



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

BRUNA PIRES DOS SANTOS

ANÁLISE DOS ÍNDICES DE VULNERABILIDADE COSTEIRA - IVC NO LITORAL DO  
MUNICÍPIO DE MARICÁ - ESTADO DO RIO DE JANEIRO.

Rio de Janeiro,  
2023

Bruna Pires dos Santos

ANÁLISE DOS ÍNDICES DE VULNERABILIDADE COSTEIRA - IVC NO LITORAL DO  
MUNICÍPIO DE MARICÁ - ESTADO DO RIO DE JANEIRO

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 Geóloga.

Orientador: Prof. Titular Dr. João Wagner  
Alencar Castro (UFRJ)

Coorientador: BSc. Willian Cruz Gouvea  
Junior (UFRJ)

Rio de Janeiro

2023

## FICHA CATALOGRÁFICA

dos Santos, Bruna Pires  
ANÁLISE DOS ÍNDICES DE VULNERABILIDADE COSTEIRA  
IVC NO LITORAL DO MUNICÍPIO DE MARICÁ - ESTADO DO  
RIO DE JANEIRO / Bruna Pires dos Santos. -- Rio de Janeiro, 2023.  
50 f.

Orientador: João Wagner Alencar Castro.  
Coorientador: Willian Cruz Gouvea Junior.  
Trabalho de conclusão de curso (graduação) -  
Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto  
de Geociências, Bacharel em Geologia, 2023.

1. Recuo de linha de praia. 2. Deposição de Sedimentos. 4. Gerenciamento  
Costeiro. 5. Vulnerabilidade Ambiental. I. Alencar  
Castro, João Wagner, orient. II. Gouvea Junior,  
Willian Cruz, coorientador.

Bruna Pires dos Santos

ANÁLISE DOS ÍNDICES DE VULNERABILIDADE COSTEIRA - IVC NO LITORAL DO  
MUNICÍPIO DE MARICÁ - ESTADO DO RIO DE JANEIRO

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 Geóloga

Aprovada em: 24 de agosto de 2023.

---

Prof. Titular Dr. João Wagner de Alencar Castro  
Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)

---

MSc. Caíque Lima Cabral  
Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)

---

MSc. Daniel Fernandes  
Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)

“Se cheguei até aqui foi porque me apoiei no ombro dos gigantes”

Isaac Newton

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que contribuíram para a realização deste trabalho de conclusão de curso. Toda minha trajetória só teve êxito graças à ajuda e suporte que tive de todos na minha caminhada. Meu muito obrigado.

Destaco agradecimentos especiais para:

O Laboratório de Geologia Costeira, Sedimentologia & Meio Ambiente – LAGECOST, do Departamento de Geologia e Paleontologia do Museu Nacional / UFRJ. Sou eternamente grata por todo apoio e incentivo. Aos meus colegas de laboratório, que contribuíram com essa monografia, João Cypriano e Willian Gouvea, este último responsável por ser meu co-orientador, foi de suma importância para realização deste trabalho, sem o qual seria inviável. Gratidão por todo auxílio e eterna paciência.

A minha família, agradeço imensamente por todo o suporte, minha mãe Genilda Pires, meu pai Cleides dos Santos, minha irmã Gisele Pires e meu cunhado Roberto Braga, por serem minha base e meu alicerce nas horas mais difíceis. Aos melhores amigos(as) de graduação, Raquel Gonçalves, Lino Martins, Agatha Barros, Davi Gabriel, João Neves, Giovanna Novello, Camille Jaqueira, Karen Damiqui, Aisha Persaud, Bruno Marques, Gabrielle Teixeira, Natália Xavier e Andressa Nascimento. Aos amigos de longa data, agradeço especialmente a Jayane Vicente e Rebeca Lima, sem as quais seria impossível ter chegado até aqui.

A minha antiga escola, agradeço a todos os professores e demais profissionais que foram a base para que pudesse conquistar essa jornada, a toda equipe Prosper, obrigada.

Aos professores do Instituto de Geociências, serei eternamente grata, especialmente a professora, Kátia Mansur, André Ribeiro e Atlas Corrêa, os quais muito admiro. E ao meu antigo supervisor do estágio em geologia do MPRJ, Marcelo Santana Teixeira, que sempre acreditou em mim.

Ao meu orientador, Prof. Titular Dr. João Wagner de Alencar Castro, agradeço a oportunidade, confiança e incentivo durante todo período de Iniciação Científica no LAGECOST. Foi uma inspiração como profissional e como pessoa, sigo aprendendo com o senhor. Por fim, a todos que fizeram parte da minha formação, registro minha sincera gratidão.

## RESUMO

SANTOS, B.P. Geologia Costeira: **Análise dos Índices De Vulnerabilidade Costeira - IVC no Litoral do Município de Maricá - Estado do Rio De Janeiro**. Trabalho de Conclusão de Curso – Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2023. 49p.

A erosão costeira é um processo geológico que ocorre ao longo da linha de costa, atingindo promontórios, estuários, deltas, falésias e praias arenosas. As consequências desse fenômeno, em geral, resultam em danos significativos a propriedades públicas e privadas, situadas nas orlas das planícies costeiras. Objetiva-se analisar o comportamento morfodinâmico das variações da linha de praia entre Itaipuaçu - Ponta Negra, município de Maricá, visando identificar áreas submetidas a risco geológico. Como procedimento metodológico, desenvolveu-se análise comparativa de fotografias aéreas e imagens de satélites entre 1976 e 2022. Utilizaram-se ferramentas de geoprocessamento através dos softwares ArcGIS ESRI e o plugin DSAS (*Digital Shoreline Analysis System*) para a interpretação de fotografias áreas de distintas datas de voos referente ao acervo da Força Aérea Brasileira (FAB) fornecida ao DRM (1976), ortofotos do IBGE (2005) e imagens do sensor WPM do satélite CBERS 04A (2022). Em seguida, desenvolveu-se etapas de georreferenciamento das fotografias aéreas do projeto FAB DRM, envolvendo 100 pontos de referência com a imagem base. Através de técnicas de sensoriamento remoto, foi realizada a composição das bandas R(3)-G(2)-B(1) e fusão com a banda pancromática das imagens multiespectrais do sensor WPM do satélite CBERS 04A. O método aplicado considerou projeções de uma possível sobrelevação do nível médio do mar à luz do cenário de mudanças climáticas globais, propostos pelo IPCC (*Intergovernmental Panel of Climate Change*) aplicado ao Índice de Vulnerabilidade Costeira (IVC) do USGS (*United States Geological Survey*). Esse índice classifica o potencial de risco geológico de acordo com seis variáveis físicas e dinâmicas, entre estas: amplitude de maré, altura significativa de ondas, declividade da costa, geomorfologia, taxas de variação da linha de costa e variação do nível do mar. Resultados obtidos sugerem a erosão de 1,78 a 1,37 m/ ano de sedimentos no segmento oeste do arco praial, e no segmento leste de acreção de 0,10 a 0,28 m/ ano durante o período de 46 anos. Notou-se que o arco praial estudado encontra-se submetido a processos de recuo de linha de praia principalmente nas áreas mais urbanizadas e acreção de sedimentos nos segmentos de baixa ocupação. Os critérios do IVC classificam o risco como baixo, moderado, alto e muito alto, logo o presente trabalho é fundamental para a compreensão das áreas vulneráveis as mudanças climáticas globais estabelecido pelo IPCC, assim torna-se possível um melhor gerenciamento costeiro por parte dos gestores e órgãos ambientais.

**Palavras-chave:** Recuo de linha de praia, Vulnerabilidade Costeira, Deposição de Sedimentos por ondas. Gerenciamento Costeiro.

## ABSTRACT

Coastal erosion is a geological process that occurs in the coastline, reaching headlands, estuaries, deltas, cliffs and sandy beaches. The consequences of this phenomenon, in general, result in significant damage to public and private properties, located on the coastal plains. The objective is to analyze the morphodynamic behavior of variations in the beach line between Itaipuaçu - Ponta Negra, municipality of Maricá, to identify areas subject to geological risk. As a methodological procedure, a comparative analysis of aerial photographs and satellite images between 1976 and 2022 was carried out. Geoprocessing tools were used, including ArcGIS ESRI software and the DSAS plugin (Digital Shoreline Analysis System) for the interpretation of photographs areas of different flight dates referring to the Brazilian Air Force (FAB) collection provided to the DRM (1976), IBGE orthophotos (2005) and images from the WPM sensor of the CBERS 04A satellite (2022). Georeferencing steps were developed for the aerial photographs of the FAB DRM project, involving 100 reference points with the base image. Remote sensing techniques in composition of the R(3)-G(2)-B(1) bands was performed and merged with the panchromatic band of the multispectral images of the WPM sensor of the CBERS 04A satellite. The applied method considered projections of a possible mean sea-level rise in the global climate change scenario, proposed by IPCC (Intergovernmental Panel of Climate Change) applied to the Coastal Vulnerability Index (CVI) of the USGS (United States Geological Survey). This index classifies the geological risk potential according to six physical and dynamic variables, including: mean tidal range, mean wave height, coast slope, geomorphology, shoreline range rates and mean sea-level rise. Results suggest erosion of 1.78 to 1.37 m/year of sediments in the west segment of the beach arc, and in the east segment of accretion from 0.10 to 0.28 m/year during the 46-year period. It was noted that the beach arch studied is subject to processes of beach line retreat mainly in the more urbanized areas and sediment accretion in the low occupation segments. The IVC criteria classify the risk as low, moderate, high and very high, so the work is fundamental for understanding the areas vulnerable to global climate change established by the IPCC, thus making it possible for better coastal management by managers and environmental agencies.

**Keywords:** Coastline line retreat. Sediment deposition. Coastal Management. Environmental Vulnerability.



## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Mapa de localização de Maricá .....	4
<b>Figura 2.</b> Mapa da compartimentação do litoral de Maricá, Rio de Janeiro, Brasil ...	5
<b>Figura 3.</b> Fatores que controlam os níveis marinhos e continentais responsáveis pelas mudanças do nível relativo do mar durante o Quaternário.....	8
<b>Figura 4.</b> Curva de variação relativa do nível do mar para o litoral do estado do Rio de Janeiro, sudeste do Brasil. Preto: Curva construída a partir de uma linha de tendência linear definida pela média das idades calibradas em $2 \sigma$ . Vermelha: Curva construída por um polinômio de 4º grau .....	9
<b>Figura 5.</b> Previsão de mudanças por diferentes níveis de aquecimento global .....	10
<b>Figura 6.</b> Tendências relativas na mudança projetada da linha costeira regional (avanço/recuo em relação a 2010). Distribuições de frequência da mudança mediana projetada em (a,c) 2050 e (b,d) 2100 sob (a,b) RCP4.5 e (c,d) RCP8.5 .....	11
<b>Figura 7.</b> Visão panorâmica do promontório da Pedra do Elefante – Maricá.....	13
<b>Figura 8.</b> Fotografia da areia da Praia de Itaipuaçu.....	14
<b>Figura 9.</b> Geomorfologia da Zona Costeira do município de Maricá. Classes geomorfológicas delimitadas em Maricá, baseadas nos parâmetros geomorfológicos do Índice de Vulnerabilidade Costeira proposto por Thieller & Hamar-Klose (1999). .....	15
<b>Figura 10.</b> Dados climatológicos de Maricá.....	16
<b>Figura 11.</b> Desenvolvimento urbano imobiliário de Maricá no contexto regional de 1940 – 2017 .....	18
<b>Figura 12.</b> Série histórica da população residente total de Maricá de 1940-2022 ....	19
<b>Figura 13.</b> Mosaico de imagens históricas de 1988 a 2020 da cidade de Maricá – Rio de Janeiro.....	21
<b>Figura 14.</b> Evolução das taxas de crescimento demográfico .....	22
<b>Figura 15.</b> Situação da urbanização em Maricá nos anos 2000 .....	23
<b>Figura 16.</b> Mosaico de correção geométrica com georreferenciamento em 3rd Order Polynomial ( > 100 pontos) .....	26
<b>Figura 17.</b> Mapa de declividade da Praia de Itaipuaçu a Ponta Negra.....	30
<b>Figura 18.</b> Mapa de Taxa de erosão e/ou acreção da Linha de Costa (DSAS) .....	31
<b>Figura 19.</b> Mapa do Índice de Vulnerabilidade Costeira – IVC da zona costeira de Marica - Rio de Janeiro .....	32

**LISTA DE TABELAS**

<b>Tabela 1.</b> População residente total de Maricá de 1940-2022.....	19
<b>Tabela 2.</b> Impactos das rodovias em áreas urbanas e recomendações .....	24
<b>Tabela 3.</b> Classificação do Índice de Vulnerabilidade Costeira (IVC) conforme USGS ( <i>United States Geological Survey</i> ) utilizando seis variáveis físicas e dinâmicas.....	25
<b>Tabela 4.</b> Declividade da linha de costa para o arco-praial de Maricá.....	29

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AR6 - Sexto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas

DRM - Departamento de Recursos Minerais do Estado do Rio de Janeiro

*DSAS - Digital Shoreline Analysis System*

GEE - Emissão de Gases Efeito Estufa (GEE)

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change

*LRR - Linear Regression Rate*

NMM - Nível Médio do Mar

PDI - Processamento Digital de Imagens

PNMC - Plano Nacional sobre Mudança do Clima

*SSP - Shared Socioeconomic Pathways*

VRNM - Variação Relativa do Nível do Mar

## SUMÁRIO

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
<b>2.</b>	<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>2</b>
<b>2.1</b>	<b>OBJETIVO GERAL.....</b>	<b>2</b>
<b>2.2</b>	<b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....</b>	<b>2</b>
<b>3.</b>	<b>JUSTIFICATIVA .....</b>	<b>3</b>
<b>4.</b>	<b>ÁREA DE ESTUDO .....</b>	<b>4</b>
<b>5.</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....</b>	<b>6</b>
<b>5.1</b>	<b>ZONAS COSTEIRAS E VULNERABILIDADE .....</b>	<b>6</b>
<b>5.2</b>	<b>VARIAÇÃO DO NÍVEL RELATIVO DO MAR (VNRM).....</b>	<b>7</b>
<b>5.3</b>	<b>IPCC - INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE: CENÁRIO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS GLOBAIS E PROJEÇÕES DE AUMENTO NO NÍVEL MÉDIO DO MAR (NMM) .....</b>	<b>9</b>
<b>6.</b>	<b>DIAGNÓSTICO AMBIENTAL.....</b>	<b>12</b>
<b>6.1</b>	<b>FATORES GEOLÓGICOS E GEOMORFOLÓGICOS .....</b>	<b>12</b>
<b>6.2</b>	<b>FATORES CLIMÁTICOS .....</b>	<b>15</b>
<b>6.3</b>	<b>FATORES OCEANOGRÁFICOS.....</b>	<b>16</b>
<b>6.4</b>	<b>HISTÓRICO DA OCUPAÇÃO URBANA NO MUNICÍPIO.....</b>	<b>17</b>
<b>7.</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODO .....</b>	<b>24</b>
<b>7.2</b>	<b>VARIÁVEIS FÍSICAS E DINÂMICAS.....</b>	<b>27</b>
<b>7.3</b>	<b>CÁLCULO DO ÍNDICE DE VULNERABILIDADE COSTEIRA (IVC).....</b>	<b>28</b>
<b>8.</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>29</b>
<b>8.1</b>	<b>VARIÁVEIS FÍSICAS .....</b>	<b>29</b>
<b>8.2</b>	<b>VARIÁVEIS DINÂMICAS .....</b>	<b>31</b>
<b>9.</b>	<b>DISCUSSÕES .....</b>	<b>33</b>
<b>10.</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>34</b>
<b>11.</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>36</b>

## 1. INTRODUÇÃO

O Índice de Vulnerabilidade Costeira (IVC) é uma metodologia utilizada através do cálculo de uma fórmula analítica obtida pela média aritmética de dois grupos de variáveis. Essas variáveis são classificadas como variáveis físicas e dinâmicas. Sendo as variáveis físicas consideradas pelo IVC, a geomorfologia, declividade de praia e taxas de erosão e/ou acreção da linha de costa. No aspecto das variáveis dinâmicas são consideradas a amplitude de maré, altura significativa de onda (Hs) e, por último, a variação relativa do nível do mar (VRNM) (GORNITZ et al., 1991, 1994; THIELER & HAMMAR-KLOSE, 1999; GOUVEA JUNIOR, 2022).

