abundância de recursos, mas também pela disponibilidade de atividades econômicas como a construção de portos e pela procura de ambientes propícios para atividades turísticas, induzindo uma expansão principalmente do mercado imobiliário.

Muitas vezes para a instalação das atividades antrópicas mencionadas não são realizados estudos de caracterização da área e do impacto ambiental associado, visto que as regiões costeiras são áreas com uma alta dinâmica tanto de transporte de sedimentos quanto de erodibilidade associada. A ação antrópica a partir da remoção da vegetação natural, tráfego de veículos e pessoas e construções de edificações podem interferir nos processos naturais locais, causando desastres ambientais e perdas materiais substanciais. Nas figuras 1 e 2, é possível observar as Dunas do Perú localizadas no município de Cabo Frio no estado do Rio de Janeiro e na parte inferior da figura 2 o avanço das construções urbanas que estão no caminho de propagação da duna e que não deveriam ter recebido autorização para serem erguidas.



Figura 1: Avanço das dunas sobre construções (Foto retirada do Google, março 2021).



Figura 2: Avanço das dunas do Perú (Foto retirada do O Globo: <https://oglobo.globo.com/rio/para-proteger-dunas-do-pero-inea-impoe-restricoes-obra-10697184> Acesso em: Março 2021).

O ambiente de dunas é considerado pela Constituição brasileira como Área de Preservação Permanente, as APPs. Estes ambientes possuem faunas e floras típicas de regiões com pouca chuva, além de serem bons reservatórios de água devido a percolação da água da chuva entre os grãos de areia.

Segundo Tomazzelli (1990) estes ambientes são formados a partir da erosão da areia das praias devido a ação do vento, com isso estes grãos erodidos sofrem transporte eólico e são depositados sob a forma de dunas. A evolução das feições morfológicas e a migração dessa estrutura está relacionada com as variações do clima, regime de ventos, pluviometria e quantidade de sedimento disponível na faixa de praia (CASTRO *et al.* 2002).

O sistema de dunas costeiras é crucial para que haja um manejo do ambiente litorâneo, já que este ambiente serve de estoque sedimentar em episódios de ventos de alta intensidade na faixa praial (SUGUIO *et al.*, 2005). Consequentemente a preservação destes locais é de suma importância, já que resulta na preservação do sistema costeiro como um todo, assim como sua deterioração causa o desequilíbrio do sistema.

## 2. OBJETIVOS

Este estudo faz parte de um conjunto de projetos que tem como intuito compreender a dinâmica costeira das Dunas do Peró principalmente em relação ao regime de migrações das dunas. O objetivo deste trabalho é realizar uma caracterização das areias da duna com foco na identificação e descrição dos minerais pesados detríticos do local.

Para isso foi realizada a caracterização das amostras, a partir da análise granulométrica, determinação da densidade real dos grãos de nove pontos coletados previamente no trabalho de [Medeiros \(2019\)](#). Foi realizada a separação dos minerais leves e pesados das amostras utilizando líquido denso e por suas propriedades magnéticas, bem como foram analisadas em estereomicroscópio.

## 3. ÁREA DE ESTUDO

### Localização

A região onde se encontra o campo de dunas do Peró está situada no município de Cabo Frio, na Região dos Lagos do Rio de Janeiro (Figura 4 e 5). Ela ocupa uma faixa de terra que se estende do bairro do Peró, divisa do município de Armação dos Búzios, até a praia das Conchas. Grande parte desse campo foi ocupada por aglomerados urbanos que correspondem aos bairros do Peró, Conchas e Ogiva como é possível observar na Figura 3 onde são comparadas duas imagens áreas da região, uma em 1958 e outra em 2019

O Campo de Dunas do Peró possui uma extensão em torno de 3 km no sentido N-S, e largura aproximada de 1 km no sentido E-W, apresentando área de, aproximadamente, 2,3 km<sup>2</sup> ([Mansur et al., 2012](#); [RAMOS et al., 2003](#)).

A sede do município está localizada a uma distância de 155 km da cidade do Rio de Janeiro. Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2019), o município de Cabo Frio possui uma área de cerca de 413 km<sup>2</sup> e possui uma população de 230.378 habitantes. Se comparado com o censo demográfico elaborado pelo IBGE no ano de 2010, quando a população era de 186,227 habitantes, é possível observar que a região está sob um crescimento demográfico, promovendo o aumento de impactos ambientais na região, principalmente associado aos processos de urbanização.

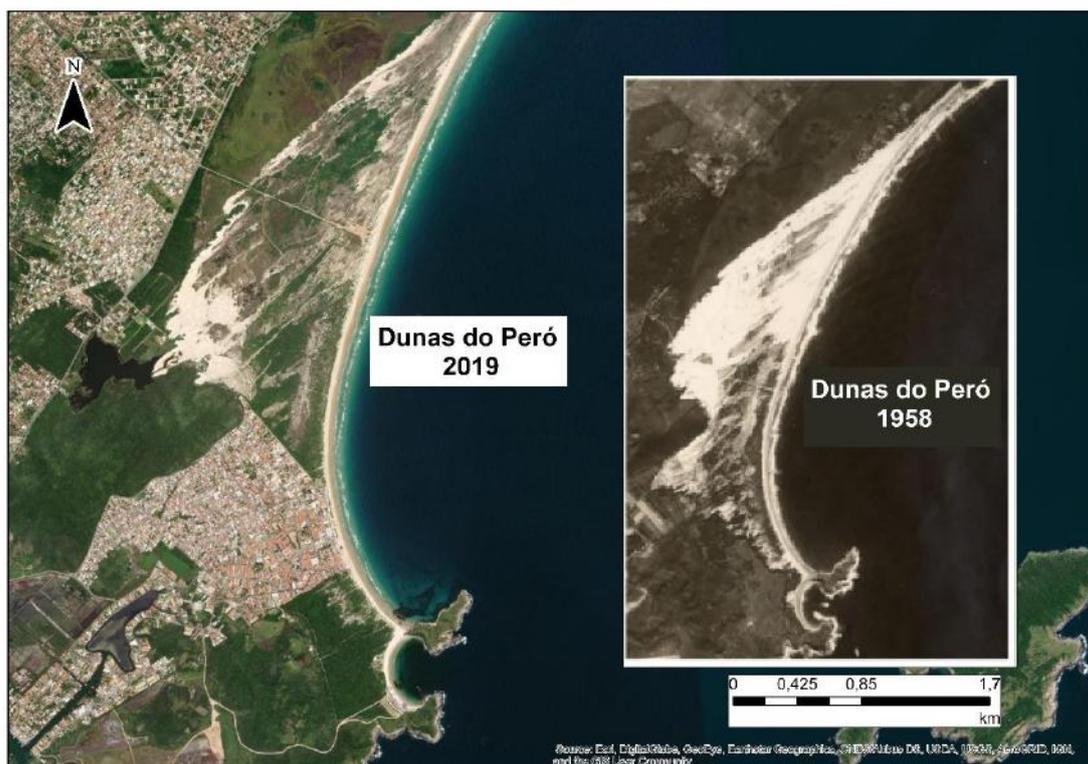


Figura 3: Comparação de imagem de satélite da região das Dunas do Peró em 1958 e 2019 (Fonte: Autor)

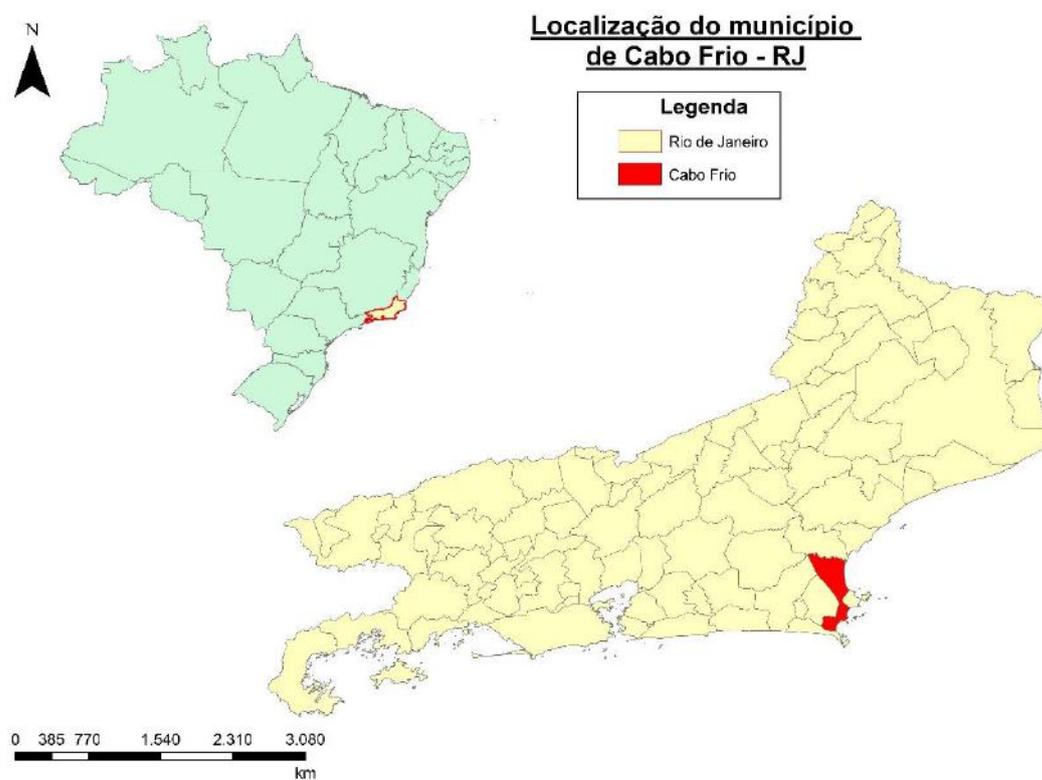


Figura 4: Localização do município de Cabo Frio, no estado do Rio de Janeiro.



- Terreno Oriental – intrusões magmáticas e sucessões vulcanossedimentares de idade Neoproterozoica a Ordoviciano, que foram deformados em alto grau após 580 Ma.

- Terreno Cabo Frio – composto por ortognaisses de idade Paleoproterozoica, sobrepostos ao Terreno Oriental, que formam o embasamento, e sucessões vulcanossedimentares deformada de alto grau (Bacias Búzios – Palmital) e idade Cambriana (SCHMITT *et al.*, 2016).

O Domínio Tectônico Cabo Frio foi aglutinado ao orógeno apenas no Cambriano, enquanto os demais terrenos foram amalgamados entre 605 e 580 Ma (SCHMITT *et al.*, 2016; TUPINAMBÁ *et al.*, 2007; HEILBRON *et al.*, 2000; TROUW *et al.*, 2000; HEILBRON & MACHADO, 2003).

Na Figura 6 está representado o mapa tectônico do Sudeste brasileiro com destaque para os domínios e tectônicos de Cabo Frio e Terreno Oriental.

As Dunas do Perú estão inseridas no Domínio Tectônico Cabo Frio, que é limitado ao Terreno Oriental por uma zona de falhas normais orientadas NE-SW, com mergulho de 35 ° para SE, e a sudeste pelo Oceano Atlântico.

As rochas do embasamento do Domínio Tectônico Cabo Frio são datadas do Paleoproterozoico, e consistem em ortognaisses félsicos que compõem a Unidade Região dos Lagos. As rochas sobrejacentes correspondem a Bacia Búzios-Palmital, que foi depositada do final do Neoproterozoico ao início do Cambriano (SCHMITT *et al.* 2016). A figura 7, apresenta o mapa geológico detalhado do Domínio Cabo Frio.

Para esta bacia foram identificadas duas sucessões sedimentares, são elas: as sucessões Búzios e Palmital. A sucessão Búzios é composta principalmente por paragnaisses pelíticos com camadas centimétricas a métricas de metabasitos, intercalados com rochas calcissilicáticas e metassedimentares aluminosas, sendo interpretado como um ambiente hemipelágico. A sucessão Palmital consiste em paragnaisses com intercalação de camadas de quartzito e espessas camadas calcissilicáticas, sendo interpretado como turbiditos imaturos de leques submarinos em talude continental (SCHMITT *et al.*, 2016).

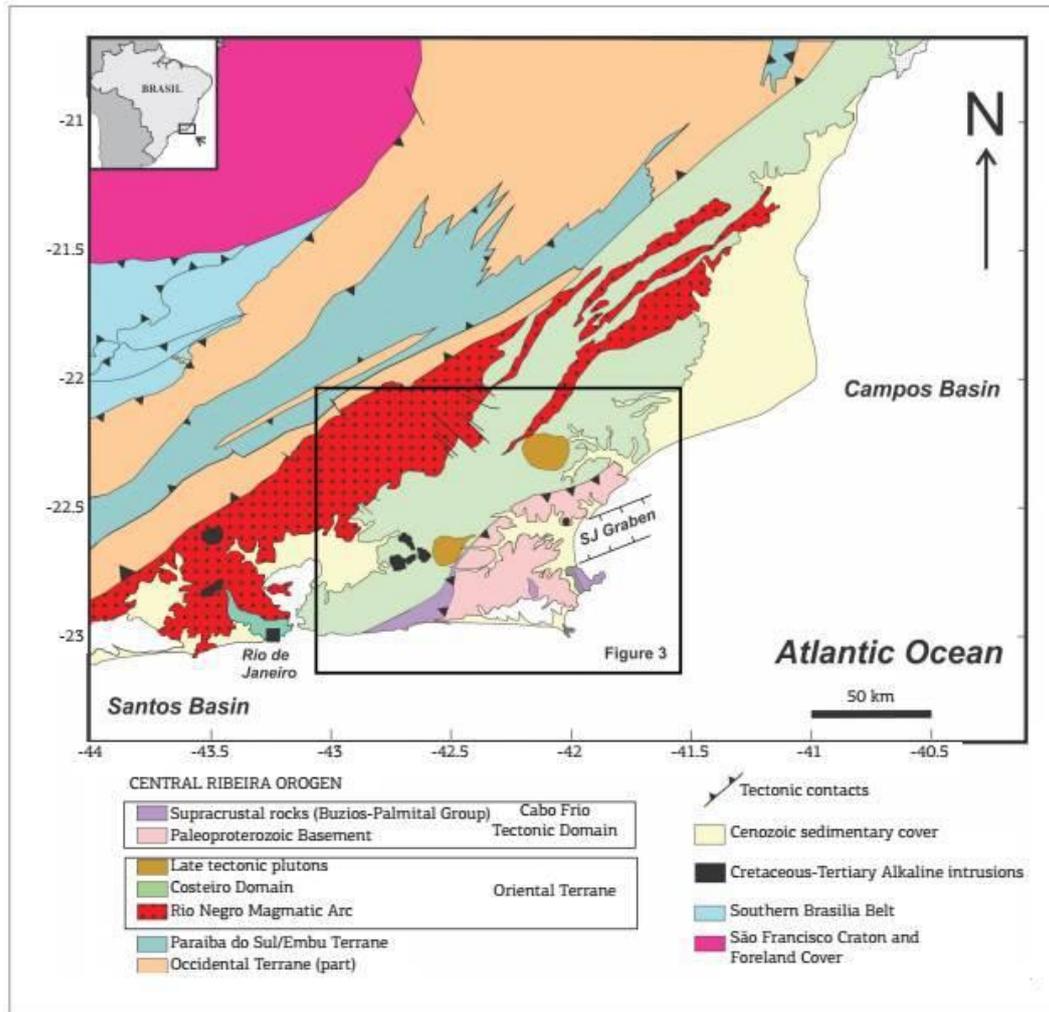


Figura 6: Mapa tectônico do Sudeste do Brasil. Destaque para os domínios tectônicos Terreno Oriental e Cabo Frio (Schmitt et al. 2016).

