



Maria Beatriz da Costa Mattos

**Análise do impacto erosivo em praias
urbanas. Estudo de caso Praia de
Piratininga Niterói/RJ**

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada como requisito parcial
para obtenção do título de Mestre pelo Programa
de Pós-Graduação em Engenharia Urbana e
Ambiental da PUC-Rio

Orientador: Prof. Marcelo Roberto Ventura Dias de Mattos Bezerra

Rio de Janeiro
Setembro de 2022



Maria Beatriz da Costa Mattos

Análise do impacto erosivo em praias urbanas. Estudo de caso Praia de Piratininga Niterói/RJ

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana e Ambiental da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo.

Prof. Marcelo Roberto Ventura Dias de Mattos Bezerra

Orientador

Departamento de Arquitetura e Urbanismo – PUC-Rio

Prof. Sérgio Cadena de Vasconcelos

Departamento de Geografia e Meio Ambiente – PUC-Rio

Prof. André Luiz Carvalho da Silva

Departamento de Geografia FFP – UERJ

Rio de Janeiro, 16 de setembro de 2022.

Todos os direitos reservados. A reprodução, total ou parcial, do trabalho é proibida sem autorização da universidade, da autora e do orientador.

Maria Beatriz da Costa Mattos

Graduou-se em Arquitetura e Urbanismo (UFF) em 1989. Pós-graduada em Planejamento Ambiental (UFF), Engenharia de Segurança (UFF), Sensoriamento Remoto (INPE), *Master Business and Environment* (COPPE – UFRJ) e *Master in Business* Executivo (COPPEAD-UFRJ). Por 24 anos atuou no mercado privado de consultoria ambiental para a área de meio ambiente em energia (óleo e gás, etanol e renováveis). Trabalhou na área ambiental e de segurança em uma empresa de petróleo, e atualmente é Gerente de Sustentabilidade dessa mesma empresa.

Ficha Catalográfica

Mattos, Maria Beatriz da Costa

Análise do impacto erosivo em praias urbanas : estudo de caso praia de Piratininga, Niterói, RJ / Maria Beatriz da Costa Mattos ; orientador: Marcelo Roberto Ventura Dias de Mattos Bezerra. – 2022.

158 f. : il. color. ; 30 cm

Dissertação (mestrado)–Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana e Ambiental, 2022.

Inclui bibliografia

1. Engenharia Civil e Ambiental - Teses. 2. Engenharia Urbana e Ambiental - Teses. 3. Erosão costeira. 4. Praias urbanas. 5. Resiliência urbana-ambiental. 6. Mudanças climáticas. I. Bezerra, Marcelo Roberto Ventura Dias de Mattos. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana e Ambiental. III. Título.

CDD: 624

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

A meus pais, Marcos e Leila, por sempre me apoiarem para ser quem eu queria ser e acreditarem em mim.

A meu marido Carlos Leandro pela parceria de uma vida, em todas as horas você sempre esteve comigo. Obrigada pela inspiração que sempre foi e sempre será e por enxergar o melhor que tenho em mim.

Ao meu irmão e sua linda família, que é minha também, Patrícia, Pedro Paulo e Miguel.

A meus enteados, Jean e Allan, que estão sempre torcendo por mim.

A minha amiga Ana Cleide que sempre foi motivo de orgulho, e em todas as etapas de sua vida é o verdadeiro exemplo de resiliência e persistência.

E a todos os amigos que estão e estiveram comigo dividindo espaço e tempo na maior jornada que é a vida!

Resumo

Mattos, Maria Beatriz da Costa; Bezerra, Marcelo Roberto Ventura Dias de Mattos (Orientador). **Análise do impacto erosivo em praias urbanas: estudo de caso praia de Piratininga, Niterói, RJ.** 2022. 158p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Esta dissertação investiga sobre as causas e efeitos da erosão em praias urbanas, e como estão sendo tratadas as intervenções costeiras, dado os prognósticos advindos das mudanças climáticas, tendo como estudo de caso a praia de Piratininga em Niterói/RJ. Ao longo do estudo são discutidos aspectos ambientais, como morfodinâmica costeira e seus impactos, que devem ser considerados em intervenções urbanas e programas de gestão costeira, o que o torna relevante, considerando que o fenômeno de adensamento urbano é global e crescente, muito mais sentido nas zonas costeiras. A alta densidade populacional e a diversidade de habitats marinhos e terrestres, associados a diversos interesses sociais e econômicos, gera uma disputa dos espaços costeiros, fazendo que a perda desse território, devido ao recuo da linha de costa, seja um problema relevante. As praias urbanas vêm apresentando degradação ambiental crescente, o que pode agravar os problemas mais evidentes como a erosão costeira. A erosão das praias é um impacto negativo que ocorre mundialmente e inúmeras causas podem ser atribuídas, sejam elas por fatores naturais ou antrópicos na zona costeira. As praias urbanas brasileiras têm vários exemplos de erosão costeira severa e, nos casos de intervenções equivocadas, é notório que a intensificação de eventos extremos, incrementam a erosão costeira. O estudo de caso faz um diagnóstico com dados secundários dos aspectos ambientais importantes a serem considerados em projetos de intervenção a beira mar, de forma a respeitar a vulnerabilidade costeira e os indicadores devido às mudanças climáticas. Após a análise, os pontos mais suscetíveis à destruição são indicados para uma solução abordando os aspectos como tecnologia verde, soluções baseadas na natureza, além de mostrar tendências de adaptações à uma futura condição, como exemplos de resiliência urbana ambiental.

Palavras-chave

Erosão costeira; praias urbanas; resiliência urbana-ambiental; mudanças climáticas.

Extended Abstract

Mattos, Maria Beatriz da Costa; Bezerra, Marcelo Roberto Ventura Dias de Mattos (Advisor). **Analysis of the erosive impact on urban beaches. Case study Praia de Piratininga Niterói/RJ.** 2022. 158p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Introduction

Coastal zones are possibly the most attractive areas for urban expansion and the ones that most feel the effects of climate change. Studies show that many of the world's main coastal urban centers suffer, and may suffer even more, serious losses due to erosion in the coming decades (UNU-IHDP-2015). However, it is important to recognize that the effects of climate change are not the only factor that is driving the risks that coastal cities face. Globally, beach erosion is a negative impact and can occur due to causes attributed to a range of natural factors, but also to various human interventions in the coastal zone (Souza, 2009).

The coastal zone is the boundary environment between the continent and the ocean, which is totally dynamic and has been pressured by different agents, natural and/or artificial, mainly in the transition zone, the urban beach, and, therefore, the urban expansion in coastal areas proves to be a highly sensitive issue. Over time, the effects of climate change in coastal areas can be perceived in the gradual increase in the magnitude and frequency of many of the natural events, considered extreme, such as intense rains, strong cold fronts, cyclones, and the increase in the level of the sea, revealing threats to coastal urban areas, which are already feeling these effects highlighted by rapid urbanization in recent years (UN-Human Settlements, 2011).

Another relevant fact is the proportion between available area and population in coastal municipalities. Figure 1 (IBGE, 2011) shows that the municipalities in the coastal zone occupy an area of 4.1% of the total available in Brazil and, in 2010, housed a population corresponding to 24.6% of the total Brazilian population. Such proportional relationship points to a tendency of territorial conflict, also considering the areas of urban beaches that are not limited

to the beach itself, but the entire beach system among other elements that make up the beach morphodynamics, further reducing the available space.

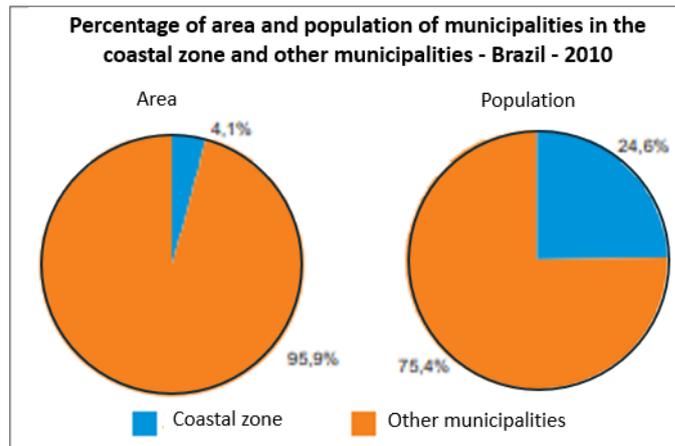


Figure 1 – Proportion between available area and population in coastal and general municipalities.
Source: IBGE, 2011.

Coastal erosion affects one of the essential parameters for the preservation of beaches, which are the understanding of the morphodynamics of the beach, governed mainly by the sedimentary balance, influenced by the wave climate (Muehe, 2011), beach slope, in addition to coastal fixation vegetation, which are called *restingas* (Silva et al., 2009), among other factors. Urban interventions by the sea also, depending on how they are carried out, contribute to the erosive impact on urban beaches. The dissociation of such natural parameters in urban projects results in coastal degradation.

Brazilian urban beaches are often the environments that become vectors of urban expansion and a question arises: Are environmental parameters that can help in the urban planning of sensitive areas, such as urban beaches, being considered?

In this sense, the most relevant issue that this dissertation can address is the understanding of which parameters associated with the erosion of urban beaches could be considered in promenade projects along the seafront. This dissertation aims to discuss the parameters that can influence coastal erosion and, consequently, urban interventions along the beaches, such as walks along the seafront, using Piratininga beach in Niterói - RJ, as the region of case study.

Objectives

The general objective of this study is to analyze the erosive impact on urban beaches, as well as the associated parameters that can be considered in urban projects. In this sense, Piratininga Beach was considered as a case study. To this end, a holistic approach was adopted considering the natural and urban phenomena involved in beach morphodynamics, thus expanding the understanding and importance of knowing the environmental parameters, in addition to considering future effects on a global scale, such as the sea level rise and extreme events, both resulting from climate change.

Secondary objectives can also be considered:

- To discuss urban interventions aiming to minimize the erosive impacts of urban beaches.
- To understand the legal and institutional mechanisms that can support interventions in urban beaches, capable of integrating natural and urban environments.
- To combine coastal promenade solutions that can integrate natural environments and their variations with the reality of urban densification aiming environmental - urban resilience.

As a limitation of this research, it should be noted that the technical aspects related to coastal geomorphology, physical meteoceanography and the synergistic effects of natural phenomena such as wind, wave and tides will not be addressed in depth. The analysis of natural phenomena will be restricted to the impacts caused by them and not their origin.

Justification

The problem of coastal erosion has been observed in different parts of the world and is currently considered a global phenomenon, as stated by Bird (1993). Lins-De-Barros (2005) mentions that with the intense urbanization of the shores, coastal erosion started to be treated not only by studies aimed at understanding the physical processes, but also under a socioeconomic approach in view of the impacts caused on constructions. urban. Souza (2009) comments on the financial losses resulting from damage to buildings located inappropriately in the dynamic space of

the beaches, were what awakened and brought the theme to the academic environment, as well as to political debates. The need to think about urban planning for the coasts in an integrated way, was what guided the conception of the lines of action of the current integrated coastal management.

According to Muehe (2011), the occupation of the shore has been taking place with different degrees of intensity, the worrying factor is since there is no safe distance from the beach, causing loss of material goods during extreme storms, a risk that potentially increases in view of predicted climate change over the next few decades.

This dissertation is applied research. The study seeks to understand the parameters and natural phenomena that can influence coastal erosion, using, in addition to bibliographic research, the case study in an urban beach, which can represent so many other Brazilian beaches. Environmental parameters that can classify beaches in terms of their ability to recover their sedimentary balance, which according to Muehe (2011), is a preponderant factor for good resilience and physical balance.

For this integrated analysis, a typically urban Brazilian beach was chosen, which is Piratininga beach in Niterói/RJ, which has its seafront promenade eventually destroyed in some stretches, causing damage to public coffers in the repeated reconstruction soon after the incidents.

This study also brings a reflection on constructive methods of urban walks that are based on innovative experiences, bringing adaptation and respect to the dynamic environment that is the urban beach. Therefore, this study is justified to improve the understanding of the integration of environmental factors that influence the erosive impact of urban beaches, coastal management, and urban-coastal resilience, learning from past mistakes to adapt to future transformations.

Methodology

The adopted methodology comprised in an initial bibliography research on the subject Analysis of the Erosive Impact in Urban Beaches. The searched terms were classified according to their frequency in articles, books, dissertations about this work.

After defining the terms to be searched, these were separated as central themes that were, in turn, classified according to their relevance to the subject. The classification regarding relevance was divided into four themes that house the central ideas and concepts that were researched. The four central themes were: Coastal Erosion, Climate Change, Urban Pressure and Urban Intervention. With the themes grouped, the bibliographic research was organized. The bibliographic review included the reading of articles, books and dissertations that also accompanied the research in non-academic articles, newspapers, and specialized magazines to complement the academic review.

The sections of the boardwalk that have been destroyed over the years have been identified and rated for their propensity to destroy during extreme events. The classified sections were targets of an intervention proposal inspired by similar experiences, aiming to respect the environmental conditions inherent to the anthropic environment, and adapting to medium and long-term future forecasts, aiming at green trends and the concept of urban-environmental resilience.

Climate Change and Natural and Anthropic Aspects that influence Coastal Erosion

This chapter describes the issues that most influence coastal erosion, both on a global scale, such as climate change, and regionally. It also discusses the natural and anthropic parameters that must be considered in coastal urban projects, in addition to pointing out the legal mechanisms that can be used for coastal management, as well as examples of innovative solutions that, understanding the future climate situation, propose solutions aligned with the concept of urban-environmental resilience

Climate change

Climate Change refers to long-term changes in temperature and climate patterns in global or regional terms, which became apparent in the mid-20th century and produces various effects such as sea level rise, increased occurrence of extreme events such as storms., cyclones, among other climatic effects that tend to be more frequent and more intense over time. This subchapter addresses the correlation between the effects of climate change and coastal erosion.

In the IPCC Special Report on climate change (2019), it is commented that the greenhouse gases (GHGs) emitted by humans have resulted in an unequivocal and long-term warming of the planet. Where more than 90% of excess heat is stored in the world's oceans, where it accumulates and causes ocean temperature to rise (Rhein et al., 2013; Abram et al., 2019 apud Cheng, et al. 2019). This is due to the fact that the oceans are the main thermometer of the Earth and any energy imbalance is reflected in the oceanic environment. Thus, measuring ocean heat content (OHC) is one of the best ways to quantify the rate of global warming (Trenberth et al., 2016; Von Schuckmann et al., 2016; Cheng et al., 2018 apud Cheng, et al. al., 2019).

Data collected on ocean temperatures between 1993 and 2019 by the American agency NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) confirm that the heat content of the upper ocean, depths up to 700 meters (2.300 ft), has increased significantly in recent decades, as seen in Figure 2.

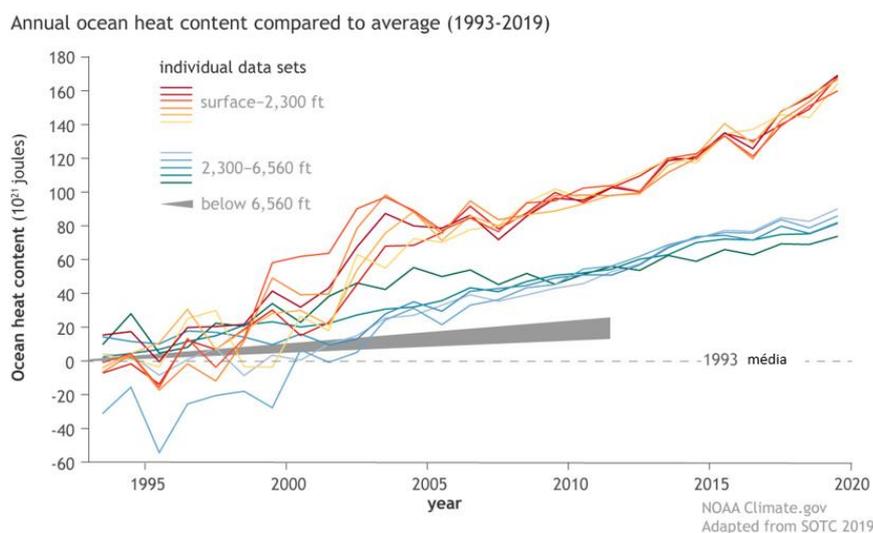


Figure 2 – Annual Ocean Heat Content between 1993 and 2019 – average and increasingly frequent anomalies.
Source: NOAA Climate.gov.

This exchange of energy between the ocean and land, produces the heating of sea water, and its consequent expansion, providing some warning signs, such as, for example, the collapse of ice shelves at the poles. Melting polar ice threatens to add more water to warmer, already expanding seas because the water expands as it warms, accelerating a dangerous rise in sea level (Wunderling, et al, 2020).

In the case of Brazil, the projections of climate extremes in the future point to a continuity in the trends of extremes in the coastal regions of the country, with more intense and frequent rainfall extremes in the South and Southeast of Brazil,

and droughts in the Northeast, which can lead to a greater number of natural disasters of hydrometeorological origin, such as floods, droughts and landslides in exposed areas with high population density as exposed in IPCC (2013) and Magrin et al., (2014).

Thus, evidence of the effects of climate change, regardless of its causes, demonstrates that the assessment of the vulnerability of coastal zones is necessary and strategic (Tagliani et al., 2010), at all scales, for any type of urban intervention.