Com o intuito de classificar as possíveis áreas de risco geológico, utiliza-se as técnicas de SIGs para analisar as variáveis consideradas pelo IVC e, assim, criar um modelo de vulnerabilidade para a região em questão. Para fundamentar essas análises, foram utilizadas as projeções de sobrelevação do nível médio do mar do *Intergovernmental Panel of Climate Change* (IPCC), estimada em 8,0 mm/ano até 2100. Quanto aos mapeamentos de vulnerabilidades à elevação do nível do mar, alguns autores já abordaram em seus trabalhos como forma de gestão costeira para áreas susceptíveis a desastres naturais. O levantamento bibliográfico desses autores é descrito no artigo de Santos et. al., (2015).

De acordo com Alcoforado (2017) e Fernandes e Castro (2020), as zonas costeiras podem ser caracterizadas pela intensa ação da dinâmica do transporte de sedimentos induzida por ondas e ventos. Essa dinâmica é controlada pela interação da atmosfera, litosfera, biosfera e hidrosfera, que são fundamentais para a manutenção e equilíbrio ecossistêmico. Um fator nessas regiões que deve ser considerado é o uso e ocupação do solo, tendo em vista que, são áreas de interesse econômico e de proteção dos recursos naturais.

Tais fatores podem alterar os processos da dinâmica costeira e provocar desastres ao meio ambiente. Há assim, uma preocupação com possíveis perdas (erosão) dos terrenos costeiros e/ou acréscimo de sedimentos que podem invadir orlas das praias. O aumento da ocupação na região litorânea acarreta um aumento da exposição aos riscos oriundos de eventos de tempestades, erosão costeira e inundações marinhas (PENDLETON et al., 2010; ALCOFORADO, 2017; GOUVEA JUNIOR, 2022).

A erosão costeira é um processo geológico que sucede ao longo da linha de costa, atingindo assim estuários, promontórios, deltas, costões rochosos, praias arenosas e falésias (SOUZA et al., 2005; SANTOS, 2020). As estruturas de engenharia criadas na região costeira

e o avanço do processo de urbanização associados aos aspectos naturais, vide as ações das ondas de tempestade, aceleram o processo de erosão das faixas de praia (CASTRO, 1996). Assim, é necessário frisar que o Estado do Rio de Janeiro tem sua posição e alinhamento do litoral voltado para o quadrante sul, tornando-o mais exposto às fortes frentes frias e ondulações de tempestade que exercem uma significativa influencia no processo mencionado (COUTINHO, 2007).

Os mecanismos de erosão costeira e variáveis descritas pelo IVC poderá apontar áreas submetidas a riscos geológicos decorrentes de fenômenos e desequilíbrios impostos por ondas, marés e correntes potencializados pela ação humana. Assim, a aplicação do método IVC poderá ser uma ferramenta de tomadas de decisões por parte de gestores envolvidos com o planejamento ambiental. Diante desse cenário, pode-se destacar a pertinência do método para as regiões litorâneas brasileiras que são representadas por uma ampla diversidade fisiográfica atingindo mais de 8.500 km de extensão.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GERAL**

Objetivas dimensionar qualitativamente as condições de vulnerabilidade geológica da linha de costa do município de Maricá – Rio de Janeiro, conforme projeções de sobrelevação do nível médio do mar prevista pelo IPPC (2019). Será aqui utilizado o Índice de Vulnerabilidade Costeira - IVC, criado pelo USGS - *United States Geological Survey*, para classificar áreas de potencial risco geológico.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- a) Avaliar as condições de vulnerabilidade do litoral de Maricá através de variáveis físicas e dinâmicas;
- b) Identificar áreas de maior suscetibilidade à erosão e/ou acreção de sedimentos, através de imagens de alta resolução espacial;
- c) Aplicar o Índice de Vulnerabilidade Costeira (IVC – USGS) na área investigada, conforme projeções de sobrelevação do Nível Médio do Mar - NMM até 2100 (IPCC, 2022).

### 3. JUSTIFICATIVA

A utilização do método Índice de Vulnerabilidade Costeira - IVC em estudos sobre o comportamento da linha de costa do município de Maricá, justifica-se pela intensa atividade antrópica e obras de engenharia desse segmento litorâneo, submetido a processos de recuo de linha de costa decorrentes da ação de ondas de tempestades potencializadas pela ação humana (FERNANDES E CASTRO, 2020). Assim, pretende-se avaliar a vulnerabilidade costeira deste município, identificando áreas de risco geológico a partir de parâmetros físicos e dinâmicos conforme proposto do Serviço Geológico dos Estados Unidos.

Para este trabalho, utilizou-se técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento em ambiente Sistema de Informação Geográfica (SIG) visando à elaboração de mapas temáticos, a fim de propor um modelo do índice de vulnerabilidade da região. O trabalho justifica-se pois:

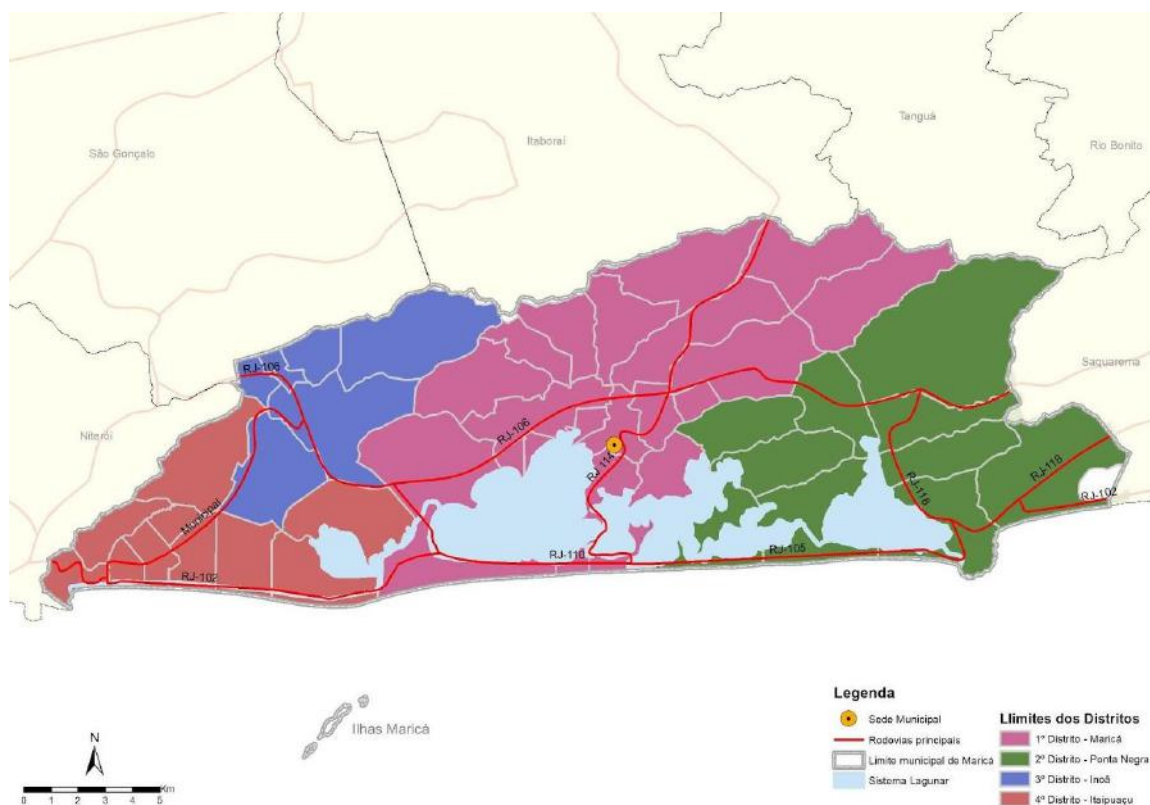
- Registra-se o processo de erosão costeira em diversos setores do arco praial do município de Maricá-RJ;
- A intensa urbanização durante as últimas décadas e atuais empreendimentos / obras costeiras;
- Impactos socioambientais na região: turismo, pesca, lazer, economia, etc;
- Cenários de variabilidade climática apontado pelo IPCC, que alertam sobre a vulnerabilidade das regiões costeiras diante da expectativa de aumento do nível do mar.

Por fim, justifica-se também pela aplicação do método a ser utilizado denominado de Índice de Vulnerabilidade Costeira - IVC, permitindo identificar cenários de suscetibilidade das zonas costeiras conforme projeções do sobrelevação do NMM fornecido pelo IPCC. O IVC torna-se um instrumento essencial para o gerenciamento e planejamento costeiro, considerando os cenários de aumento do nível do mar estabelecidos pelo IPCC. A metodologia a ser utilizada é fundamental para fornecer suporte para tomada de decisões por parte de órgãos públicos e empresas privadas.

#### 4. ÁREA DE ESTUDO

O município faz parte da região metropolitana do Rio de Janeiro, fazendo limite com os municípios de Itaboraí, São Gonçalo, Rio Bonito, Niterói, Saquarema e Tanguá (Figura 1). O território estende-se por cerca de 361 km<sup>2</sup> e é dividido em quatro distritos: Maricá (sede), Ponta Negra, Inoã e Itaipuaçu. De acordo com o IBGE (2022), a população é de 223.938 habitantes, a densidade demográfica é de 444,6 habitantes/ km<sup>2</sup> e é situado a 13 metros de altitude, tem as coordenadas geográficas: Latitude: 22° 55' 9" Sul, Longitude: 42° 49' 6" Oeste. O seu território tem cerca de 361,53 km<sup>2</sup>, dividido em quatro distritos, sendo eles: Maricá (sede), Ponta Negra, Inoã e Itaipuaçu (IBGE, 2021). O acesso para o município pode ser feito tanto pela RJ-106, que liga o município às cidades de Niterói, São Gonçalo e Saquarema, quanto pela RJ-114, que faz a conexão com o município de Itaboraí e as rodovias RJ-104 e BR-101.

**Figura 1.** Mapa de localização de Maricá

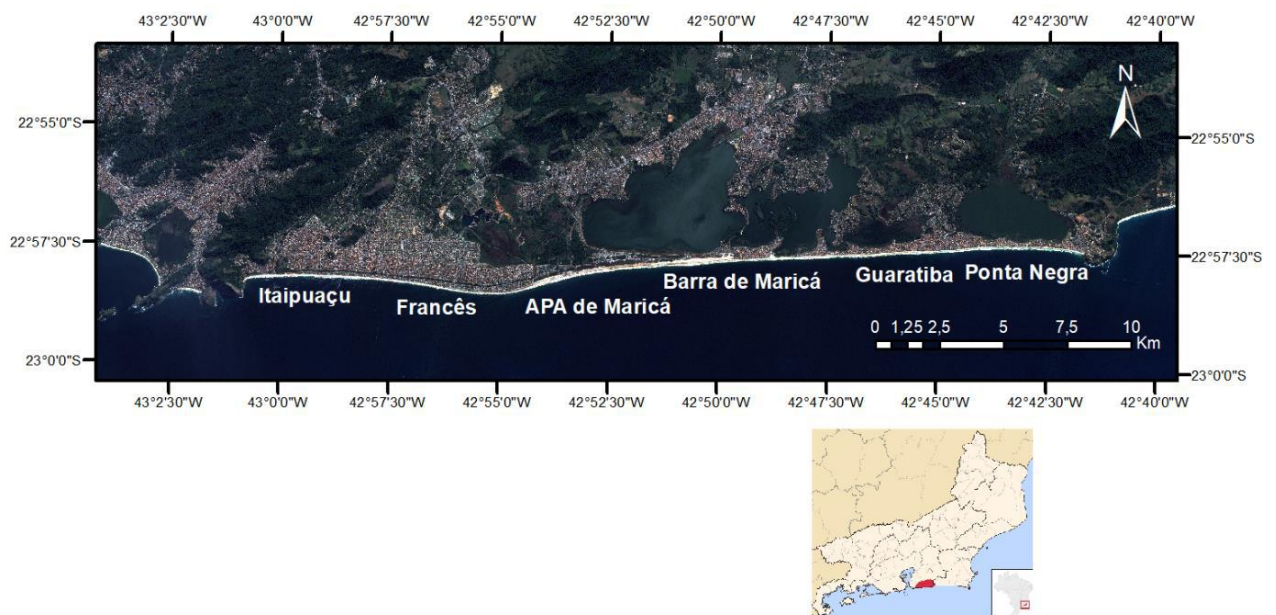


**Fonte:** Instituto Virtual Internacional de Mudanças Globais (2022)



O município de Maricá é conhecido pela sua cultura, história, pelas propriedades rurais como chácaras e grandes fazendas, além das atividades desenvolvidas: agropastoris, indústrias de pequeno porte, exploração de bens minerais, construção civil, artesanato, pesca e turismo. A cidade é considerada um paraíso natural, com 46 km de praias, seis lagoas, canais, ilhas e rios, cachoeiras, trilhas. Outra relevante característica do município são suas praias (Jaconé, Ponta Negra, Barra de Maricá, do Francês, Itaipuaçu dentre outras), pode-se destacar também restinga (PREFEITURA DE MARICÁ). O arco praial de Maricá é compartimentado nas praias de: Itaipuaçu, Francês, APA de Maricá, Barra de Maricá, Guaratiba e Ponta Negra (Figura 2). A área de estudo caracteriza-se por uma linha de costa relativamente retilínea interrompida por uma pequena protuberância associada as ilhas de Maricá. Posiciona-se entre a praia do Recanto (Itaipuaçu) à praia de Ponta Negra.

**Figura 2.** Mapa da compartimentação do litoral de Maricá, Rio de Janeiro, Brasil



## 5. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 5.1 ZONAS COSTEIRAS E VULNERABILIDADE

As zonas costeiras são responsáveis por diversas funções ecológicas, porém são frágeis e dinâmicas, sendo influenciadas por processos marinhos e terrestres (BIRD, 2008; OLIVEIRA, 2017). A expansão da ocupação urbana na área investigada é resultado de uma ocupação que visa a beleza cênica e turística das casas de praia. Isso interfere no equilíbrio ecossistêmico e dinâmico das zonas costeiras, evidenciando assim, uma importante questão quanto ao planejamento e ao gerenciamento costeiro.

No território brasileiro, a zona costeira é uma região privilegiada quanto aos recursos naturais, econômicos e humanos, sendo considerada como um patrimônio nacional. Diante do exposto, as consequências de um crescimento demográfico acelerado e sem planejamento nas regiões costeiras, expõe as populações e o ecossistemas a riscos naturais ocasionados pelos processos de ondas de tempestade, erosão costeira, migração de dunas e inundações (LINS-DE-BARROS, 2010). Segundo Souza (2005), o desequilíbrio no balanço sedimentar está relacionado às atividades antrópicas e para Lins-de-Barros (2005), não somente os processos físicos e dinâmicos influenciam, mas também, o aspecto socioeconômico, o que remete para à vulnerabilidade costeira.

A vulnerabilidade no sistema costeiro para Brunn (1983) e Dal Cin & Simeoni (1994), é suscetibilidade ou incapacidade de lidar com efeitos adversos de potencial destrutivo. O conceito de risco apontado como suporte à gestão costeira, Modarres (2006), descreve como uma medida do potencial de perda em função de processos naturais ou antrópicos, que influenciam diretamente a expectativa de vidas perdidas, danos de infraestrutura ou prejuízos econômicos.