Segundo *Schmitt et al., 2004* no período entre 520 e 490 Ma ocorre um novo período colisional na região denominado a Orogenia Búzios. Esta Orogenia é o evento tectônico mais jovem identificado na Faixa Ribeira e provavelmente representa um dos eventos orogênicos relacionados a amalgamação do Gondwana.

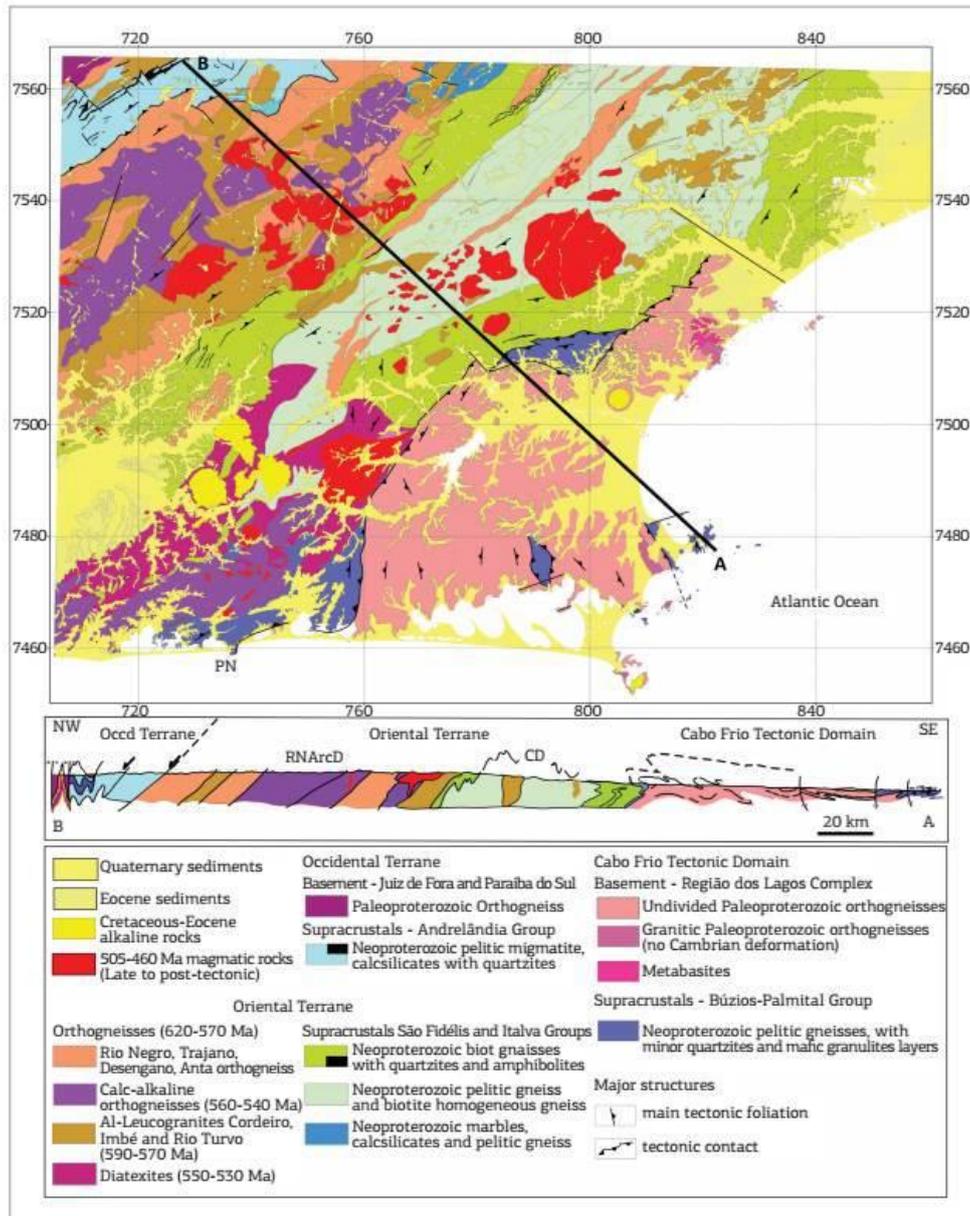


Figura 7: Mapa geológico detalhado do Domínio Tectônico Cabo Frio e de parte do Terreno oriental da Faixa Ribeira (SCHMITT et al. 2016).

## 4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 4.1 Dunas Costeiras

As dunas são estruturas recorrentes nos sistemas costeiros. Elas se desenvolvem em direção ao continente, a partir da praia, quando condições de abastecimento de grãos de areia e de velocidade de vento são atingidas. Essas estruturas funcionam tanto como um reservatório de sedimentos para o ambiente praiar, quanto como uma barreira física para os ambientes subsequentes a ela, os protegendo da ação erosiva das ondas

de tempestade e diminuindo os efeitos da névoa salina e erosão eólica (Suguio *et al.*, 2005). A figura 8 representa o sistema praiial e suas compartimentações.

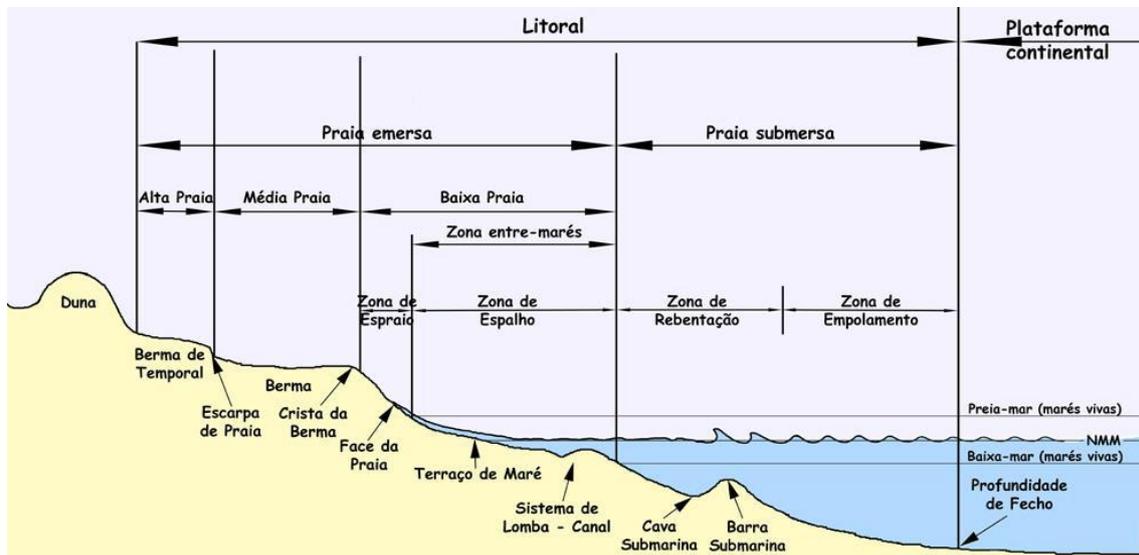


Figura 8: Diagrama Esquemático do sistema praiial. Disponível em: <https://www.aprh.pt/rgci/glossario/praiia.html> (Acessado em 23 de março de 2021).

As dunas são formadas a partir dos sedimentos arenosos provenientes das praias próximas, quando expostos ao ar os sedimentos são facilmente mobilizados pela ação do vento. Além do vento, a combinação de fatores como tipo de sedimento, densidade da vegetação, clima e dinâmica de ondas são cruciais para formação de dunas (SUGUIO, 2003).

O transporte eólico de partículas é o principal processo para a formação de dunas costeiras, podendo ocorrer de três modos: suspensão, saltação e arraste (figura 9). Normalmente as partículas mais finas, menores que 0,125mm (silte e argila), são transportadas via suspensão por longas distâncias, enquanto as partículas da fração areia só são transportadas por esse mecanismo em situações de ventos de tempestade. Já o transporte por arraste ocorre mais comumente em grãos maiores que areia grossa.

A saltação é o mecanismo fundamental que atua na formação e migração das dunas. Ocorre quando os grãos são movidos pelo vento, suspendendo-os brevemente e causando leves saltos, impactando no substrato após a queda. O impacto no leito arenoso, transfere energia para os grãos presentes no substrato, induzindo saltos cada vez mais altos dos grãos.

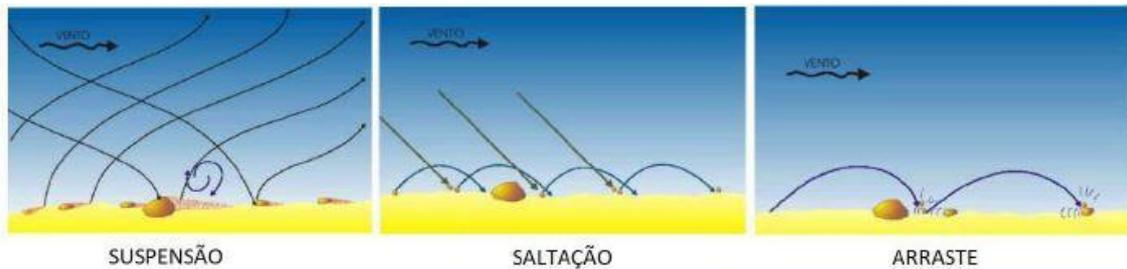


Figura 9: Representação dos tipos de mecanismo de transporte eólico (Grotzinger & Jordan, 2013).

Os sedimentos transportados pelos processos acima descritos, ao encontrarem uma barreira física são depositados e iniciam o processo de formação de uma duna. Conforme se desenvolve, se inicia um processo de migração de acordo com a direção do vento. A figura 10 mostra o processo de migração da duna, o vento leva os grãos pelo lado menos íngreme da duna, que é denominado barlavento, até atingir a crista da duna onde ficam inclinados para o lado mais íngreme, denominado sotavento. Nessa porção ocorre maior instabilidade dos grãos, o que recorrentemente causa episódios de deslizamentos nessa face da duna.

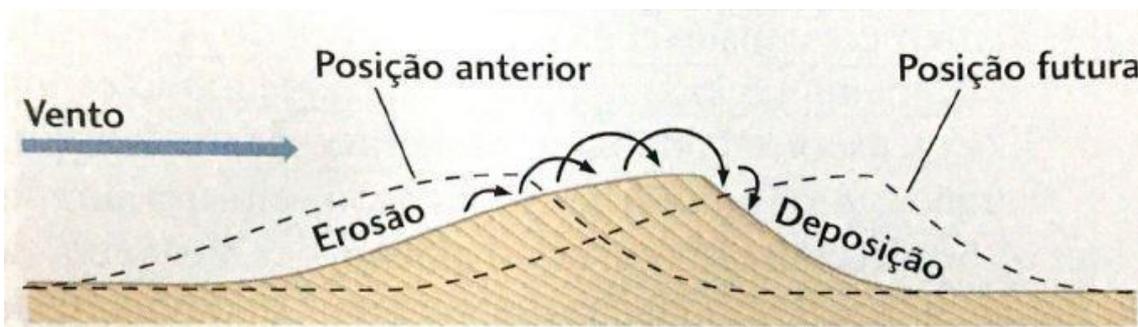


Figura 10: Processo de migração de uma duna, mostrando face de erosão e de avalanche (Para Entender a Terra, 4a edição).

**Sigolo (2000)** classifica as dunas utilizando dois parâmetros: a sua estrutura interna e sua morfologia. A classificação que se baseia na estrutura interna define dois tipos de dunas, as estacionárias e as migratórias. Nas dunas estacionárias os grãos de areia são depositados paralelamente ao perfil da duna, sendo mantidos agregados aos estratos em formação, impedindo que a duna se movimente. A não migração da duna pode ser causada por fatores como aumento da umidade, obstáculos internos e presença de cobertura vegetal. Já as dunas migratórias têm os grãos depositados em camadas com mergulho próximo a inclinação da face de sotavento. Essas feições

ocorrem devido ao deslocamento dos grãos da face de barvalento em direção a face mais íngreme.

A classificação morfológica considera três parâmetros para a formação dos diferentes tipos de dunas, são eles: velocidade e variação da direção do vento, características da superfície percorrida pelas areias transportadas pelo vento e a quantidade de areia disponível para a formação das dunas (SIGOLO, 2000). Com isso, são classificados os seguintes tipos: dunas barcanas, barcanóides, parabólicas, transversal, longitudinal e estrela. A figura 11 exemplifica os tipos apresentados.

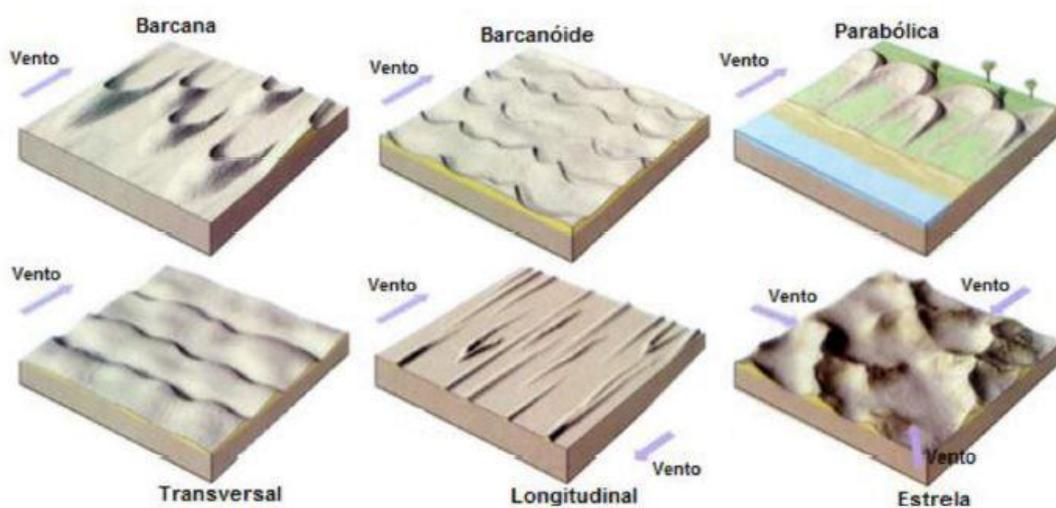


Figura 11: Tipos de dunas. Modificado de (BROOKFIELD, 2011).

Sigolo (2000) afirma que as dunas barcanas e barcanóides são características de ambientes de ventos moderados e possuem pequenas dimensões, porém a primeira não apresenta padrão de campos contínuos, enquanto a segunda apresenta a continuidade das dunas. Em casos de ventos intensos e maior aporte de sedimentos, comparado aos ambientes de formação de dunas barcanas e barcanóides, há a formação de dunas parabólicas que tem como característica sua curvatura fechada e as extremidades voltadas para o sentido oposto ao vento.

As dunas transversais e longitudinais ocorrem em ambientes de ventos fortes com constante aporte de sedimentos. Ambas possuem grandes escalas, no entanto elas ocorrem em ambientes de ventos unidirecionais e bidirecionais, respectivamente. Além disso, as dunas transversais possuem orientação perpendicular ao sentido preferencial do vento, enquanto as longitudinais ocorrem em orientação paralela ao sentido dos

ventos. Dunas estrelas ocorrem em regimes de ventos multidirecionais com altíssima disponibilidade de sedimentos, com isso a formação de cristas em diversas orientações.

#### 4.2 Dunas do Perú

*Souza et al. (2016)* afirmam que a área onde estão inseridas as dunas do Perú equivale a uma extensão de cerca de 600 metros entre a crista da praia e a área onde há vegetação, 1.300 metros de largura e 4.800 metros de comprimento de arco de praia em uma orientação NE-SW.

Em relação a geologia, *Castro (2002)* afirma que gnaisses, anfibolitos e diabásios que afloram em áreas próximas, dão origem aos sedimentos que formam o campo de dunas do Perú. A mineralogia desses sedimentos é principalmente constituída de quartzo e minerais pesados como ilmenita, zircão e hornblenda.