Natural and anthropic aspects that influence coastal erosion – urban beaches

According to Mangor et al. (DHI, 2017) coastal erosion, both natural and those caused by human activities, has conventionally been accepted as permanent or semi-permanent impact, since the cause of the impact cannot be fully removed. To improve the understanding of coastal erosion in urban areas, it is important to characterize the environment that suffers the most impact, in this case, the sandy beach. In this subchapter, the natural and anthropic aspects that influence erosion on urban beaches, especially on sandy beaches, are addressed.

Natural aspects and coastal erosion

The retreat of the coastline is a consequence of this process. Muehe (2020) emphasizes that the most significant and practical information for understanding the processes responsible for the transport of sediments and, consequently, for the modeling of morphological features, whether erosive (negative sedimentary balance) or depositional (positive sedimentary balance), can be described in a simple relationship, which encompasses the main inducing variables of coastal processes, and was presented by Swift (1976), which conditions the change in coastline position to the following variables coastal erosion.

$$\Delta l \approx \frac{Q_s \cdot G}{E} - \frac{\beta}{\Delta M}$$

$\Delta l \approx Q_0 \cdot G E - \beta \Delta M$, that is, the retreat or advance of the coastline is proportional to the volume of sediments (Q_s) that enters or leaves the system, the

granulometric diameter of the sediments (G), the energy wave (E), seafloor slope (β) and sea level variation (ΔM). Muehe (2020) explains:

The input of coarse-grained sand tends to favor the volume of the beach sand stock, while the increase in wave energy (increase in height, for example in a storm) tends to reduce it. On the other hand, the relationship between the slope of the shoreline and the amplitude of the sea level variation act to amplify or reverse this effect. On a time scale of hours or days, the slope and sea level variation can be replaced by the slope of the beach face and the tidal amplitude. (Muehe, D., 2020)

Mangor et al. (2017) describe that chronic erosion is typically developed progressively and steadily over long periods and, consequently, is not only associated with extreme events. Acute erosion typically occurs during extreme events, where the coast is simultaneously exposed to high waves and storm surges. Acute erosion is often a reversible process and therefore is often temporary in nature as the coastal profile may fully or partially recover after a storm. Acute erosion can also occur in part of a littoral cell due to maritime processes caused by an extreme and atypical storm with directional characteristics different from the prevailing waves, or a combination of both as summarized in Table 1.

Table 1 - Summary table of environmental parameters that influence coastal erosion.

Parameter	Influence in erosion process	Cronic erosion	Acute erosion
		Progressive impact	Extreme impact
Wind	Indirect	stacking the waves	Ciclons/Hurricanes
Waves	Direct	Interference in the sedimentary balance	Undertow/ sea level rise
Beach profile	Direct	Interference in the sedimentary balance	Favors sea advance
Longshore current	Indirect	Interference in the sedimentary balance	Beach Nourishment or beach reduction
Tide	Direct	Sea advance over land	Storme surge
Vegetation (restinga)	Indirect	There is no protection of the beach environment	Favors sea advance
Sediments	Direct	Change in morphodynamics	Sedimentary balance imbalance

Source: the author.

Anthropogenic aspects and coastal erosion

Lins-De-Barros (2005) emphasizes that the problem of coastal erosion is a global phenomenon and given the intense urbanization of the edges and since the 1970s, coastal erosion began to be studied from a socioeconomic perspective as well, considering the impacts caused by seaside interventions in urban areas, integrated with the current notion of coastal management. Muehe and Neves (2008)

point out that the occupation of coastal cords was concentrated in isolated locations, but over time, they have been expanding, and observe that the constructions are advancing very close to the beach line, thus being, increasingly, vulnerable to coastal erosion.

Souza (2009) comments that the main sources of human pressures in the coastal zone are the invasions of public areas, permanent preservation areas and areas subject to geological risks, the growing deficit in infrastructure, especially basic sanitation and housing; informality, ignorance, illegality and lack of understanding regarding compliance with current environmental legislation for fishing and port activities; doubts about the stability and clarity of the environmental rules for land use and occupation. Filet *et al.*, (2001) also add that the accelerated development of investments in the real estate sector in the coastal zone, aiming at tourism and leisure activities, in recent years, has contributed a lot to coastal erosion in urban beaches.

Coelho (2020) explains that an edge, marked by environmental degradation of human origin, is represented by a strip of sand with suppression of vegetation and construction of buildings or structures that mostly interfere with the sediment transport process, causing imbalances in the sedimentary balance. and, consequently, in the retreat of the coastline, causing coastal erosion.

Legal instruments for coastal management

The legal mechanisms that can be used to organize the beach space to preserve the beach arc and, consequently, the respective coastal morphodynamics, to minimize the risks of coastal erosion in urban beaches.

Integrated Coastal Management (ICM) is significantly better than traditional approaches to managing human activities in coastal areas. Several international and regional institutions have developed guidelines on integrated coastal management over time, such as the OECD (1991), the World Coast Conference (1993), the World Bank Report (1993), the IUCN (1993), United Nations Environment Program (1995) were pioneering steps towards an integrated understanding of coastal management. The UNDP (2004) already described that the populations and assets of coastal cities face a mismatch in development and evidence of the growing

impacts of climate change, and that standard technical and engineering solutions are unlikely to be adequate.

The alert is that the future is already manifesting itself through the gradual exposure to coastal risks, which extends to people, the natural environment and public and private heritage (PBMC, 2016). The legal and management instruments that have already been instituted are of great help so that the urban and natural environment and its population can adapt to changes and their prognosis.

Interventions by the sea

The potential risk of erosion is gradually increasing, and some countries have been facing its effects for some time, and many of them are already consequences of climate change.

According to The World City Report of the United Nations (UN, 2020), some countries are already facing problems such as the enlargement of beaches, disappearance of islands, a significant change in the magnitude of potential impacts, both due to the form of occupation of long stretches of coastline and the configuration morphology of its coast.

In general, the retreat of the coastline is the most noticeable impact and results from the negative sedimentary balance. For Bulhões (2020) this negative balance often stems from the lack of sediment that comes from the depletion of sources, either by the removal of materials to supply the dunes and in large part by human interventions, such as the construction of dams in the drainage basins that reduce the volume of materials transported by rivers to the sea, or even by urbanization of the waterfront.

The artificial works are called rigid works or gray works, in areas with coastal transport with defense structures perpendicular to the coastline, such as spurs, current guides and jetties (GI-GERCO, 2018). They can also be constructed using rock blocks, cement/concrete, wood, metal, or resistant synthetic fabrics and filled with sand or other materials such as geotextiles.

Analyzing coastal management options to reduce the risk of erosion, it is important to consider all available alternatives that benefit not only the coastline in place, but the beaches and neighboring properties, the coastal processes that affect

the area and the local and surrounding ecosystem and their functions, developing an integrated solution.

Urban - environmental resilience - coastal area

The IPCC (2021) disclosed in its latest report that scientists who systematically observe changes in the Earth's climate in all regions and throughout the climate system and point out that we are in the Anthropocene era, and all climatic consequences bear responsibility. direct and exclusive of human actions.

In the IPCC report (2021) scientists also describe that the resilience of coastal communities is the ability of society to absorb impacts and recognize, while undergoing changes.

Kim, et al. (2016) already stated that ecological resilience would also be discussed in the light of “climate change adaptation policies”, which means that a system can transform itself and reaching an alternative balance through a dynamic process, which are climate change. Resilience links adaptation to an opportunity for positive change.

Ernestson et al. (2010) describe that ecological resilience and urban resilience are concepts that are linked to urban climate resilience and the equilibrium perspective. The complex system of the urban environment can sustain multiple balances from an ecological point of view, and this means that a resulting positive balance is possible in the face of an external shock.

Nature based Solutions on and Green Technology

The term, nature-based solutions, was created by the International Union for Conservation of Nature (IUCN) to define a comprehensive concept that includes approaches to ecosystem restoration and conservation, climate adaptation services, natural infrastructure, natural resource management, among others.

Lins-De-Barros et al. (2020) comment that there is a growth in the number of studies that seek to evaluate the contribution of coastal ecosystems to the defense of the coast. The concept that natural ecosystem services are services provided by

natural ecosystems are the support of conditions for human life on Earth (Daily, 1997). Habitat destruction along the coast is greatest around urban areas, where erosion impacts are greatest. The concept of nature-based solutions (NbS) has the perspective that such ecosystems can be restored to directly meet coastal protection objectives, bringing a series of biotic and physical benefits to the coast.

Nesshover et al. (2017) describe the central challenge for a comprehensive concept as the NbS establishes its limits, and as to what is considered natural. Coastal interventions, for example, can be of specific uses and must consider ecosystem processes, requiring decisions about acceptable levels of human intervention, and consequently, for urban sprawl. Bulhões (2020, apud Temmerman et al., 2013) comments that with eco-engineering, in addition to providing an increase in biodiversity, a reduction in maintenance costs of coastal protection systems is also expected.

Figure 3 demonstrates how the American agency NOAA (National Agency for Oceanic and Atmospheric Administration) / NCCOS (National Center for Coastal and Oceanic Science) has disseminated the trend of increasingly green works, in addition to indicating how engineering techniques in protection coastal areas can be classified, and their extreme values which are gray and green. As gray, they are traditional works like the wall, and green would be the other extreme with the only vegetation solution.

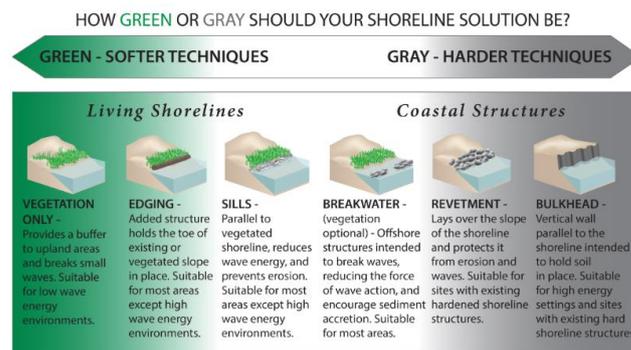


Figure 3 – Classification and scaling between gray to green coastal protection techniques. Source: NOAA, 2018.

NbS and green technologies (GTech) are increasingly creating their space and already have some successful examples, such as innovative ideas for urban

projects as well as objects and solutions that meet the desire to adapt to a future full of environmental challenges.

The subchapter on nature-based solutions on and green technology shown some aspects, from engineering works, through urban furniture and reaching small filtering membranes, it is possible to have projects that take sustainability into account at various scales.

Methodology applied to the Case Study

The case study proposal in this dissertation seeks to understand the causes of the erosive impact on an urban, sandy beach, considering the environmental parameters. The objective of this dissertation is to improve the understanding of the influence of environmental parameters on erosive impacts on sandy and urban beaches, in addition to listing them, aiming at coastal protection and future projections of extreme events arising from climate change.

Therefore, the methodology will be based on the collection of secondary data to characterize the area, use of photos and satellite images to determine the points of destruction of the boardwalk and proposal of an intervention aimed at future environmental issues, according to the following flowchart (Figure 4).

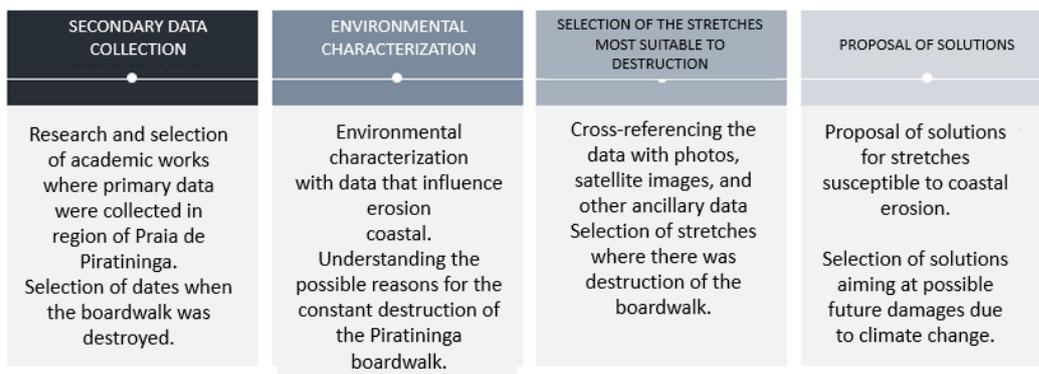


Figure 4 – Methodology for making the case study. Source: the author.

Study object

The municipality of Niterói is part of the State of Rio de Janeiro and belongs to the Metropolitan Region of the city of Rio de Janeiro and is approximately 13 kilometers away from the state capital, bordering the municipalities of São Gonçalo

and Maricá. Niterói is bathed by the beaches of Guanabara Bay and the oceanic region (Figure 5).

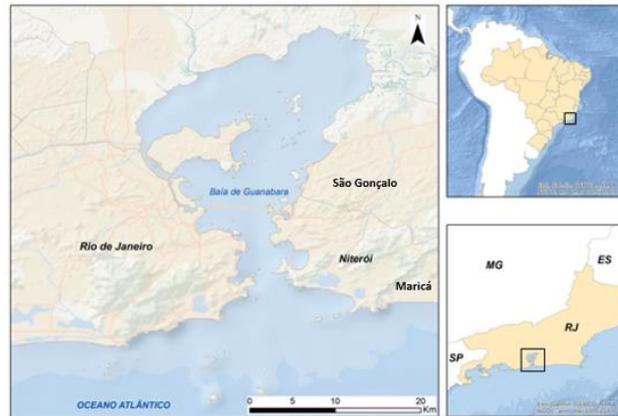


Figure 5 – Location of Niterói – RJ. Source: the author.

The municipal area of Niterói has five administrative regions and they are formed by the agglutination of neighborhoods and seek to respect the limits of hydrographic basins, according to the guidelines of the Municipal Master Plan (PMN, 1992). One of these regions is the oceanic region (Figure 6).



Figure 6 – Location of Niterói – RJ. Source: Google Earth.

Piratininga Beach was chosen for the case study in the analysis of erosive impact, as it is an urban, sandy beach and has problems with the destruction of its boardwalk, which happens in times of undertow and extreme wave attacks. A recurring problem that causes economic, social, and environmental damage (Figure 7).



Figure 7 – Broken boardwalk in Piratininga beach. Source: Muehe D.

Case study

Environmental characterization of the study area

In the State of Rio de Janeiro, approximately 60% of the population lives in coastal municipalities (Muehe 1998), the sandy beaches, in addition to suffering the anthropic pressures of urban expansion, some of them are exposed to the entrance of cold fronts, and consequently, more exposed to erosive impacts. Oliveira Filho et al. (2018) describe that the Fluminense Region receives throughout the year waves with greater height and period, generated from cold fronts, and point out that these events cause a rise in sea level, altering the volume of sediments and, consequently, the morphology. beaches, resulting in the destruction of urban structures.

Santos et al. (2004), describe the frequency of storms and the problems associated with them on the coast of Rio de Janeiro, and find that the average duration of each undertow is approximately 5 days, and the highest frequency occurs between the months of March and August. The beaches in the oceanic region of Niterói, especially Praia de Piratininga, have been undergoing changes due to the intense urbanization process, which has been accentuated from the 1970s to the present day. In addition to the increasing urbanization process, more intense storms also increase the risk of erosion (Figure 8).



Figure 8 – Broken boardwalk in Piratininga beach. Source: Muehe D.

Figure 9 presents a summary map of the morphological variability of Piratininga beach, where the variability of the beach profile occurs at the east and west ends. The middle of the beach has no variation in profile, possibly because the beach arch and sandbanks are preserved.

Considering the information collected from studies to form a characterization of Piratininga beach, it can be affirmed that there is loss of territory from the non-typical coastal morphodynamics in sandy beaches, but destruction of works on the edge, from wave attacks during extreme events, due to the positioning of the beach in relation to the South and Southwest waves, characteristics of cold fronts and undertows.

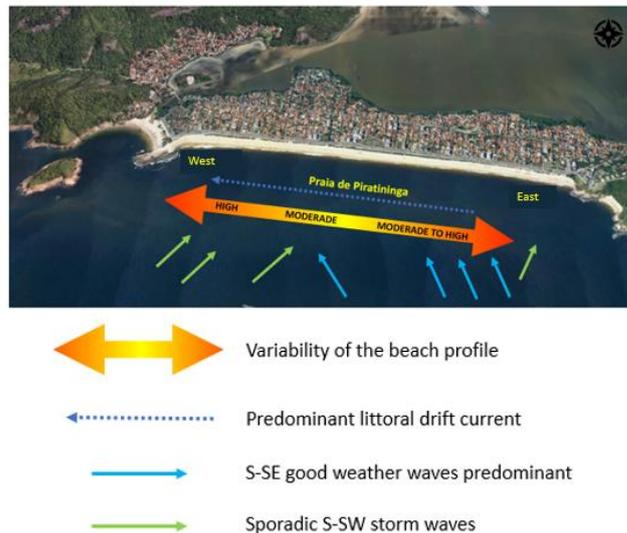


Figure 9 – Figure summary of the morphological variability of Praia de Piratininga Beach.

Source: Silva, A.L.C.; Silva, M.A.M. & Santos, C.L. (2009) adapted by the author.

Proposed Solution

Due to the position of Piratininga Beach, the beach is exposed to events that tend to become more frequent and more extreme in the future, originating from the effects of climate change, the proposed solution is to indicate projects for the future, mainly for the East and West ends of Piratininga beach (Figure 10) are the two areas that suffer the most from the destructive effects of waves coming from the South and Southwest, to the West due to the beach profile of high variability and to the East because it is more exposed to the arrival of waves.