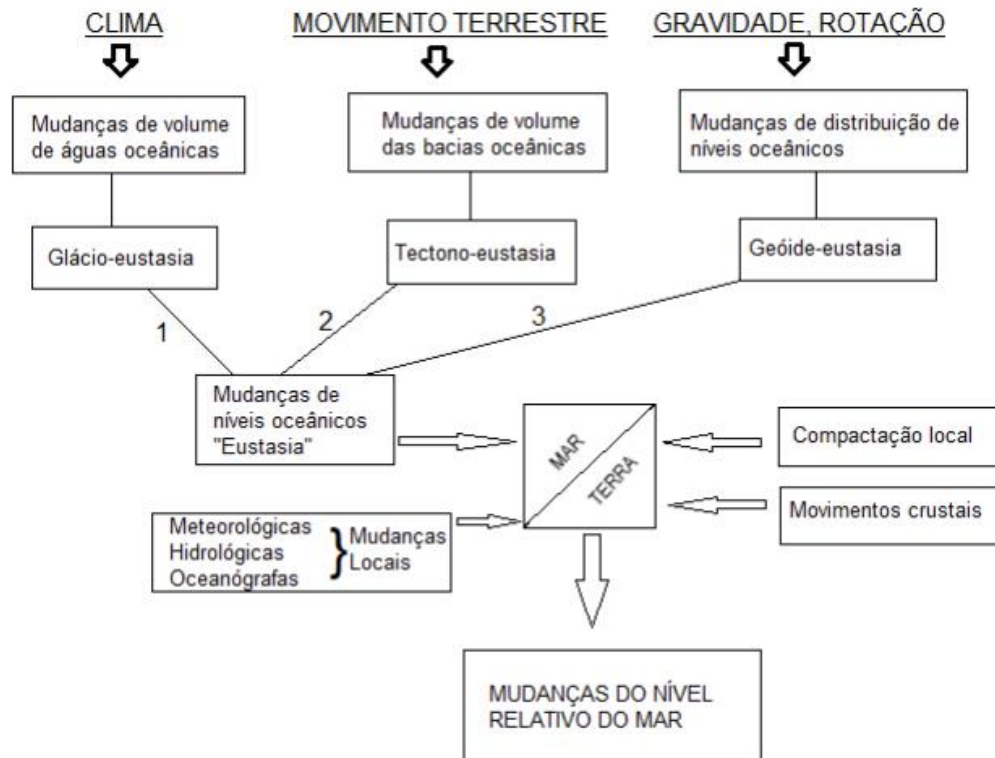
Na atualidade, tem-se utilizado os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e o uso de geotecnologias como fonte de informações para avaliar a vulnerabilidade costeira (Gouveia Junior, Fernandes e Castro, 2022). Pode-se destacar, como publicação internacional para gerenciamento costeiro o trabalho apresentado pelo USGS (United States Geological Survey) e outros autores (GORNITZ et al., 1991, 1994; THIELER & HAMMAR-KLOSE, 1999; PENDLETON et al., 2004, 2010), utilizando o Índice de Vulnerabilidade Costeira (IVC) para classificar áreas de risco geológico em função de variáveis físicas e ambientais.

O marco para gestão costeira do território brasileiro considerando as projeções do *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) é o Plano Nacional sobre Mudança do Clima (PNMC) estruturado em 2008, descrito na lei de nº 12.187/2009 no Brasil. Ele prevê garantir uma redução da vulnerabilidade nacional à mudança do clima e realizar uma gestão de prevenção ao risco, considerando como base as projeções de sobrelevação do Nível Médio do Mar (NMM) pelo IPCC (GOUVEA JUNIOR, 2022). Portanto, é necessário um maior monitoramento, gerenciamento e planejamento da gestão costeira, que através da implementação de metodologias como o Índice de Vulnerabilidade Costeira (IVC) é possível mapear as regiões de maior suscetibilidade aos desastres naturais, como a erosão e inundação costeira, através da caracterização de variáveis físicas e dinâmicas conforme diferentes cenários de elevação do NMM.

## **5.2 VARIAÇÃO DO NÍVEL RELATIVO DO MAR (VNRM)**

As variações dos níveis do mar são consequências diretas da flutuação dos volumes das bacias oceânicas e deformação das superfícies oceânicas, afetados por processos de tectono-eustasia, glacio-eustasia e geóide-eustasia (SOUZA et al., 2005; GOUVEA JUNIOR, 2022). As paleolinhas de costa de regiões consideradas estáveis eram interpretadas como registros de variações do nível oceânico global. O objetivo do Programa Internacional de Correlação Geológica (de 1974 a 1982) era determinar uma curva eustática global para o Holoceno. Assim, os primeiros trabalhos apresentados sobre as curvas de VNRM através de dados paleoclimáticos postulavam padrões que ocorreriam de maneira semelhante em todos os continentes (FAIRBRIDGE, 1961; SUGUIO et al., 1985) (Figura 3).

**Figura 3.** Fatores que controlam os níveis marinhos e continentais responsáveis pelas mudanças do nível relativo do mar durante o Quaternário

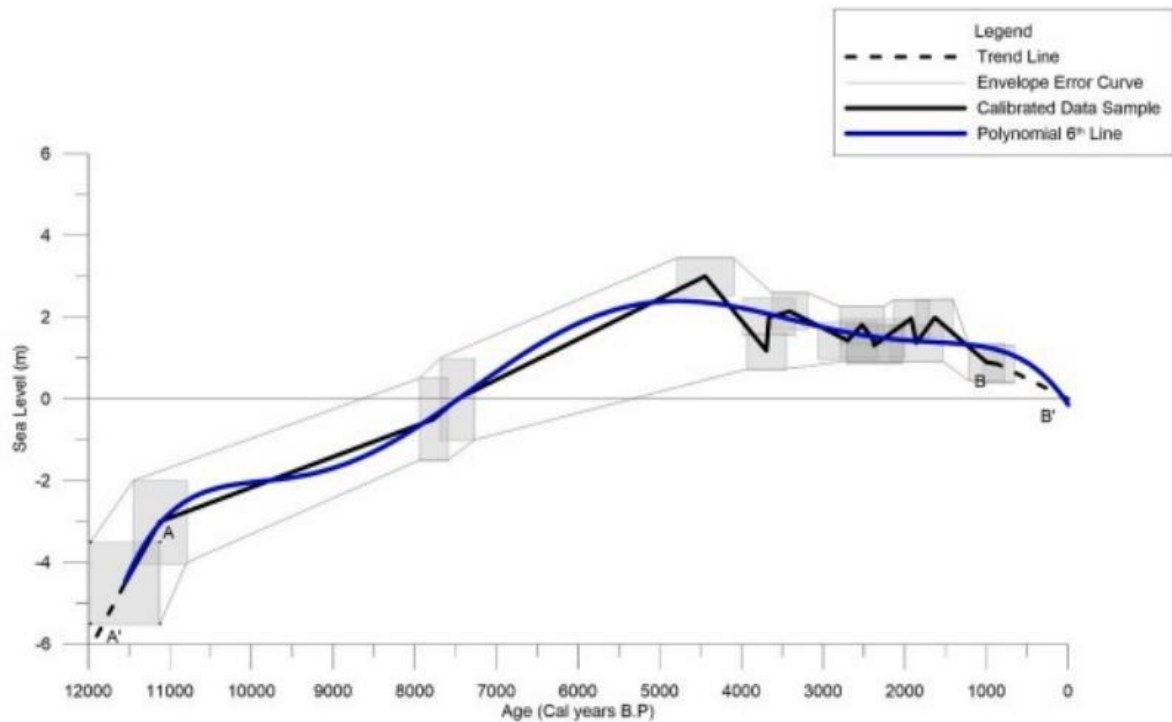


Fonte: MORNER (1980; 2000).

No entanto, com o passar do tempo e com os trabalhos desenvolvidos, observou-se que era inviável definir uma curva única e geral para as flutuações do nível do mar. É necessário que sejam criadas curvas regionais e até locais, a fim de garantir um modelo mais adequados para cada região estudada.

Em Suguio et al., (1985), e Martin, Dominguez e Bittencourt (2003), considerou-se a existência das duas oscilações de alta frequência, já Castro et al., (2014; 2021), conceituou a curva de VNRM através de indicadores biológicos e geológicos no Estado do Rio de Janeiro. A curva do nível médio do mar no Rio de Janeiro durante o Holoceno (12.000 anos A.P.) foi embasada por métodos de datação mais fidedigna através de registros geoindicadores e bioindicadores como: beachrocks, vermetídeos e cracas (Figura 4).

**Figura 4.** Curva de variação relativa do nível do mar para o litoral do estado do Rio de Janeiro, sudeste do Brasil. Preto: Curva construída a partir de uma linha de tendência linear definida pela média das idades calibradas em  $2\sigma$ . Vermelha: Curva construída por um polinômio de 4º grau



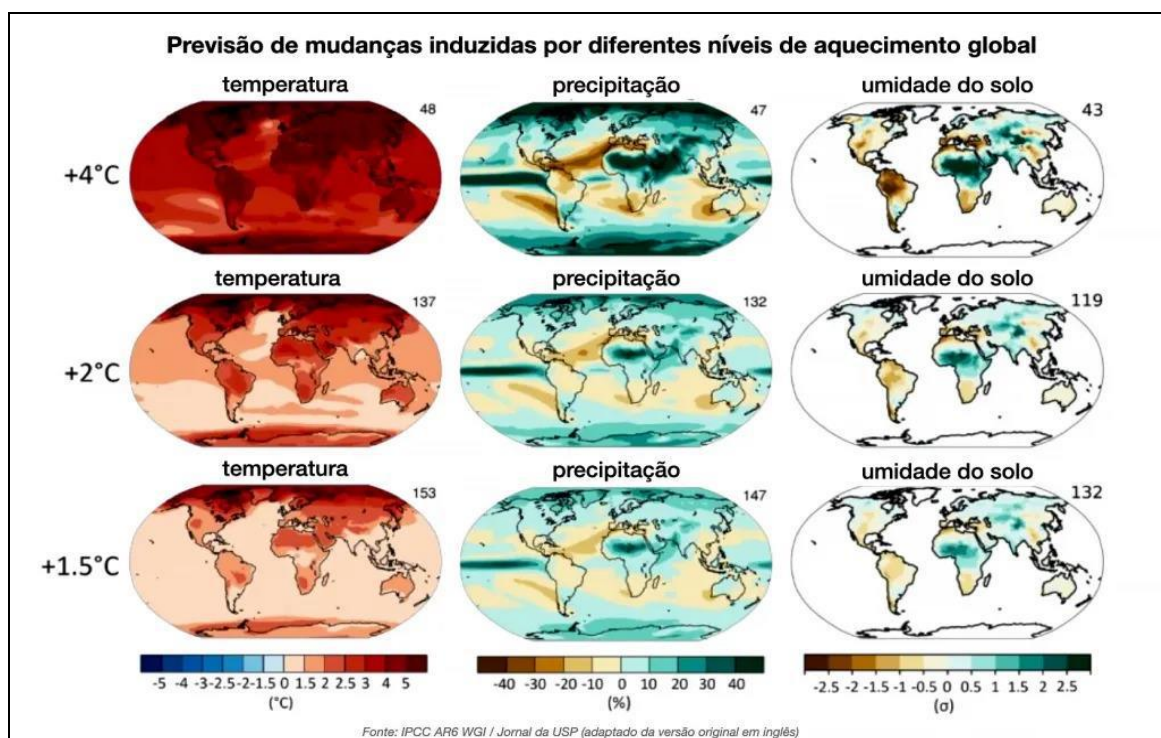
Fonte: CASTRO et al., (2021).

### 5.3 IPCC - INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE: CENÁRIO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS GLOBAIS E PROJEÇÕES DE AUMENTO NO NÍVEL MÉDIO DO MAR (NMM)

O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) é uma organização científico-política fundada no ano de 1988 pela iniciativa do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente e da Organização Meteorológica Mundial. De acordo com o IPCC (1992), a intensificação das mudanças climáticas está associada à emissão de gases efeito estufa (GEE). Estes gases destroem a camada de ozônio transformando o planeta Terra mais quente, corroborando assim, para o aquecimento global. O resultado do planeta mais quente, é o derretimento das geleiras e, assim, provocando o aumento do nível relativo do mar (NERI, 2022). Segundo o IPCC (2019), os ecossistemas costeiros vegetados protegem a costa de tempestades e erosão e auxiliam a amortecer os impactos do aumento do nível do mar. Constatou-se que quase 50% das áreas alagadas costeiras foram perdidas nos últimos 100 anos, ocasionado pelos efeitos combinados das pressões humanas localizadas, aumento do nível do

mar, aquecimento e eventos climáticos extremos. Tal fato, traz à tona a importância da preservação das áreas vegetadas da região de Maricá como a APA de Maricá. O aumento da intrusão de água do mar nos estuários devido ao aumento do nível do mar levou à redistribuição a montante de espécies marinhas. Além disso, provocou uma redução de habitats adequados para as comunidades estuarinas. O trabalho “Sumário para Formuladores de Políticas” do IPCC, revela que desde 1970 houve um aumento da carga de nutrientes e matéria orgânica nos estuários. Isso justifica-se pelo intenso desenvolvimento humano e pelas cargas fluviais, o que leva à expansão de áreas com pouco oxigênio (IPCC, 2019). As projeções modeladas de elevação média global do nível do mar (relativos a 1986-2005) apontam uma variação indicativa de 0,26 a 0,77 m até 2100 para o aquecimento global de 1,5°C, cerca de 0,1 m (0,04 - 0,16 m) menor do que para um aquecimento global de 2°C (Figura 5). Portanto, uma redução de 0,1m na elevação global do nível do mar implica que até 10 milhões de pessoas estarão menos expostas aos riscos associados, com base na população de 2010 e assumindo nenhuma adaptação.

**Figura 5.** Previsão de mudanças por diferentes níveis de aquecimento global



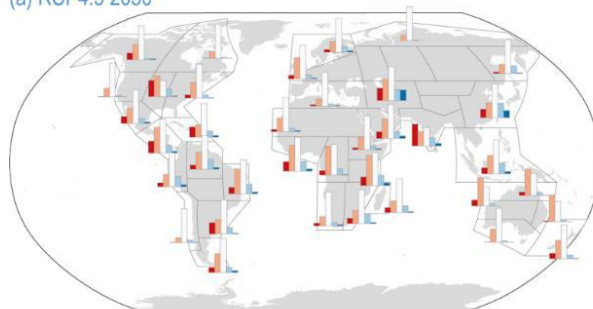
**Fonte:** Adaptado de IPCC AR6 WGI/ Jornal da USP.

Algumas projeções sob baixas emissões mostram que o aumento do nível do mar continua à medida que o zero líquido se aproxima a uma taxa comparável à de hoje (3 – 8 mm por ano em 2100 versus 3 – 4 mm por ano em 2015), enquanto outros mostram aceleração substancial para mais de cinco vezes a taxa atual por 2100, especialmente se as emissões continuarem altas e os processos que aceleram o recuo do manto de gelo antártico ocorrem amplamente (IPCC, 2022). As projeções até 2100 levam em conta a dinâmica da linha costeira de longo prazo e o aumento do nível do mar e não assumem nenhum impedimento à transgressão interior das praias arenosas. Os valores para regiões de referência estabelecidas no WGI AR6 Atlas foram calculados como médias ponderadas por área a partir de dados originais em nível de país (Figura 6).