De maneira geral, a região sudeste não apresenta os quesitos climáticos para o desenvolvimento de dunas. No entanto, a região de Cabo Frio apresenta particularidades quanto a geologia, clima e ecologia, apresentadas na figura 12, que possibilitam a formação de dunas na região.

A região possui um clima mais seco do que em outras regiões do litoral fluminense, isso está relacionado a presença da ressurgência costeira na região entre Cabo Frio e Arraial do Cabo, onde as águas frias ricas em nutrientes ascendem e afloram na plataforma continental. Isso ocorre devido a algumas características como: a mudança na orientação da costa do estado, que altera de uma orientação N-S abruptamente para uma orientação E-W; o deslocamento sazonal da corrente do Brasil e ao regime de ventos presente na região (*BARBOSA, 2003*).

Além disso, a grande distância entre a região de estudo e a Serra do Mar, que corresponde a cerca de 60 km, ocasiona a atenuação dos efeitos das chuvas orográficas, sendo esse outro fator que afeta a dinâmica da área.

Segundo *Castro et al. (2006)*, o regime de chuvas da área é definido por chuvas de verão que compreendem de 70 a 80% do acumulado anual e alguns eventos esporádicas no inverno. Além disso, *Rangel & Castro (2005)* afirmam que as condições para formação das dunas são resultado da relação entre a estação seca, o regime de ventos unidirecionais e o aporte sedimentar constante.



Figura 12: Peculiaridades geológicas, geomorfológicas, oceanográficas e climáticas da região de Cabo Frio (Coe & Carvalho, 2010).

O Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) estimou que os ventos na estação Cabo Frio possuem uma direção preferencial NE com intensidade de 4,12m/s medida no período de 1961 a 1990. Já o Plano de Manejo da APA Pau-Brasi, inserida na região de Cabo Frio, afirma que no período de 1970 a 1987, 65% dos ventos sopravam dos quadrantes N-NE, com os ventos de direção NE correspondendo a 40% do total e velocidade média anual de 5,6 m/s. **Castro et al. (2006)** estimou em seus estudos que a velocidade média do vento da região é de aproximadamente de 6 m/s.

**Rangel & Castro (2005)** realizaram uma divisão do sistema sedimentar do Perú com base nas características geomorfológicas em: praia, antedunas e planície de deflação. Quanto a morfologia das dunas, os autores afirmaram serem encontradas dunas escalonares, barcanas, transversais e barcanoides.

Posteriormente, foi realizado um mapeamento geomorfológico da região do Perú por **Fernandez & Rocha (2015)** onde foram identificadas dunas frontais, campos de dunas móveis e vegetadas no interior da planície (figura 13). Estes autores observaram a existência de dunas parabólicas na porção central do campo, além de dunas transversais ao norte da região.

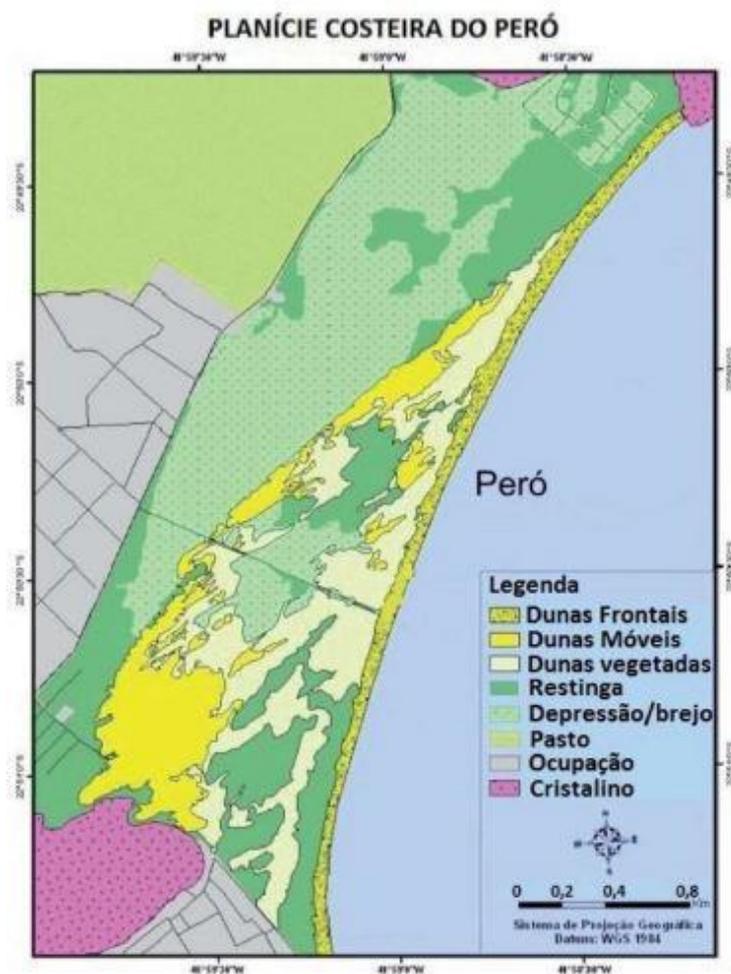


Figura 13: Mapa geomorfológico da Planície do Peró (FERNANDEZ & ROCHA, 2015; modificado por PEÇANHA, 2019).

A área de estudo está inserida na região da Costa do Sol que integra os municípios de Armação dos Búzios, Cabo Frio, Arraial do Cabo, Maricá, Rio das Ostras, Macaé, Saquarema, Araruama, Iguaba Grande, Casimiro de Abreu, São Pedro da Aldeia, Quissamã e Carapebus. A Costa do Sol possui uma característica beleza natural, fruto de remanescente de Mata Atlântica, manguezais, restingas e dunas. Com isso o turismo nessa localidade é altamente explorado e exacerbado. Com o objetivo de manter a preservação das áreas foi criada em 2002 a Área de Proteção Ambiental do Pau Brasil (Figura 14).



Figura 14: Mapa de localização da APA do Pau do Brasil (Fonte da imagem de satélite: Mapas base ARCGIS).

Apesar da existência da APA do Pau Brasil, há um processo na justiça referente ao empreendimento imobiliário Costa do Perú (figura 14), que visa erguer no local das dunas um resort de uma área de 4,5 milhões de metros quadrados ao longo de 3,5 km de extensão na Praia do Perú. Em 2014 o Ministério Público Federal conseguiu uma liminar pela paralisação das obras (GLOBO, 2014). Ademais, em 2018, foi proposto o projeto de lei nº 3908/2018 na Assembleia Legislativa do Rio de Janeiro (ALERJ) que tem como objetivo incluir ao limite do Parque Estadual da Costa Sul o campo de Dunas do Perú, visto que as áreas de vegetação características de restinga e as dunas são consideradas áreas de proteção ambiental, sendo proibida a construção de edificações. Vale ressaltar que em 2021 foi aprovado pelo plenário da ALERJ a criação do Monumento Natural das Dunas do Perú, porém a idéia foi vetada pelo governador em exercício do estado do Rio de Janeiro

## 5. METODOLOGIA

O presente trabalho foi executado em duas etapas: escritório e laboratorial. Na etapa de escritório foi feito o levantamento bibliográfico referente às informações da

área do campo de Dunas do Perú em artigos, monografias e livros. O objetivo deste levantamento foi assimilar as características locais como a geologia, geomorfologia e meteorologia para uma melhor compreensão da área e do contexto das dunas

Ressalta-se que não foi feita coleta de amostras no presente trabalho por conta da pandemia do vírus da COVID-19, sendo assim a opção foi utilizar as amostras disponíveis do projeto.

Na etapa de laboratório foram realizados ensaios, seguindo as normas estabelecidas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas, Foram utilizadas 8 amostras do trabalho de **Medeiros (2019)** e uma amostra do trabalho de **Machado (2010)** (Tabela 1). Os ensaios tinham como objetivo a caracterização granulométrica, determinação da densidade real dos grãos e a observação das características morfométricas das amostras. Além disso, foram utilizados 3 grupos de amostras coletadas em 3 dias distintos por **Medeiros (2019)**, totalizando 17 amostras, com intuito de observar a morfologia dos grãos de minerais pesados segundo observação por estereomicroscopia ótica. Os pontos foram escolhidos com o objetivo de se obter um conjunto de pontos distribuídos de maneira aproximadamente uniforme ao longo do campo de dunas.

Na tabela 1 e na figura 15 são apresentadas as coordenadas e as localizações dos pontos onde foram feitas as coletas das amostras utilizadas nos ensaios de granulometria, densidade dos grãos e caracterização morfométrica. Na tabela 2 e na figura 16 são apresentadas as coordenadas e as localizações dos 18 pontos onde foram feitas as coletas das amostras utilizadas para caracterização dos minerais pesados.

Tabela 1: Coordenadas dos pontos utilizados nos ensaios de granulometria, densidade dos grãos e caracterização morfométrica.

D	Dia de Campo	X	Y	Referência
PERÓ 1	-	192811	7470221	Machado,2010
PERÓ 12	Dia 1	192921	747108	Medeiros, 2019
Ponto 5	Dia 4	194074	7472008	Medeiros, 2019
Ponto 8	Dia 1	193932	7471055	Medeiros, 2019
Ponto 9	Dia 3	192322	7469803	Medeiros, 2019
Ponto 10	Dia 3	192689	7469965	Medeiros, 2019
Ponto 15	Dia 2	192647	7470372	Medeiros, 2019
Ponto 16	Dia 1	192647	7470372	Medeiros, 2019
Ponto 20	Dia 2	192837	7470921	Medeiros, 2019

Tabela 2: Coordenadas dos pontos utilizados para análise dos minerais pesados.

<b>ID</b>	<b>Dia de Campo</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>
Ponto 11	Dia 1	192777	7469979
Ponto 12	Dia 1	192884	7469765
Ponto 13	Dia 1	192700	7469801
Ponto 14	Dia 1	192703	7470125
Ponto 15	Dia 1	192916	7470105
Ponto 16	Dia 1	193453	7469195
Ponto 14	Dia 2	192770	7470282
Ponto 15	Dia 2	192647	7470372
Ponto 16	Dia 2	192617	7470467
Ponto 17	Dia 2	192744	7470678
Ponto 18	Dia 2	192882	7470850
Ponto 19	Dia 2	192928	7470972
Ponto 20	Dia 2	192837	7470921
Ponto 6	Dia 3	192468	7470097
Ponto 7	Dia 3	192480	7469961
Ponto 8	Dia 3	192368	7469874
Ponto 9	Dia 3	192322	7469803
Ponto 10	Dia 3	192689	7469965



Figura 15: Localização dos pontos utilizados nos ensaios de granulometria, densidade dos grãos e caracterização morfométrica (Fonte da imagem de satélite: Mapas base ARCGIS).



Figura 16: Localização dos pontos utilizados para análise dos minerais pesados (Fonte da imagem de satélite: Mapas base ARCGIS).

## 6. ENSAIOS

### 6.1 Caracterização Granulométrica

Os sedimentos das amostras possuem grãos de tamanhos variados, logo, é necessário a realização de uma análise granulométrica a partir de ensaios de peneiramento fino, seguindo as normas da NBR 7181 (ABNT, 1984) para que seja possível determinar a curva granulométrica das amostras.

No ensaio de peneiramento fino, é determinada a granulometria das porções finas, sendo esses os grãos retidos que possuem tamanho superior a 0,074mm. Vale destacar, que, não foi realizado o peneiramento grosso visto que todo material possui tamanho inferior a 2mm. Além disso, não foram feitos ensaios de sedimentação cujo objetivo a é determinação da quantidade de sedimentos finos (silte e argila) já que a amostra era composta, em sua maioria, exclusivamente por grãos de fração areia. A fração silte/argila, quando existente, é muito pequena, então não haveria material suficiente em cada fração para a caracterização dos minerais.

As composições granulométricas das amostras do presente trabalho já foram determinadas por Medeiros (2019), logo, o objetivo desta análise neste trabalho além de determinar a curva granulométrica da amostra é separar as frações para posteriormente analisar a densidades das diferentes faixas granulométricas.

O peneiramento fino consiste na colocação do material seco sobre o conjunto de peneiras que possuem aberturas decrescentes de cima para baixo do seguinte modo: primeira peneira possui abertura de 0,85mm (n°20), segunda peneira 0,60mm (n°30), terceira peneira 0,42mm (n°40), quarta peneira 0,25mm (n°60), quinta peneira 0,15mm (n°100), sexta peneira 0,074mm (n°200) e no fundo um recipiente onde ficam retidos os grãos com diâmetro menores que 0,074mm (Figura 17)

O conjunto de peneiras descrito é fixado num agitador que durante o intervalo de 15 minutos, promove o peneiramento completo de 100 gramas de material, sendo este processo repetido 3 vezes. No final desse período, as porções retidas em cada peneira são pesadas para que sejam determinadas as porcentagens de amostra de cada faixa granulométrica, e posteriormente seja obtida a curva granulométrica da amostra total.



Figura 17: Conjunto de peneiras utilizado no agitador para o peneiramento fino (Fonte: Fotos do autor).

## 6.2 Massa Específica dos grãos

Para esse ensaio foram utilizadas as porções granulométricas retidas nas peneiras, referente as amostras processadas durante o ensaio de granulometria. A massa específica dos grãos é a relação entre a massa dos sedimentos sólidos e seu volume. Para a determinação dessa propriedade foram seguidas as orientações da norma NBR 6508 (ABNT, 1984) e utilizada a seguinte equação:

$$\rho_w = M_s / V_s$$

Onde,

$\rho_w$  = massa específica

$M_s$  = massa dos sólidos

$V_s$  = volume dos sólidos

Para a determinação da massa dos sólidos ( $M_s$ ) é feita a medição direta com uma balança. A medida de volume dos sólidos ( $V_s$ ) é feita a partir da massa da amostra seca que corresponde a 10% do volume do picnômetro, a massa de um picnômetro de 50 ml preenchido com água destilada e da massa desse picnômetro com a amostra seca e cheio de água. Na Figura 18 é exemplificado o processo para determinação da densidade real dos grãos.

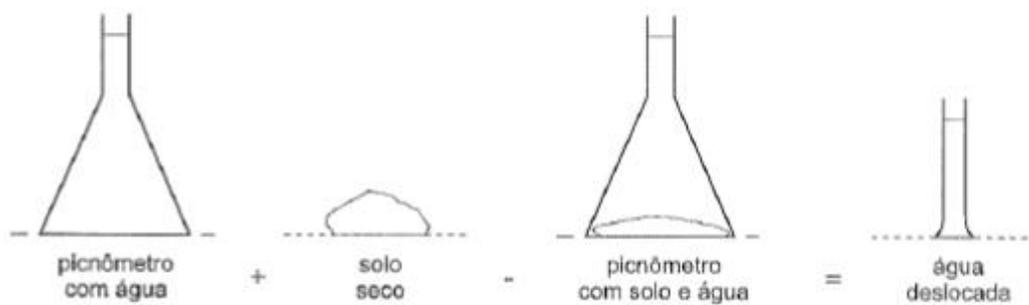


Figura 18: Determinação da massa específica dos grãos (Fonte: PINTO 2006).

Para determinar a massa de água deslocada é necessário somar os pesos do picnômetros preenchidos por água com a massa dos sólidos. Então, é subtraído o peso do picnômetro com água e solo. Nas expressões abaixo o volume dos sólidos ( $V_s$ ) corresponde ao volume de água deslocado ( $V_w'$ ), obtido a partir da razão entre a massa da água deslocada ( $M_w'$ ) e a massa específica da água na temperatura do ambiente.

$$V_s = V_w'$$

$$V_w' = M_w' / \rho_w T$$

Onde,

$V_s$  = volume da amostra

$V_w'$  = volume da água deslocada

$M_w'$  = massa da água deslocada

$\rho_w T$  = massa específica da água na temperatura do sistema ensaiado

Vale ressaltar que, a massa da amostra seca utilizada durante o experimento corresponde a 5 gramas visto o volume referente a 50ml do picnômetro. Na grande maioria dos casos, para as amostras das peneiras mais grossas de abertura de 0,85mm (n°20), segunda peneira 0,60mm (n°30) e terceira peneira 0,42mm (n°40) a quantidade de material retido não foi suficiente para realização do experimento de maneira individual por porção granulométrica. No entanto elas foram aglutinadas em um picnômetro para a medição da densidade dos grãos mais grossos como um todo. Destaca-se que mesmo assim, em alguns casos, não foi possível realizar os ensaios devido à quantidade insuficiente de material.