Figure 10 – Piratininga Beach and the most vulnerable West and East sides.

Source: the author.

Therefore, the set of solutions proposes to minimize the impacts in the areas in the extreme West and East, which already occur, as well as prepare for the future of more and more cold fronts arriving with more frequency and magnitude.

The set of proposals for the West and East stretches of Praia de Piratininga Beach involves a hybrid solution with the maintenance of the existing boardwalk with the material and construction method that was built previously, and the ends are elevated, in relation to the original floor, with a deck of certified and articulated wood. The wooden hinged deck can be replaced more easily and at a lower cost.

The replanting of sandbanks in the western section, in front of the wooden boardwalk, can prevent the sea from advancing violently, as was noticed in the central part of the beach, where the sandbank cord acts as a physical barrier to the advance of waves in hangover seasons. The wooden deck designed and built on concrete allows that, in the event of further destruction of the stretch, it can be restored more economically, raising the floor minimizes the reach of the waves.

The boardwalk, in the wooden sections, has railings, also made of wood, sometimes acting as a protective fence, which can be isolated in times of undertows (Figure 11).

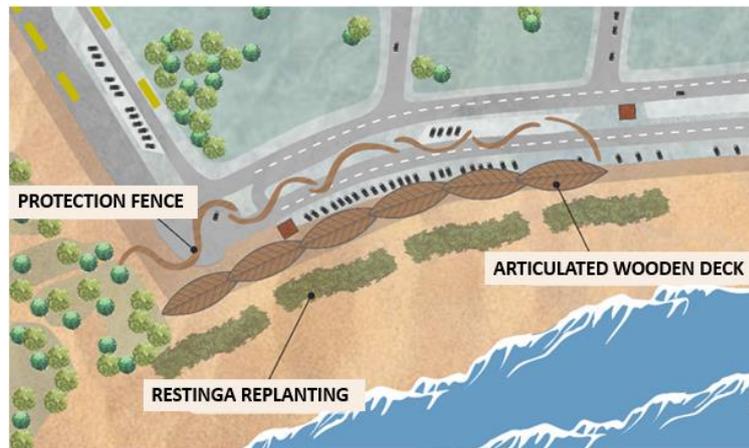


Figure 11 – Hybrid solution for the west section of the elevated deck in certified and articulated wood and replanting of sandbanks as a physical barrier.
Source: the author.

The proposal is that, over time, the entrances of the cold fronts, increasingly frequent and in an extreme way, will make the sea advance, and thus a part of the deck, because it is articulated, may lose a part before the total reconstruction. (Figure 12).

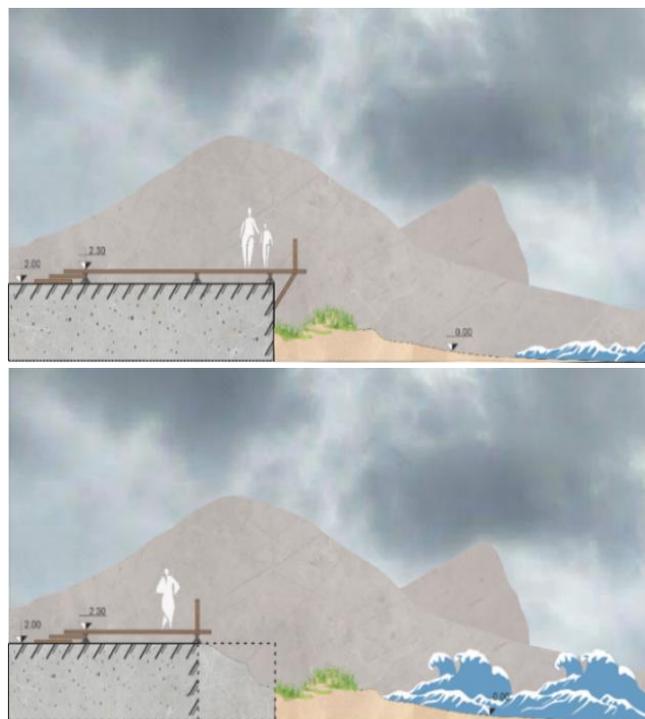


Figure 12 – Schematic profiles of the proposal: the first in a good weather situation and the second in a situation of severe wave attack with breakage of the boardwalk and rapid restoration of part of the wooden deck. Source: the author.

Considering that the East side has a less protected position to the waves attacks, which tend to increase in frequency and magnitude with time, a study is proposed to build an island in front of the East section so that the waves lose energy and are less destructive when reaching the beach, in addition to a large barrier of replanted sandbanks and the articulated wooden deck in the stretch that is most sensitive to rupture (Figure 13).

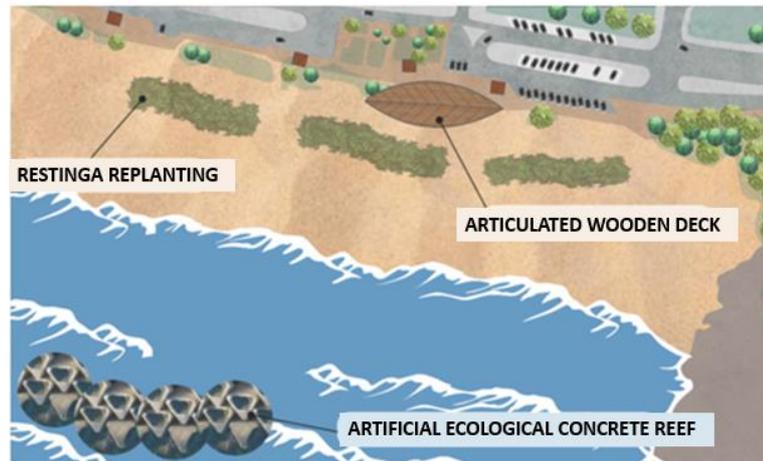


Figure 13 – Artificial Island made of ecological concrete proposed to reduce wave energy in the eastern section.
Source: the author.

Wave refraction models, as well as systematically measured data, will be required to estimate the best positioning and depth to achieve the expected objective. This artificial island can be built, for example, with ecological concrete, ecological concrete blocks, designed by biologists and designed to create biological life, attracting biodiversity and providing spaces for marine life nurseries.

The systematic monitoring of environmental parameters that influence coastal erosion is of great value to increase the knowledge of the causes of this phenomenon. Thus, a proposal for the systematic and expanded collection of environmental data along Piratininga Beach, to improve the understanding of the causes of coastal erosion, and that can involve society in this collection.

The proposal is based on a method that fixes a point, through a totem for fitting a cell phone in the eastern part, where any citizen can photograph the coastline and send it to a database, which can measure the advance of the sea in several times of day and at different seasonality (Figure 14 and Figure 15).



Figure 14 – Proposal for a Totem for monitoring the coastline through cell phones installed on the East side.
Source: the author.

The concept of citizen science seeks to bring society and science together for a greater objective, such as the dissemination of the culture of collecting information in a systematic and expanded way, using popular, simple tools to guarantee the participation of society in solving problems. relevant problems. An example would be on the east coast of Australia, in the state of New South Wales, where there is an initiative that implements the concept of Citizen Science for monitoring coastal erosion on sandy beaches, using a cell phone application by the CoastSnap project.



Figure 15 – Coastline monitoring totem through cell phones.
Source: www.coastsnap.com.br

The totem in a fixed position can guarantee that all photo records are captured in the same location. Images from different smartphone cameras map the shoreline in each photo by counting the tide level at the time of capture. Over time, the photos build accurate records of how beaches erode and heal with varying ocean conditions, informing whether the sediment balance is healthy or not. The result over time is a map of the advancing or retreating shoreline (Figure 16).

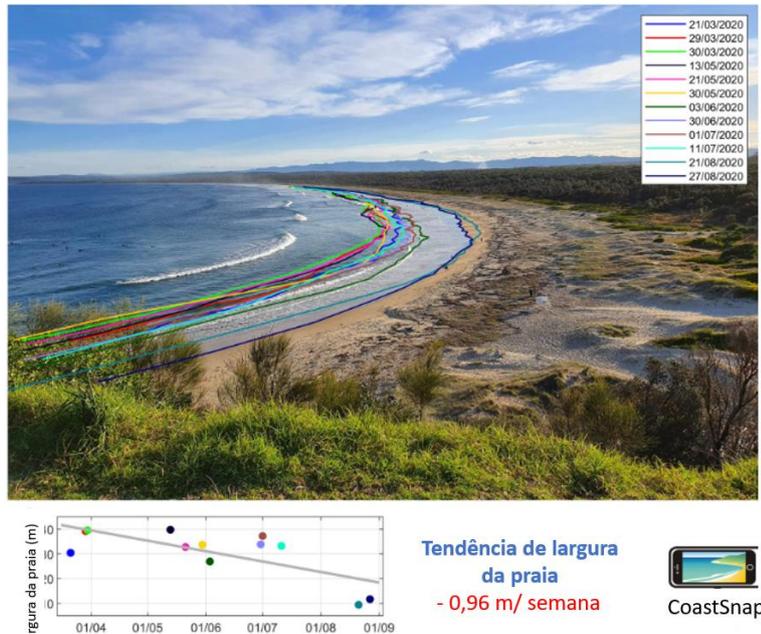


Figure 16 – Figure resulting from the trend of retreat or advance of the coastline.
Source: www.coastsnap.com

Conclusion

The coastal zone limits two distinct natural environments, and the ocean is already an environment in constant dynamism and the land with a dynamic, mostly, driven by human actions, increasingly intense with the population increase in this region. The dissonant dynamics between the two environments tend to cause impacts, mainly related to coastal erosion, which mainly affects sandy beaches that describe the boundary line between land and sea through strips of sand, exposed to constant withdrawals and sand deposits in function of the actions of the different meteoceanographic parameters, but also by anthropic actions, altering the sedimentary balance within the beach arc. Interference with the balance of sediment removal and deposit on a sandy beach can cause coastal erosion over time.

Retrogradation, or shoreline retreat, is the most notorious impact of coastal erosion and stems from the negative sedimentary balance within the beach arc. However, there are many reasons why the sedimentary balance is modified, whether natural or anthropic, by not respecting the area of movement of sands of the beach environment, invading the active profiles of the beaches, interference in the natural movement during natural events, such as storms, can cause disruption of sediment flow along the coast with predictable impacts of erosion, and with each extreme event erosion tends to increase.

In the Anthropocene, the era in which environmental impacts are the direct consequences of actions carried out exclusively by humanity, sandy beaches not only suffer immediate or medium-term impacts from human actions, such as urban sprawl, but also from the long-term impacts of such activities. actions on the environment, more broadly, intensifying the increase in frequency and severity of increasingly extreme weather events, such as storms, cyclones, increased wave energy and rising sea levels.

There is an expressive amount of research on more sustainable techniques and materials, which may, in some way, be closer to the concepts of urban environmental resilience. Not only research on materials that bring less environmental impacts, but also less rigid intervention techniques and urban planning that are more integrated with adjacent environments, considering environmental parameters for solutions that are more adapted to a future of climate change and major environmental impacts.

As for the case study, the typically urban beach of Piratininga in the city of Niterói/RJ, which has its boardwalk constantly destroyed after severe storms, after analyzing the environmental parameters that influence coastal erosion, it was concluded that despite the beach arch being preserved, it is a beach of high morphodynamics, mainly in its extremes.

The destruction of the boardwalk of Praia de Piratininga is related to the form of reception of the waves in good weather (Southeast) and bad weather (Southwest), attacking the extreme east and west part of the beach. If, on the one hand, this statement brings relief, when realizing that the stocks of sediments are removed and replaced in a balanced way, on the other hand, it generates an alert by the observation that the beach, object of study, is exposed to waves attacks, a of the parameters responsible for the variation of the coastline and, consequently, coastal erosion.

In the case of Piratininga beach, due to its location, there is a prognosis that wave attacks, increasingly frequent and extreme, will occur in proportion to the advance of the effects of climate change in the region, which, because it is a large-scale problem, it is expected to be a trend that will depend on the whole society. However, solutions that can, in some way, minimize the causes of the destruction of the promenade along the edge of Piratininga, which, based on the diagnosis

carried out with the compilation of studies and measured data, are the attacks of the waves on the east and west ends of the beach.

The proposed solution intends to minimize the energy of bad weather waves that occur, mainly in the extreme east, building a reef in the direction of the propagation of the waves that reach the eastern portion of the beach, preventing the waves from breaking violently on this side of the boardwalk. The reef built with ecological concrete blocks and shaped in such a way that marine life is created, thus increasing the local biodiversity, in addition to decreasing the energy of the southwest waves in situations of bad weather.

As a complementary resource, the proposal is a hybrid design solution for the boardwalk, where the current concrete structure along the beach is maintained, where there is no destruction of the same with the preserved sandbank. And at the extremes, which are the most affected stretches, they are built in certified wood that, when presenting incidences of strong waves, these stretches can collapse and be reconstructed in an easier, modular, and economical way, thus practicing the concept of urban environmental resilience, adaptation, and reconstruction. Thus, avoiding greater losses, which may aim at controlling the use, occupation, and exploitation of the soil, in an integrated way with environmental diagnoses.

Understanding the relevance of the coastal erosion issue, and that it is inevitable that, over time, the ocean will advance on the land, it is imperative that there is a systematic monitoring of environmental parameters. Therefore, as a recommendation for municipal managers, especially in Niterói, to set up a network of oceanographic instruments to measure tide (tide gauges), wave (ondographs) and current (bottom ADCPs), installed on the oceanic beaches of Niterói, in addition to seasonal measurement of beach profiles, to understand the integrated dynamics and thus better prepare for extreme events in the future.

Keywords

Coastal erosion; urban beaches; urban-environmental resilience; climate changes.

Sumário

1. Introdução	38
1.1. Objetivos	44
1.2. Justificativa	45
1.3. Metodologia	47
1.4. Estrutura da dissertação	48
2. Mudanças Climáticas e Aspectos Naturais e Antrópicos que influenciam na Erosão Costeira	51
2.1. Mudanças Climáticas	51
2.2. Aspectos naturais e antrópicos que influenciam na erosão costeira – praias urbanas	57
2.2.1. Caracterização do sistema praias arenoso	59
2.2.2. Aspectos naturais e erosão costeira	65
2.2.3. Aspectos antrópicos e erosão costeira	82
2.2.4. Instrumentos legais para gerenciamento costeiro	84
2.2.5. Intervenções a beira mar	91
3. Metodologia aplicada ao Estudo de Caso	115
3.1. Objeto de estudo	115
4. Estudo de caso	121
4.1. Caracterização ambiental da área de estudo	121
4.1.1. Ondas	126
4.1.2. Granulometria dos sedimentos	129
4.1.3. Perfil de praia e batimetria	130
4.2. Soluções propostas	134
5. Conclusão	141
6. Referências bibliográficas	144

Lista de Figuras

Figura 1 - Projeção da evolução da população urbana no mundo em 2050	39
Figura 2 - Distribuição da população em municípios com mais de 20 mil habitantes em 2010	41
Figura 3 - Comparativo densidade populacional por número de habitantes entre municípios costeiros e geral no Brasil (2010)	42
Figura 4 - Proporção entre área disponível e população em municípios costeiros e geral	42
Figura 5 - Esquema conceitual das variáveis em um estudo do impacto erosivo em praias urbanas	49
Figura 6 - Conteúdo de calor oceânico anual entre 1993 e 2019 – média e anomalias cada vez mais frequentes	52
Figura 7 - Temperatura global para o ano de 2019	53
Figura 8 - Riscos devido às mudanças climáticas na América do Sul e Central	56
Figura 9 - Custos e impactos de medidas de adaptação às mudanças climáticas na zona costeira brasileira.	57
Figura 10 - Distribuição global de linhas de costa arenosas.	58
Figura 11 - Caracterização do sistema praiial arenoso	60
Figura 12 a e b - Exemplos da zona de estirâncio compondo a faixa de praia e bermas.	60
Figura 13 - Componentes de um sistema praiial arenoso	61
Figura 14 - Praia com berma de tempestade, e escarpa consistindo em barreira arenosa, formando o limite da praia com a retropraia. Praia de Jaconé - RJ	61
Figura 15 - Exemplo de praia dissipativa com múltiplos bancos/zonas de arrebentação em Santa Catarina	62
Figura 16 - Exemplo de praia refletiva. Ausência de zona de surfe. Praia de Camburi, Vitória, ES	62
Figura 17 - Exemplo de praia arenosa intermediária – Bahia..	63
Figura 18 - Estágios morfodinâmicos de praias arenosas dominadas por ondas	64
Figura 19 - Esquema ilustrativo de quebraamento de ondas.	70
Figura 20 a - Desenho esquemático dos tipos de onda em praias arenosas	70
Figura 21 - À esquerda um esquema do método das balizas de Emery a à direita levantamento com equipamento topográfico convencional (nível ou teodolito)	72