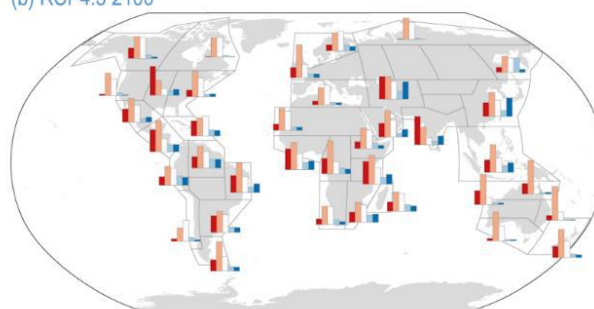
**Figura 6.** Tendências relativas na mudança projetada da linha costeira regional (avanço/recuo em relação a 2010). Distribuições de frequência da mudança mediana projetada em (a,c) 2050 e (b,d) 2100 sob (a,b) RCP4.5 e (c,d) RCP8.5

**Relative trends in projected regional shoreline change (advance/retreat relative to 2010)**

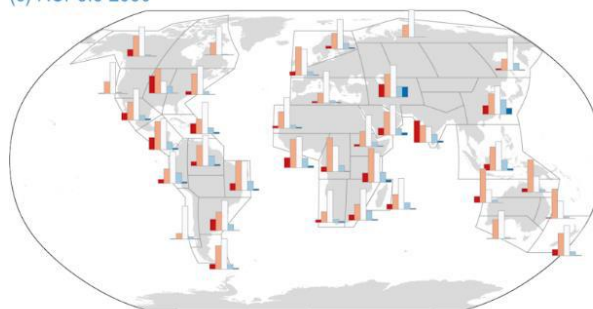
(a) RCP4.5 2050



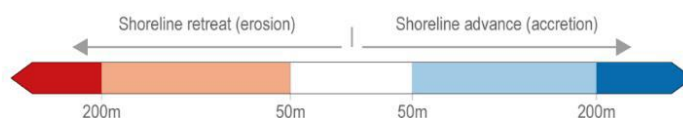
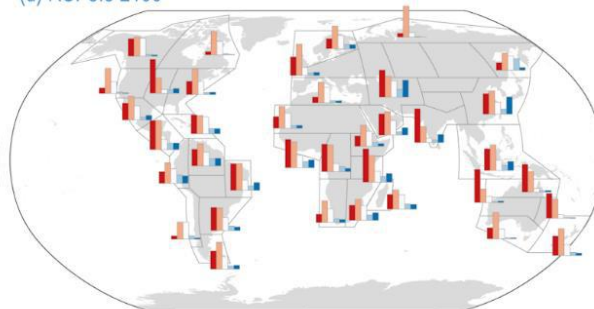
(b) RCP4.5 2100



(c) RCP8.5 2050



(d) RCP8.5 2100



**Fonte:** IPCC (2022).

O Sexto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (AR6) de 2022, o relatório do Grupo de Trabalho III (AR6 WGIII) é a análise científica mais abrangente sobre como pode-se mitigar as mudanças climáticas. Considera-se

neste trabalho a projeção de 8 mm/ano para a sobrelevação do NMM até 2100, sendo apresentada no Relatório Especial do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas das Nações Unidas sobre o Oceano e a Criosfera em um Clima em Mudança (SROCC).

## **6. DIAGNÓSTICO AMBIENTAL**

### **6.1 FATORES GEOLÓGICOS E GEMORFOLÓGICOS**

Segundo Osilieri (2016), os domínios geológicos predominantes são rochas cristalinas e cobertura sedimentar cenozóica. As rochas cristalinas do Paleoproterozóico e cambrianas determinadas por promontórios de ortognaisses félsicos, ortoanfibolito e metassedimentos intercalados com anfibólitos (SANTOS, 2020). A cobertura cenozóica são de origem continental (Grupo Barreiras) e sedimentos costeiros/marinhos formados por praias, deltas, estuários, cordões litorâneos, dunas, lagunas, lagoas, *beachrocks* e pântanos (CASTRO et al., 2014).

Maricá é caracterizada por relevo de cordões litorâneos, lagunas, praias arenosas circundadas por rochas do embasamento cristalino. Para Castro et al., (2021), a paisagem atual foi controlada pelas variações do nível médio do mar (VRMM) através de eventos transgressivos e regressivos. No extremo oeste na praia do Recanto, Itaipuaçu, encontra-se o Granito Cassorotiba na Pedra do Elefante (Figura 7). Sendo formado durante a granitogênese cambriana associada ao magmatismo pós-tectônico do orógeno brasileiro (SILVA et al., 2001; OSILIERI, 2020). Em Silva (2011), foi realizado um estudo a fim de compreender a evolução geológica da área e identificar as sequências estratigráficas do litoral de Maricá através de dados de GPR (*Ground Penetrating Radar*).



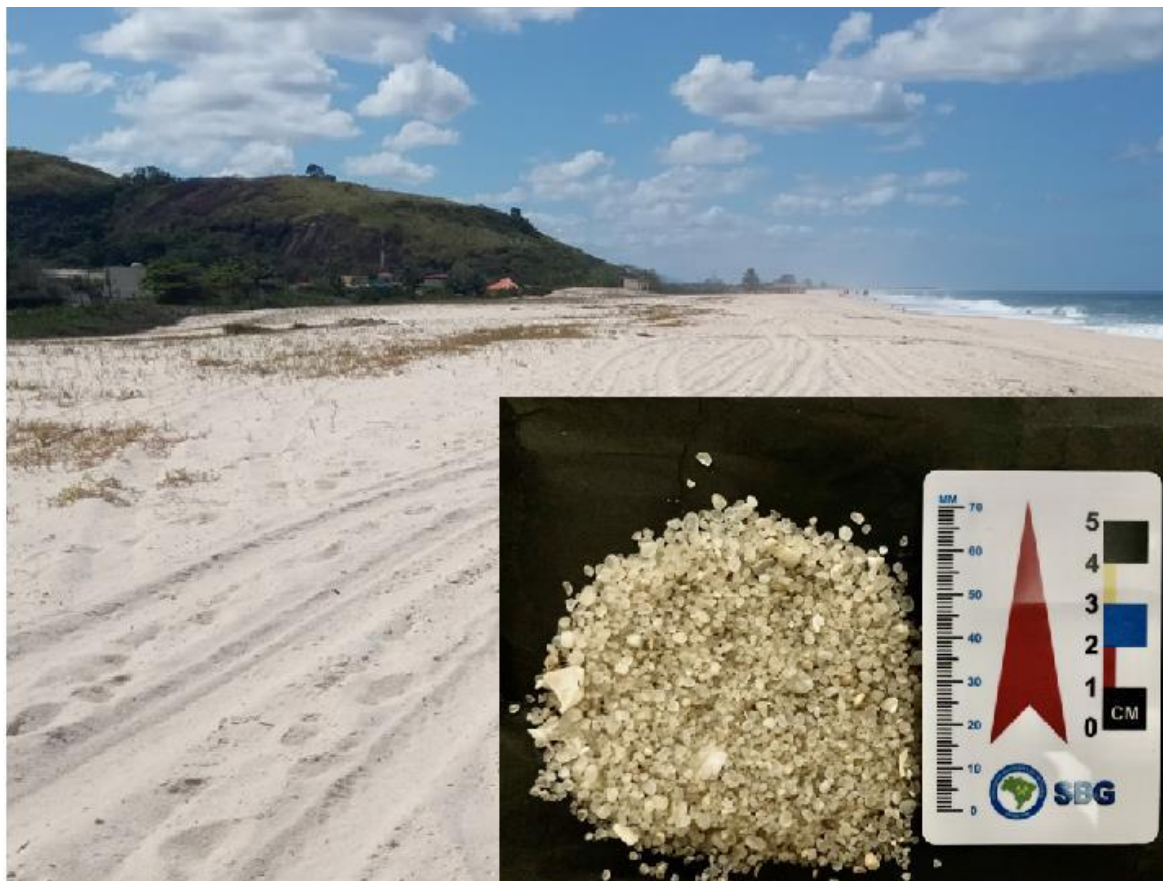
**Figura 7.** Visão panorâmica do promontório da Pedra do Elefante – Maricá



**Fonte:** Autoria própria. Data: 28/08/2022.

No Litoral da RLF registra-se a ocorrência de indicadores de variações do nível relativo do mar, entre estes, os *beachrocks* da praia de Jaconé constituídos por depósitos sedimentares de praia cimentados pela precipitação do carbonato de cálcio, litificados na zona intermarés (Malta et al, 2021). Importante ressaltar que as praias da região apresentam grande variação de granulometria com presença de areias muito grossas a oeste na Praia do Recanto e em Itaipuaçu, com sedimentos de tamanho grânulo (Figura 8). Há uma diminuição gradativa em direção à Ponta Negra onde encontram-se areias de granulometria média (MUEHE 1979; CRESPO, 2023).

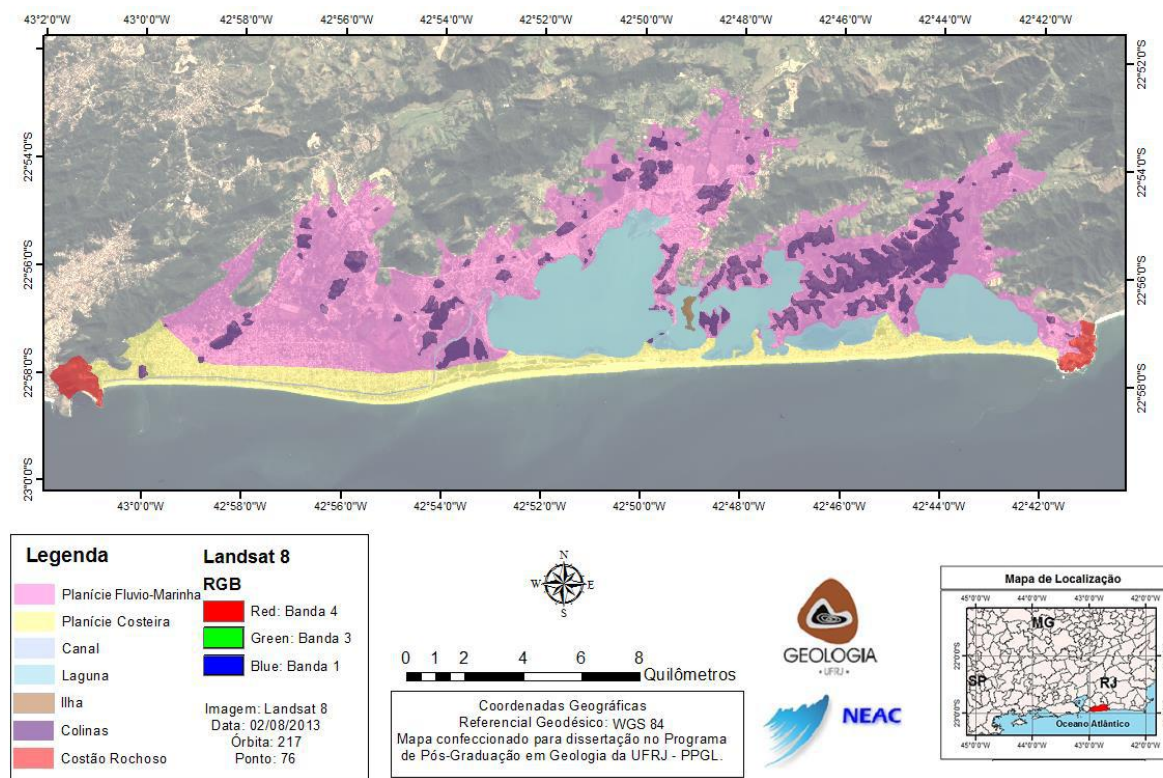
**Figura 8.** Fotografia da areia da Praia de Itaipuaçu



**Fonte:** Autoria própria. Data: 28/08/2022.

No quesito geomorfológico, as alterações fisiográficas nas zonas costeiras são, a priori, consequência das forçantes oceanográficas e meteorológicas, traduzidas em ondas de *swell* e de *sea*, e, posteriormente a capacidade das praias absorverem e dissiparem esta energia (GOUVEA JUNIOR, 2022). A costa do município de Maricá - RJ caracteriza-se por um sistema laguna-barreira submetido a ação de ondas de tempestade provenientes do quadrante sul – sudoeste, na qual registra-se forte pressão antrópica sobre esse ambiente de média a alta vulnerabilidade. A geomorfologia e amplitude de maré influenciam consideravelmente nos impactos ambientais na orla costeira, principalmente na implantação de grandes projetos de engenharia, entre estes, construção de guia corrente, arruamentos e construção de residências (Figura 9).

**Figura 9.** Geomorfologia da Zona Costeira do município de Maricá. Classes geomorfológicas delimitadas em Maricá, baseadas nos parâmetros geomorfológicos do Índice de Vulnerabilidade Costeira proposto por Thieller & Hamar-Klose (1999).



**Fonte:** Osilieri (2020).

## 6.2 FATORES CLIMÁTICOS

Segundo a classificação Köppen-Geiger, o município de Maricá é considerado como de clima tropical (AW). Para Santos et al. (2017), o litoral de Maricá apresenta uma intensa dinâmica devido à exposição direta à incidência de ondas de tempestades. Estas causam consideráveis variações morfológicas na praia e nas obras/construções que nela estão localizadas (Lins-de-Barros, 2005; Silva et al., 2008; Silva et al., 2014). Com os dados meteorológicos de Niterói, município vizinho a Maricá, observou-se uma temperatura média anual de 23,2°C e precipitação média anual é de 1.230,8 mm, com 69,2% ocorrendo de novembro a abril (Departamento Nacional de Meteorologia, período de 1931 a 1968).

A Figura 10, observa-se a média dos dados por meses de data de 1991 – 2021 para temperatura mínima (°C), temperatura máxima (°C), chuva (mm), umidade, dias chuvosos no período entre 1999 – 2019 para as horas de sol. A diferença entre a precipitação do mês mais seco e do mês mais chuvoso é de 89 mm. 6.1 °C é a variação das temperaturas médias durante o ano, sendo o valor mais baixo para a umidade relativa medido em setembro (75.41 %). A

umidade relativa do ar é mais alta no mês de junho (80.63 %). Em média, os dias menos chuvosos são medidos em junho (7.80 dias). O mês com os dias mais chuvosos é março (14.40 dias).

**Figura 10.** Dados climatológicos de Maricá

	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maior	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
Temperatura média (°C)	26.2	26.5	25.7	24.1	21.8	20.9	20.4	20.8	21.8	23	23.7	25.2
Temperatura mínima (°C)	23.6	23.8	23.2	21.7	19.4	18.3	17.5	17.8	18.9	20.3	21.3	22.7
Temperatura máxima (°C)	29.7	30.1	28.8	27.2	24.8	24.4	24	24.9	25.8	26.8	27	28.5
Chuva (mm)	127	83	130	85	83	46	50	41	67	77	118	127
Umidade(%)	78%	78%	80%	81%	80%	81%	79%	77%	75%	77%	79%	80%
Dias chuvosos (d)	9	7	11	10	9	6	6	6	8	8	11	10
Horas de sol (h)	10.0	10.1	8.9	8.2	7.4	7.3	7.2	7.6	7.6	7.9	8.2	9.1

**Fonte:** PT-Climate.

Importante destacar que as zonas costeiras sofrem interferência do clima de ondas e marés, de forma que a dinâmica comandada por esses processos representa períodos de estabilidade e instabilidade (CRESPO, 2023). A constante variação destes períodos modula a morfologia no ambiente de sedimentação da praia, e essa escala de tempo pode variar de horas pela atividade das marés, meses pelos solstícios de verão e inverno, e séculos, quanto às variações do nível médio do mar (SILVA et al. 2017).

Mediante as mudanças climáticas que vem ocorrendo, como aponta o IPCC, observa-se que é uma realidade essa variabilidade. Para tal, é necessário analisar espaços temporais mais amplos, verificar as normais climatológicas e estudar mais a fundo tais eventos. Isso resulta em uma preocupação com o futuro do planeta, os hábitos e consumo devem ser repensados, a fim de mitigar tais mudanças.