### 6.3 Concentração e Análise dos Minerais Pesados

O concentrado de minerais pesados analisado, que corresponde cerca de 7 gramas, foi obtido a partir de 3kg de amostra de areia coletada por [Medeiros \(2019\)](#) em

3 dias de campanha em locais distintos das Dunas do Perú, sendo todos representados na Figura 16 e Tabela 2.

Para cada dia de campanha foi separado 1kg de material, assim cada quilograma de amostra foi dividida igualmente pelo número de pontos do determinado dia da campanha, para que todas contribuíssem com a mesma quantidade para a análise. Em seguida, foi feita a separação granulométrica da amostra utilizando as peneiras na sequência apresentada no item 6.1. O material de granulometria superior a 0,074mm foi arquivado enquanto o material mais fino (<0,074mm) foi levado para análise nos Laboratórios de Amostras Geológicas (LAG) e no LabSONDA.

Destaca-se que foi utilizado o material de granulometria inferior a 0,074mm pelo fato de nessas porções ocorrer uma maior concentração dos minerais detríticos pesados, já que a energia para mobilizar esses grãos é maior se comparado com a do quartzo.

Os 3 concentrados obtidos a partir de cada quilograma de amostra processada foram misturados para se obter um resultado médio para o Campo de Dunas do Perú, já que a quantidade não seria suficiente para fazer a análise para cada amostra.

Em laboratório, o concentrado passou por um processamento em três etapas, representadas na figura 19: limpeza, separação gravimétrica e classificação magnética.

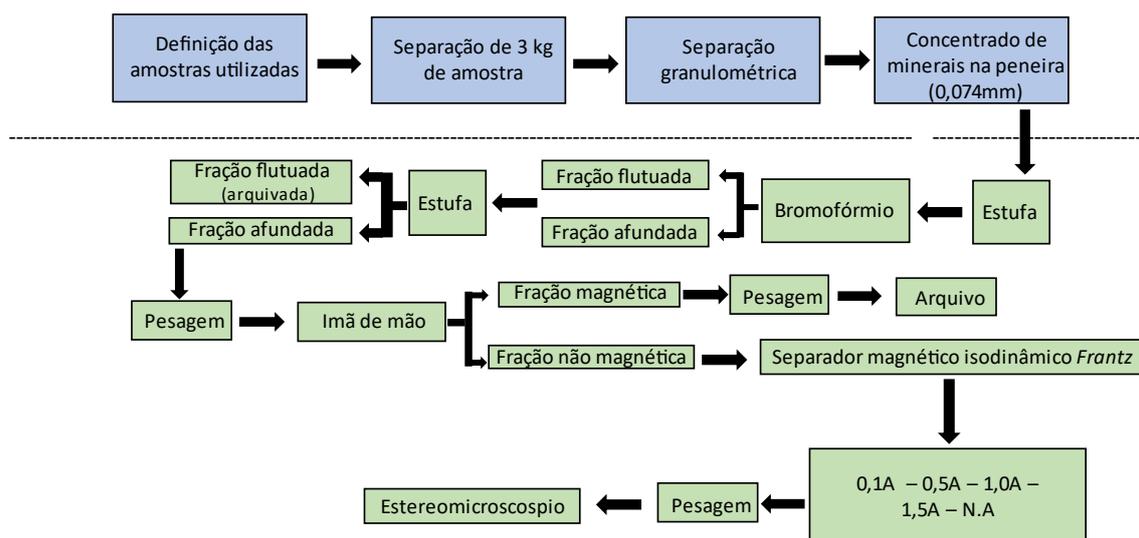


Figura 19: Fluxograma das etapas de preparação em campo e em laboratório dos concentrados de minerais pesados até a fase de estudo em estereomicroscópio.

Para a separação por densidade foi utilizado bromofórmio ( $d= 2,89 \text{ kg/L}$ ) para a retirada da fração flutuada, principalmente quartzo, feldspato e micas presente nas frações menores que  $0,074\text{mm}$ , como representado na figura 20. A fração de densidade superior ao líquido denso (afundado) foi separada. Posteriormente com o uso do imã de ferrite foi separada a magnetita (porção magnética) e para o material restante foi utilizado o separador magnético isodinâmico Frantz em diferentes correntes para a classificação dos minerais ferri, para e/ou diamagnéticos presentes no concentrado (Figura 21).

Os produtos da separação magnética do *Frantz*, foram analisados por estereomicroscopia para identificação e caracterização dos minerais de acordo com suas características físicas.

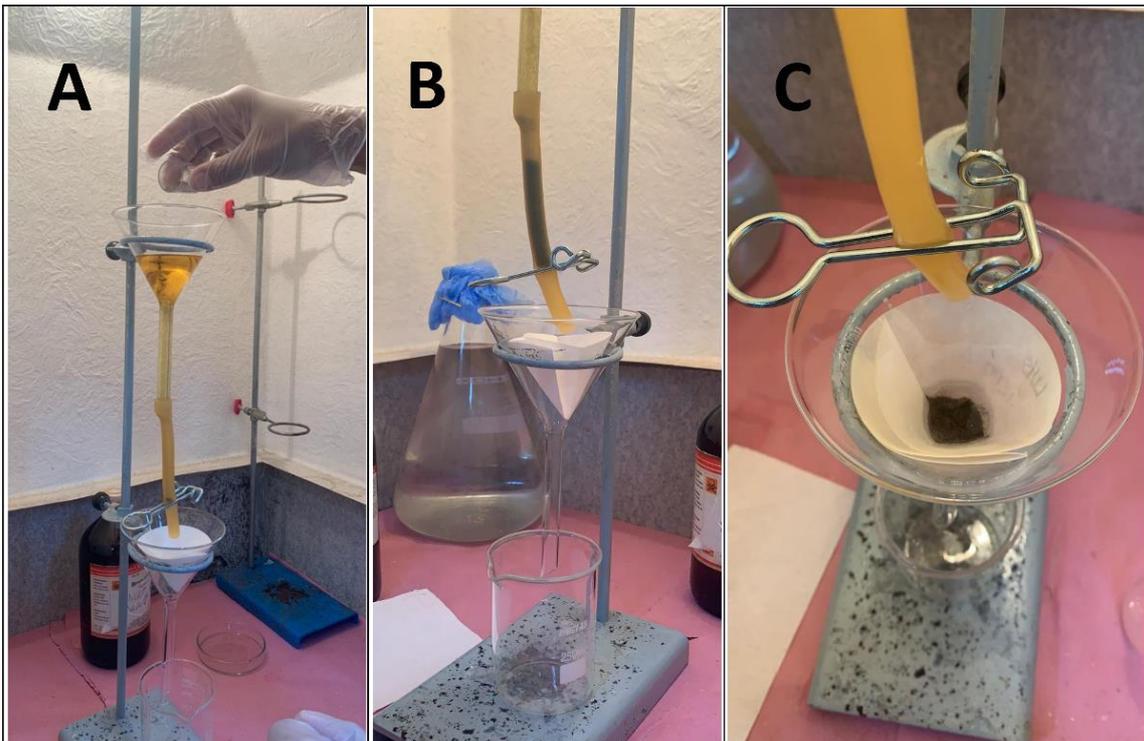


Figura 20: Etapa de separação gravimétrica com bromofórmio como líquido denso. (A) Grãos sendo despejados no líquido denso. (B) Minerais pesados acumulados no fundo do tubo. (C) Minerais pesados após filtragem do líquido denso.



Figura 21: Separador magnético isodinâmico *Frantz*

No separador magnético isodinâmico *Frantz* foram utilizadas diferentes correntes para a classificação dos minerais ferri-, para- ou diamagnéticos presentes no concentrado. As correntes utilizadas nessa etapa de processamento foram: 0,1A - 0,5A - 1,0A e 1,5A.

A quantificação do material foi realizada a partir da estimativa da porcentagem de cada um dos minerais encontrados no campo visual da visada da amostra, utilizando-se como referência [Terry & Chilingar \(1955\)](#).

## **7. RESULTADOS**

### **7.1 Granulometria**

Os resultados da caracterização granulométrica das amostras apresentadas na Tabela 1 podem ser observados nas figuras 22 a 30, onde foram representadas as respectivas curvas granulométricas. Com a curva granulométrica, foi calculada a porcentagem aproximada da distribuição granulométrica de cada amostra e foram gerados gráficos representados nas figuras 31, 32 e 33.

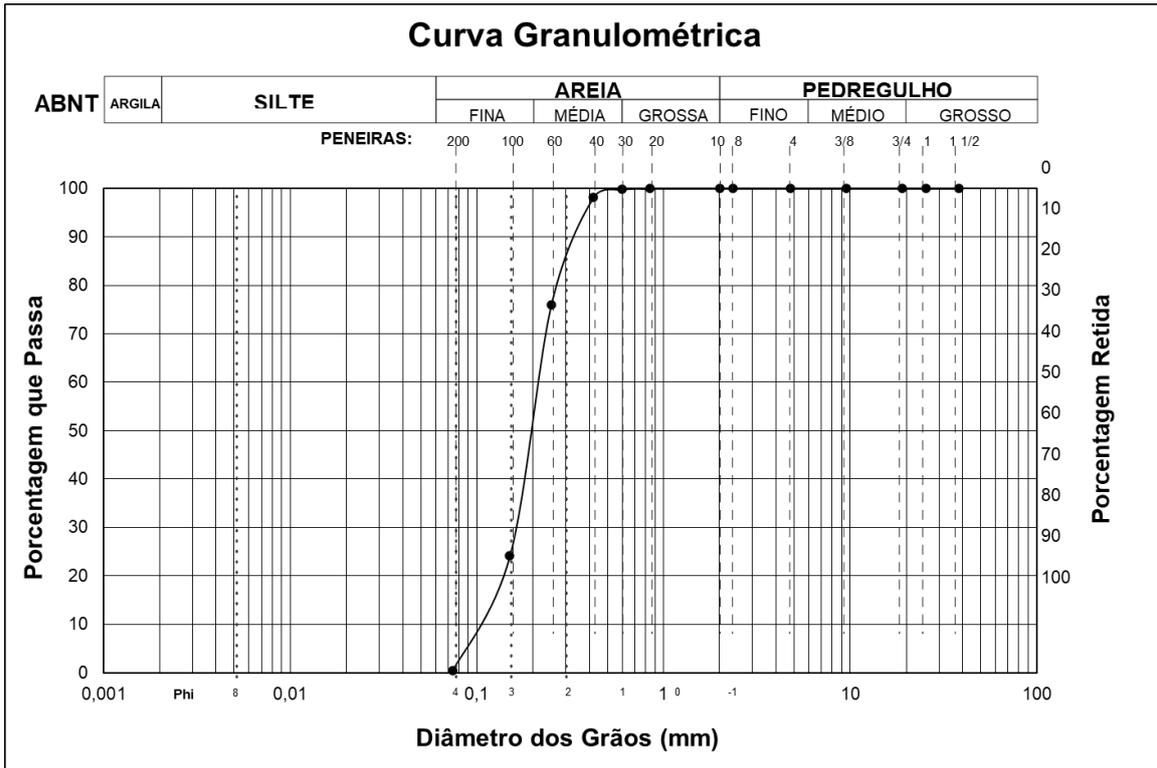


Figura 22: Curva granulométrica da amostra PERÓ 1.

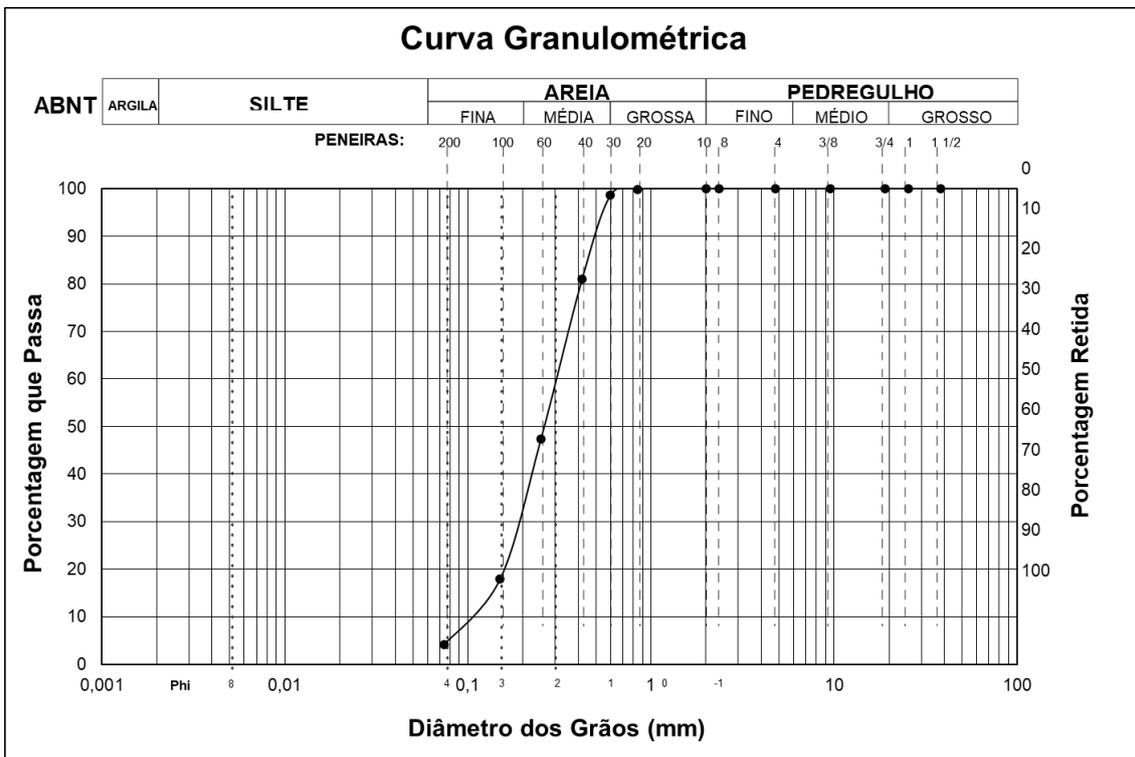


Figura 23: Curva granulométrica da amostra PERÓ 12.