Figura 22 - Extensão do perfil topográfico para a antepraia. A profundidade medida no local pelo topógrafo localizado na praia	73
Figura 23 - Representação 2D e 3D do relevo de um terraço da antepraia de Putiri no litoral do Espírito Santo	74
Figura 24 - Elementos que compõem a antepraia	74
Figura 25 - Esquema ilustrativo da corrente longitudinal, deriva litorânea (praial) e processos associados	75
Figura 26 - Representação ilustrativa de uma corrente de retorno	76
Figura 27 - Aumento do nível do mar por ocasião de maré astronômica alta e maré meteorológica	78
Figura 28 - Esquema gráfico dos componentes físicos atuantes em uma ressaca do mar.	79
Figura 29 - Escalas espaço-temporal envolvidas no estudo de praias e processos relativos à dinâmica costeira.	82
Figura 30 - Desenho esquemático da orla marítima do Brasil, segundo metodologia proposta no Projeto Orla.	88
Figura 31 - Erosão na Carolina do Norte EUA Julho 2018.	92
Figura 32 - Erosão em Miami Beach EUA Janeiro 2020 – reposição do estoque de areia.	92
Figura 33 - Exemplo de erosão costeira contrastando com a parte não urbanizada na cidade de Macaé – RJ.	92
Figura 34 - Exemplo de tentativa de contenção da erosão costeira com enrocamento em área urbanizada em Macaé – RJ	93
Figura 35 - Erosão costeira em Long Island com tentativa de enrocamento– NY – EUA – 2010	93
Figura 36 - Diagnóstico de erosão costeira integrado na região Shandong – China – 2018	93
Figura 37 - Praia da Macumba – Rio de Janeiro (RJ)	94
Figura 38 - Av. Bartolomeu Gusmão – Santos (SP)	94
Figura 39 - intervenção fixa (espigão) construída com geotêxteis (<i>geobags</i>) – Buzios – RJ	95
Figura 40 - intervenção fixa com espigão na Praia de Iracema – Fortaleza – CE	95
Figura 41 - Exemplo de intervenção fixa do tipo paredão (<i>seawall</i>) – Staten Island – Nova Iorque – NY – EUA	95
Figura 42 - Exemplo de intervenção fixa do tipo mureta (<i>bulkhead</i>) defletindo as ondas – Miami Beach – FL – EUA	95
Figura 43 - Classificação e escalonamento entre técnicas cinzas a verdes de proteção costeira	99

Figura 44 - Duna artificial. Norfolk – Reino Unido	102
Figura 45 - Recife artificial com ostras – Golfo do Mexico – EUA	102
Figura 46 - Projeto vencedor calçadão em Terrigal Beach - Austrália	102
Figura 47 - Projeto vencedor do Imagine Boston 2030 EUA	102
Figura 48 - Proposta para área costeira de Boston para os próximos 50 anos	103
Figura 49 - Projeto híbrido SbN para Howard Beach – NY – EUA	103
Figura 50 - Bloco articulado na Flórida – EUA	104
Figura 51 - Esteira redutora de ondas – Shungchun Beach – Taiwan	104
Figura 52 - Blocos de concreto bioreforçado – Ponte de Brooklyn – Nova Iorque – EUA	105
Figura 53 - Bloco de concreto submerso – Polinom Port, Haifa – Israel	105
Figura 54 - Placas que filtram microplástico do mar – Zona portuária de Sidney - Austrália	106
Figura 55 - Túnel costeiro multipropósito na Baía de Elliot Seattle - WA – EUA	106
Figura 56 - Túnel costeiro multipropósito e calçadão na Baía de Elliott Seattle - WA EUA	107
Figura 57 - Projeto conceitual Blue Dunes para Nova Iorque/ Nova Jersey – EUA	109
Figura 58 - Projeto conceitual Blue Dunes para Nova Iorque/ Nova Jersey – EUA	110
Figura 59 - Projeto Blue Way – Nova Iorque – EUA	111
Figura 60 - Projeto Blue Way – Nova Iorque – EUA	111
Figura 61 - Projeto Blue Way – Nova Iorque – EUA	112
Figura 62 - Exemplo de píer em madeira certificada	113
Figura 63 - Exemplo de piso e mobiliário urbano em madeira certificada	113
Figura 64 - Mobiliário articulado em madeira urbana – Portland – Oregon – EUA	114
Figura 65 - Exemplo de instalação de espigão com madeira certificada em Bournemouth – Reino Unido	114
Figura 66 - O espigão instalado em Bournemouth – Reino Unido	114
Figura 67 - Metodologia para confecção do estudo de caso	115
Figura 68 - Localização de Niterói – RJ	116
Figura 69 – Limites e regiões administrativas de Niterói – RJ	116
Figura 70 - As regiões administrativas de Niterói – Detalhe Região Oceânica - RJ	117

Figura 71 - Localização da Praia de Piratininga – Niterói – RJ	118
Figura 72 - Unidades de Conservação de Niterói	119
Figura 73 - Vista da Praia de Piratininga de Leste para Oeste comparação entre os anos de 2005 (esquerda) e 2021 (direita)	119
Figura 74 - Exemplo de erosão costeira e destruição do passeio a beira mar da Praia de Piratininga – Niterói – RJ	120
Figura 75 - Imagem da Praia de Piratininga	121
Figura 76 - Fotos da Praia de Piratininga em 1960, 2005 e 2021	122
Figura 77 - Lado Leste destruído em 2011	123
Figura 78 - Fotos da Praia de Piratininga da década dos anos 1990	123
Figura 79 - Fotos da Praia de Piratininga da década do início dos anos 2000	123
Figura 80 - Fotos da Praia de Piratininga da década do início dos anos 2000	124
Figura 81 - Imagem de abril de 2016	124
Figura 82 - Imagem de maio de 2016	125
Figura 83 - Classificação da linha de costa das praias de Piratininga, Camboinhas, Itaipu e Itacoatiara	125
Figura 84 - Cinco pontos de monitoramento ao longo da praia de Piratininga	127
Figura 85 - Altura e direção de onda na praia de Piratininga para ondulação de Sul e corrente litorânea, ambas simulações da ressaca de 1996	128
Figura 86 - Figura resumo em relação ao clima de ondas reinantes na Praia de Piratininga	129
Figura 87 - Figura de caracterização sedimentar	130
Figura 88 - Variabilidade de perfil de praia - Piratininga	131
Figura 89 - Simulação da batimetria durante ressaca ocorrida em Junho de 1996	133
Figura 90 - Figura resumo da variabilidade morfológica da Praia de Piratininga	134
Figura 91 - Praia de Piratininga e os lados Oeste e Leste mais vulneráveis	135
Figura 92 - Solução híbrida para o trecho oeste deck elevado em madeira certificada e articulada e replantio de restinga como barreira física	136
Figura 93 - Perfis esquemáticos da proposta: o primeiro em situação de bom tempo e o segundo em situação de ataque severo de ondas com quebra do calçadão e rápida recomposição de parte do deck de madeira	136

Figura 94 - Ilha artificial de concreto ecológico proposta para diminuir a energia das ondas no trecho Leste	137
Figura 95 - Blocos de concreto ecológico	138
Figura 96 - Proposta de Totem de monitoramento da linha de costa através de celulares instalado do lado Leste	138
Figura 97 - Totem de monitoramento da linha de costa através de celulares	139
Figura 98 - Figura resultante da tendência de recuo ou avanço da linha de costa	140

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Taxa de crescimento populacional entre 2010 e 2020 das capitais costeiras	43
Tabela 2 - Riscos relacionados às mudanças climáticas para as zonas costeiras	55
Tabela 3 - Quadro resumo dos componentes do ambiente praial	65
Tabela 4 - Quadro resumo dos parâmetros ambientais que influenciam na erosão costeira	81
Tabela 5 - Instrumentos legais para gestão costeira	90
Tabela 6 - Instrumentos para gestão da zona costeira	90
Tabela 7 - Questões chave para escolha da melhor técnica de defesa da costa utilizando soluções baseadas na natureza (NBCD)	108

Glossário

AEO – alcance espraio de onda

CCO – Conteúdo de Calor do Oceano

CIRM - Comissão Interministerial para os Recursos do Mar

COI - Comissão Oceanográfica Intergovernamental

COP – Conferência das Partes

COPLA - Modelo de correntes causadas pela arrebentação das ondas em praias

EcoAP – Plano de Ação em Eco Inovação da União Européia

ECLAC – Economic Commission for Latin America and the Caribbean

EROS - Modelo referente a erosão e sedimentação

EVNAO – Empilhamento vertical do nível do mar por quebra de onda

FAO - Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura

GEE – Gás de Efeito Estufa

GIGERCO - Grupo de Integração do Gerenciamento Costeiro

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change

IUCN - International Union for Conservation of Nature

MAP – Maré alta prevista

MMA – Ministério do Meio Ambiente

MME – Ministério de Minas e Energia

NCEI – National Centers for Environmental Information

NMT – Nível do mar total

NOAA – National Oceanic and Atmospheric Administration

ONU – Organização das Nações Unidas

OLUCA - Modelo de propagação de ondas monocromáticas em praias

OCDE - Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico

PNGC - Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro

PBMC – Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas

PETRA - Modelo de evolução do perfil transversal de praia

PNGC – Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro

PNRM – Plano Nacional de Recursos do Mar

PNMA – Plano Nacional de Meio Ambiente

PROCOSTA - Programa Nacional para a Conservação da Linha de Costa

SBN – Soluções baseadas na Natureza

SBP – Sistema de baixa pressão

SMC - Sistema de Modelagem Costeira

TVI - Tecnologia Verde Inovadora

1. Introdução

As zonas costeiras são as áreas de maior atratividade para expansão urbana e as que mais sentem os efeitos das mudanças climáticas. Porém os efeitos das mudanças climáticas não são os únicos fatores que acarretam os riscos que as cidades costeiras enfrentam. Globalmente, a erosão das praias é um impacto negativo e pode acontecer por causas atribuídas a uma gama de fatores naturais, mas também a diversas intervenções antrópicas na zona costeira (Souza, 2009).

Os últimos 50 anos viram um rápido aumento nas taxas de urbanização em todo o mundo. O Relatório Perspectivas Mundiais de Urbanização das Nações Unidas (ONU-2018)¹ fornece estimativas sobre a parcela do crescimento de centros urbanos em todo o mundo até 2050. Em todos os países, projeta-se que as participações urbanas aumentem nas próximas décadas, embora em taxas variadas. A perspectiva é que em 2050, 68% da população mundial viverá em áreas urbanas, conforme o mapa mundial da organização *Our World In Data* (Figura 1), construído a partir das informações do relatório das Nações Unidas supracitado. Segundo esta mesma fonte, a perspectiva é que em 2050 o Brasil seja um país 92,43% urbano.

O Relatório das Nações Unidas sobre Habitação (ONU, 2011) aponta que o novo milênio trará à humanidade algumas ameaças a serem enfrentadas, no entanto, é notório que tais ameaças são produzidas pela própria espécie humana. No mesmo relatório (ONU, 2011) afirma-se que há uma clara percepção que desde a era industrial, percebendo uma correlação entre desenvolvimento e a manipulação do meio ambiente. Essas ameaças podem ser classificadas como consequência dos efeitos da urbanização em escala local e as mudanças climáticas em escala global, que vem convergindo e ameaçam causar impactos negativos sobre o ambiente urbano principalmente.

¹ <https://population.un.org/wup/Country-Profiles/> . Acesso: 22/04/2021

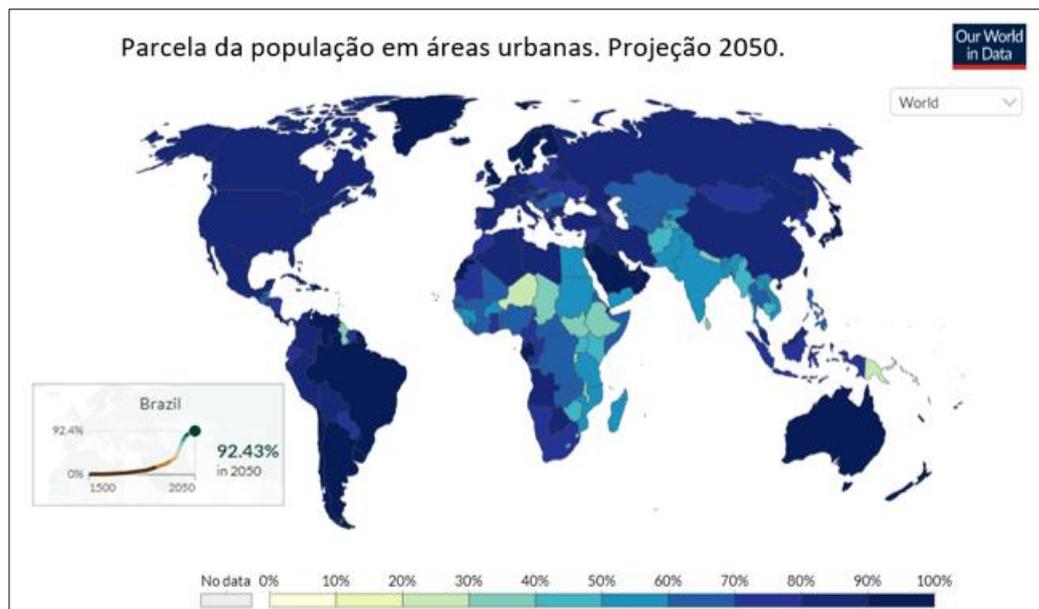


Figura 1 – Projeção da evolução da população urbana no mundo em 2050.
Fonte: traduzido pela autora²

A zona costeira é o ambiente limítrofe entre o continente e o oceano, que é totalmente dinâmico e vem sendo pressionado por diferentes agentes, naturais e/ou artificiais, principalmente na zona de transição, a praia urbana, e, portanto, a expansão urbana em áreas costeiras se revela uma questão altamente sensível. Estudos mostram que muitos dos principais núcleos urbanos costeiros do mundo sofrem, e poderão sofrer ainda mais, graves perdas devido às erosões nas próximas décadas (UNU, 2015).

A concentração expressiva da urbanização nas praias urbanas, também contribuem com a erosão costeira. Segundo o Relatório de Vulnerabilidade Costeira realizado para a América Latina (UN-ECLAC, 2012) o Brasil, figura na lista como o quinto país com maior vulnerabilidade costeira.

Muehe (2006) acrescenta que no Brasil todos os 17 estados litorâneos têm problemas em consequência de processos erosivos na zona costeira, trazendo danos ao patrimônio material, cultural e ambiental desvalorizando a região. Essa constatação é corroborada por Dias (2015) que descreve que, além dos núcleos urbanos costeiros possuírem alto índice de atratividade, pois reúnem uma vasta diversidade social, ambiental e econômica, essa faixa de transição entre os ambientes terrestre e marinho, também estão sujeitos a uma dinâmica ambiental

² <https://ourworldindata.org/urbanization>. Acesso: 21/06/2021

intensa, muitas vezes desconsiderada em planejamentos urbanos e econômicos inerentes à exploração e utilização desse espaço.

Considerando que parâmetros ambientais que constituem o ambiente praiano, tais como ondas, marés, correntes, influenciam na vulnerabilidade costeira (PBMC, 2012), é de extrema importância para gestores de cidades costeiras ter o entendimento de como tais parâmetros ambientais, podem ser levados em consideração nos planejamentos, de qualquer ordem, a fim de preservá-los de impactos atrelados, não só causados pela ocupação e expansão urbanas, mas também àqueles decorrentes de mudanças climáticas.

Dados do IBGE de 2010, ano do último censo no Brasil, apontaram que 26,58% da população brasileira habitavam municípios da zona costeira. No mapa das cidades com mais de 20.000 habitantes no Brasil em 2010 (IBGE, 2011), apresentado na Figura 2, é perceptível a concentração populacional em municípios costeiros. Extrapolando para 2021, quando a população brasileira era de 213 milhões habitantes, significa que são aproximadamente 57 milhões de habitantes na zona costeira atualmente, se fosse mantida a mesma proporção para 2021.

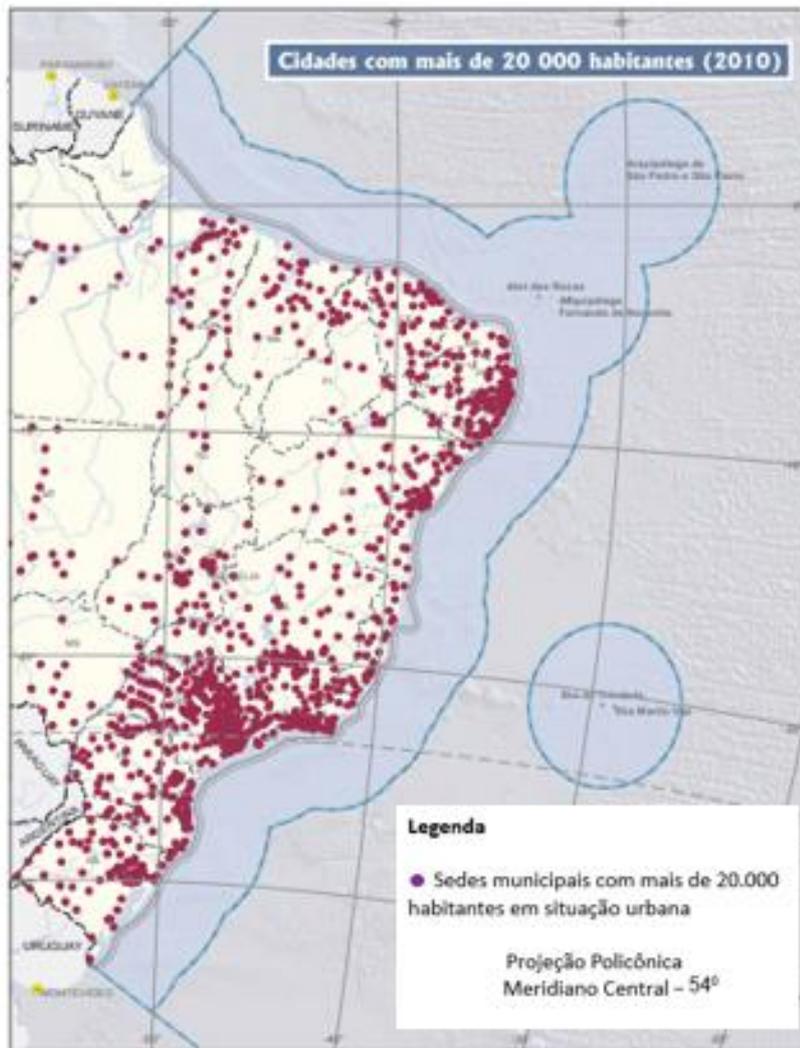


Figura 2 - Distribuição da população em municípios com mais de 20 mil habitantes em 2010.
 Fonte: IBGE, 2011. Censo Demográfico 2010.