### 6.3 FATORES OCEANOGRÁFICOS

Os fatores oceanográficos são elementos e variáveis que descrevem e influenciam as características dos oceanos. Estão a eles associados a temperatura da água, salinidade, correntes oceânicas, marés, ondas, densidade, nutrientes, dentre outros. Tais fatores desempenham um papel essencial no ambiente marinho, afetando a vida marinha, os padrões de circulação dos oceanos e toda dinâmica costeira. O estudo e compreensão desses fatores são essenciais para a pesquisa, a gestão dos recursos marinhos e a tomada de decisões relacionadas à conservação e uso sustentável dos oceanos (*Magazine National Geographic, 2022.*).

A arrebentação das ondas incidentes na região é bastante variada, com predominância de ondas do tipo mergulhante, seguidas por ondas progressivas e ascendentes, conforme relatado por Silva et al. (2008). O regime de marés, assim como o regime de ondas, na Região dos Lagos é propiciado pela maré meteorológica, que provém do Sul e Sudeste, apresentando ondas de bom tempo durante o verão e a primavera, associadas à formação das dunas (CASTRO & FERNANDES, 2020).

No inverno, as ondas provenientes do Sul e, principalmente, do Sudoeste são responsáveis pela ocorrência de ondas de tempestade, que contribuem para a formação de escarpas de praia (CASTRO & FERNANDES, 2020; SANTOS et al., 2022; CRESPO, 2023). O litoral de Maricá é conhecido pela alta energia das ondas que ali arrebentam. Essas ondas são de origem predominantemente do quadrante sudeste associadas às condições de tempo bom e, sul e sudoeste, quando da ocorrência de ressacas provocadas pela passagem ocasional de frentes frias (SILVA et al., 2008; CRESPO, 2023).

#### **6.4 HISTÓRICO DA OCUPAÇÃO URBANA NO MUNICÍPIO**

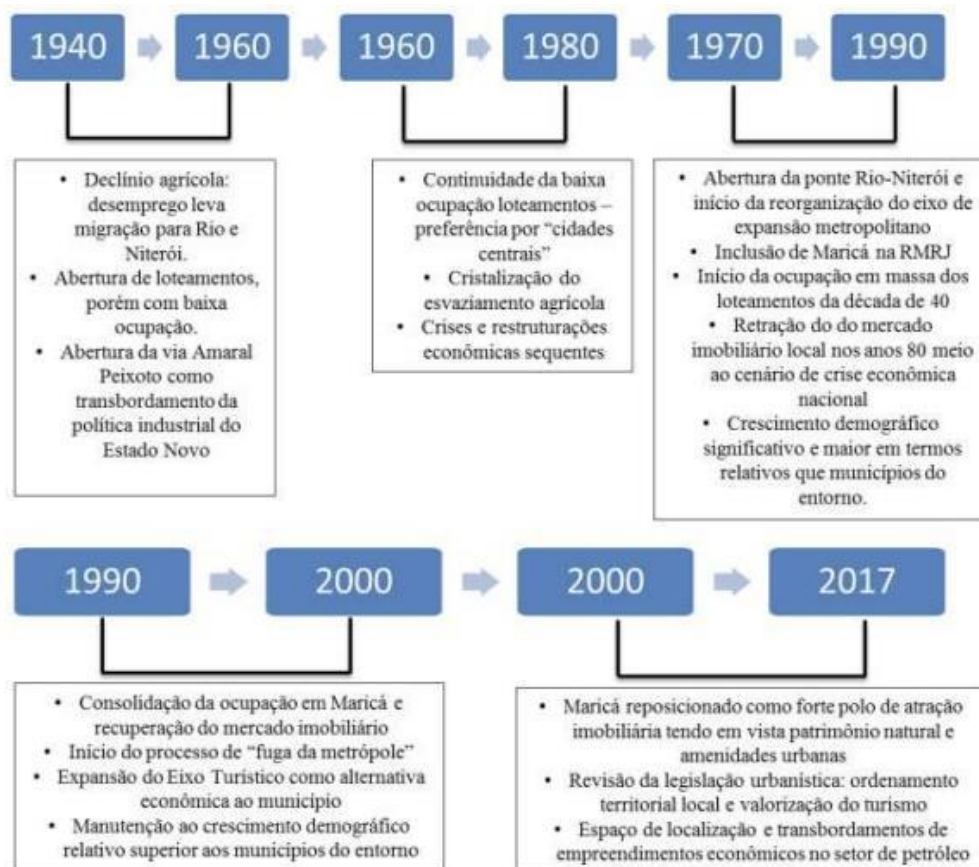
O município de Maricá teve seu povoamento iniciado em janeiro de 1574, após a adoção de sesmarias pelos colonizadores portugueses, no litoral compreendido entre Itaipuaçu e a lagoa de Maricá. A priori, a cidade era habitada por tupinambás (tamoios) antes mesmo da vinda dos portugueses na região no século XVI, a divisão da região em sesmarias pelos colonizadores teve início nas últimas décadas daquele século (PREFEITURA DE MARICÁ, 2014).

Devido aos aspectos religiosos como a célebre pesca milagrosa realizada em 1584 com o Padre José de Anchieta chegou às margens da Lagoa foram essenciais para o avanço do desenvolvimento da colonização. Com a construção das capelas e paróquias como a capela de Nossa Senhora do Amparo (século XVII), deu início assim a um crescimento do povoamento do município.

Em 1889, com a construção da Estrada Férrea de Maricá - EFM, houve um grande crescimento, elevando Maricá à categoria de Cidade. A partir da criação da Rodovia Amaral Peixoto (RJ-106), no século XX, possibilitou que Maricá tivesse um amplo crescimento da sua indústria de construção civil, sobretudo para casas de veraneio e equipamentos turísticos, além de comércios e indústrias.

Ao longo de sua história, a cidade destaca-se também por uma economia fortemente alicerçada na produção de petróleo em seu litoral, o que influencia indiretamente e diretamente na construção de empregos e geração de renda, atraindo ainda mais indivíduos para a região (Figura 11).

**Figura 11.** Desenvolvimento urbano imobiliário de Maricá no contexto regional de 1940 – 2017



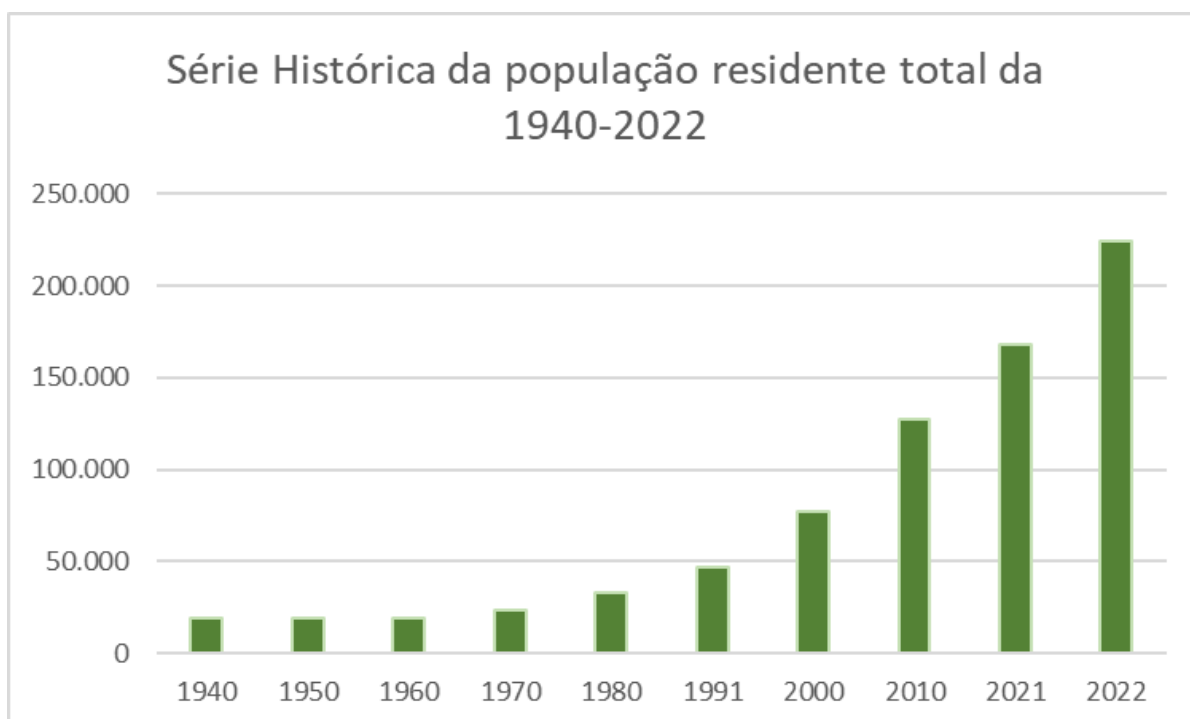
**Fonte:** Tetra Tech (2017).

Na década de 40 e 50, os loteamentos mais variados representaram um novo dado à Terra, mas não representaram uma ocupação imediata significativa. A população passou a crescer mas efetivamente na década de 80, quando houve uma ocupação mais massiva. A população residente total de Maricá, conforme os Censos do IBGE de 1940 a 2022, mostra um aumento da população em mais de 10 vezes, isso pode ser explicado por todos os elementos (Tabela 1 e Figura 12).

**Tabela 1.** População residente total de Maricá de 1940-2022

Ano	População Residente total
1940	18.892
1950	18.976
1960	19.468
1970	23.664
1980	32.618
1991	46.545
2000	76.737
2010	127.461
2021	167.668
2022	223.938

Fonte: CEPERJ, 2019; IBGE, 2022.

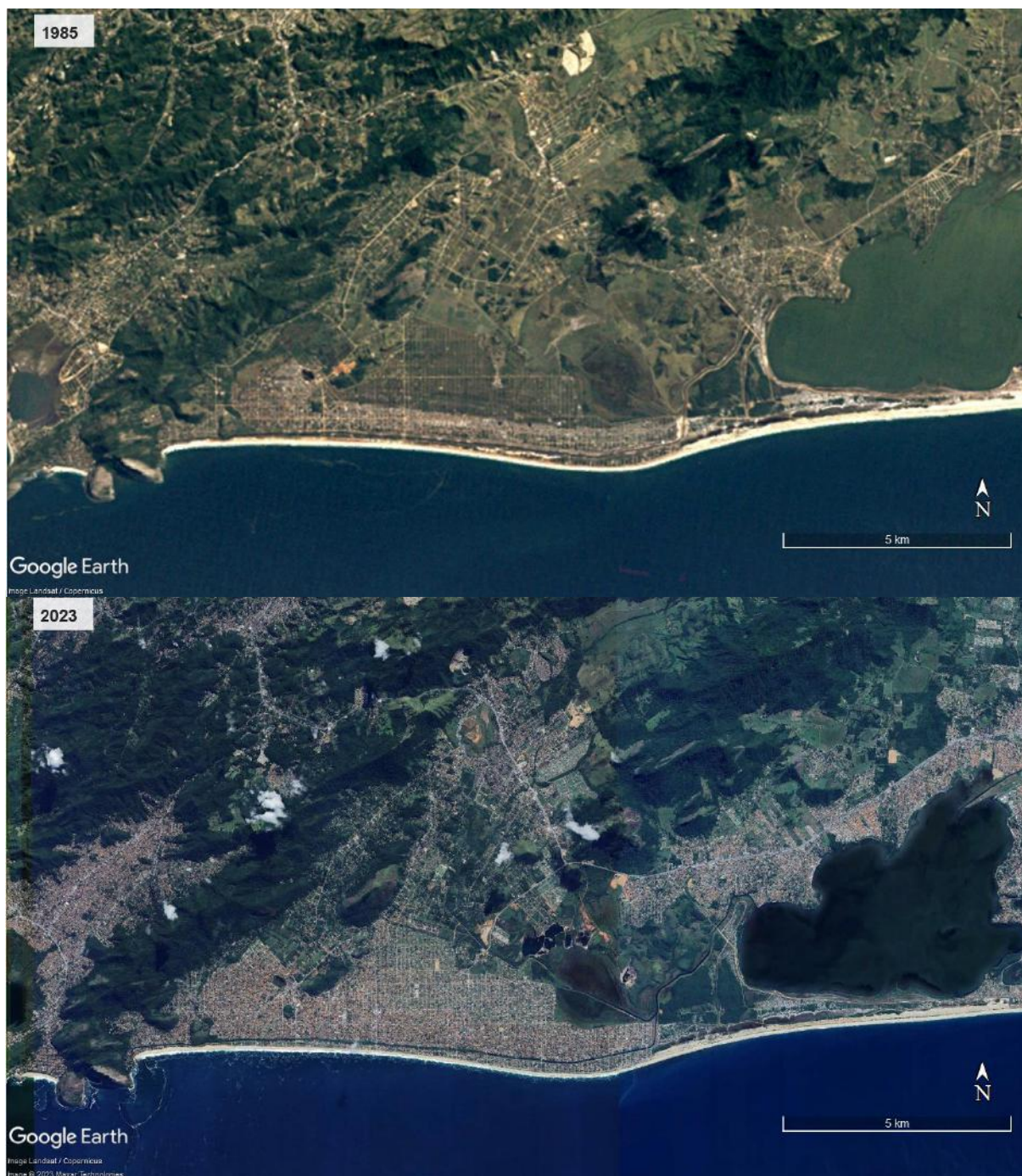
**Figura 12.** Série histórica da população residente total de Maricá de 1940-2022

Fonte: IBGE (2010)

Na década de 40, a EFM atingiu seu auge com a ampliação até Cabo Frio, onde registrava um considerável volume de cargas da produção local, com o declínio da atividade agrícola, os trechos foram sendo desativados até o encerramento definitivo, em 1966. A partir da década de 50, foi dado início às obras de asfaltamento da Rodovia Amaral Peixoto, ligando Niterói a Macaé. Importante frisar que, a pavimentação foi responsável por facilitar o acesso aos municípios da Região dos Lagos, o que contribuiu para a evolução da ocupação do município (Relatório de Abordagem sócio espacial do município de Maricá, 2023). A inauguração da Ponte Rio-Niterói, na década de 1970, ajudou no acesso à região a partir do Rio de Janeiro, já nos anos 1990, a duplicação da RJ-106 resultou em um novo aumento da urbanização. A ocupação e o crescimento urbano é favorecida também com a construção da RJ-102, que contorna a orla no município. Diante desse cenário, começa a progredir o interesse imobiliário pelo ambiente beira mar, próximo da região costeira, a beleza cênica dos costões e das praias são fatores que atraíram a população para as faixas litorâneas (Figura 13).