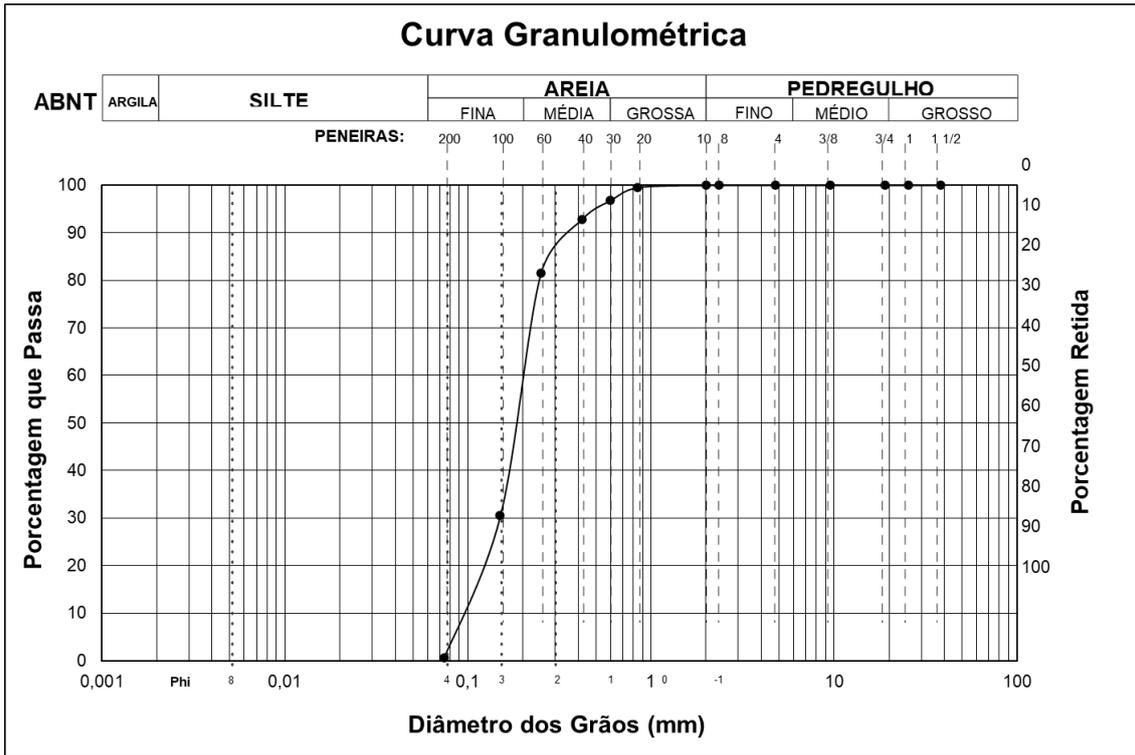


Figura 24: Curva granulométrica do ponto 5

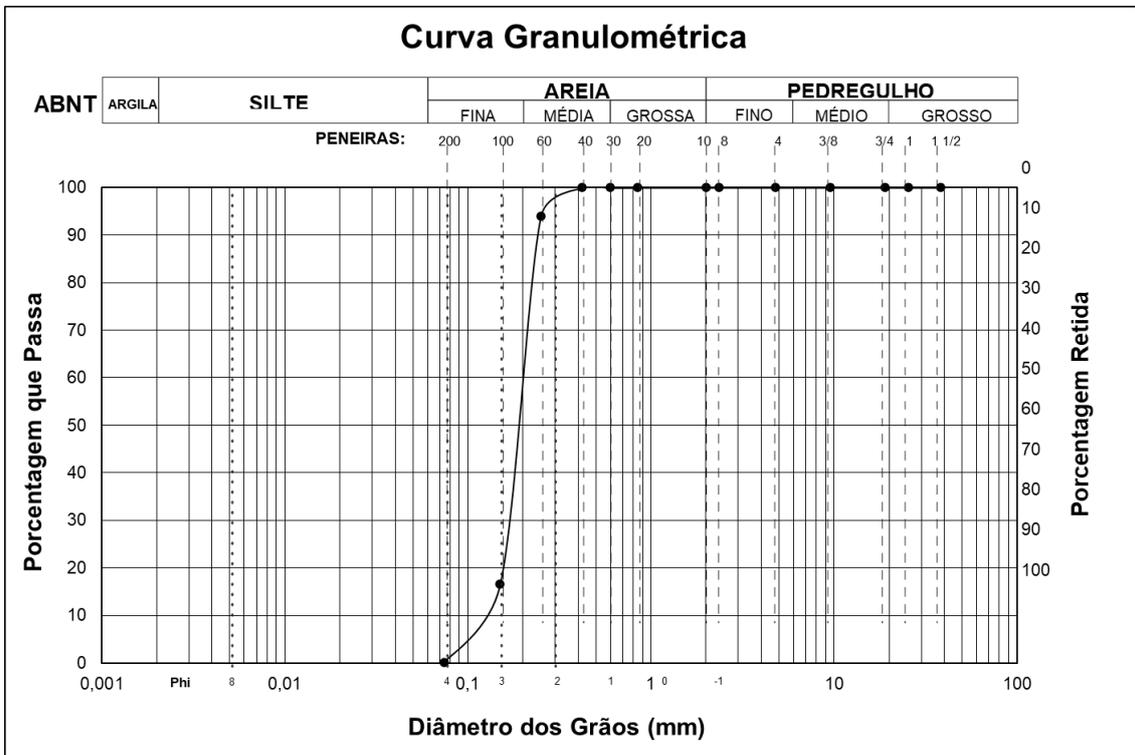


Figura 25: Curva granulométrica do ponto 8.

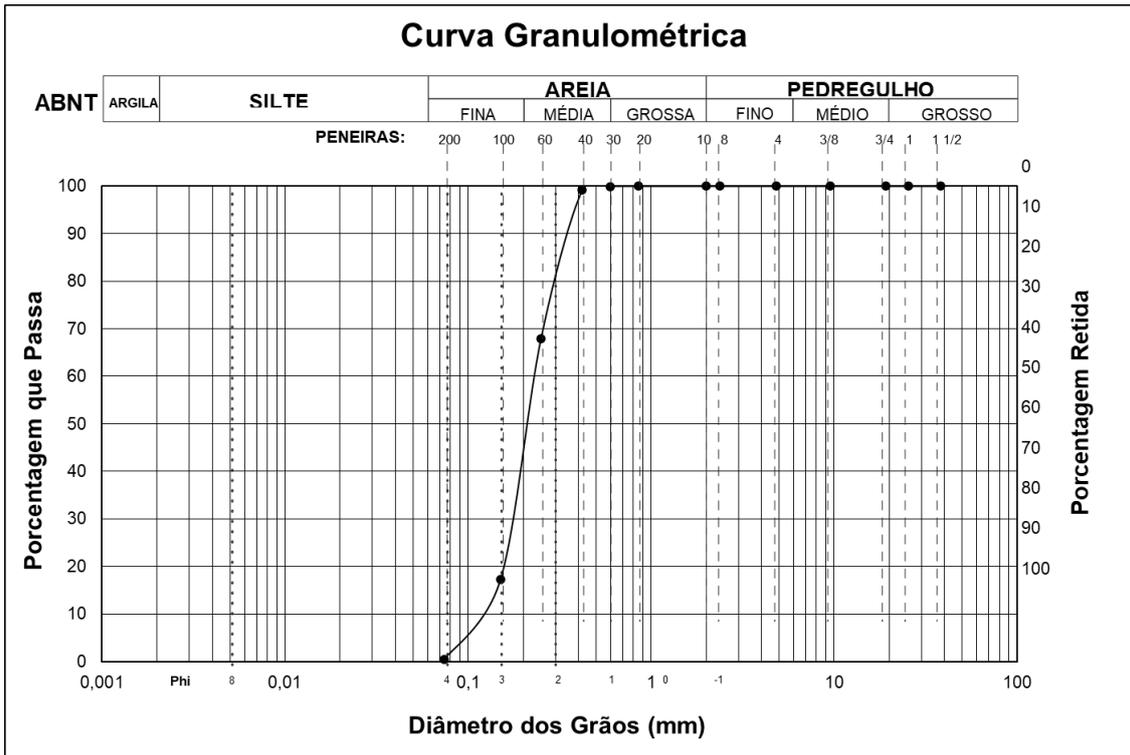


Figura 26: Curva granulométrica do ponto 9.

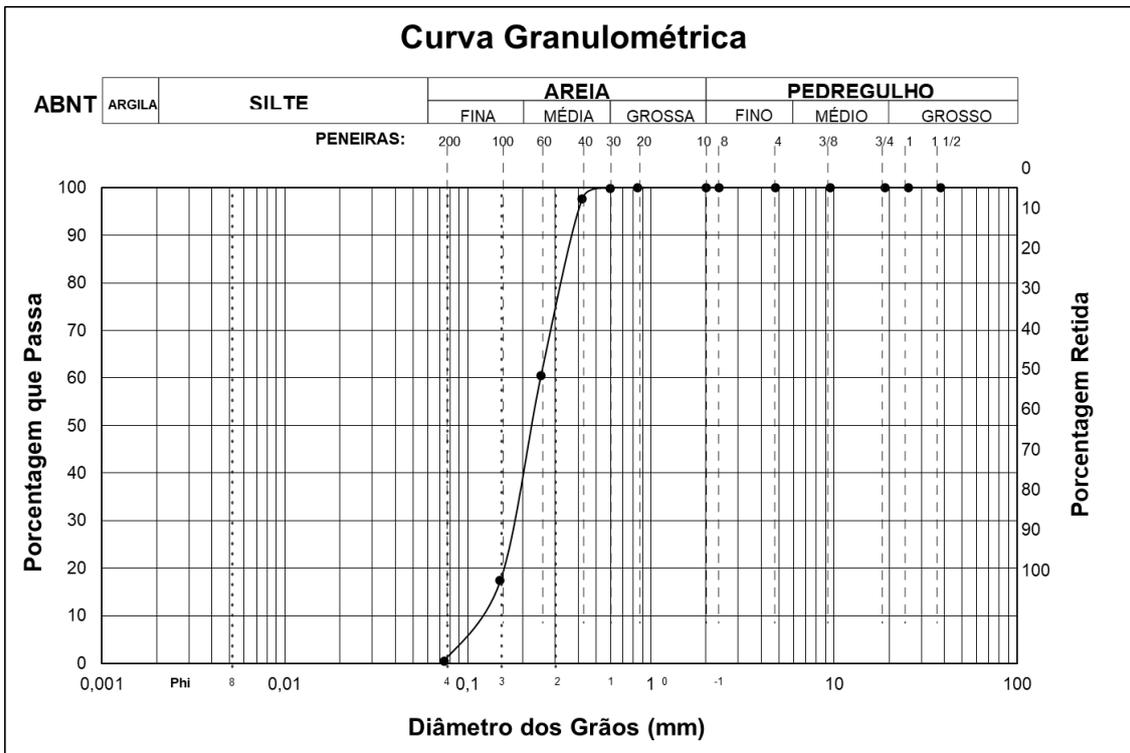


Figura 27: Curva granulométrica do ponto 10.

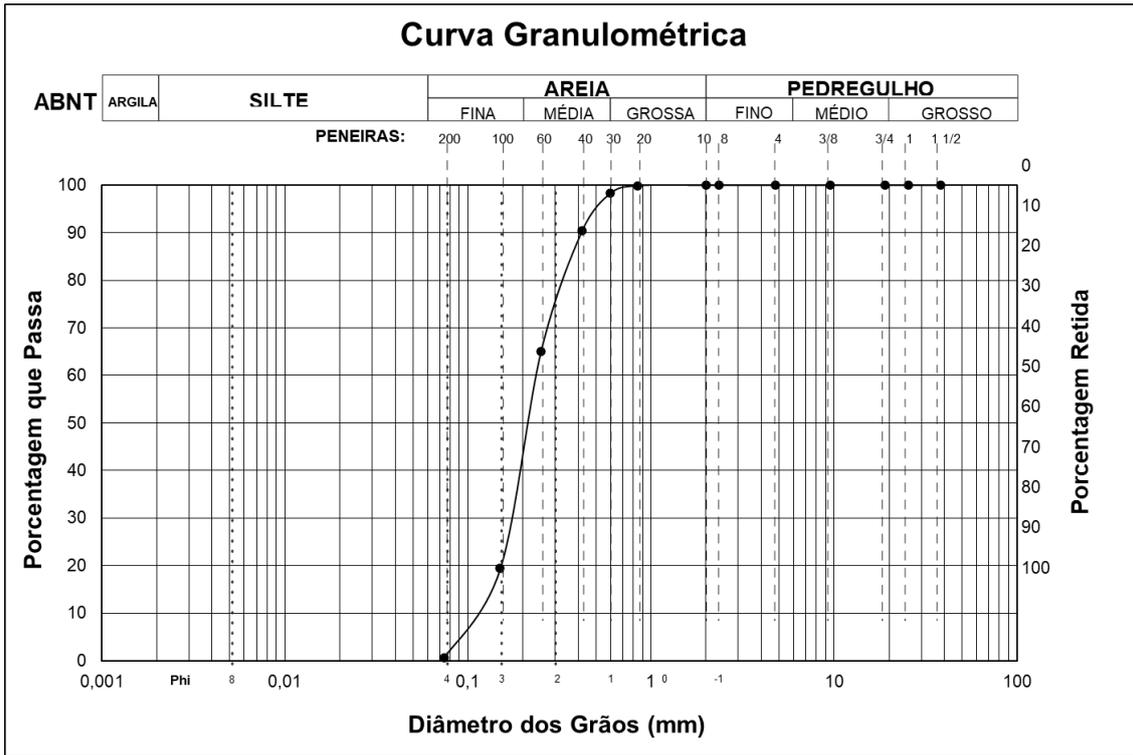


Figura 28: Curva granulométrica do ponto 16.

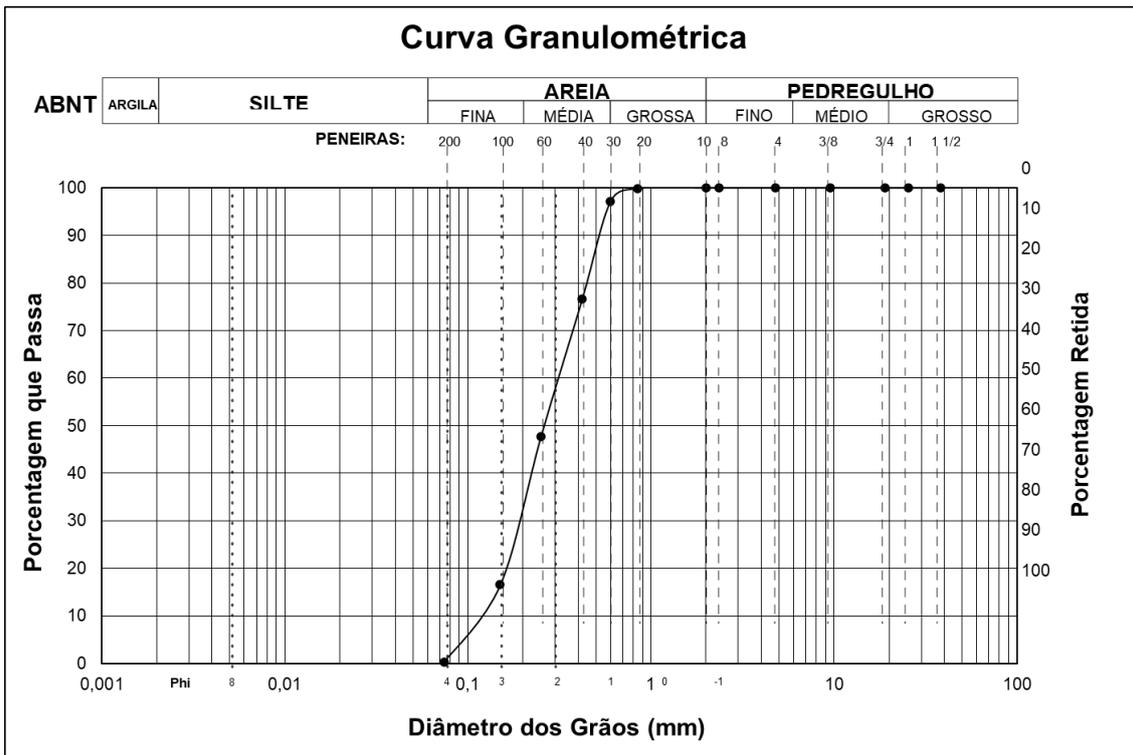


Figura 29: Curva granulométrica do ponto 15.