Explorando um pouco mais os dados de população costeira no Brasil de 2010, é interessante observar na Figura 3 que a proporção da densidade populacional por faixa de número de habitantes é maior na zona costeira (IBGE, 2011).

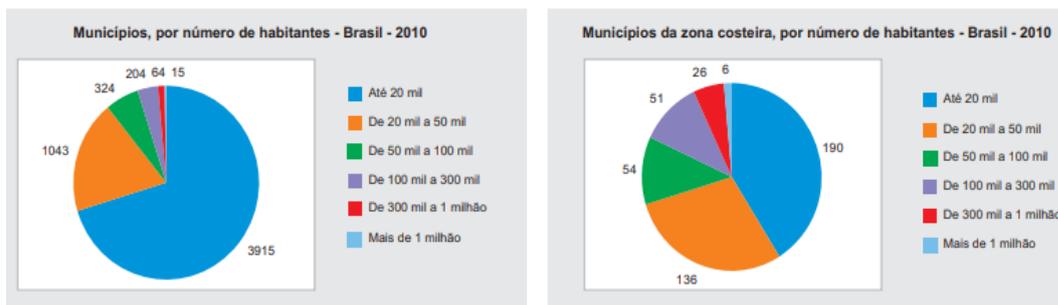


Figura 3 - Comparativo densidade populacional por número de habitantes entre municípios costeiros e geral no Brasil (2010).

Fonte: IBGE, 2011.

Outro fato relevante é a proporção entre área disponível e a população nos municípios da zona costeira. Na Figura 4 (IBGE, 2011) nota-se que os municípios da zona costeira ocupam uma área de 4,1% do total disponível no Brasil e abrigavam em 2010 uma população correspondente a 24,6% do total da população brasileira.

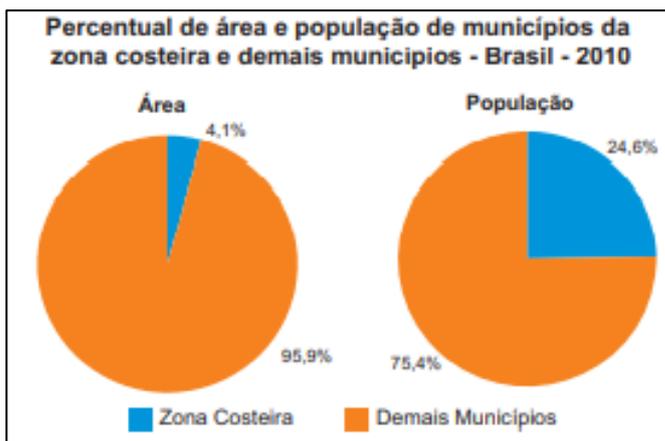


Figura 4 - Proporção entre área disponível e população em municípios costeiros e geral.

Fonte: IBGE, 2011.

Dos 17 estados costeiros, 11 têm suas capitais no litoral. A Tabela 1 indica que as capitais costeiras tiveram um aumento populacional entre 6,8% (Rio de Janeiro) e 20,8% (Florianópolis) nos últimos 10 anos. Para Souza (2009) essas cidades enfrentavam aumento crescente da população urbana, e em seu estudo, se observava impactos na ocupação de espaços costeiros, além de intervenções que, muitas vezes, não respeitavam o desenho natural da praia e sua morfodinâmica

Tabela 1 - Taxa de crescimento populacional entre 2010 e 2020 das capitais costeiras.

Capitais Costeiras	População 2010	População 2020	Taxa de crescimento
Florianópolis	421.240	508.826	20,8%
Rio de Janeiro	6.320.446	6.747.815	6,8%
Vitória	327.801	365.855	11,6%
Salvador	2.676.606	2.886.698	7,9%
Aracaju	571.149	664.908	16,5%
Maceió	932.748	1.025.360	9,9%
Recife	1.537.704	1.653.461	7,5%
João Pessoa	723.515	817.511	12,9%
Natal	803.739	890.480	10,8%
Fortaleza	2.452.185	2.686.612	9,6%
São Luiz	1.014.837	1.108.975	9,3%

Fonte: IBGE, 2020 adaptado pela autora³.

A erosão costeira afeta um dos parâmetros essenciais para a preservação das praias, que é a morfodinâmica da praia, regida principalmente pelo balanço sedimentar, influenciados pelo clima de ondas (Muehe, 2011), declividade da praia, além da vegetação de fixação costeira, que são as restingas (Silva *et al.*, 2009), entre outros fatores. As intervenções urbanas a beira mar também, dependendo de como são realizadas, contribuem com o impacto erosivo nas praias urbanas. A dissociação de tais parâmetros naturais nos projetos urbanos trazem como consequência a degradação costeira.

É importante ressaltar que projetos de intervenção urbana são norteados por um conjunto de normas e parâmetros, como os planos diretores, e no caso específico das zonas costeiras brasileiras, há o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro (MMA, 2015) que pode ser levado em consideração durante o planejamento de projetos urbanos.

As praias urbanas brasileiras, muitas vezes são os ambientes que se tornam vetores de expansão urbana e surge uma pergunta: Parâmetros ambientais que possam ajudar no planejamento urbano de áreas sensíveis, como praias urbanas, estão sendo considerados em projetos de intervenção, como calçadões a beira mar, a fim de evitar a erosão costeira no futuro?

³ https://ftp.ibge.gov.br/Estimativas_de_Populacao/Estimativas_2020.pdf . Acesso: 21/06/2021

1.1. Objetivos

O objetivo geral desse estudo é analisar o impacto erosivo em praias urbanas, assim como os parâmetros associados e que podem ser considerados em projetos urbanísticos. Neste sentido, considerou-se a Praia de Piratininga como estudo de caso. Para tal, adotou-se uma abordagem holística considerando os fenômenos naturais e urbanos atuantes na morfodinâmica praial, ampliando assim o entendimento e a importância do conhecimento dos parâmetros ambientais, além de levar em consideração, também, os efeitos futuros de escala global, como a elevação do nível do mar e eventos extremos, ambos decorrentes das mudanças climáticas.

Também pode-se considerar como objetivos secundários:

- Discutir intervenções urbanas almejando minimizar os impactos erosivos das praias urbanas.
- Compreender os mecanismos legais e institucionais que possam respaldar as intervenções em praias urbanas, capazes de integrar ambientes naturais e urbanos.
- Compilar soluções que possam integrar ambientes naturais e suas variações à realidade do adensamento urbano e mudanças climáticas.
- Ampliar o entendimento do conceito resiliência urbana-ambiental.

Como limite dessa pesquisa, deve-se ressaltar que não serão abordados com profundidade os aspectos técnicos ligados à geomorfologia costeira, nem à meteoceanografia física e os efeitos sinérgicos de fenômenos naturais como vento, onda e marés. A análise dos fenômenos naturais se restringirá aos impactos causados por eles e não a sua origem.

1.2. Justificativa

O problema da erosão costeira vem sendo observado em diferentes locais do mundo, sendo considerado atualmente um fenômeno global, já afirmava Bird (1993). Lins-De-Barros (2005) cita que com a intensa urbanização das orlas, a erosão costeira passou a ser tratada não apenas pelos estudos voltados para a compreensão dos processos físicos, mas também sob um enfoque socioeconômico, tendo em vista os impactos causados nas construções urbanas. Souza (2009) comenta sobre os prejuízos financeiros decorrentes dos danos em construções situadas inadequadamente no espaço dinâmico das praias, e assim, foram o que despertaram e trouxeram a temática para o meio acadêmico, assim como para os debates políticos. A necessidade de considerar que o planejamento urbano para as orlas costeiras deve ser feito de maneira integrada foi o que norteou a concepção das linhas de ação do atual gerenciamento costeiro integrado.

Segundo Muehe (2011), a ocupação da orla tem acontecido em diferentes graus de intensidade, o fator preocupante se deve ao fato de que não há uma distância segura em relação à praia, provocando perda de bens materiais durante tempestades extremas, um risco que aumenta potencialmente em vista das mudanças climáticas previstas para as próximas décadas. Martins e Toldo Jr. (2006) sugerem que cada centímetro de elevação do nível do mar é acompanhado por uma perda de cerca de um metro de praia, e comentam que as praias do mundo parecem estar em retração.

Souza (2009) alerta que no Brasil já há centenas de praias onde o processo erosivo é bastante severo, requerendo medidas de recuperação ou contenção, principalmente as praias arenosas. Contudo, embora o tema seja discutido nas instituições de pesquisa no país, as políticas de planejamento e ordenamento territorial, em especial aquelas na esfera da gestão costeira, há um descasamento entre os conhecimentos adquiridos e as construções ao longo da linha de costa, resultando muitas vezes no desperdício de recursos financeiros públicos com a implantação de obras de engenharia costeira que acabam acelerando ainda mais a erosão.

A proliferação de estruturas a beira mar, que muitas vezes não levam em consideração parâmetros ambientais, levantam uma notoriedade que há uma preocupação maior com a estabilidade da obra, do que com os seus efeitos na dinâmica costeira, podendo resultar, tanto o comprometimento da estética e

potencial recreacional das praias, quanto acarretar a degradação do sistema praiial (Everts e Eldon, 2000; Pereira da Silva, 2004), situação que pode até desestimular o turismo local (Klein *et al.*, 2004).

Souza (2009) aponta para as consequências socioeconômicas negativas decorrentes da falta de planejamento e ordenamento da ocupação urbana na zona costeira, ressaltando principalmente os prejuízos financeiros e a desvalorização imobiliária das orlas em função da percepção do risco, percepção essa que tende a aumentar com os prognósticos advindos das mudanças climáticas (Muehe, 2011).

Polette (2020) ressalta que o levantamento dos parâmetros ambientais, que influenciam na erosão das praias, não será suficiente para o entendimento do impacto erosivo nas praias urbanas, que necessitam ser integrados também às políticas públicas que existem como mecanismos do gerenciamento costeiro e os instrumentos urbanos que definem o uso do solo e intervenções.

Olsen, Page e Ochoa (2009) avaliaram que a gestão costeira integrada pode ser considerada como uma das formas de planejamento e de tomada de decisões que vinculam as atividades humanas e o ambiente, e que consideram tanto as necessidades de conservação como de desenvolvimento. Polette (2020) acrescenta que gestão costeira é um esforço, que enfoca os processos de mudança, e deve ser elaborado e executado mediante adaptações sucessivas, que são observadas ao longo da experiência, e que deveriam ser aplicados juntamente com métodos científicos para sua execução.

Esta dissertação busca o entendimento dos parâmetros e fenômenos naturais que podem influenciar na erosão costeira, utilizando o estudo de caso da Praia de Piratininga, uma praia urbana arenosa, que representa tantas outras praias brasileiras. Parâmetros ambientais que possam classificar as praias quanto a sua capacidade de recuperação de seu balanço sedimentar, que segundo Muehe (2011), é fator preponderante para a boa resiliência e equilíbrio físico, serão levantados, bem como a caracterização de praias que também possam ser classificadas quanto à sua exposição à eventos extremos.

Para o estudo de caso foi escolhida uma praia brasileira tipicamente urbana, para análise dos impactos causados por fatores naturais sobre seu calçadão a beira mar, que é eventualmente destruído em alguns trechos, acarretando erosão costeira, bem como prejuízo aos cofres públicos na reconstrução repetida após os incidentes. Esse estudo também traz uma reflexão sobre métodos construtivos de passeios

urbanos que são baseados em experiências inovadoras, trazendo adaptação ao ambiente dinâmico que é a praia urbana.

A adaptação significa promover a mudança com a finalidade de buscar o equilíbrio. Donghyun e Up (2016) descrevem que resiliência é ter capacidade de uma rede se reorganizar, se adaptar, mudar e melhorar em face de estímulos internos e externos. O conceito de resiliência enfatiza a flexibilidade, diversidade e aprendizagem adaptativa que é abordada nesta dissertação.

Resiliência tem sido um importante conceito e está sempre nos debates sobre mudanças climáticas e adaptação para o futuro. No quinto relatório do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC; 2014) resiliência é definida como:

A capacidade dos sistemas sociais, econômicos e ambientais de lidar com eventos, tendências ou perturbações perigosas, respondendo ou reorganizando de forma a manter sua função, identidade e estrutura essenciais, ao mesmo tempo que mantém a capacidade de adaptação, aprendizagem e transformação. (IPCC, 2014)

Sendo assim, esse estudo se justifica de modo a melhorar o entendimento da integração de fatores ambientais que influenciam no impacto erosivo de praias urbanas, gestão costeira e resiliência urbana-ambiental, aprendendo com erros do passado para adaptar-se às transformações futuras.

1.3. Metodologia

A metodologia adotada compreendeu em uma pesquisa bibliográfica inicial sobre o tema Análise do Impacto Erosivo em Praias Urbanas. Os termos pesquisados foram classificados quanto a sua frequência nos artigos, livros, dissertações sobre o tema deste trabalho. Após definição dos termos a serem pesquisados estes foram separados como temas centrais que foram, por sua vez, classificados quanto a sua relevância sobre o assunto. A classificação quanto a relevância foi dividida em quatro temas que abrigam as ideias e conceitos centrais que foram pesquisados. Os quatro temas centrais foram: Erosão Costeira, Mudanças Climáticas, Pressão Urbana e Intervenção Urbana. Com os temas agrupados, assim se organizou a pesquisa bibliográfica. A revisão bibliográfica contemplou a leitura de artigos, livros e dissertações que acompanhou também a pesquisa em artigos não

acadêmicos, jornais e revistas especializadas a fim de complementar a revisão acadêmica.

Passada a revisão bibliográfica, partiu-se para o estudo de caso que é a Praia de Piratininga em Niterói – RJ. Primeiramente, houve uma caracterização da praia em geral, explorando os assuntos que continham dados coletados disponíveis na literatura e priorizando-os na caracterização. Importante citar também a cessão de material fotográfico e científico pelo professor Dr. André Luiz Carvalho da Silva do Departamento de Geografia da FFP-UERJ.

Nessa praia urbana, o seu calçadão a beira mar é constantemente destruído em alguns trechos, devido à eventos meteoceanográficos extremos, sendo relatados vários momentos em que o passeio colapsou. Alguns desses eventos extremos foram observados por pesquisadores, que geraram material de pesquisa satisfatório, como artigos, fotos e dados medidos, onde os dias dos eventos foram marcados. Tais períodos foram alvo de pesquisa inclusive de imagens de satélite disponibilizadas gratuitamente no módulo Pro do GoogleEarth, visando identificar os trechos do calçadão que foram destruídos ao longo dos anos e classificar quanto a sua propensão à destruição durante eventos extremos citados. Os trechos classificados, são aqueles que mais foram destruídos e foram objetos de proposta inspirada em experiências semelhantes, visando respeitar as condições ambientais inerentes ao ambiente antrópico, e adaptação aos prognósticos futuros de médio e longo prazo, visando em tendências verdes e o conceito de resiliência urbana-ambiental.

1.4. Estrutura da dissertação

Essa dissertação apresenta um estudo do impacto erosivo nas praias urbanas e inicia-se com a seleção de assuntos relevantes, através de uma revisão bibliográfica inicial onde foram selecionados temas que influenciam o impacto erosivo em praias urbanas.

A Figura 5 ilustra o esquema conceitual, com intuito de organizar as principais variáveis que podem envolver o estudo do impacto erosivo em praias urbanas e serão levados em conta durante essa dissertação. Esse mapa conceitual foi elaborado a partir de pesquisa bibliográfica inicial, e mostra que para a compreensão do impacto erosivo em praias urbanas deve-se considerar as duas principais variáveis: a pressão urbana, refletida em intervenções que podem invadir

beira mar, além dos aspectos antrópicos que os mecanismos legais para ordenamento e gestão costeira.

A pesquisa também apresenta as iniciativas no mundo de intervenções urbanas de passeios a beira mar que se adaptaram aos impactos da erosão costeira, foram coletadas informações em artigos de vários países, que mostraram soluções em projetos inovadores para passeios em praias urbanas, demonstrando que adaptações e resiliência deverão ser uma tendência nos meios urbanos em geral.

O Capítulo 3 se destina a contextualizar o objeto de estudo no estado e município de origem, e como a localidade se torna a área de expansão da cidade dentre outras da região oceânica de Niterói - RJ. Esse capítulo desenvolve a metodologia previamente descrita para determinação da causa a qual os trechos do calçadão a beira mar, são alvos de destruição de parte da obra por conta das condições meteoceanográficas adversas nos períodos de tempestades, frentes frias, ventos fortes, maré meteorológica, entre outros.

O Capítulo 4 discorre sobre o estudo de caso em si, onde a caracterização da Praia de Piratininga se dá em função da compilação de dados ambientais coletados. Os dados ambientais são os parâmetros descritos como aqueles determinantes na erosão costeira.