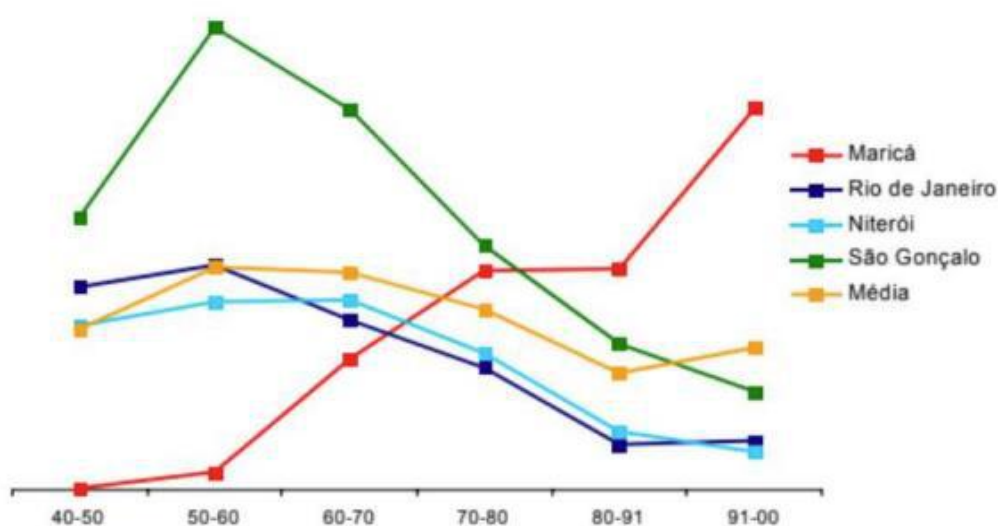
**Figura 13.** Mosaico de imagens históricas de 1988 a 2020 da cidade de Maricá – Rio de Janeiro



A evolução urbana de Maricá é marcada por alguns momentos de alta expansão da urbanização, por meio da abertura de loteamentos, que ocorreram nas décadas de 1950, 1970 e 1990, com parte representativa da oferta imobiliária destinada à demanda veranista. Somente a partir da década de 90 que se pôde verificar o crescimento da população residente no município de modo mais intenso e continuado. Para SOCHACZEWSKI (2004), a exuberância natural descrita pelos cronistas e naturalistas do século XVI a XIX sofre com a diminuição da vegetação

da restinga, os projetos realizados pelo município devem equilibrar a sustentabilidade com a economia objetivando assim um desenvolvimento sustentável. O turismo desempenha uma essencial atividade na economia e na evolução urbana de Maricá. Pois, determinados setores verificam um aumento no volume de vendas no período de veraneio e em datas festivas. Obtendo como resultado - positivo - a atração de mais trabalhadores formais e informais e - negativo - a maior contratação de carros pipa e a quantidade de lixo. A taxa de crescimento demográfico de 1950-2000 revela que Maricá em comparação com as cidades do Rio de Janeiro, Niterói e São Gonçalo, teve um maior crescimento (Figura 14).

**Figura 14.** Evolução das taxas de crescimento demográfico

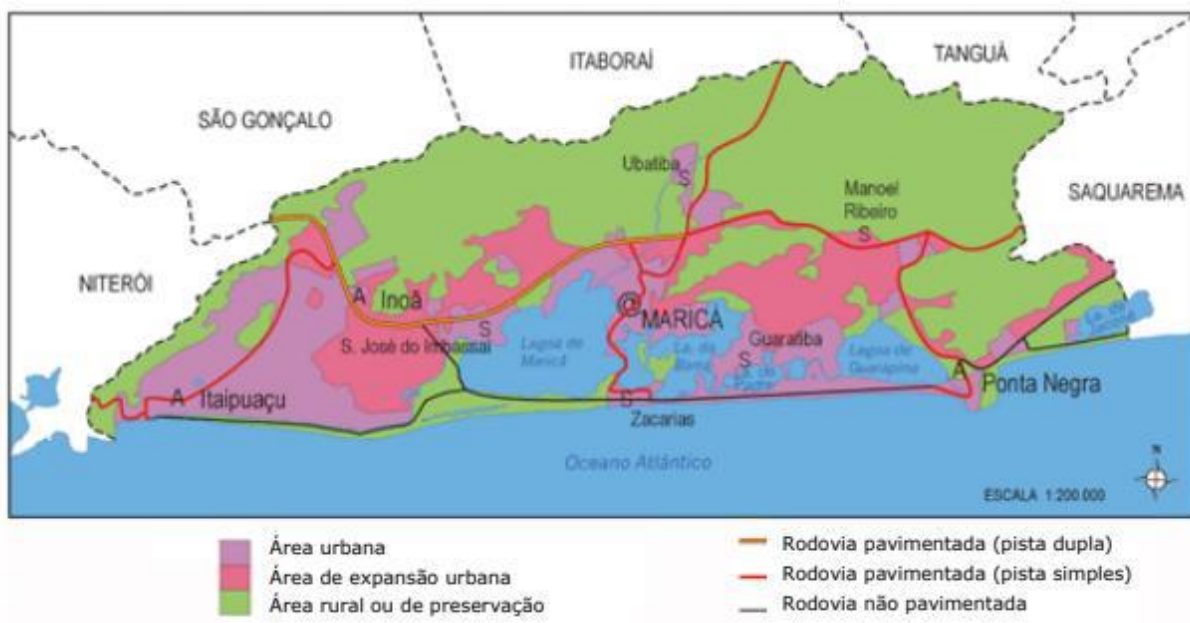


**Fonte:** SOCHACZEWSKI, 2004; Censos IBGE; Anuário estatístico CIDE, 2002

As regiões costeiras são fundamentais no processo da expansão da urbanização e com o litoral de Maricá não foi diferente, essa expansão da ocupação modificou a dinâmica física da região. Nesse sentido, essa expansão para o litoral gera um alerta quanto à vulnerabilidade costeira, que funciona como uma ferramenta importante do planejamento público. De acordo com o Relatório da Tetra Tech (2017), a população de Maricá aumentou cerca de 66%, o que em termos absolutos representou o acréscimo de mais de 50 mil pessoas nos anos 2000 a 2010. É necessário destacar que, houve uma mudança na dinâmica espacial da população que, durante esse período, migrou consideravelmente do ambiente rural para o urbano. Em 2000, cerca de 17% da população de Maricá residia em meio rural, e em 2010 esse número foi para 1,5%. Observa-se assim uma população majoritariamente urbana (98,5%), o que indica uma ocupação do território associada à realidade do mercado de trabalho local, que apresenta uma economia

baseada nos setores secundário e terciário (Figura 15). As áreas urbanas e de expansão do município se concentram às margens e ao sul da Rodovia Amaral Peixoto, na direção das praias e lagunas.

**Figura 15.** Situação da urbanização em Maricá nos anos 2000



**Fonte:** HOLZER & BAHIENSE (2002).

Para SOCHACZEWSKI (2004) e colaboradores, aponta-se alguns impactos das rodovias em áreas urbanas e orienta-se medidas mitigadoras para melhorar essas possíveis problemáticas já naquele momento listadas na Tabela 2.

**Tabela 2.** Impactos das rodovias em áreas urbanas e recomendações

<b>Tipo de Impacto</b>	<b>Consequências Negativas</b>	<b>Medidas Mitigadoras</b>
<b>Modificações no uso e ocupação do solo</b>	Ocupação desordenada de áreas desocupadas.  Intensificação de ocupação de áreas, alteração de uso, migração, favelização, redução de receita de pequenas empresas, desemprego	Sugerir e colaborar com a municipalidade para o desenvolvimento ou reavaliação do plano diretor.  Colaborar com a municipalidade na obtenção de recursos para implantação de infraestrutura urbana.
<b>Segregação Urbana</b>	Ruptura ou redução da acessibilidade a atividades.	Criar canais de acesso considerando a possibilidade de rebaixamento da pista mantendo acessos na superfície.  Desenvolvimento ou reavaliação do plano diretor.

Fonte: SOCHACZEWSKI, 2004; BELLIA E BIDONI, 1993.

## 7. MATERIAIS E MÉTODO

O Índice de Vulnerabilidade Costeira (IVC) propõe uma metodologia de monitoramento dos impactos da erosão costeira por meio de dois conjuntos de variáveis, sendo elas físicas e dinâmicas de uma determinada porção da costa (GOUVEA JUNIOR, FERNANDES & CASTRO, 2022; THIELER & HAMMAR-KLOSE, 1999). As variáveis físicas referem-se à geomorfologia, declividade e taxa de erosão e/ou acreção da costa. Já as variáveis dinâmicas incluem amplitude das marés, altura significativa das ondas (Hs) e variação relativa do nível do mar (VRNM). Para dimensionar o grau de vulnerabilidade, há a classificação em intervalos de: muito baixa, baixa, média, alta e muito alta, variando de 1 a 5, variando de menos vulnerável (1) a mais vulnerável (5), conforme a Tabela 3.

**Tabela 3.** Classificação do Índice de Vulnerabilidade Costeira (IVC) conforme USGS (*United States Geological Survey*) utilizando seis variáveis físicas e dinâmicas.

	MUITO BAIXO	BAIXO	MODERADO	ALTO	MUITO ALTO
GRAU DE RISCO	1	2	3	4	5
Taxa de Erosão/Acreção da Linha de Costa (m/ano)	> 2,0	1,0 – 2,0	-1,0 – +1,0	-1,1 – -2,0	< -2,0
Declividade (%)	> 1,9	1,3 – 1,9	0,9 – 1,3	0,6 – 0,9	< 0,6
Geomorfologia	Dunas Fixas; Costões Rochosos	Falésias	Terraços Marinhos; Planícies Costeiras	Estuários; Dunas Móveis; Cordões Litorâneos	Praia Arenosa; Escarpas de Praia; Recife de Corais; Deltas
Variação Relativa do Nível do Mar (mm/ano)	< 2,0	2,0 – 3,0	3,0 – 4,0	4,0 – 5,0	> 5,0
Amplitude de Maré (m)	> 6,0	4,1 – 6,0	2,0 – 4,0	1,0 – 1,9	< 1,0
Altura Significativa de Onda (m)	< 0,55	0,55 – 0,85	0,85 – 1,05	1,05 – 1,25	> 1,25

Os procedimentos metodológicos envolveram etapas de sensoriamento remoto e geoprocessamento, através de imagens de alta resolução espacial (1,0 – 2,0 m). As imagens de resolução espacial moderada e de alta resolução espacial de 8,0 m e 2,0 m, respectivamente, foram obtidas pelo sensor WPM do satélite CBERS 04A. As bandas multiespectrais e pancromática são disponibilizadas pelo Instituto Brasileiro de Pesquisas Espaciais – INPE (2022). Realizou-se as etapas de composição de bandas R(3)-G(2)-B(1) com o intuito de obter a imagem em cor verdadeira, e posteriormente a fusão com banda pancromática pelo software ArcGIS versão 10.5.1.

Foi utilizado um conjunto de fotografias aéreas do projeto FAB - 1976, pertencente ao acervo do Departamento de Recursos Minerais do Estado do Rio de Janeiro - DRM, com *pixels* de 1,0 m. O mosaico criado com estas imagens passou por uma correção geométrica no software ArcGIS versão 10.5.1 através de georreferenciamento com o método do polinômio de 3ª ordem, considerando mais de 100 pontos (Figura 16). Para definição destes pontos de controle, considerou-se elementos que não tiveram modificações ao longo do tempo, como corpos rochosos (Pedra do Elefante e o promontório de Ponta Negra), esquinas de ruas, estradas,

avenidas (Av. Maysa). Garantiu-se o RMSE (*Root Mean Squared Error*) máximo de 2,0 m, ou seja, menor erro de posicionamento possível.

**Figura 16.** Mosaico de correção geométrica com georreferenciamento em 3rd Order Polynomial (> 100 pontos)

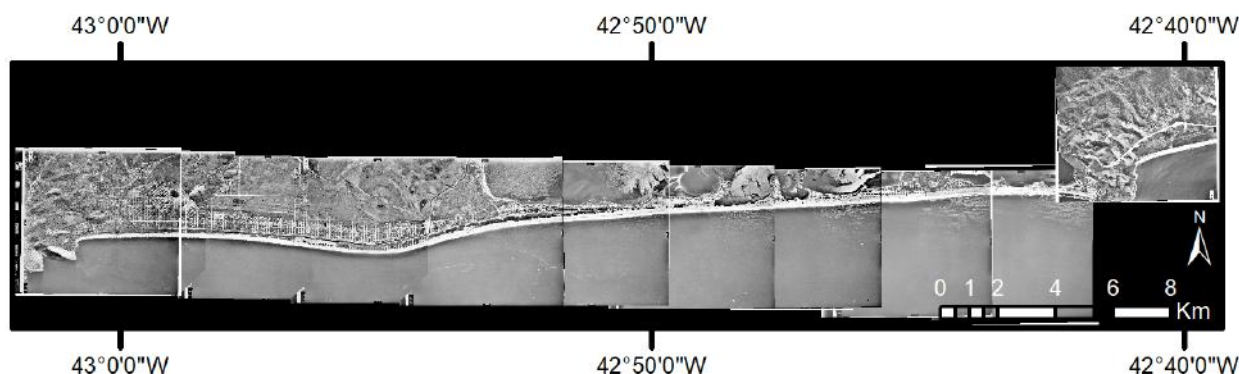


Imagem FAB/ORM 1976 - REPROJETADO  
 "PROJEÇÃO UTM DATUM 84 ZONE 23 S  
 Créditos: Bruna Pires dos Santos.

Em relação às variáveis físicas, a declividade da costa foi obtida através de Modelo Digital de Elevação (MDE) com o Missão Topográfica de Radar Embarcado (SRTM). Conforme critério de classificação do IVC - USGS, utilizou-se como parâmetro a faixa de inclinação da linha de costa até a faixa de praia para construir dados altimétricos do MDE – SRTM. Foi utilizada a ferramenta *slope* do *software* ArcGIS 10.5.1 para gerar o mapa de declividade e posteriormente a ferramenta *reclassify* para reclassificar em intervalos percentuais, a fim de classificar o segmento litorâneo indicando regiões de maior ou menor declividade na zona costeira.

A variável geomorfológica foi definida pelas referências bibliográficas, considerando os trabalhos de Osilieri (2020) e Dantas (2000). A taxa de erosão e acreção da linha de costa foi obtida através do processamento digital das imagens, georreferenciamento, delimitação da posição da linha de costa entre 1976 e 2022 com a utilização da ferramenta DSAS (*Digital Shoreline Analysis System*) dentro do *software* ArcGIS versão 10.5.1, a fim de determinar a erosão/acreção para calcular do IVC. Com relação às variáveis dinâmicas, através do Banco Nacional de Dados Oceanográficos (BNDO) obteve-se as variáveis Amplitude de Maré e Altura Significativa de Ondas, pelo Marégrafo Estação Ponto do Forno 1975 – 2020 e dos Ondógrafos Baía de Campos 1963 - 1999. Por fim, a variável Variação Relativa do Nível do Mar (VRNM) foi retirada do AR6 (IPCC) - Sexto relatório de avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (FOX KEMPER et al., 2021).

## 7.2 VARIÁVEIS FÍSICAS E DINÂMICAS

Utilizou como base o trabalho publicado por Gouvea Junior et al (2022). Baseou-se na seleção de imagens através de pré-processamento de imagens digitais, processamento digital das imagens, georreferenciamento, delimitação da posição da linha de costa entre 1976 e 2022. Através da ferramenta *Digital Shoreline Analysis System (DSAS)* determinou-se as taxas de erosão e acreção para cálculo do IVC. As imagens de alta resolução espacial foram selecionadas a partir do maior intervalo temporal possível e disponível, no caso 46 anos. Sendo elas: Fotografias aéreas, referentes ao projeto FAB-1976 de posse do Departamento de Recursos Minerais do Estado do Rio de Janeiro (DRM) georreferenciadas através do software ArcGIS 10.5.1. imagens de alta resolução espacial do IBGE 2005 e, por fim, CBERS 04A de 2022 com sistema de coordenadas de projeção UTM, Fuso 23S e o Datum SIRGAS 2000.

As taxas de variação de linha de costa foram calculadas através da ferramenta DSAS no software ArcGIS 10.5.1 pelo método LRR (*Linear Regression Rate*), através de equação de regressão linear entre as linhas de praia no intervalo de 1976 e 2022. A precisão da posição da linha de praia foi definida através da interface molhado/seco da faixa de praia (GOUVEA JUNIOR, FERNANDES & CASTRO, 2022). Foram realizados 165 transectos com espaçamento regular de 200 m, com delimitação da linha de base e da linha de praia através das imagens FAB-1976, IBGE 2005 e CBERS 04A de 2022.

Os parâmetros oceanográficos, obtidos através do Banco Nacional de Dados Oceanográficos (BNDO) da Marinha do Brasil, balizaram os índices das respectivas variáveis no cálculo do IVC. A variável amplitude da maré foi estimada a partir dos marégrafos da Praia do Forno no período de 1975 a 2020. A variável Hs em águas profundas foi determinada através dos ondógrafos da bacia de Campos no período de 1963 a 1999. Para o presente trabalho, as taxas de variação relativa do nível do mar (VRNM), foram obtidas através *Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*, conforme relatório AR6 considerando a projeção intermediária de SSP 2-4,5 com 8 mm/ano até 2100 (FOX KEMPER et al., 2021).