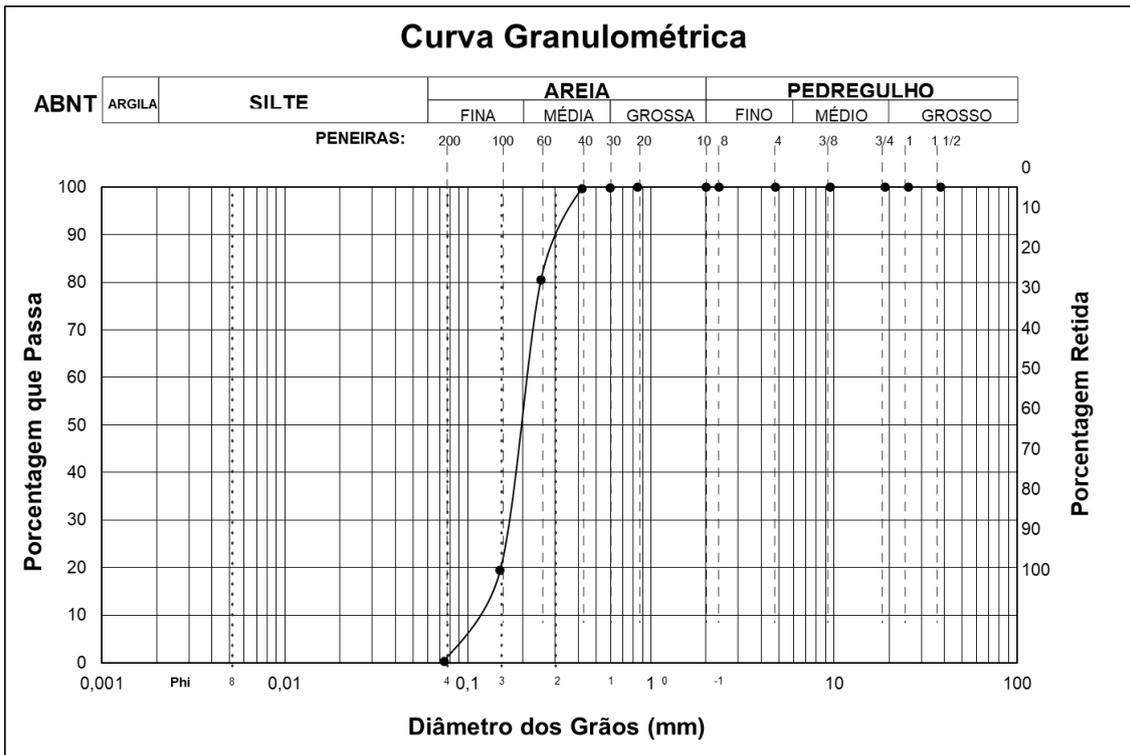


Figura 30: Curva granulométrica do ponto 20.



Figura 31: Gráficos de distribuição granulométrica dos pontos Peró 1, Peró 12 e 5.

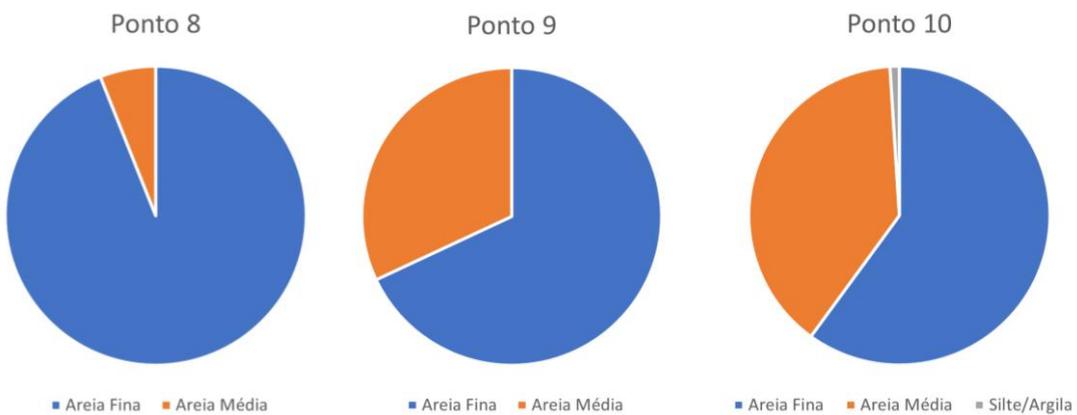


Figura 32: Gráficos de distribuição granulométrica dos pontos 8, 9 e 10.

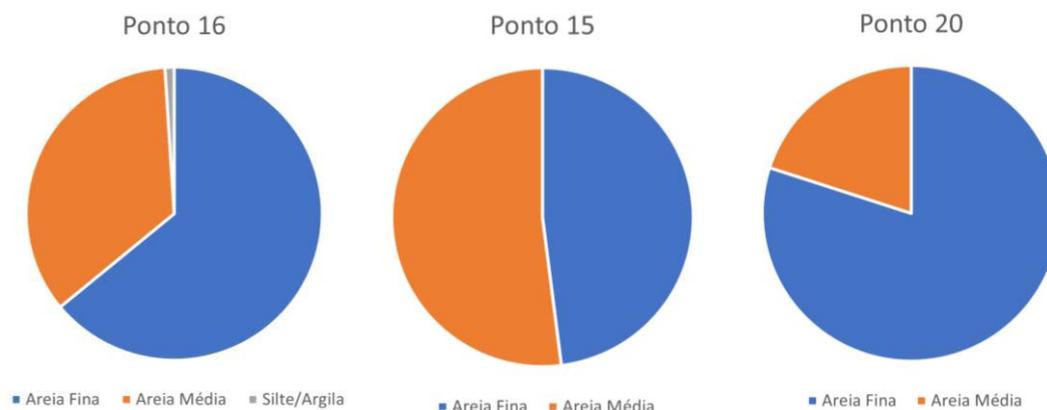


Figura 33: Gráficos de distribuição granulométrica dos pontos 16, 15 e 20.

No geral as amostras possuem uma quantidade maior de sedimentos finos (areia fina). Além disso, foi observada a presença de material tamanho silte/argila em apenas três amostras sendo elas a Però 12 com uma contribuição de 3% e os pontos 10 e 16, com uma contribuição que corresponde de 1% da amostra. Os resultados são coerentes com a localização dos pontos, já que por ser um ambiente praial/dunar onde há a ação do transporte eólico e retrabalhamento pelas ondas do mar os sedimentos são carregados por longas distâncias, o que causa a diminuição no tamanho dos grãos.

## 7.2 Massa Específica dos Grãos

Na tabela 3 estão os valores de massa específica calculados para as faixas granulométricas definidas no ensaio de granulometria para as 9 amostras utilizadas neste trabalho. É possível observar que os resultados variaram de valores de  $2,2\text{g/cm}^3$  a  $2,68\text{g/cm}^3$ .

Tabela 3a: Massa específica calculada para as amostras.

Ponto	Fração granulométrica	Peneira	Densidade dos Grãos
Peró 1	> 0,85mm	20	2,33
	0,85 a 0,60mm	30	
	0,60 a 0,42mm	40	
	0,42 a 0,25mm	60	2,39
	0,25 a 0,15mm	100	2,38
	0,15 a 0,074mm	200	2,40
	<0,074mm	Fundo	1,42

Tabela 3b: Massa específica calculada para as amostras.

Ponto	Fração granulométrica	Peneira	Densidade dos Grãos
Peró 12	> 0,85mm	20	2,34
	0,85 a 0,60mm	30	
	0,60 a 0,42mm	40	
	0,42 a 0,25mm	60	2,42
	0,25 a 0,15mm	100	2,41
	0,15 a 0,074mm	200	2,68
	<0,074mm	Fundo	2,86
Ponto 5	> 0,85mm	20	2,24
	0,85 a 0,60mm	30	
	0,60 a 0,42mm	40	
	0,42 a 0,25mm	60	2,49
	0,25 a 0,15mm	100	2,46
	0,15 a 0,074mm	200	2,41
	<0,074mm	Fundo	1,68
Ponto 8	> 0,85mm	20	-
	0,85 a 0,60mm	30	
	0,60 a 0,42mm	40	
	0,42 a 0,25mm	60	2,5
	0,25 a 0,15mm	100	2,51
	0,15 a 0,074mm	200	2,46
	<0,074mm	Fundo	0,28
Ponto 9	> 0,85mm	20	2,22
	0,85 a 0,60mm	30	
	0,60 a 0,42mm	40	
	0,42 a 0,25mm	60	2,49
	0,25 a 0,15mm	100	2,45
	0,15 a 0,074mm	200	2,46
	<0,074mm	Fundo	1,2
Ponto 10	> 0,85mm	20	-
	0,85 a 0,60mm	30	
	0,60 a 0,42mm	40	
	0,42 a 0,25mm	60	2,51
	0,25 a 0,15mm	100	2,58
	0,15 a 0,074mm	200	2,51
	<0,074mm	Fundo	1,45
Ponto 16	> 0,85mm	20	2,41
	0,85 a 0,60mm	30	
	0,60 a 0,42mm	40	
	0,42 a 0,25mm	60	2,41
	0,25 a 0,15mm	100	2,44
	0,15 a 0,074mm	200	2,37
	<0,074mm	Fundo	0,94

Tabela 3c: Massa específica calculada para as amostras.

Ponto	Fração granulométrica	Peneira	Densidade dos Grãos
Ponto 15	> 0,85mm	20	2,41
	0,85 a 0,60mm	30	
	0,60 a 0,42mm	40	
	0,42 a 0,25mm	60	2,5
	0,25 a 0,15mm	100	2,56
	0,15 a 0,074mm	200	2,47
	<0,074mm	Fundo	1,5
Ponto 20	> 0,85mm	20	1,58
	0,85 a 0,60mm	30	
	0,60 a 0,42mm	40	
	0,42 a 0,25mm	60	2,63
	0,25 a 0,15mm	100	2,68
	0,15 a 0,074mm	200	2,57
	<0,074mm	Fundo	1,8

Era esperada uma convergência para valores com a massa específica do mineral quartzo,  $2,65\text{g/cm}^3$  (Dana, 1978), visto que os sedimentos que compõem as amostras são predominantemente quartzosos.

Duas prováveis razões para os valores de massa específica ligeiramente abaixo do esperado são a quantidade muito pequena de amostra (muito menor que a recomendada na norma) em algumas faixas granulométricas utilizadas na análise e a composição mineralógica variada, havendo a presença de bioclastos nas amostras diminuindo a densidade específica da amostra. Vale ressaltar que os ensaios foram repetidos, porém os mesmos resultados foram obtidos.

Com base nos resultados e para uma melhor visualização da variação espacial da densidade dos grãos, foi confeccionado, utilizando o software *ArcGIS*, um mapa de distribuição espacial da densidade específica dos grãos para as peneiras de números 60 (0,25mm), 100(0,15mm) e 200 (0,074mm), sendo apresentados nas figuras 34 a 36.



Figura 34: Distribuição espacial da densidade específica dos grãos da peneira de nº60.

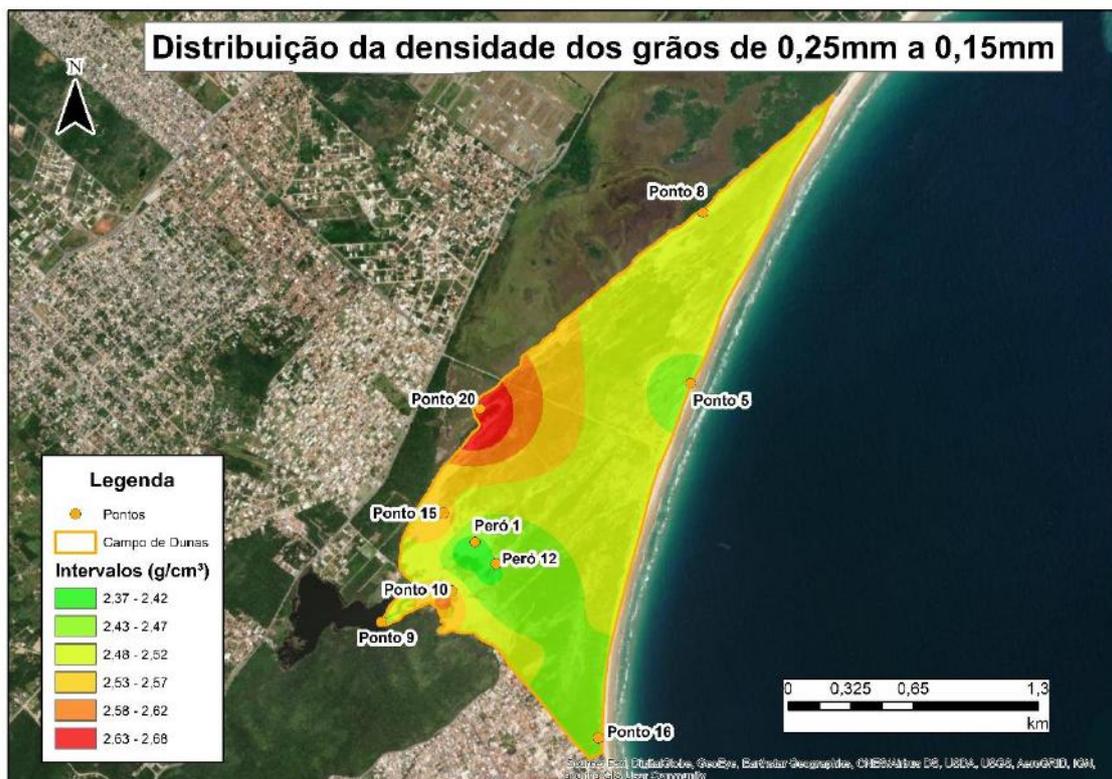


Figura 35: Distribuição espacial da densidade específica dos grãos da peneira de nº100.

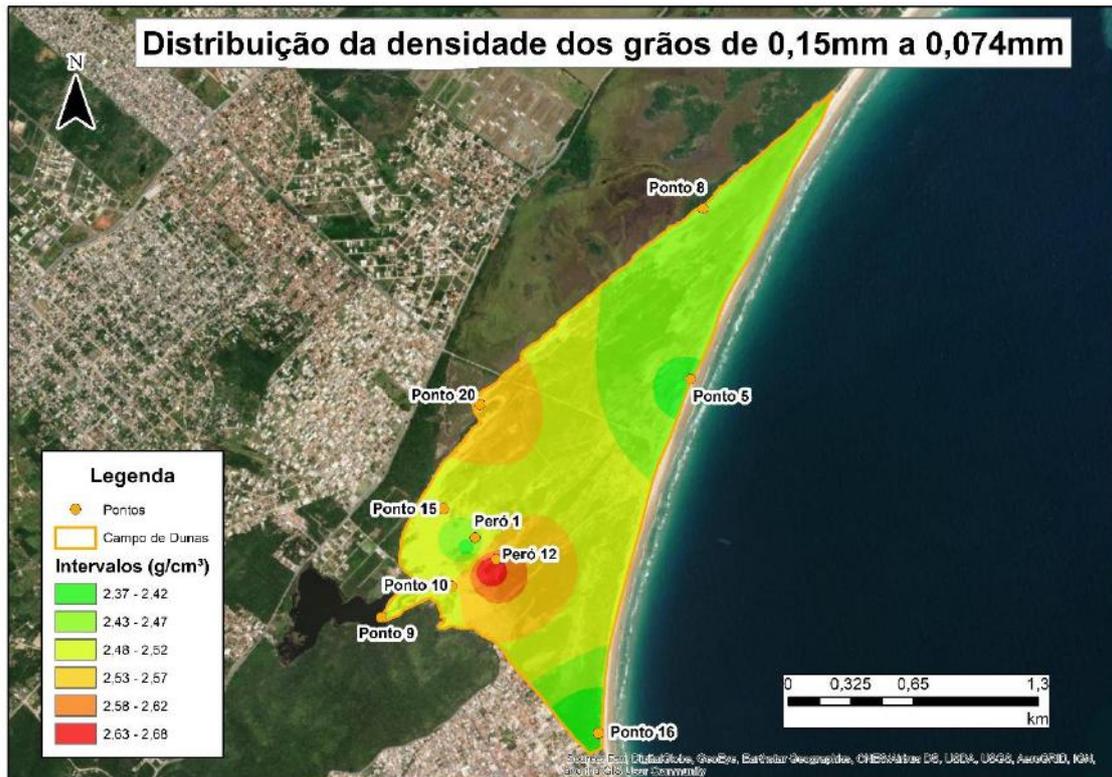


Figura 36: Distribuição espacial da densidade específica dos grãos da peneira de nº200.