A partir do cruzamento dos dados pesquisados, algumas alternativas são propostas com vistas a minimizar os problemas atuais, visando a proteção costeira baseado nos prognósticos das mudanças climáticas em consonância com as tendências preconizadas pela resiliência urbano costeira, inspirados nos exemplos encontrados na pesquisa bibliográfica.

2. Mudanças Climáticas e Aspectos Naturais e Antrópicos que influenciam na Erosão Costeira

Este capítulo descreve os assuntos que mais influenciam na erosão costeira, tanto em escala global, como as mudanças climáticas, quanto regionais. Também discorre sobre os parâmetros naturais e antrópicos que devem ser levados em consideração em projetos urbanos costeiros, além de apontar os mecanismos legais que podem ser usados para a gestão da costa, bem como exemplos de soluções inovadoras que, entendendo a situação climática futura, propõem soluções alinhadas com o conceito de resiliência urbana-ambiental.

2.1. Mudanças Climáticas

Mudanças Climáticas se referem a transformações de longo prazo nos padrões de temperatura e clima em termos globais ou regionais, que se tornou aparente nos meados do século XX e produz vários efeitos tais como aumento do nível do mar, aumento da ocorrência de eventos extremos como tempestades, ciclones, entre outros efeitos climáticos que tendem a ser mais frequentes e mais intensos com o passar do tempo. Esse subcapítulo aborda a correlação entre os efeitos das mudanças climáticas a erosão costeira.

No Relatório Especial sobre mudanças climáticas do IPCC (2019), é comentado que os gases de efeito estufa (GEEs) emitidos pelo homem resultaram em um aquecimento inequívoco e de longo prazo do planeta. Onde mais de 90% do excesso de calor é armazenado nos oceanos do mundo, onde se acumula e causa aumento na temperatura do oceano (Rhein *et al.*, 2013; Abram *et al.*, 2019 *apud* Cheng, *et al.* 2019). Isso se deve ao fato que os oceanos são o principal termômetro da Terra e qualquer desequilíbrio energético é refletido no ambiente oceânico. Assim, medir o conteúdo de calor do oceano (CCO) é uma das melhores maneiras de quantificar a taxa de aquecimento global (Trenberth *et al.*, 2016; Von Schuckmann *et al.*, 2016; Cheng *et al.*, 2018 *apud* Cheng, *et al.*, 2019).

Dados coletados da temperatura dos oceanos, entre os anos de 1993 e 2019, pela agência americana NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) confirmam que o conteúdo de calor do oceano superior, profundidade até 700 metros, aumentou significativamente nas últimas décadas, conforme visto na Figura 6.

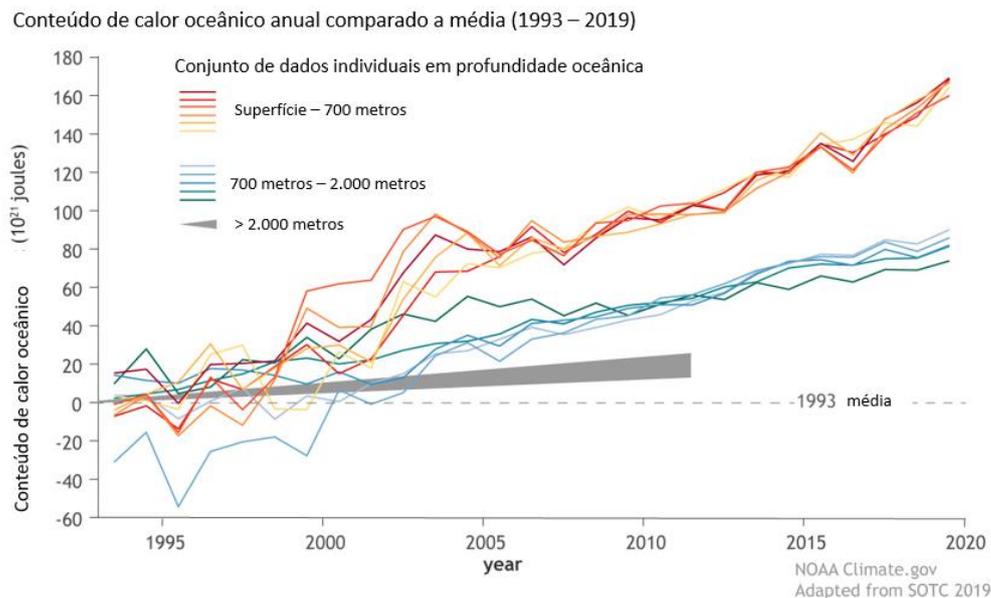


Figura 6 - Conteúdo de calor oceânico anual entre 1993 e 2019 – média e anomalias cada vez mais frequentes.

Fonte: NOAA Climate.gov⁴ - traduzido pela autora.

Essa troca de energia entre o oceano e a terra, produz o aquecimento da água do mar, e sua consequente expansão, fornecendo alguns sinais de alerta, como, por exemplo, o colapso das plataformas de gelo nos polos. O derretimento do gelo polar ameaça adicionar mais água aos mares mais quentes, já em expansão, porque a água se expande quando aquece, acelerando uma perigosa elevação do nível do mar (Wunderling, *et al*, 2020).

O NCEI (National Centers for Environmental Information, 2021), conjunto de laboratórios associados à agência americana NOAA, anunciou que 2019 foi o ano mais quente no Planeta⁵. Tal afirmação é fruto tanto das medidas realizadas no oceano, mas também outros parâmetros ambientais que foram coletados, tanto na Terra quanto no oceano, ao longo dos anos, que corroboraram com o mapa de temperatura global para o ano de 2019 (Figura 7).

⁴ <https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/climate-change-ocean-heat-content>. Acesso : 03/07/2022

⁵ <https://www.ncei.noaa.gov/news/global-climate-201912>. Acesso : 20/01/2022

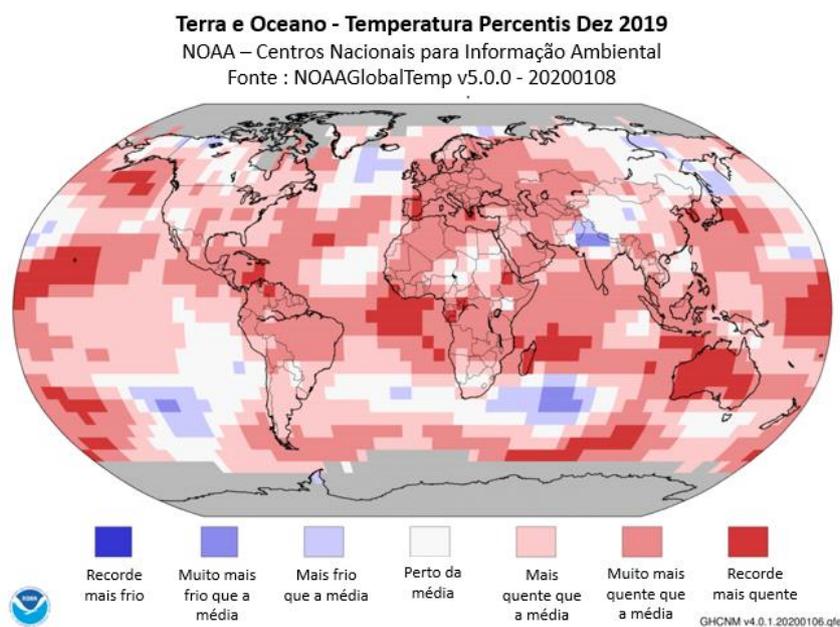


Figura 7 - Temperatura global para o ano de 2019.

Fonte: NCEI⁶ - traduzido pela autora.

Todos esses efeitos, no entanto, serão agravados por outros impactos climáticos, incluindo aumento na duração e intensidade das tempestades como furacões e ciclones, criando perigos extremos para populações ricas e pobres ocupando áreas, principalmente, de baixa altitude nas zonas costeiras relatados também comentado no relatório das Nações Unidas de 2011 (ONU, 2011).

Como consequência, esse aquecimento das águas oceânicas ameaça os ecossistemas marinhos e os meios de subsistência humanos. Por exemplo, as águas quentes prejudicam a saúde dos corais e, por sua vez, as comunidades de vida marinha que dependem deles para abrigo e alimentação. Há uma previsão que o aumento do nível do mar, tempestades e marés meteorológicas nas áreas urbanas ao longo da costa, particularmente em zonas costeiras de baixa elevação, sejam ameaçadas de inundação, intrusão de água salgada afetando o abastecimento de água potável, aumento da erosão costeira e, conseqüente redução no espaço habitável da terra (PBMC, 2016).

Souza (2009) resume os efeitos das mudanças climáticas, que de maneira geral, provoca alterações físicas, químicas e biológicas nos ambientes costeiros naturais e antrópicos (Souza, 2010 a, b, 2011). Souza (2010) descreve que dentre as principais conseqüências destacam-se:

⁶ <https://www.ncei.noaa.gov/news/global-climate-201912> - Acesso: 03/07/2022.

- O aumento da erosão costeira (linha de costa oceânica e estuarina);
- Migração vertical do perfil praial;
- Aumento da frequência, intensidade e magnitude das inundações costeiras;
- Mudanças nos processos sedimentares e conseqüentemente no balanço sedimentar costeiro;
- Perdas de terrenos naturais e urbanizados;
- Fragmentação e até perda completa de ecossistemas lindeiros à linha de costa oceânica e estuarina/lagunar;
- Migração vertical de espécies e até de ecossistemas inteiros;
- Aumento da vulnerabilidade de pessoas e bens;
- Redução dos espaços habitáveis;
- Salinização do aquífero costeiro e das águas superficiais;
- Comprometimento dos sistemas de saneamento básico (esgoto e água potável);
- Impactos positivos e negativos nas atividades portuárias/retro portuárias;
- Perda de solos férteis;
- Problemas nas atividades agropecuárias, industriais, turísticas e de serviço-comércio;
- Comprometimento dos recursos pesqueiros;
- Comprometimento da beleza cênica;
- Perda de potencial turístico;
- Alto custo para manutenção/recuperação/mitigação;
- Problemas de aplicação da legislação ambiental vigente;
- Prejuízos socioeconômicos e perda da qualidade de vida. (Souza, 2010).
- Artificialização da linha de costa (obras de “proteção” costeira);
- Gastos elevados com a recuperação de praias e a reconstrução da orla marítima.

Mudanças climáticas referem-se a mudanças na média e variabilidade dos parâmetros que compõem o clima de uma região. É medido por mudanças na temperatura, precipitação, vento, tempestades, incluindo o aumento do nível do mar, são usados para medir tais mudanças (ONU, 2014). A Comissão Oceanográfica Intergovernamental (COI, 2009), órgão vinculado à UNESCO, ressaltou em seu relatório que os principais tipos de riscos relacionados às

mudanças do clima são, além do aumento do nível do mar, as ondas geradas por ventos extremos, considerados impactos de efeito imediato (risco de início rápido), bem como elevação gradual do nível do mar e erosão costeira, que são considerados efeitos cumulativos (risco em progresso) conforme demonstrado na Tabela 2 que sintetiza tais informações, adicionadas as suas definições.

Tabela 2 - Riscos relacionados às mudanças climáticas para as zonas costeiras.

Tipo de risco	Perigo natural	Definição
Risco de início rápido	Sobrelevação da maré meteorológica ou Nível Médio do Mar (NMM).	Elevação temporária da maré meteorológica e forte agitação marítima causada por tempestades intensas, associadas a sistemas de baixa pressão atmosférica e fortes ventos (tempestades tropicais e extratropicais).
	Ressaca do mar (storm surge)	
	Ondas geradas por ventos extremos	Ondas extremas geradas por ventos locais ou no oceano.
Risco em Progresso	Sobrelevação do Nível Relativo do Mar (NRM) de longo período	Elevação global do NMM devido à expansão térmica dos oceanos e ao derretimento de geleiras.
	Erosão costeira	Perda de terras costeiras causada pela ação das ondas, mares e correntes associadas, potencializadas ou não por intervenções antrópicas.

Fonte: Adaptado pela autora de COI, 2009.

O Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PBMC, 2016) ressalta que, apesar das cidades costeiras conviverem com eventos extremos desde o início da civilização, as mudanças climáticas e o rápido desenvolvimento urbano amplificam seus efeitos, aumentando sobremaneira os prejuízos socioeconômicos e as perdas ambientais.

A Figura 8 mostra um mapa onde são apontados os níveis de risco e vulnerabilidade das grandes cidades da América do Sul e Central às ameaças do clima. Segundo o PBMC (2016), o nível de risco representa uma escala cumulativa baseada no risco a eventos extremos. É importante perceber que as áreas mais sensíveis e com maior risco são aquelas com maior densidade demográfica e que, no caso do Brasil, cobrem as principais cidades em áreas continentais e grande parte da costa brasileira.

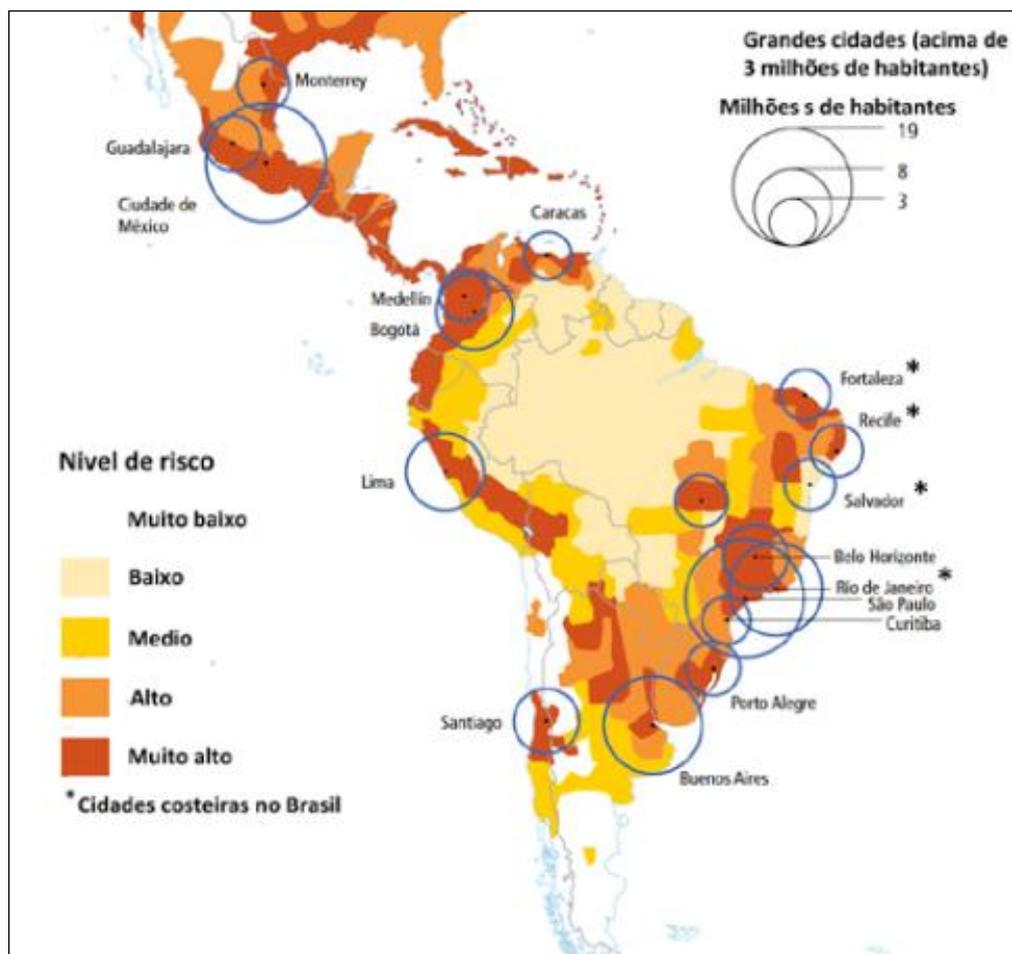


Figura 8 - Riscos devido às mudanças climáticas na América do Sul e Central.
Fonte: PBMC, 2016

No caso do Brasil, as projeções de extremos climáticos no futuro apontam para uma continuidade nas tendências de extremos nas regiões costeiras do país, com extremos de chuva mais intensos e frequentes no Sul e Sudeste do Brasil, e de secas no Nordeste, e que pode levar a um maior número de desastres naturais de origem hidrometeorológica, como enchentes, secas e deslizamentos de terra em áreas expostas e com alta densidade populacional como expostos em IPCC (2013) e Magrin *et al.* (2014).

Dessa forma, as evidências dos efeitos das mudanças climáticas, independentemente de suas causas, demonstram que a avaliação da vulnerabilidade das zonas costeiras é necessária e estratégica (Tagliani *et al.*, 2010), em todas as escalas, para quaisquer tipos de intervenção urbana.

Conforme mencionado, as consequências das mudanças climáticas são diversas, a erosão costeira é uma delas. O Estudo Econômico das Mudanças Climáticas no Brasil (2010), realizado por um grupo de cientistas de várias entidades e coordenados pela COPPE/ UFRJ e o Banco Mundial, elencam alguns

impactos advindos da erosão costeira e quais seriam os custos para adaptação a esses impactos. A Figura 9 mostra, de maneira esquemática, os custos e impactos que o recuo da linha de costa (erosão costeira) pode causar, bem como as ações de adaptação e proteção e seus custos associados.