### 7.3 CÁLCULO DO ÍNDICE DE VULNERABILIDADE COSTEIRA (IVC)

Neste trabalho, são apresentados os resultados do IVC utilizando duas projeções da altura média do nível do mar estabelecidas pelo IPCC (Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas). Para o cenário moderado SSP 2- 4,5 com projeção de 8 mm/ano até 2100. De acordo com Gouvea Junior (2022), o CVI é calculado numericamente em um ambiente GIS com uma adaptação do método smartline proposto por Sharples et al., (2006). O método consiste em representar as variáveis físicas e dinâmicas incluídas no CVI através de shapefiles e classificar o segmento costeiro correspondente à área de estudo segundo graus de vulnerabilidade. O índice foi calculado por meio da Equação 1. Sendo os valores de CVI abaixo de 25° são atribuídos a baixa vulnerabilidade, entre 25° e 50° como média, 50° e 75° de alta vulnerabilidade, e acima de 75° como muito alta vulnerabilidade.

O índice de vulnerabilidade costeira é descrito da seguinte forma:

$$IVC = \sqrt{\frac{(a \times b \times c \times d \times e \times f)}{6}} \quad (1)$$

onde:

a = Declividade

b = Geomorfologia

c = Taxa de erosão e acreção de linha de costa

d = Amplitude de Maré

e = Altura Significativa de Ondas (Hs)

f = Variação Relativa do Nível do Mar (VRNM).



## 8. RESULTADOS

### 8.1 VARIÁVEIS FÍSICAS

#### Geomorfologia

A variável geomorfologia foi definida através das referências bibliográficas de Osilieri (2016; 2020) e o Mapa Geomorfológico do Estado do Rio de Janeiro – Dantas/CPRM (2000). De acordo com Osilieri (2016), no que tange à geomorfologia do município são delimitadas algumas classes, como: planície costeira, planície flúvio - marinha, ilha, laguna, colinas e costão rochoso (Figura 16). Para o cálculo do IVC considerou-se o índice 3 para planície flúvio-marinha e planície costeira, 4 para as lagoas e 5 para as áreas urbanas e praias.

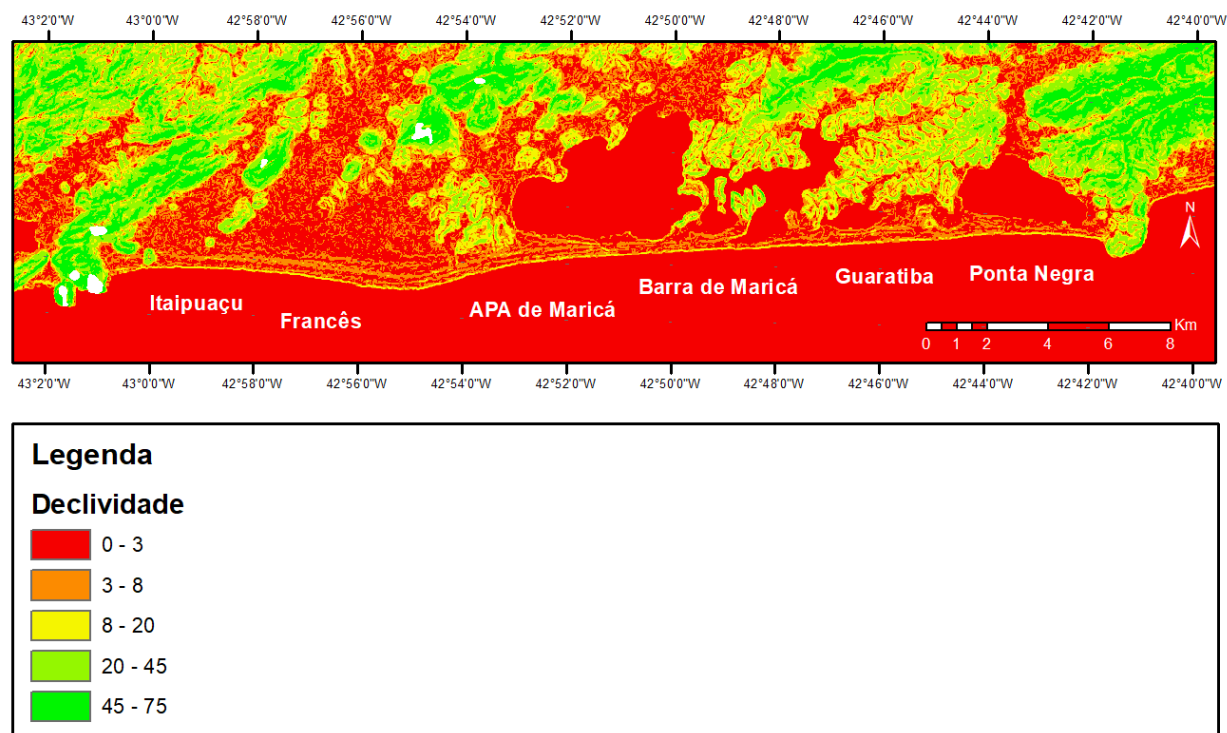
#### Declividade

O potencial de avanço do mar para o continente é maior nas encostas de menor declividade do que nas feições de praias com maior declividade (Tabela 4). A vulnerabilidade manteve-se praticamente igual ao longo de todo arco praial variando de 0 - 8%, sendo a Praia de Itaipuaçu a de maior declividade influenciada pela granulometria grossa dos sedimentos que chegam à fração grânulo vide a coleta e análise obtida em campo (Figura 17).

**Tabela 4.** Declividade da linha de costa para o arco-praial de Maricá

Declividade da costa	Índice
45-75%	1
20-45%	2
8-20%	3
3-8%	4
0-3%	5

**Figura 17.** Mapa de declividade da Praia de Itaipuaçu a Ponta Negra



*Taxa de Erosão e/ou acreção da Linha de Costa*

A Figura 18 apresenta os resultados referentes aos processos de erosão/acreção ao longo do litoral de Maricá. Nas porções localizadas entre Itaipuaçu/Francês, Francês/APA de Maricá e Guaratiba/Ponta Negra observa-se uma que as taxas de variação de linha de costa possuem tendência erosiva. Com destaque para o segmento mais a leste, entre Guaratiba e Ponta Negra, com um recuo de linha de costa de 1,78 a 1,37 m/ano nestes 46 anos, conforme imagens de alta resolução espacial. Ao analisar os dados observa-se uma pequena taxa de erosão ao longo de todo segmento litoral e equilíbrio/acreção na porção extrema leste de Ponta Negra, junto ao promontório. A acreção de sedimentos pode ser explicada pela difração das ondas ocasionada pelo promontório, informação que explica os dados obtidos através da ferramenta DSAS com as imagens de alta resolução espacial.

**Figura 18.** Mapa de Taxa de erosão e/ou acreção da Linha de Costa (DSAS)

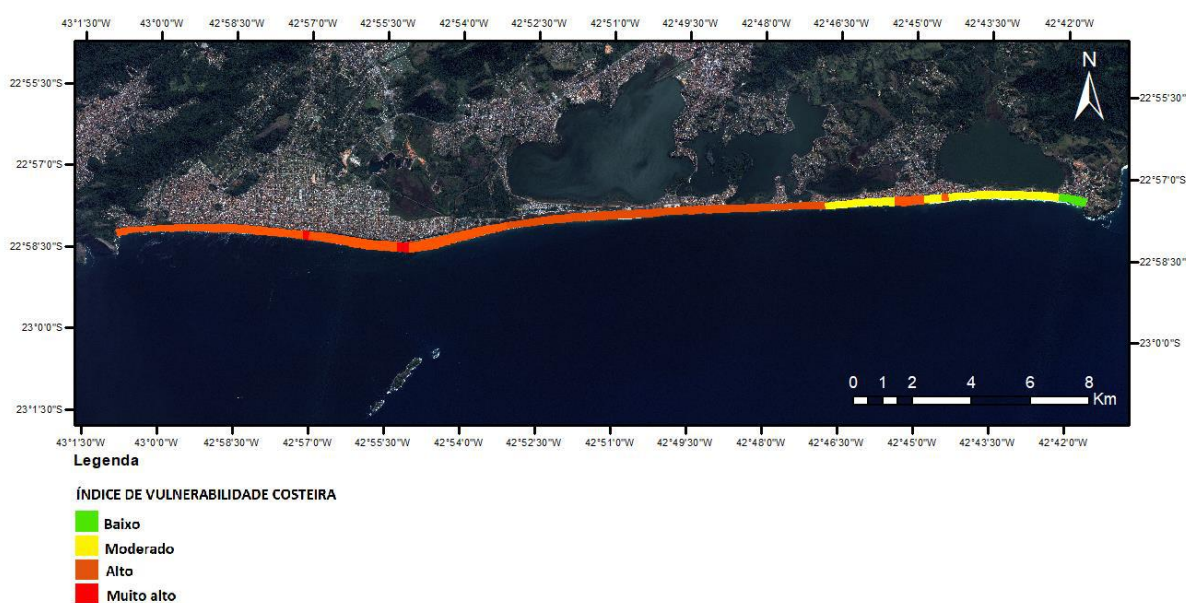


## 8.2 VARIÁVEIS DINÂMICAS

Para as variáveis dinâmicas, foi definido o grau 5 de vulnerabilidade para as três variáveis seguindo o critério adotado pelo IVC, sendo os dados de amplitude de maré de 0,85 m, altura significativa de ondas de 1,5 m conforme (Fernandes & Castro, 2020) e, por fim, 8 mm/ ano para a variação relativa do nível do mar. As projeções para a variação relativa do nível do mar foram consideradas a partir do *Shared Socioeconomic Pathways* (SSPs) proposto no AR6, último relatório do IPCC. Esta projeção é tida como moderada, que considera esse aumento mantendo as emissões atmosféricas até o ano de 2100.

Por fim, para os resultados do IVC utilizando as variáveis físicas e dinâmicas do arco-praial de Maricá, destaca-se que as variáveis dinâmicas apresentam graus fixos de vulnerabilidade ao longo de todo litoral (Figura 19). Com respeito às variáveis físicas, para a declividade da costa, os resultados foram de menor vulnerabilidade nos promontórios e na praia de Itaipuaçu, os demais segmentos mantiveram uma vulnerabilidade considerável. Para geomorfologia, os setores tiveram a vulnerabilidade de 3 a 5 e a taxa de erosão/acreção variou ao longo do litoral, as áreas de maior erosão coincidiram com as de maior ocupação.

**Figura 19.** Mapa do Índice de Vulnerabilidade Costeira – IVC da zona costeira de Maricá - Rio de Janeiro



O Mapa de Índice de Vulnerabilidade Costeira (IVC) utilizando como base as projeções do SSP 2- 4,5 de 8,0 mm/ano até 2100 é obtido através da Equação 1. A mediana dos valores é de 33,48. Os percentis são de 25% corresponde ao valor de 36,51, o de 50% e 75% correspondem ao valor de 35,35. Assim, confere-se valores abaixo do percentil 25º ao grau 1 (baixo), entre 25º e 50º grau 2 (moderado), entre 50º a 75º grau 3 (alto) e acima do percentil 75º grau 4 (muito alto). Destaca-se o efeito das ondas de tempestade do quadrante sul/sudeste, relacionados com alto potencial erosivo (MUEHE et al., 2015; FERNANDES & CASTRO, 2020).

Por meio do IVC, obteve-se um índice baixo de 2,42% próximo ao promontório rochoso de Ponta Negra, moderado com 22,42% entre a região de Guaratiba e Ponta Negra, ao longo da maior parte da linha de costa de 73,33% e, por fim, muito alto de 1,81%.

## 9. DISCUSSÕES

Os dados obtidos através dos Índices de Vulnerabilidade Costeira assemelham-se aos trabalhos de Gouvea Junior et al., (2022) e Osilieri et al. (2020). No entanto, os resultados de Osilieri et al. (2020), foram mais brandos para o IVC, sendo seus índices de muito alto com 34,69%, 34,03% com um índice alto, 25,33% moderado e 5,95% com vulnerabilidade baixa. Ainda no trabalho de Osilieri et al. (2020), verificou-se no segmento de Ponta Negra, o padrão granulométrico é mais grosso (grânulo), e assim, as condições de declividades variam conforme este padrão granulométrico ao longo de todo litoral. Essas informações corroboram também com o trabalho desenvolvido por Fernandes e Castro (2020).

As condições de declividade da área de estudo, conforme o IVC sugerem relativa vulnerabilidade à inundação e rápido potencial para a modificação da posição de linha de costa. O método obtido para definição da inclinação em percentual levou em consideração a superfície contida entre a da linha de praia e a quebra fisiográfica na retaguarda da planície costeira holocênica. Essa técnica possibilitou definir a declividade dos diversos segmentos de praias da área de estudo.

Trabalhos desenvolvidos por Gouvea Junior (2021) e Gouvea Junior et al., (2022) definiram o segmento costeiro na região da Baía Formosa - Cabo Frio e Rio das Ostras como de estágio morfodinâmico refletivo, com declividade alta na zona de praia, tornando-se mais suave na antepraia. Na área de estudo, verificou-se que todo segmento central e oeste apresenta alta declividade, devido ao aporte de sedimentos grossos provenientes da ação de ondas de tempestade (MALTA et al., 2021; FERNANDES & CASTRO, 2020). Através do cálculo de IVC os segmentos que apresentaram índices de vulnerabilidade alta encontram-se entre a região central e oeste da área de estudo.

O mapa geomorfológico da área de estudo apontou predomínio de médio a alto grau de vulnerabilidade geológica nas áreas central e oeste das praias estudadas. As áreas urbanas na zona de pós-praia são vulneráveis a possíveis inundações marinhas, classificadas como de alta vulnerabilidade. No segmento central, entre as praias do Francês e Ponta Negra, verificou-se extensa faixa de praia e a ocorrência de cordões litorâneos holocênicos. O aporte sedimentar nos cordões litorâneos de retaguardas funciona como fonte alimentadora do sistema praias local, sugerindo assim, valores de média a alta vulnerabilidade (SANTOS, 2021).

Quanto aos resultados obtidos em relação às taxas de recuo de linha de costa (erosão costeira) corroboram informações produzidas no trabalho de Santos (2020) no litoral do

município de Saquarema – RJ. Ao longo da linha de costa de Maricá observa-se um certo desequilíbrio nas taxas de erosão/acreção ocasionado pela direção da corrente de deriva litorânea, que resulta da ação de ondas de tempestade provenientes de sudoeste (*swell*). Outro comparativo é a influência da ocupação urbana em ambas as regiões, que resulta em um aumento da fragilidade da orla costeira.

## 10. CONCLUSÕES

O método do Índice de Vulnerabilidade Costeira (IVC) aplicado no litoral de Maricá, Estado do Rio de Janeiro, mostrou-se eficiente na análise dos processos de recuo de linha de praia que acarretam erosão costeira e inundações marinhas que podem gerar riscos geológicos em diferentes escalas. De acordo com as informações obtidas pelo método IVC chegou-se as seguintes conclusões:

- A utilização de imagens de alta resolução espacial são muito eficazes para análise de linha de costa. Sugere-se para futuros trabalhos a utilização do PDI para melhor interpretação dos dados;
- As áreas de maior densidade demográfica foram indicadas como segmentos de maior vulnerabilidade. Essas áreas devem passar por maior atenção do poder público;
- A ferramenta DSAS apresentou eficácia para análise no processo de monitoramento da área estudada no intervalo de tempo estudado, afirmando ser esta ferramenta bastante útil e prática em programas de monitoramento através do uso de fotografias aéreas e imagens de satélites.
- Entre os cenários propostos pelo IPCC sobre uma possível subida do nível médio do mar, escolheu-se neste trabalho a projeção de 8 mm / ano até o ano de 2100. Tal cenário poderá acarretar erosão severa em quase toda orla do município, acarretando perdas patrimoniais.