No entanto, foi constatado que os valores obtidos para as faixas granulométricas mais grossas (>0,85mm, 0,85mm a 0,60mm e 0,60mm a 0,42mm) e para as porções muito finas (<0,074mm) estavam bem abaixo do valor esperado de 2,65g/cm<sup>3</sup>, sendo possivelmente causado pela falta de material para a realização do ensaio. Com isso, foi realizado um novo ensaio englobando todas as amostras utilizando apenas os grãos com diâmetro menor que 0,074mm, o resultado é apresentado na tabela 4.

Tabela 4: Massa específica calculada para os grãos menores que 0,074mm.

Ponto	Fração granulométrica	Peneira	Densidade dos Grãos
Todos	<0,074mm	Fundo	2,98

Era esperado que o valor da massa específica fosse superior ao valor da densidade do mineral quartzo, 2,65g/cm<sup>3</sup> (Dana, 1978), já que nas porções muito finas, inferiores a 0,074mm há uma maior predominância de minerais pesados em relação ao leves.

A razão desta abundância de minerais pesados se dá pelo fato de ser necessário uma maior energia para o transporte e erosão, logo, estes minerais ficam concentrados

em porções granulométricas finas. Outro ponto é que explica a abundância em porções de granulometria fina é que mesmo na rocha de origem desses minerais, geralmente eles são cristalizados e dimensões bem mais fina que a sua matriz

Destaca-se que o resultado obtido para análise de densidade real dos grãos para a fração de minerais pesados parece confirmar os baixos valores para as frações granulométricas (inferiores a 0,074mm) onde há pouca quantidade de material.

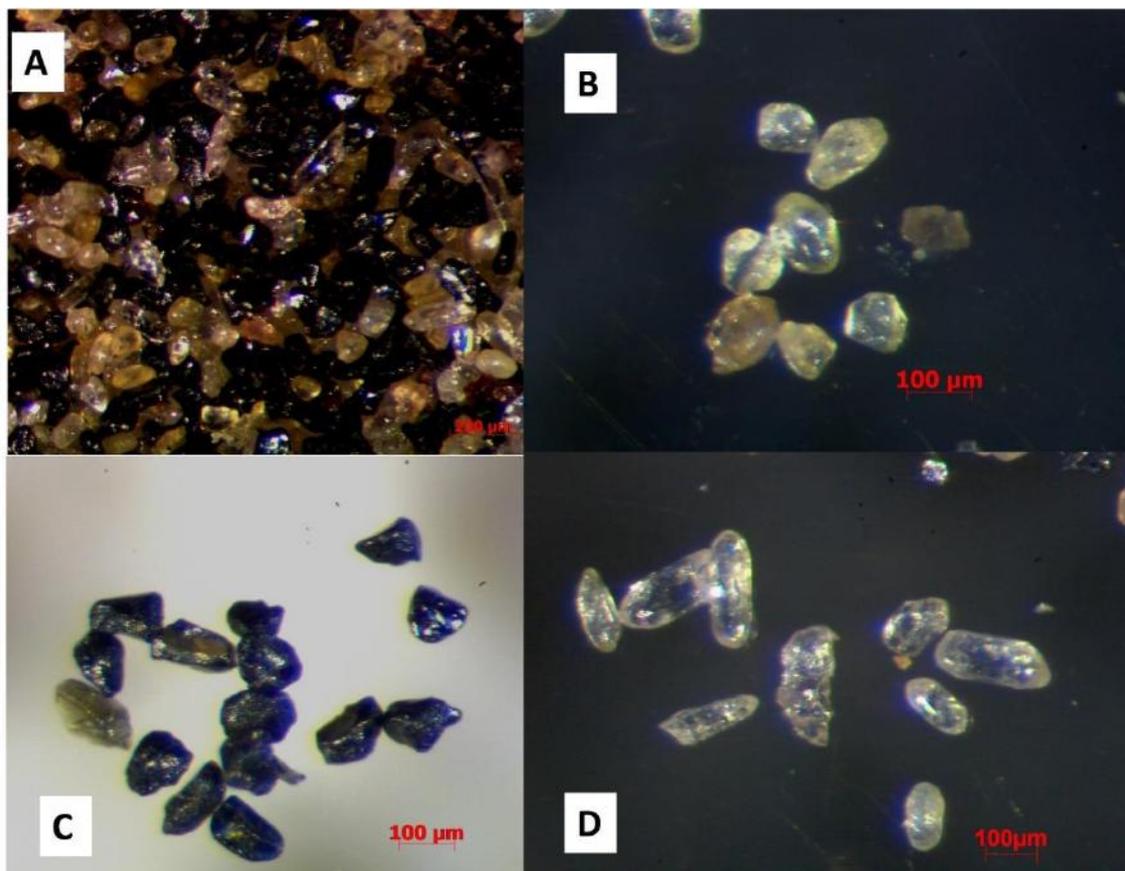
### **7.3 Caracterização dos Minerais Pesados**

O concentrado de minerais pesados da areia das Dunas do Perú obtido durante o processamento da amostra foi observado a partir do estereomicroscópio Zeiss Discovery V8, sendo as imagens capturadas a partir da câmera acoplada AxioCam ER c5s.

A assembleia mineral identificada no concentrado é constituída por grãos de granada de colorações variáveis, magnetita, zircão, minerais do grupo do anfibólio, rutilo e cianita. Abaixo são apresentadas as fotos da visada e dos grãos obtidos a partir das correntes utilizadas no *Frantz*, bem como a caracterização física de cada grupo mineral observado.

#### **7.4.1 Corrente de 0,5 Ampères**

Para a corrente de 0,5A foram identificados 3 minerais distintos, são eles: granada, zircão e anfibólio. A visada do concentrando mineral representada pela figura 37A, onde foi feita a estimava visual apresenta cerca de 50% de granada, 35% de anfibólio/piroxênio e 15% de zircão.



**Figura 37:** Grãos minerais obtidos utilizando a corrente de 0,5A no separador magnético isodinâmico Frantz. (A) Visada geral dos grãos. (B) Grãos anédricos de granada. (C) Grãos de anfibólio com tons pretos a verde. (D) Grãos subédricos e transparentes de zircão

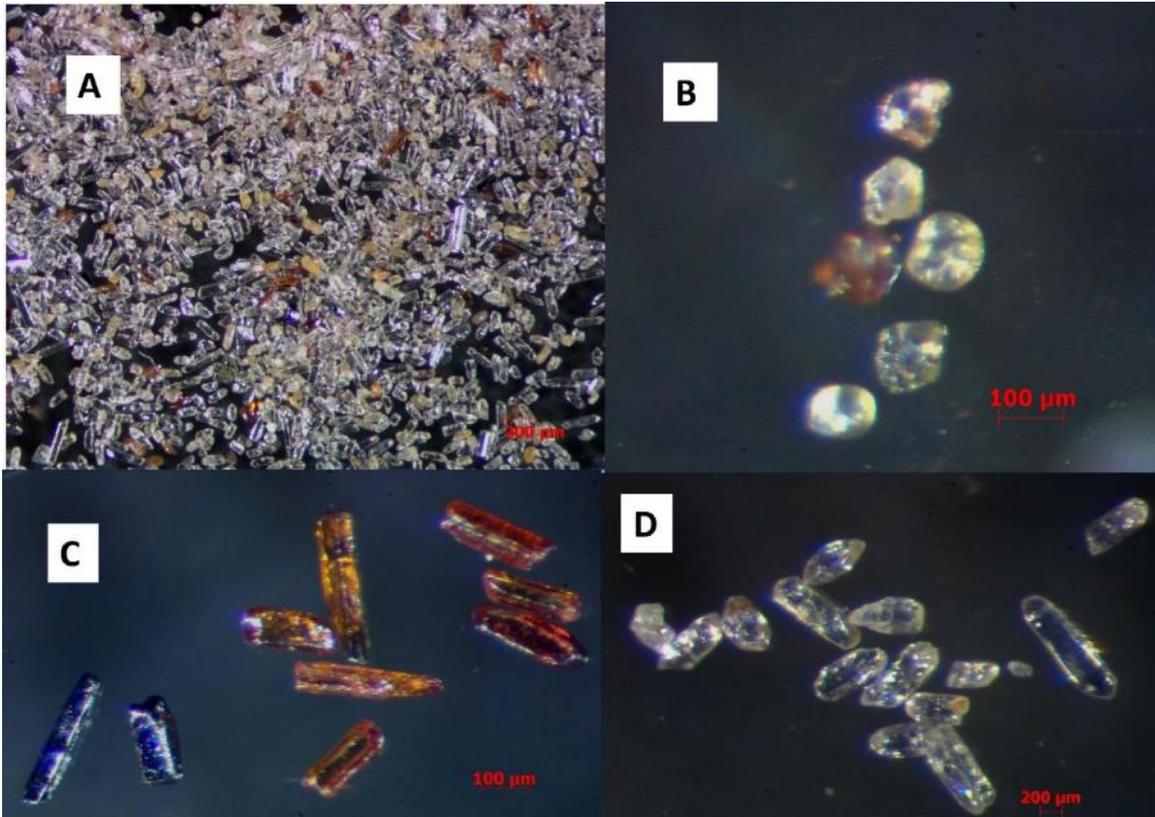
Os grãos de granada (Figura 37B) possuem cerca de 100µm, são predominantemente de coloração variada com tons de amarelo, rosa, laranja e branca, translúcida e com grau de arredondamento subarredondado.

Os grãos de anfibólio/piroxênio (Figura 37C) possuem dimensões que variam de 100µm a 150µm, predominantemente anédricos, com grau de arredondamento subarredondado, de coloração preta e verde escura, com alguns em tons amarronzados. Em raros casos é possível observar uma forma ligeiramente prismática.

Os grãos de zircão (Figura 37D) possuem cerca de 100µm. Os cristais possuem um grau de arredondamento arredondado, transparentes, de cor branca, com alguns com tons rosados-avermelhados.

### 7.4.2 Corrente de 1,0 Ampères

Para a corrente de 1,0 A foram identificados 3 minerais distintos, são eles: granada, zircão e rutilo. A estimativa visual (Figura 38A) apresenta cerca de 5% de granada, 5% de rutilo e 90% de zircão.



**Figura 38:** Grãos minerais obtidos utilizando a corrente de 1,0A no separador magnético isodinâmico Frantz. (A) Visada geral dos grãos. (B) Grãos anédricos de granada. (C) Grãos de rutilo de colorações variadas. (D) Grãos translúcidos, de coloração branca e rosada de zircão

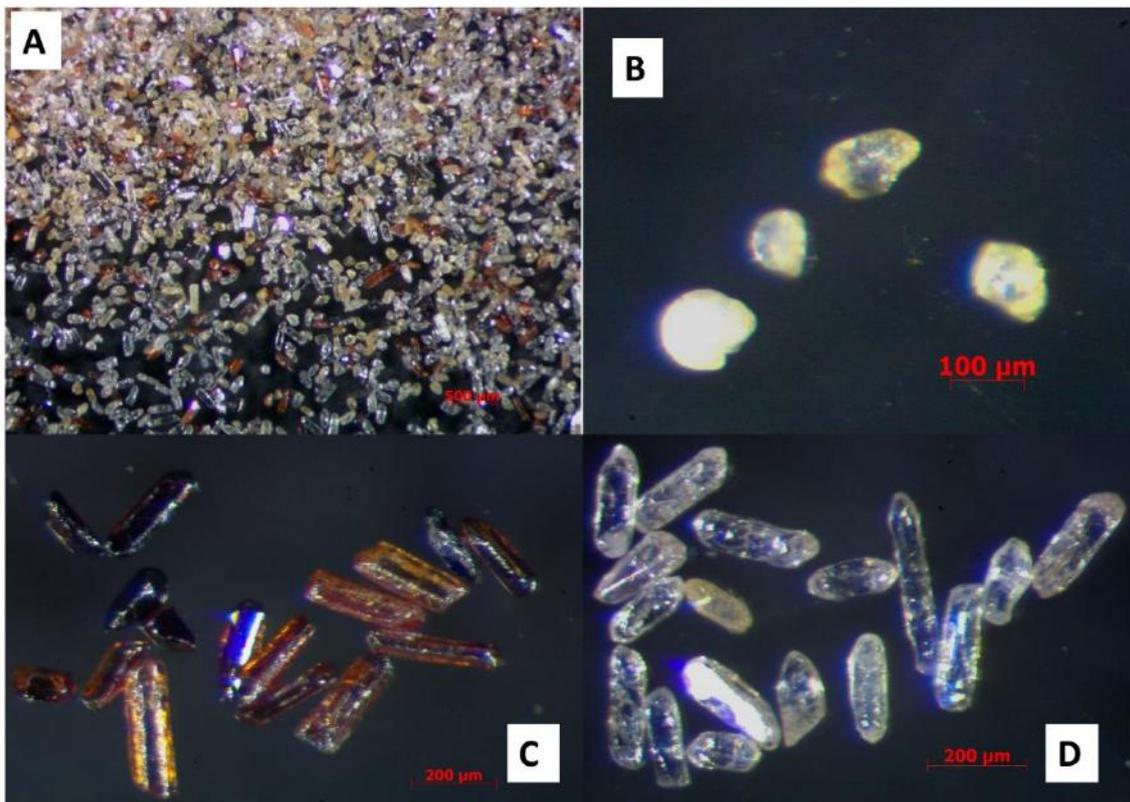
Os grãos de granada (Figura 38B) em sua maioria possuem dimensões inferiores a 100µm, são predominantemente transparentes, com feições bem arredondadas e com coloração variando entre amarelo, rosa e tons alaranjados.

Os grãos de rutilo (Figura 38C) possuem dimensões que variam de 100µm a 150µm, predominantemente de formato prismático, podem apresentar grau de arredondamento subarredado, opacos, com brilho metálico, apresentando cor azul, laranja e vermelho.

Os grãos de zircão (Figura 38D) possuem dimensões superiores a 400 $\mu$ m, sendo possível observar grãos com grau de arredondamento subarredado. São transparentes, apresentando raramente tons rosados-avermelhados

### 7.4.3 Corrente de 1,5 Ampères

Para a corrente de 1,5 A foram identificados 3 minerais distintos, são eles: granada, zircão e rutilo. A visada do concentrado mineral representada pela figura 39A, onde foi feita a estimativa visual apresenta de cerca de 2% de granada, 13% de rutilo e 85% de zircão.