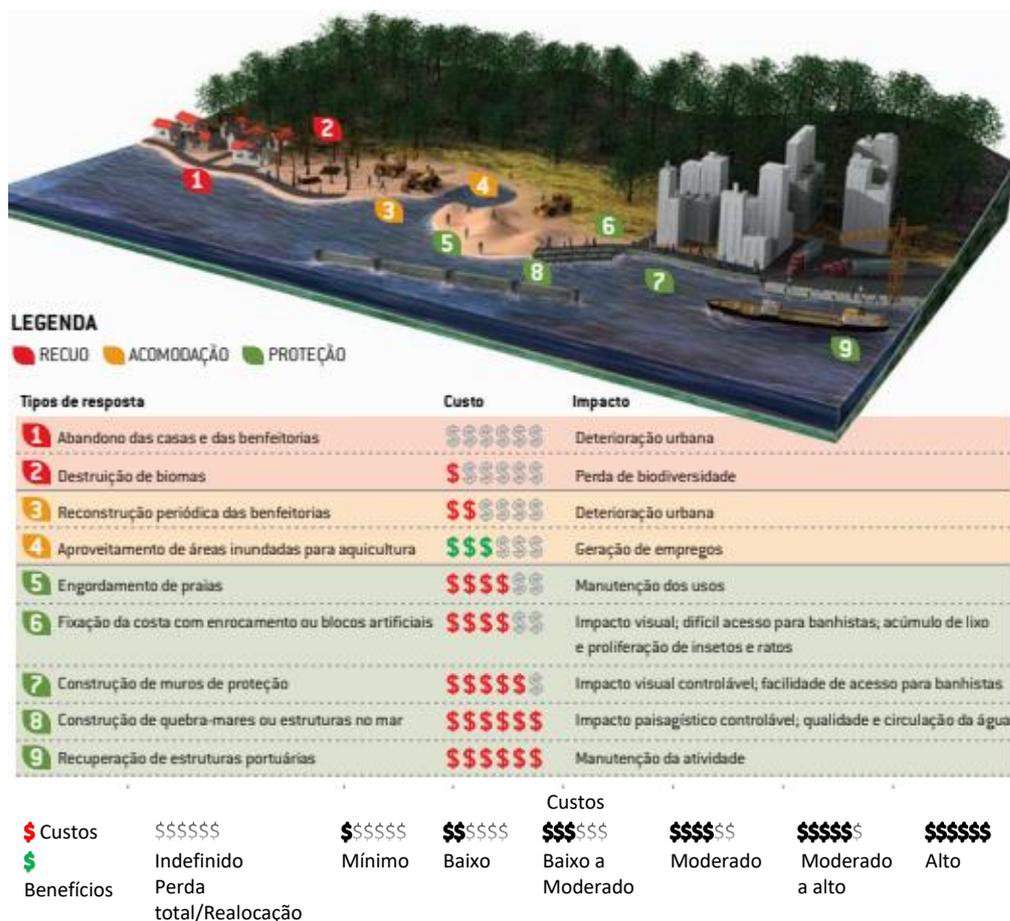


Figura 9 - Custos e impactos de medidas de adaptação às mudanças climáticas na zona costeira brasileira.

Fonte: Economia da Mudança do Clima no Brasil: Custos e oportunidades. Economia do Clima, 2010.

2.2. Aspectos naturais e antrópicos que influenciam na erosão costeira – praias urbanas

Segundo Mangor *et al.* (DHI, 2017) a erosão costeira, tanto natural quanto aquelas causadas por atividades antrópicas, foi convencionalmente aceita como impacto permanente ou semipermanente, uma vez que a causa do impacto não pode ser totalmente removida. Para melhorar o entendimento da erosão costeira no meio urbano, é importante caracterizar o ambiente que mais sofre o impacto, no caso, a

praia arenosa. Neste subcapítulo os aspectos naturais e antrópicos que influenciam na erosão em praias urbanas, principalmente em praias arenosas, são abordados.

Conforme dito anteriormente, as zonas costeiras constituem uma das zonas de terra mais densamente povoadas e desenvolvidas do mundo e o ambiente costeiro que mais se modifica é a praia arenosa, pois apresenta as maiores taxas de mudança da linha de costa. Lujendijk *et al.* (2018), afirmam que, após um período de 33 anos (1984-2016) de observação por satélite, que 24% das praias arenosas do mundo estão erodindo a taxas superiores a 0,5 m / ano, enquanto 28% estão acumulando e 48% estão estáveis.

A maioria dos ambientes de costas arenosas está sofrendo algum tipo de modificação e causando sérias preocupações. Muehe (2020) descreve que os ambientes arenosos ocorrem, com maior frequência, nas latitudes de altas pressões, portanto menos úmidas, o que dá ao Brasil uma posição diferenciada, quando comparado com a América do Sul que contribui com apenas 27% de sua linha de costa formada por praias arenosas, como pode ser visto em Lujendijk *et al.*, 2018 (Figura 10).

Na Figura 10, os pontos coloridos ao longo da costa mundial representam a porcentagem local de linhas costeiras arenosas (marrom claro é areia, marrom escuro não é areia). A escala à direita apresenta a ocorrência relativa de linhas de costa arenosas por grau de latitude, onde a linha tracejada mostra a latitude e a distribuição de linhas costeiras arenosas (Lujendijk *et al.*, 2018).

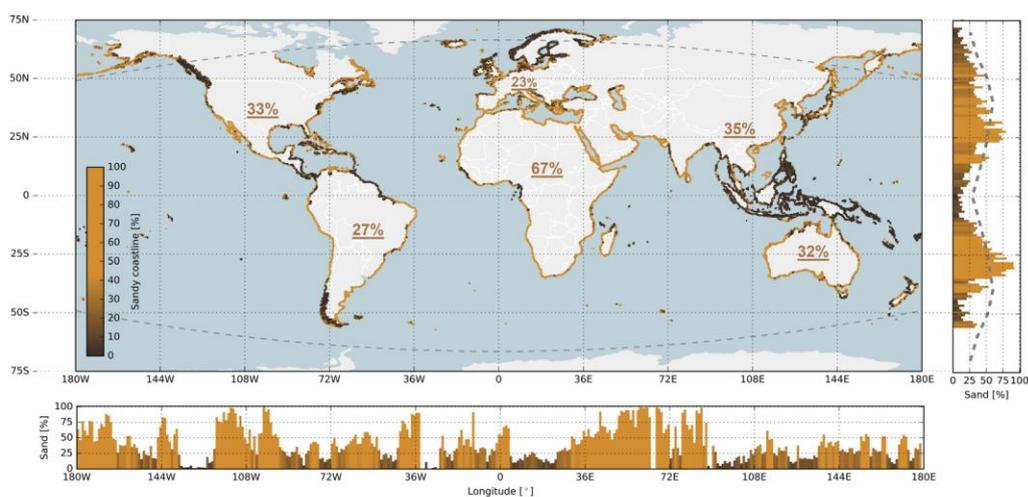


Figura 10 – Distribuição global de linhas de costa arenosas.
Fonte: Lujendijk *et al.* (2018).

2.2.1. Caracterização do sistema praial arenoso

A caracterização do sistema praial de origem arenosa é importante, por ser reconhecidamente mais suscetível a impactos erosivos. Além de detalhar os aspectos conceituais que compõem uma praia arenosa, também serão abordados os aspectos naturais relevantes no processo da erosão costeira.

De acordo com a definição de Muehe (1994), as praias arenosas são depósitos de sedimentos, em sua maioria areia, acumulados por ação de ondas que, por apresentar alta mobilidade, se ajustam às condições de ondas e maré atuando como um importante elemento de proteção do litoral. Ou seja, são ambientes compostos basicamente de água e areia onde a dinâmica de ondas e marés determinará sua estrutura e classificação. As praias arenosas expostas e/ou dominadas por ondas são sistemas transicionais altamente dinâmicos que constantemente se ajustam a flutuações dos níveis de energia locais, estas são retrabalhadas por processos eólicos, biológicos e hidráulicos (Martins, 2016).

Reis (2008) comenta que a paisagem costeira constituída por praias foi definida depois da estabilização do nível do mar a menos de 7.000 anos. No entanto, com o aumento do nível do mar é bem possível que toda a linha de costa venha a ser redefinida. Reis (2008) ainda descreve que a zona de praia se estende desde o nível de baixa-mar (profundidade de interação das ondas com o substrato) até a linha de vegetação permanente (limite de ondas de ressacas), ou onde há mudança na fisiografia, como na zona de dunas ou de falésias. Muehe (2020) também descreve que o perfil típico de uma praia arenosa termina na base de uma duna frontal, numa escarpa erosiva ou num limite morfologicamente não evidente, mas caracterizado por um recobrimento vegetal mais ou menos permanente, denominado restinga. E ainda ressalta que a praia arenosa constitui um depósito de sedimentos inconsolidados, que apresenta grande mobilidade e desempenham um importante papel na proteção da costa.

O ambiente praial é mais amplo que o termo “praia”, e é composto por ambientes no domínio terrestre e no domínio marinho, a linha limítrofe entre os dois domínios é a linha de costa. Na Figura 11 apresentam-se as feições morfológicas do ambiente praial, divididas em: antepraia, estirâncio (face de praia) e pós-praia. Agricio *et al.* (2016) descrevem que a região de antepraia se localiza entre a plataforma continental interna e a praia, caracterizando-se por um contínuo incremento do gradiente topográfico em direção ao litoral.



Figura 11 - Caracterização do sistema praiar arenoso.

Fonte: Reis, 2008; adaptado pela autora.

A região de estirâncio pode apresentar uma variedade de configurações e pode ser caracterizada pela zona entremarés (Figura 12), limitada pela altura mínima de maré baixa (baixa-mar) e máxima da maré alta (preamar), segundo Agricio *et al.* (2016) e está incluída na faixa de praia (Ferreira, *et al.*, 2011).



Figura 12 a e b - Exemplos da zona de estirâncio compondo a faixa de praia e bermas.

Fonte: Ferreira, et al, 2011.

A região pós-praia se localiza fora do alcance das ondas e das marés normais, e somente é alcançada pela água quando ocorrem marés muito altas (maré viva ou de sizígia) ou tempestades. Nesta região formam-se terraços denominados bermas (Figuras 12b e 13), que apresentam uma seção transversal triangular, com a superfície de topo horizontal ou em suave mergulho em direção ao continente (Castro,1992). O ambiente pós-praia pode apresentar uma ou mais bermas vegetadas denominadas de bermas de tempestade (Muehe, 2020) ou escarpa de

tempestade. A praia emersa termina numa rampa de espraimento-refluxo da onda, denominada de face da praia como ilustrada na Figura 13.



Figura 13 - Componentes de um sistema praial arenoso.
Fonte Muehe D. (2020); adaptado pela autora.

A retropraia engloba as dunas frontais ou a barreira arenosa, também denominada de cordão litorâneo, apesar de não haver um limite definido para a retropraia, mas se limita a uma área próxima à praia como pode ser visto na Figura 14.



Figura 14 - Praia com berma de tempestade, e escarpa consistindo em barreira arenosa, formando o limite da praia com a retropraia. Praia de Jaconé - RJ.
Fonte: Muehe, 2017.

A parte submersa do prisma praial, denominado de antepraia, se subdivide em dois subcompartimentos: a antepraia superior e a antepraia inferior, podendo a

zona de surfe e arrebenção ser considerada como parte da antepraia superior. Nesse processo podem se desenvolver bancos simples e múltiplos, podendo levar a mais de uma zona de arrebenção, definindo a morfologia e o estágio morfodinâmico da praia, como pode ser visto na Figura 15 uma típica praia arenosa dissipativa (Muehe, 2020).

A classificação de praias abrange diversos tipos de praias, onde tem-se em um extremo as praias dissipativas (Figura 15) e em outro ponto as praias refletivas (Figura 16), cada tipo de praia tem uma ecologia própria (Carvalho, 2019).



Figura 15 - Exemplo de praia dissipativa com múltiplos bancos/zonas de arrebenção em Santa Catarina.

Fonte: Muehe, 2017.



Figura 16 - Exemplo de praia refletiva. Ausência de zona de surfe. Praia de Camburi, Vitória, ES.

Fonte: Muehe, 2017.

Calliari *et al.* (2016) descrevem sobre as características principais das praias dissipativas, refletivas e intermediárias:

- Praias Dissipativas: são mais expostas, apresentam uma extensa região de arrebentação de ondas, onde a energia vai se dissipando, com isso na face da praia a energia de ondas é baixa com granulometria mais fina e pouca declividade. Esse tipo de praia apresenta uma diversidade maior por apresentarem uma produtividade primária alta. Frequentemente, encontram-se campos de dunas associados a este tipo de praia.
- Praias Refletivas: são caracterizadas por se estabelecerem em regiões protegidas, com grande declividade, tamanho dos grãos maior, incidência de ondas sobre a face da praia, menor diversidade, são praias mais sensíveis à poluição pela baixa capacidade de dispersão de contaminantes e são ambientes que dependem do aporte de nutrientes externos para a sua manutenção.
- Praias Intermediárias: abrangem todas as outras praias que ficam entre os extremos dissipativos e refletivos. São praias com características mistas e que podem ser identificadas pela presença de correntes de retorno, como pode ser visto na Figura 17.



Figura 17 - Exemplo de praia arenosa intermediária – Bahia.⁷
Fonte: UFBA.

Carvalho (2019) explica que uma praia pode apresentar várias classificações a depender do fundo, principalmente em praias arenosas, e que o estágio dissipativo

⁷ <http://www.zonacosteira.bio.ufba.br/> acesso: 13/06/2021

é caracterizado por um baixo gradiente topográfico, uma extensa zona de surfe, com predomínio de ondas deslizantes e barras longitudinais. As praias no estágio refletivo são caracterizadas por um alto gradiente topográfico, com predomínio de ondas ascendentes, sem barras longitudinais.

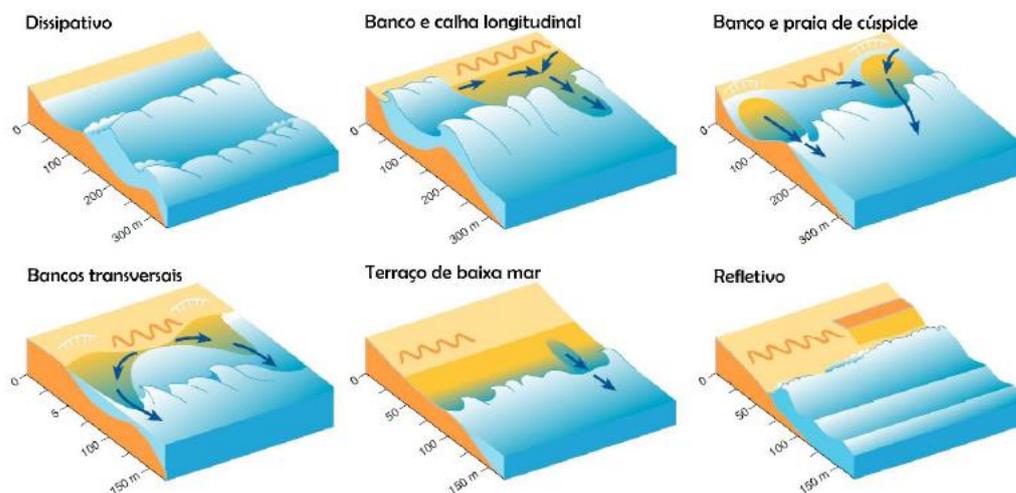


Figura 18 - Estágios morfodinâmicos de praias arenosas dominadas por ondas.

Fonte: Carvalho, 2019

Carvalho (2019) também classifica o estágio intermediário em quatro tipos: banco e calha longitudinal, banco e praia de cúspides, bancos transversais e terraço de baixa-mar. Juntos, eles formam uma sequência relacionada ao retrabalho dos sedimentos da parte emersa e submersa do perfil praiado durante eventos de tempestade e posterior deslocamento em condições de tempo bom. O fundo arenoso, a granulometria dos sedimentos, clima de ondas e topografia da praia modificam o estágio morfodinâmico de praias arenosas dominadas por ondas e, como isso, a tendência à erosão costeira como pode ser visto na Figura 18.

Tabela 3 - Quadro resumo dos componentes do ambiente praial.

Ambiente praial	Componentes	Domínio
Retropraia	Dunas frontais/ Cordão litorâneo/ Ambiente terrestre	Terrestre
Pós- praia	Escarpa praial / Bermas	Marinho
Faixa de praia	Estirâncio	Marinho
Face de praia	Refluxo/ Espraçamento	Marinho
Antepraia	Zona de surfe/ arrebentação	Marinho
Zona de transição	Zona de oscilação de ondas	Marinho
Costa a fora	Oceano	Marinho

Fonte: a autora.

Quanto ao aspecto biológico de uma praia arenosa, Levinton (1995) comenta que quando os estudos em praias arenosas se iniciaram, se achava que esses ambientes eram sem vida, pois seus organismos são predominantemente infaunal, ou seja, vivem enterrados nos sedimentos. Esses animais (denominados bentos) somente se desenterram em eventos de submersão para se alimentar e reproduzir, tornando difícil sua visualização.

A macrofauna bentônica de praias arenosas apresenta uma distribuição em função da energia incidente sobre o fundo. Martins (2007) ressalta que a relação entre energia e diversidade/biomassa é inversamente proporcional. A diversidade e biomassa tem um mínimo na zona de arrebentação de ondas devido à alta energia do local, aumentando costa afora e costa adentro, onde a energia diminui. As ondas dificultam a manutenção da macrofauna bentônica, atuando como fonte de stress e fator de controle na distribuição desses organismos nas praias arenosas.