Portanto, o mapa IVC, envolvendo cenários otimistas e pessimistas de um possível sobrelevação do nível médio do mar – NMM permitiu delimitar áreas mais vulneráveis a possíveis inundações marinhas e risco geológico na área de estudo. Tratando-se de uma região de potencial turístico e de média a alta concentração urbana, o presente trabalho servirá de apoio

à implementação de programas de gestão urbana e erosão costeira, tanto pelo poder público como pela iniciativa privada. Recomenda-se para os próximos trabalhos, a aquisição de geotecnologias de alta qualidade, visando obter resultados de maior acurácia, principalmente em relação ao MDE e imagens de sensoriamento remoto com alta resolução. Destaca-se também a importância do monitoramento mais constante para refinar as informações de entrada para o cálculo do IVC.

## 11. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALCOFORADO, A. V. C. Índice de Vulnerabilidade Costeira e Risco à Inundação em Cenários de Mudanças Climáticas no Estuário do Rio Piranhas - Açú com Utilização de Imagens de Sensores Orbitais e de LiDAR Aeroportado. Dissertação de Mestrado ao Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Rio Grande do Norte. 2017. 122p.
- BIRD, E. Coastal Geomorphology: An Introduction. 2a Ed. Inglaterra: John Wiley & Sons Ltd, 2008. 411p. ISBN: 978-0-470-51729-1.
- BRUNN, P. Review of Conditions for Uses of the Brunn Rule of Erosion. Coastal Engineering, v. 7, p. 77-89, 1983. DOI: 10.1016/0378-3839(83)90028-5
- CASTRO J.W.A.1996. O processo erosivo das praias da costa oeste do Ceará e suas conseqüências para o desenvolvimento urbano e empreendimentos turísticos. In: Congresso Brasileiro de Geologia, Salvador. Simpósios...Salvador. Sociedade Brasileira de Geologia. 4: 426-429
- CASTRO, J. W. A; SUGUIO, K; SEOANE, J. C. S; CUNHA, A. M; DIAS, F. F. Sea Level Fluctuations and Coastal Evolution in the State of Rio de Janeiro, Southeastern Brazil. Anais da Academia Brasileira de Ciências, v. 86, n. 2 p. 671-683, 2014. DOI: 10.1590/0001-3765201420140007
- CASTRO, J. W. A.; SEOANE, J. C. S.; FERNANDES, D.; CABRAL, C. L.; CUNHA, A. M.; MALTA, J. V.; MIGUEL, L. L. J. A.; AREIAS, C. O.; SPOTORNO-OLIVEIRA, P.; TAMEGA, F. T. S. Relative Sea-Level Curve During the Holocene in Rio de Janeiro, Southeastern Brazil: A Review of the Indicators -RSL, Altimetric and Geochronological Data. Journal of South American Earth Sciences, v. 112, n. 103619, p. 1-12, 2021. DOI: 10.1016/J.SAMES.2021.103619
- COUTINHO N. M. Erosão e deposição de sedimentos no arco de praia da Barra da Tijuca - Recreio dos Bandeirantes, Rio de Janeiro - RJ. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2007
- DAL CIN, R.; SIMEONI, U. A Model for Determining the Classification, Vulnerability and Risk in the Southern Coastal Zone of the Marche (Italy). Journal of Coastal Research, v. 10. n. 1, p. 18-29, 1994.
- Digital Shoreline Analysis System-DSAS 4.3 - Aplicativo para calcular estatísticas de taxa de variação da costa a partir de várias posições históricas da costa. USGS - U.S. Geological Survey.
- DRM, RJ. DEPARTAMENTO DE RECURSOS MINERAIS DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO
- DWARAKISH, G. S.; VINAY, S. A.; NATESAN, U.; ASANO, T.; KAKINUMA, T.; VENKATARAMANA, K.; JAGADEESHA, P.; BABITA, M. K. Coastal Vulnerability Assessment of the Future Sea Level in Udupi Coastal Zone of Karnataka State, West Coast of India. Ocean & Coastal Management, v. 52, p. 467-478, 2019. DOI: 10.1016/j.ocecoaman.2009.07.00737
- FAIRBRIDGE, R. W. Eustatic Changes in Sea-Level. In: AHRENS, L. H.; RANKAMA, K.; PRESS, F.; RUNCORN, S. K. (eds). Physics and Chemistry of the Earth, v. 4, London: Pergamon Press, 1961. p. 99-185.



- FERNANDES, D.; CASTRO, J. W. A. Transporte de Sedimentos Induzido por Ondas no Segmento Norte da Enseada da Baía Formosa, Rio das Ostras, Estado do Rio de Janeiro. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 21, n. 4, p. 783-795, 2020. DOI: [dx.doi.org/10.20502/rbg.v21i4.1900](https://doi.org/10.20502/rbg.v21i4.1900).
- Fox-Kemper, B., H.T. Hewitt, C. Xiao, G. Aðalgeirsdóttir, S.S. Drijfhout, T.L. Edwards, N.R. Golledge, M. Hemer, R.E. Kopp, G. Krinner, A. Mix, D. Notz, S. Nowicki, I.S. Nurhati, L. Ruiz, J.-B. Sallée, A.B.A. Slangen, & Y. Yu. 2021, 'Ocean, Cryosphere and Sea Level Change' in Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis - Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, pp. 1211-1362. <https://dx.doi.org/10.1017/9781009325844>
- GORNITZ, V. M. Global Coastal Hazards from Future Sea Level Rise. *Global and Planetary Change*, v. 3, n. 4, p. 379-398, 1991. DOI: [10.1016/0921-8181\(91\)90118-G](https://doi.org/10.1016/0921-8181(91)90118-G)
- GORNITZ, V. M.; DANIELS, R. C.; WHITE, T. W.; BIRDWELL, K. R. The Development of a Coastal Risk Assessment Database: Vulnerability to Sea-Level Rise in the U.S. Southeast. *Journal of Coastal Research*, n. 12, p. 327-338, 1994.
- GOUVEA JUNIOR, Willian Cruz. *Análise das Variáveis Físicas e Dinâmicas do Índice de Vulnerabilidade Costeira (IVC) na Enseada da Baía Formosa, Região dos Lagos Fluminense, Estado do Rio de Janeiro.* / Willian Cruz Gouvea Junior - Rio de Janeiro: UFRJ / IGEO, 2022. 75p.
- GOUVEA JUNIOR; W. C.; CASTRO, J. W. A.; FERNANDES, D. 2022. *Análise das variáveis físicas e dinâmicas do Índice de Vulnerabilidade Costeira (IVC) na enseada da Baía Formosa, Região dos Lagos Fluminense, Estado do Rio de Janeiro.* *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 23, n. 4, p. 1812-1833. DOI: [dx.doi.org/10.20502/rbg.v23i4.2144](https://doi.org/10.20502/rbg.v23i4.2144)
- IPCC, 2019: Summary for Policymakers. In: IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, V. MassonDelmotte, P. Zhai, M.Tignor, E. Polaczinski, K. Mintenbeck, A.Alegría, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, N.M. Heyer (eds.)]. Disponível em: [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/3/2020/11/SROCC\\_SPM\\_Portuguese.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/3/2020/11/SROCC_SPM_Portuguese.pdf)
- KELLETTAT, D. 2006. Beachrock as a sea-level indicator? Remarks from a geomorphological point of view. *J. Coast. Res.* 22 (6): 1555–1564.
- LINS-DE-BARROS, F. M. Risco, Vulnerabilidade Física à Erosão Costeira e Impactos Sócio-Econômicos na Orla Urbanizada do Município de Maricá, Rio de Janeiro. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 6, n. 2, p. 83-90, 2005. DOI: [10.20502/rbgn.v6i2.54](https://doi.org/10.20502/rbgn.v6i2.54).
- LINS-DE-BARROS, F. M. *Contribuição Metodológica para Análise Local da Vulnerabilidade Costeira e Riscos Associados: Estudo de Caso da Região dos Lagos, Rio de Janeiro.* Tese (Doutorado em Geografia) - Programa de PósGraduação em Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2010. 297p.
- LINS-DE-BARROS, F. M.; MUEHE, D. Avaliação Local da Vulnerabilidade e Riscos de Inundação na Zona Costeira da Região dos Lagos, Rio de Janeiro. *Quaternary and Environmental Geosciences*, v. 2, n. 1, p. 55-66, 2010. DOI: [10.5380/abequa.v2i1-2.14106.38](https://doi.org/10.5380/abequa.v2i1-2.14106.38)

- MALTA, J. V.; CASTRO, J. W. A.; CABRAL, C. L.; FERNANDES, D.; CAWTHRA, H. A. Genesys and age of beachrocks on the Rio de Janeiro coastline, Southeast – Brazil. *Marine Geology*, v. 442, n. 106649, p. 1-11. DOI: doi.org/10.1016/j.margeo.2021.106649
- MARTIN, L.; DOMINGUEZ, J. M. L.; BITTENCOURT, A. C. S. P. Fluctuating Holocene Sea levels is eastern and southeastern Brazil: evidence from multiple fossil and geometric indicators. *Journal of Coastal Research*, v. 19, n.1, p.101-124, 2003.
- MODARRES, M. *Risk Analysis in Engineering: Techniques, Tools and Trends*. CRC/ Taylor & Francis, 401p. 2006.
- MÖRNER, N.A. Eustasy and geoid changes as a function of core/mantle changes. In: Mörner, N.A. (ed.) *Eart rheology, isostasy and eustasy*. Inglaterra: John Wiley & Sons, 1980, p. 535-553.
- MÖRNER, N.-A. Sea level changes along the west european coasts. 3ª Simp. Sobre la Margem Iberico Atlântica, vol. 1, 2000, p.411-412.
- MUEHE D., Corrêa C. H. T. 1989. Dinâmica de praia e transporte de sedimentos na restinga de Maçambaba, RJ. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 19, n. 3, p. 387- 392.
- MUEHE, D.; VALENTINI, E. *O Litoral do Estado do Rio de Janeiro: uma caracterização físico ambiental*. Ed. FEMAR, 1998. 99p.
- NERI, Elaine INVENTÁRIO DOS SÍTIOS INDICADORES DE VARIAÇÃO DO NÍVEL RELATIVO DO MAR NO TERRITÓRIO DO PROJETO GEOPARQUE COSTÕES E LAGUNAS DO RIO DE JANEIRO/ Elaine Neri de Souza Matos - - Rio de Janeiro: UFRJ / IGeo, 2022, 067
- OSILIERI, P. R. G; *Vulnerabilidade Costeira do Arco Praial de Maricá (RJ): Itaipuaçu – Ponta Negra / Paulo Renato Gomes Osilieri - Rio de Janeiro: UFRJ / IGeo, 2016.*
- OSILIERI, P. R. G.; SEOANE, J. C. S.; DIAS, F. B. Coastal Vulnerability Index Revisited: A Case Study from Maricá, RJ, Brazil. *Revista Brasileira de Cartografia*, v. 72, n. 1, p. 81-99, 2020. DOI: 10.14393/revbrascartogr
- PENDLETON, E. A.; HAMMAR-KLOSE, E. S.; THIELER, E. R.; WILLIAMS, S. J. Coastal Vulnerability Assessment of Gulf Islands National Seashore (GUIS) to SeaLevel Rise. *Geological Survey Open-File Report*, v. 03-188, p. 1-18, 2004.
- PENDLETON, E. A.; BARRAS, J. A.; WILLIAMS, S. J.; TWICHELL, D. C. Coastal vulnerability assessment of the Northern Gulf of Mexico to sea-level rise and coastal change. *Geological Survey Open-File Report*, v. 2010–1146, p. 1-26, 2010. DOI: 10.3133/ofr20101146
- SANTOS, Cátia Pereira & colaboradores. *CARACTERIZAÇÃO DAS COMUNIDADES VEGETAIS NA RESTINGA DE MARICÁ, RIO DE JANEIRO, SUDESTE DO BRASIL*. v. 13, n. 1 (2017)
- SANTOS A. L. S. G. O impacto ambiental no processo de erosão costeira em áreas urbanas de cordões litorâneos frontais holocênicos em Saquarema. Trabalho de conclusão de curso, Especialização em Geologia do quaternário, Museu Nacional, Rio de Janeiro.2020.
- SHARPLES, C.; MOUNT, R.; PEDERSEN, T. *The Australian Coastal Smartline Geomorphic and Stability Map Version 1: Manual and Data Dictionary*. 1.1 Ed. Tasmania: Australia Geoscience, 2009. 183 p.
- SILVA L. C., Vieira V. S., Guimarães M. T., Souza E. C. 2001. Neoproterozóico/Cambriano. In: SILVA L. C., Cunha, H. C. S (Orgs.) *Geologia do Estado do Rio de Janeiro*. CPRM, p. 31 – 53.

- SILVA, A.L.C., SILVA, M. A. M., SANTOS, C. L. Comportamento Morfológico e Sedimentar da Praia de Itaipuaçu (Maricá, RJ) nas últimas Três Décadas. *Revista Brasileira de Geociências. Sociedade Brasileira de Geologia*, 38 (1), p. 89-99, 2008.
- SILVA A. L. C. 2011. Arquitetura sedimentar e evolução geológica da planície costeira central de Maricá (RJ) ao longo do Quaternário. Tese de Doutorado, Programa de Pós Graduação em Geologia e Geofísica Marinha, Universidade Federal Fluminense, 185p.
- SILVA A.L.C., SILVA M.A.M., GRALATO J.C.A. & SILVESTRE C.P. Caracterização geomorfológica e sedimentar da planície costeira de Maricá (Rio de Janeiro). *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 15 (2): 231-249. 2014.
- SOCHACZEWSKI, Jacques. Contexto do Desenvolvimento adotado pelo Município de Maricá, RJ. 2004. 147 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Ambiental) – Instituto de Geociência, Universidades Federal Fluminense, Niterói, Rio de Janeiro, 2004.
- SOUZA, C. R. G.; SUGUIO, K.; OLIVEIRA, A. M. S.; OLIVEIRA, P. E. Quaternário do Brasil. 1a Ed. ABEQUA: Ribeirão Preto, São Paulo, 2005. 381p.
- SUGUIO, K.; MARTIN, L.; BITTENCOURT, A. C. S. P.; DOMINGUEZ, J. M. L.; FLEXOR, J. M.; AZEVEDO, A. E. G. Flutuações do nível relativo do mar durante o Quaternário superior ao longo do litoral brasileiro e suas implicações na sedimentação costeira. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 15, n.4, p. 273-286, 1985.
- THIELER, E. R.; HAMMAR-KLOSE, E. S. National Assessment of Coastal Vulnerability to Sea-Level Rise: Preliminary Results for the U.S. Atlantic Coast. U.S. Geological Survey Open-File Report, v. 99-593, p. 1-15, 1999a.
- THIELER, E. R.; HAMMAR-KLOSE, E. S. National Assessment of Coastal Vulnerability to Sea-Level Rise: Preliminary Results for the U.S. Pacific Coast. U.S. Geological Survey Open-File Report, v. 00-178, p. 1-17, 1999b.
- THIELER, E. R.; HAMMAR-KLOSE, E. S. National Assessment of Coastal Vulnerability to Sea-Level Rise: Preliminary Results for the U.S. Gulf of Mexico Coast. U.S. Geological Survey Open-File Report, v. 00-179, p. 1-15, 1999c.
- VOUSDOKAS, M.I.; VELEGRAKIS, A.F.; PLOMARITIS, T.A. 2007. Beachrock occurrence, characteristics, formation mechanisms and impacts. *EarthScience. Reviews*, 85: 23