**Figura 39:** Grãos minerais obtidos utilizando a corrente de 1,5A no separador magnético isodinâmico Frantz. (A) Visada geral dos grãos. (B) Grãos de granada. (C) Grãos de rutilo de colorações variadas. (D) Grãos euédricos e transparentes de zircão

Os grãos de granada (Figura 39B) em sua maioria possuem dimensões inferiores a 100 $\mu$ m, são predominantemente translúcidos, com grau de arredondamento bem arredondado. A coloração varia em amarelo e tons alaranjados

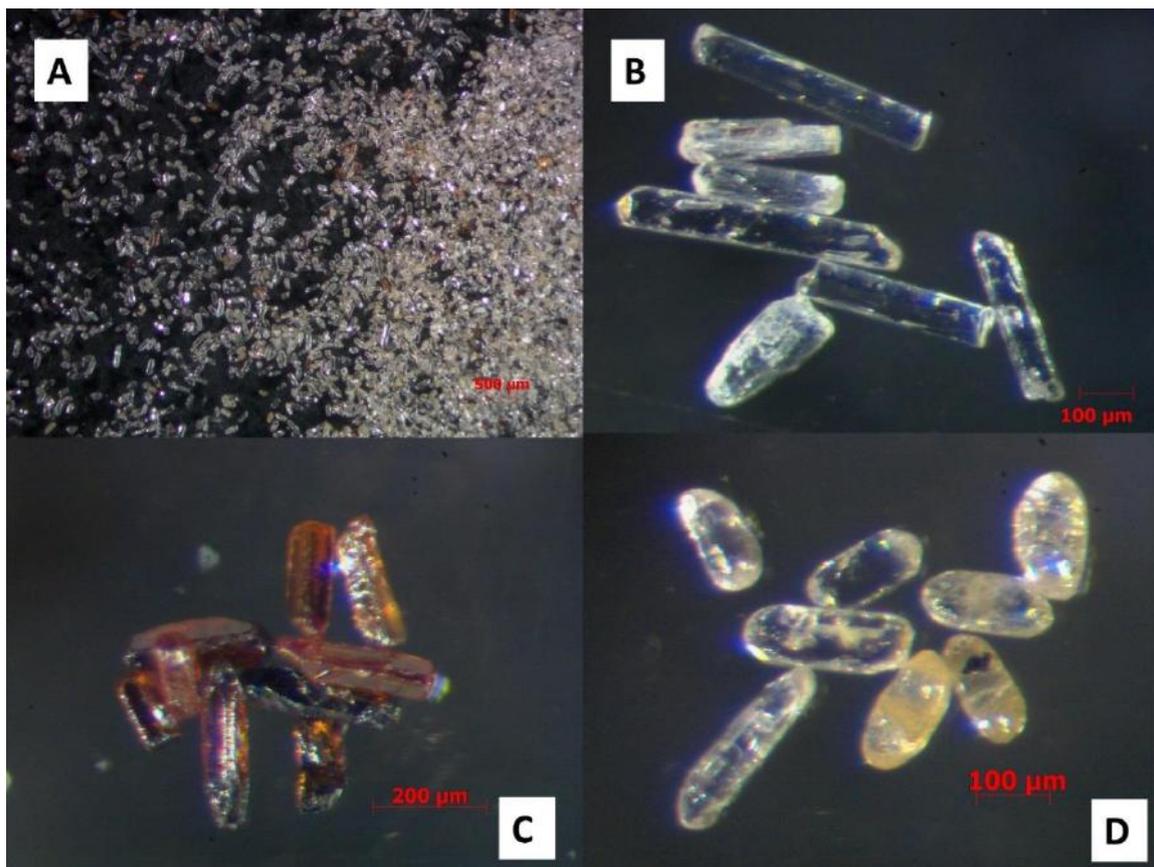
Os grãos de rutilo (Figura 39C) possuem dimensões de cerca de 200 $\mu$ m, predominantemente de forma prismática. Possuem grau de arredondamento

subarredondado, com brilho metálico de coloração em tons de castanho, preto, amarelo e vermelho.

Os grãos de zircão (Figura 39D) possuem dimensões que variam de 100 $\mu$ m a 200 $\mu$ m, sendo possível observar grãos anédricos, com grau de arredondamento arredondado e alongados no eixo c. São transparentes, de cor branca, com alguns com tons rosados-avermelhados e raramente com tonalidades amarelas.

#### 7.4.4 Não atraível

Na fração não atraível foram identificados 3 minerais são eles: cianita, zircão e rutilo. A visada do concentrado mineral representada pela figura 40A, onde foi feita a estimativa da presença de cerca de 30% de cianita, 5% de rutilo e 65% de zircão.



**Figura 40:** Grãos minerais não atraídos pelas amperagens no separador magnético isodinâmico Frantz. (A) Visada geral dos grãos. (B) Grãos de cianita. (C) Grãos de rutilo de colorações variadas. (D) Grãos translúcidos de zircão

Os grãos de cianita (Figura 40B) em sua maioria possuem dimensões que variam de 100µm a 200µm, são predominantemente alongados e tabulares, translúcidos e transparentes, com grau de arredondamento subarredondado.

Os grãos de rutilo (Figura de 40C) possuem dimensões de cerca de 200µm, predominantemente em formato prismático e apresentando estrias. Possuem grau de arredondamento subarredondado, opacos, transparentes e translúcidos, de coloração em tons de castanho, amarelo e vermelho.

Os grãos de zircão (Figura 40D) possuem dimensões que variam de 100µm a 150µm, sendo possível observar com grau de arredondamento arredondado e alongados. São translúcidos, transparentes, com alguns e tons amarelados.

## **8. DISCUSSÃO E CONCLUSÃO**

As análises granulométricas indicaram que a areia da duna é composta predominantemente por sedimentos de tamanho areia fina, porém com contribuição de areia média, principalmente no ponto 15(60%) e na amostra Perú 12(37%). Além disso, foi constatado a presença de material tamanho silte/argila em pequena quantidade nas amostras Perú 12 (3%), ponto 10 (1%) e ponto 16(1%). Esses resultados são satisfatórios visto que se trata de um ambiente praial/dunar onde há a ação contínua do vento e do retrabalhamento mecânico das ondas, o que acarreta o transporte por longas distâncias e a diminuição da granulometria dos grãos.

A análise da massa específica dos grãos por faixa granulométrica mostrou que a massa específica da areia da região varia entre valores que se aproximam a massa específica do quartzo (2,65 g/cm<sup>3</sup>) o que já era esperado, visto que os sedimentos que compõem as amostras são predominantemente quartzosos. No entanto, os valores obtidos para as amostras de faixa granulométrica mais grossas, sendo elas, 0,85mm (peneira n°20), 0,60mm (peneira n°30) e 0,42mm (peneira n°40) foram muito baixos. Duas prováveis razões para esses valores de massa específica abaixo do esperado são a quantidade muito pequena de amostra nestas faixas granulométricas disponível para análise e a composição mineralógica variada, havendo a presença de bioclastos no meio das amostras. Vale ressaltar que os valores obtidos para a massa específica dessas amostras foram compatíveis aos obtidos por Medeiros (2019) em suas amostras.

Também foi realizado um novo ensaio englobando todas as amostras utilizando apenas os grãos com diâmetro menor que 0,074mm, pois nessa faixa onde há a concentração dos minerais pesados sendo possível observar a mudança na coloração do concentrado para uma cor mais escura. O resultado se mostrou coerente, o resultado foi superior a massa específica do quartzo, justamente pela presença de minerais pesados detríticos em relação aos leves.

Em relação a análise e caracterização dos concentrados de minerais pesados foram identificados 6 minerais distintos, são eles: magnetita, granada, zircão, rutilo, anfibólio e cianita. No geral, os minerais possuem grau de arredondamento variando de subarredondados a arredondados, além de grande partes dos cristais possuírem arestas desgastadas, deixando claro o processo de retrabalhamento por ação do vento e por ação das ondas. Vale ressaltar que os cristais de zircão e rutilo são os minerais que estão com sua forma mais preservada, indicando uma menor susceptibilidade a alteração.

Os grãos de zircão foram encontrados em todas as amperagens utilizadas, provavelmente isso ocorre devido à presença desse mineral em quase todas as rochas fontes ao redor da área. Já a granada que está presente em abundância pode ser explicada pela localização da duna, já que ela está situada no Domínio Tectônico Cabo Frio, onde afloram rochas do embasamento como os paragneisses félsicos paleoproterozoicos ricos em granada.

Os grãos de anfibólio identificados na fração de 0,5A indica uma área fonte próxima ao local da duna, visto que esse tipo de mineral é pouco resistente aos processos intempéricos e erosivos. Uma possível origem desses grãos seriam os ortoanfibiólitos do embasamento que afloram a próximo das Dunas do Perú segundo o mapa de SCHMITT *et al.* 2016

Os cristais de cianita identificados na fração não atraível podem ter sua origem associada as unidades supracrustais da Unidade Búzios, onde estão presentes rochas granatíferas ricas em cianita e silimanita sendo denominadas de cianita-silimanita-granada-biotita gnaiss, cujos afloramentos estão situados em Búzios, na Praia Brava e na Ilha dos Papagaios na direção de nordeste (NO) e sul (S), segundo o mapa de SCHMITT *et al.* 2016.

Os resultados obtidos nas análises deste trabalho podem ser incorporados em futuros modelos matemáticos para que haja uma compreensão melhor quanto ao

processo de erosão eólica/costeira local, além da previsão da migração da duna com o passar do tempo. Isso é necessário para que haja uma previsibilidade em relação a esses fenômenos, bem como na preservação ambiental do local.

## 9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 6508 – Solo – Grãos de solos que passam na peneira de 4,8 mm – Determinação da massa específica – Método de ensaio**. Rio de Janeiro. 8p. 1984a.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7181 – Solo – análise granulométrica – método de ensaio**. Rio de Janeiro. 13p. 1984b

BARBOSA, D.S. **Sedimentação Orgânica na Lagoa Brejo do Espinho (Cabo Frio, RJ): Composição e Implicações Paleoclimáticas** (Dissertação de Mestrado). Universidade Federal Fluminense, Niterói. 2003.

BROOKFIELD, M. **Aeolian processes and features in cool climates**. Geological Society, London, Special Publications, 354(1), pp.241-258. 2011.

CASTRO, J. W. A. **Dunas costeiras do litoral de Cabo Frio - RJ**. In: Simpósio Nacional de Geomorfologia, 5., São Luis. Resumos. Universidade Federal do Maranhão, 245 - 247 p. 2002.

CASTRO, J.W.A., ÁVILA, C.A. & GONÇALVES, R.A. 2002. **O sistema de dunas oblíquas do litoral de Cabo Frio – RJ**. 4º Simpósio Nacional de Geomorfologia. São Luís - MA, 23 p. (Boletim de resumos).

CASTRO, J.W.A. **Dunas costeiras do Município de Cabo Frio/Estado do Rio de Janeiro-Brasil**. b. Disponível em [http://www.reservataua.com.br/Dunas\\_Costeiras.htm](http://www.reservataua.com.br/Dunas_Costeiras.htm). Acessado em 15/03/2021. 2006.

COE, H.H.G. & CARVALHO, C.N. **Seria Cabo Frio um enclave semiárido no litoral úmido do estado do Rio de Janeiro?** VI Seminário Latino-Americano de Geografia Física. II Seminário Ibero-Americano de Geografia Física. Universidade de Coimbra, Maio de 2010.

DANA, J. D. **Manual de mineralogia**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos. LTC editora. 642p. 1978.

FERNANDEZ, G.B. & ROCHA, T.B. **Barreiras costeiras Holocênicas: geomorfologia e arquitetura deposicional no litoral do Rio de Janeiro**. Revista Brasileira de Geomorfologia 16 (2), 301-319. 2015.

GLOBO. **“Justiça determina paralisação do projeto costa do Perú em em Cabo Frio”** <http://g1.globo.com/rj/regiao-dos-lagos/noticia/2014/12/justica-determina-paralisacao-do-projeto-costa-do-pero-em-cabo-frio.html> (Acessado em 06/04/2021). 2014

HASUI, Y.; CARNEIRO, C.D.R.; ALMEIDA, F.F.M.; BARTORELLI, A. **Geologia do Brasil**. Beca editora. São Paulo. 900p. 2012. HEILBRON, M., MOHRIAK, W.U., VALERIANO, C.M., MILANI, E.J., ALMEIDA,

HEILBRON, M. & MACHADO, N. **Timing of terrane accretion in the Neoproterozoic Eopaleozoic Ribeira belt SE Brazil**. Precambrian Research, v.125, p.87–112. 2003.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Panorama: Cabo Frio, RJ. 2019**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rj/cabo-frio/panorama>. Acessado 28 jun.2021.

MANSUR, Kátia; GUEDES, Eliane; ALVES, Maria da Glória; NASCIMENTO, Vitor; PRESSI, Leonardo Frederico; COSTA JR, Nilton; PESSANHA, Alvaro; NASCIMENTO,

Lucia Helena; VASCONCELOS, Gisele **Geoparque Costões e Lagunas do Estado do Rio de Janeiro – Proposta**. CPRM – Serviço Geológico do Brasil. 2012.

MEDEIROS, P.H.C. **Modelagem migratória em escala reduzida aplicada à geoconservação de corpos dunares da região do Peró, município de Cabo Frio/RJ**. Dissertação de Mestrado. Departamento de Geologia-IGEO/UFRJ, 2019.

RANGEL, F.E., CASTRO, J.W.A. **Soterramento da estrada do Guriri na praia do Peró Cabo Frio/RJ, associado a dunas escalonares (Climbing Dunes)** In: Congresso da Associação Brasileira do Quaternário – ABEQUA, Guarapari/ES, 10, 2005.

RAMOS, R.R.C., CASSAR, J.C.M., GUSMÃO, L.A.B., 2003. **Modelo evolutivo do campo de dunas do Peró (município de Cabo Frio/RJ) e cálculo de transporte eólico**. In Congresso sobre Planejamento e Gestão das Zonas Costeiras dos Países de Expressão Portuguesa, 2. Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário, 9 e Congresso do Quaternário dos Países de Língua Ibéricas, 2. Recife

SCHMITT, R.S., TROUW, R., SCHMUS, W.R.V., ARMSTRONG, R., STANTON, N.S.G. **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(Suppl 1): 37-66, June 2016.

SCHMITT. R.S.; TROUW, R.A.J.; SCHMUS, W.D.V.; PIMENTEL, M.M. **Late amalgamation in the central part of West Gondwana: new geochronological data and the characterization of a Cambrian collisional orogeny in the Ribeira Belt (SE Brazil)**. Precambrian Research, v.133, p.29–61, 33p. 2004.]

SOUZA, T.C.S., CARVALHO, M.A., DIAS, F.F., BARRETO, C.F., FREITAS, A.S., CASTRO, J.V.A. **Analysis of particulate organic matter in Holocene sediments of coastal plain from Pero Beach, Cabo Frio, Rio de Janeiro, Brazil**. Journal of Sedimentary Environments, 1(2): 249-260. 2016.

SUGUIO, K. **Geologia Sedimentar**. 400p. São Paulo: Blucher, 2003.

SUGUIO, K., ANGULO, R. J., CARVALHO, A. M., CORRÊA, I. C. S., TOMAZELLI, L. J. E VITAL, H. **Paleoníveis do Mar e Paleolinhas de Costa**. In: SUGUIO et al. Quaternário do Brasil. Holos Editora, p.114-129. 2005

TERRY, R. D., CHILINGAR, G. V (1955). **Summary of "Concerning some additional aids in studying sedimentary formations"**. Journal of Sedimentar Petrology, 25(3), 229-234. <https://doi.org/10.1306/74D70466-2B21-11D7-8648000102C1865D>

TOMAZZELLI, L.J. **Contribuição ao estudo dos sistemas deposicionais holocênicos do nordeste da província costeira do Rio Grande do Sul, com ênfase no sistema eólico**. 270f. 1990. Tese (Doutoramento em Geociências) Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre/RS. 1990.

TROUW, R.A.J., HEILBRON, M., RIBEIRO A., PACIULLO, F., VALERIANO, C., ALMEIDA, J.C.H., TUPINAMBÁ, M., ANDREIS, R.R. **The central segment of the Ribeira belt**. In: Cordani U.G., Milani E.J., Thomaz-Filho A., Campos D.A. (eds.). Tectonic Evolution of South America. 31st International Geological Congress, Rio de Janeiro, Brazil, pp. 287-310. 2000.

TUPINAMBÁ, M., HEILBRON, M., DUARTE, B.P., NOGUEIRA, J.R., VALLADARES, C., ALMEIDA, J., SILVA, L.G.E., MEDEIROS, S.R., ALMEIDA, C.G., MIRANDA, A., RAGATKY, C.D., MENDES, J., LUDKA, I. **Geologia da Faixa Ribeira Setentrional: Estado da Arte e Conexões com a Faixa Araçuaí**. Geonomos 15(1):67-79, 2007.