2.2.2. Aspectos naturais e erosão costeira

Martins (2016) comenta que a morfologia e a dinâmica das praias são uma função do tamanho do sedimento (granulometria), da altura e período das ondas incidentes, da variação da maré e das principais características morfológicas. A interação entre estes parâmetros dá origem ao conceito de morfodinâmica. Short (1996) comenta que cada um destes parâmetros possui considerável variação espaço-temporal, resultando em uma ampla gama de tipos de praias. A discussão a seguir aborda os aspectos naturais que compõem a morfodinâmica costeira e consequentemente influenciam na erosão costeira.

A erosão costeira ocorre em grande parte das praias arenosas do planeta, o que torna esse processo uma preocupação global (Bird, 2008). A variação de

sedimentos numa praia (ganho e perda de volume de sedimentos) é chamado de balanço sedimentar. A erosão ocorre quando o balanço sedimentar de uma praia é negativo, ou seja, quando a praia perde mais sedimentos do que recebe. O recuo da linha de costa é uma consequência deste processo. Muehe (2020) ressalta que as informações mais significativas e práticas para a compreensão dos processos responsáveis pelo transporte de sedimentos e, conseqüentemente, pela modelagem das feições morfológicas, sejam erosivas (balanço sedimentar negativo) ou deposicionais (balanço sedimentar positivo), podem ser descritas em uma relação simples, que engloba as principais variáveis indutoras dos processos costeiros, e foi apresentada por Swift (1976), que condiciona a mudança de posição da linha de costa às seguintes variáveis:

$$\Delta l \approx \frac{Q_s \cdot G}{E} - \frac{\beta}{\Delta M}$$

$\Delta l \approx Q_s \cdot G \cdot E - \beta \Delta M$, ou seja, o recuo ou avanço da linha de costa é proporcional ao **volume de sedimentos** (Q_s) que entra ou sai do sistema, do **diâmetro granulométrico dos sedimentos** (G), da **energia da onda** (E), da **declividade do fundo marinho** (β) e da **variação do nível do mar** (ΔM). Muehe (2020) explica:

O aporte de areias de granulometria grossa tende a favorecer o volume do estoque de areia da praia, enquanto o aumento de energia da onda (aumento de altura, por exemplo numa tempestade) tende a reduzir. Já a relação entre a declividade da antepraia e a amplitude da variação do nível do mar atuam no sentido de amplificar ou reverter esse efeito. Numa escala de tempo de horas ou dias a declividade e variação do nível do mar podem ser substituídos pela declividade da face praial e da amplitude da maré. (Muehe, D., 2020)

Mangor *et al.* (DHI, 2017) acrescentam que vento, ondas e correntes combinados com marés são os fatores principais que influenciam no desenvolvimento da costa. Tais fatores podem ser denominados de forçantes meteorocenográficas. A palavra meteorocenografia é resultado da composição de duas palavras: meteorologia e oceanografia, e é a ciência que estuda os fenômenos físicos como ventos, ondas, correntes, variações de pressão atmosférica, marés, entre outros. Considerando que tais aspectos são aqueles que influenciam na erosão

costeira, de forma direta ou indireta, a seguir uma breve descrição dos parâmetros naturais a serem considerados em projetos de intervenção urbana.

2.2.2.1. Ventos

O vento e as variações das pressões atmosféricas são os responsáveis pela geração das ondas, levantamento do mar e tempestades, além das correntes geradas pelo vento. O vento provoca impacto direto na morfologia costeira pelo transporte de areia nas praias e dunas (Mangor *et al.*, DHI, 2017).

Mangor *et al.* (DHI, 2017) reforça ainda que ciclones tropicais também chamados de ciclones, tufões ou furacões, dependendo da localização geográfica, são intensas tempestades que chegam sobre as regiões de águas oceânicas mais quentes e são caracterizados pela baixa pressão atmosférica, ventos fortes e forte chuva. Os termos usados para caracterizar um ciclone tropical podem ser:

- Furacão: Atlântico e Nordeste do Pacífico
- Tufão: Noroeste do Pacífico
- Ciclone: Pacífico Sul e Oceano Índico

No Brasil apesar de ser banhado pelo Atlântico Sul, tal fenômeno pode ser chamado Furacão ou Ciclone Tropical.

Para a formação de um ciclone tropical são necessários os seguintes fatores:

- Um distúrbio climático pré-existente;
- Águas tropicais quentes (temperatura acima de 26,5⁰ C);
- Umidade e
- Ventos relativamente baixos.

Um ciclone tropical produz ventos que excedem a aproximadamente 33 m/s ou 118,8 Km/h. Em casos extremos o vento pode exceder quase 67m/s ou 240 Km/h e rajadas que podem ultrapassar os 90 m/s ou 324 Km/h (MANGOR *et al.*, DHI, 2017).

O IAG/USP (2020) publicou que alguns fatores auxiliam a destruição gerada pelos ciclones tropicais: ondas, a maré é alterada pelos ciclones; enchentes, causadas pelo aumento dos rios; ventos, relâmpagos, normalmente percebidos após a passagem do centro do ciclone; tornados e trombas d'água. Ressacas e marés, dependem da topografia costeira em conjunto com a intensidade, direção e

velocidade dos ventos, são considerados os fenômenos mais destrutivos associados aos furacões ou ciclones.

Andreoli *et. al* (2008) descrevem que existem diferentes formas de medir os ventos e com diferentes resoluções:

- Observações de navios;
- Lançamento de boia de deriva;
- Estação fixa no mar perto da costa;
- Estação fixa em terra perto da costa;
- Satélites.

Fenômenos sazonais extremos, são aqueles que acontecem em determinada época quando há uma conjunção de fatores e têm grande impacto na climatologia regional e local. Como por exemplo os fenômenos El Niño e La Niña.

O El Niño é o fenômeno resultante do aquecimento anormal das águas do Pacífico na costa litorânea do Peru, onde geralmente as águas são frias. Esse fenômeno produz algumas massas de ar quentes e úmidas, que geram chuvas na região de entorno, com a diminuição do regime de chuvas em outras localidades, como a Amazônia, o Nordeste brasileiro, a Austrália, Indonésia e outras (Allan e Komar, 2002). Pscheidt (2006) descreve que no Brasil, o fenômeno também contribui para o aumento de chuvas nas regiões Sul e em partes do Sudeste e do Centro-Oeste.

O fenômeno La Niña é exatamente o inverso, por apresentar um esfriamento anormal das águas do oceano Pacífico, em virtude do aumento da força dos ventos alísios, o La Niña provoca os efeitos opostos, como a intensificação das chuvas na Amazônia, no Nordeste e em partes do Sudeste, o que pode intensificar os eventos extremos, principalmente na costa e colaborar, sazonalmente, na erosão costeira.

Os ventos atuando sobre a superfície do mar são os principais agentes que produzem as ondas. A altura das ondas, enquanto consequência direta dos ventos, depende de três fatores:

- Força do vento;
- Duração do vento;
- Pista.

2.2.2.2. Ondas

Segundo Muehe (1998), o clima de ondas é a principal variável indutora dos processos costeiros de médio e curto prazo, responsável pelo transporte nos sentidos longitudinal e transversal à linha de costa.

O clima de ondas é definido como a distribuição da altura, período e direção da onda média ao longo de um intervalo de tempo para um determinado local. Em águas profundas, o clima de ondas é bastante invariável e pode ser semelhante em grandes distâncias. Perto da costa, no entanto, o clima de ondas depende do clima de ondas no oceano causado por ventos e tempestades predominantes e da topografia de fundo, que tende a modificar as ondas (Herbich & Walters, 1987).

A energia das ondas e a intensidade e recorrência de tempestades comandam a dinâmica de erosão e acúmulo de sedimentos na linha de costa. Para Klumb-Oliveira, (2015), o clima de ondas representa uma condição média do estado de mar em um determinado intervalo de tempo. Komar, 1998 *apud* Pedruzzi, 2005 também comentam que erosão costeira é o produto da interação do sedimento com processos físicos como ondas, correntes e marés para o entendimento de um ambiente praiial.

Ondas gravitacionais são ondulações na superfície da água geradas pelo vento, que se propagam até serem interceptadas por um obstáculo quando são refletidas, e mudam de direção ou tem sua energia dissipada, como ocorre ao encontrar uma praia. O clima de ondas é o fator que mais influência na mobilidade sedimentar e pode transportar sedimentos por arrasto ou em suspensão, além de gerar correntes de transporte longitudinal e perpendicular à praia, e induzir processos de erosão ou progradação (modificação) Muehe (2020).

Miguens (1996) explica que enquanto o vento sopra, ou seja, nas regiões em que há uma corrente de ar suficiente para a formação de ondas, classifica-se essas ondas como vagas e as ondas que já não estão mais em suas áreas de formação são chamadas de marulho ou *swell*. Essas distinções são importantes porque as primeiras (vagas) possuem cristas íngremes, alturas irregulares e um pouco variáveis e os comprimentos mais curtos, já as segundas (marulho) são vistas com certo padrão, seguindo como um trem de ondas, com comprimentos mais longos e um sentido de propagação mais constante (Figura 19).

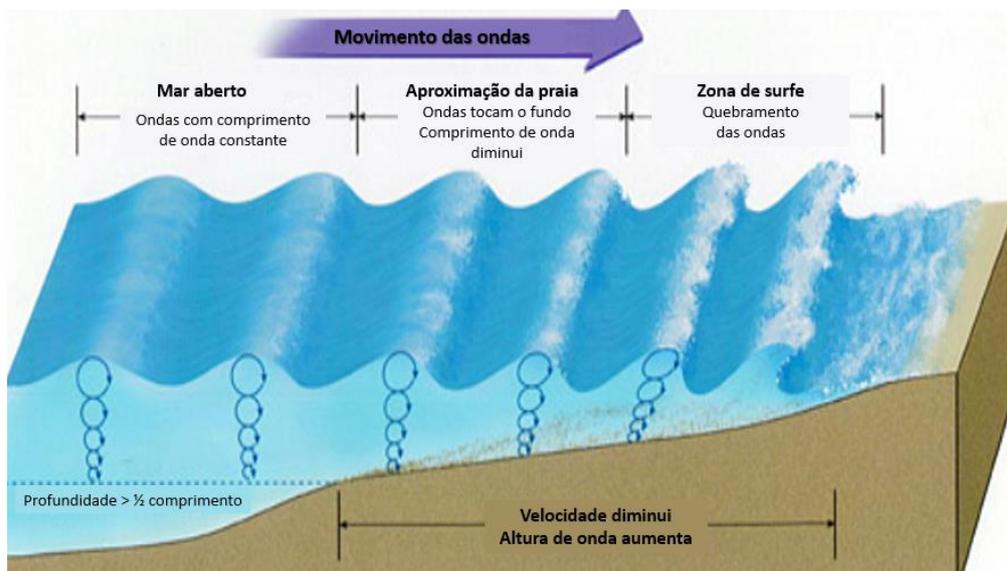


Figura 19 - Esquema ilustrativo de quebramento de ondas.
Fonte: Thurman, 1997. Traduzido pela autora,

As ondas podem ser deslizantes ou mergulhantes, como pode ser vista na Figura 20a, um desenho esquemático de Veloso, V.G. (2019) e fotos ilustrativas nas Figura 20b,20c e 10d.

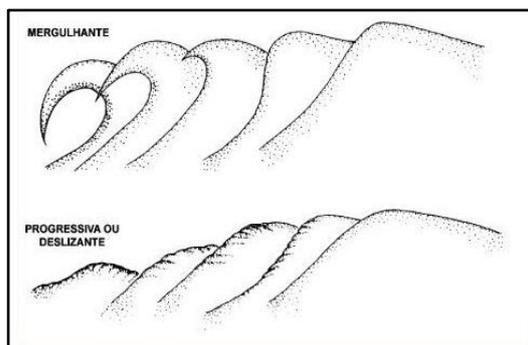


Figura 20 a – Desenho esquemático dos tipos de onda em praias arenosas.



Figura 20 b – Exemplo de onda mergulhante.



Figura 20 c – Exemplo de onda deslizante.



Figura 20 d – Ondas e ventos – transporte.

Ondas são o mais importante e decisivo parâmetro para a composição da morfologia na costa e considerados nos projetos de engenharia costeira. O termo

“estado do mar” cobre o vento que provoca ondas (*vagas/sea waves*) e as ondas que quebram na areia (*marulho/swell*).

Existem diferentes formas para medir ondas, com diferentes resoluções (Pereira *et al.*, 2000; Horta, 2020; John *et al.*, 2015); são elas:

- Ondógrafo
- Acelerômetro;
- Radares de alta frequência;
- Radares na banda X.

Considerando que o conhecimento do clima de ondas é fator primordial para análise da erosão costeira, e do correto dimensionamento das obras de engenharia à beira mar (Gomes Junior, 2015), a observação de longo prazo para determinação do valor de onda mais destrutiva em cem anos, a chamada onda centenária, é geralmente calculada através de modelos numéricos de propagação de ondas.

A relevância da construção de modelos de propagação de ondas é notória, uma vez que, por determinação Governo Federal em 2011, criou-se o projeto “Transferência de Metodologias e Ferramentas de Apoio à Gestão da Costa Brasileira” (Gonzalez, 2011), baseado em metodologias e ferramentas numéricas desenvolvidas pelo Instituto de Hidráulica Ambiental da Universidade da Cantábria, na Espanha, e transferidas para o Ministério do Meio Ambiente.

O Sistema de Modelagem Costeira (SMC) adaptado para o litoral do Brasil é a principal ferramenta para simulações numéricas em diferentes cenários e condições temporais e espaciais, com o objetivo de propor alternativas de prevenção e redução do impacto da erosão costeira. O SMC contém uma base de dados do clima de ondas para a costa brasileira, com séries temporais de 60 anos (1948-2008) (Gomes Junior, 2015).

Este sistema conta com quatro modelos diferentes, o modelo de evolução do perfil transversal de praia (PETRA), modelo de propagação de ondas (OLUCA), modelo de correntes causadas pela arrebentação das ondas em praias (COPLA) e o modelo referente a erosão e sedimentação (EROS) (Silva, Filippo & Costa; 2021).

Vários outros modelos foram desenvolvidos ao longo dos anos, no entanto, sabe-se que a calibração com dados coletados é de grande importância para se conseguir uma melhor precisão nas simulações numéricas (Reguero *et al.*, 2012). Apesar dos avanços recentes na modelagem matemática das ondas oceânicas,

medições de campo confiáveis e precisas continuam sendo a fonte primordial de informação sobre o estado do mar.

2.2.2.3. Perfil de praia e antepraia

Muehe (2020) descreve que o perfil de praia é o perfil topográfico transversal à praia. Serve para caracterizar a configuração morfológica e suas diferentes feições morfológicas, o volume de sedimentos, o estágio morfodinâmico, acompanhar a evolução e resposta a tempestades ou mudança do nível do mar. Sua extensão mar afora, englobando a antepraia, permite avaliar seu estado em termos de equilíbrio ou desequilíbrio sedimentar.

O método mais tradicional de levantamento é o nivelamento, feito por meio de nível topográfico, teodolito pelo método das balizas de Emery (Emery, 1961) (Figura 221), ou estação total, GPS (GNSS-RTK) (Figura 22).

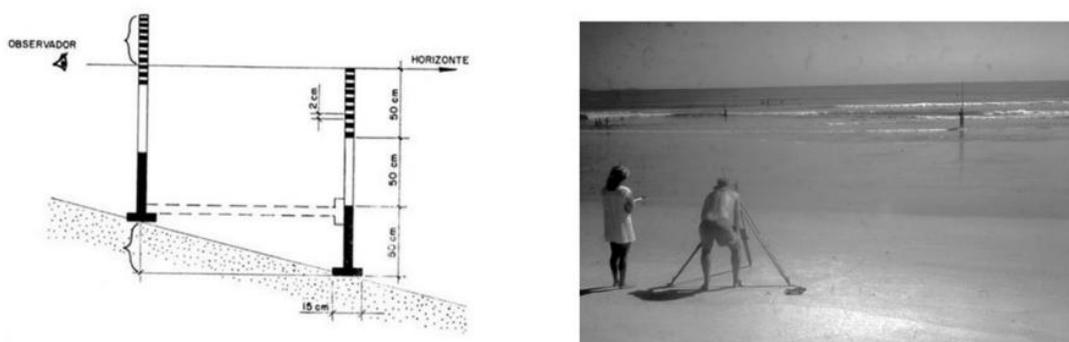


Figura 21 - À esquerda um esquema do método das balizas de Emery a à direita levantamento com equipamento topográfico convencional (nível ou teodolito).

Fonte: Muehe, 2020.



Figura 22 - Extensão do perfil topográfico para a antepraia. A profundidade medida no local pelo topógrafo localizado na praia.
Fonte: Muehe, (2020)

Muehe (2020) descreve que levantamento de vários perfis paralelos ou, pelo menos, distribuídos espacialmente, pode oferecer uma visão espacial da morfologia para avaliar tendência de erosão ou progradação da linha de costa em segmentos distintos de um arco praial, bem como o comportamento da morfologia do fundo. Nesse sentido, a Figura 19 representa uma imagem 3D de uma antepraia como exemplo do resultado do recuo erosivo de falésias no litoral do Espírito Santo. Representações desse tipo são facilmente obtidas a partir dos dados batimétricos por meio de programas específicos, como por exemplo, o *Surfer da Golden Software*⁸, caso do exemplo da Figura 23, ou programas de geoprocessamento como o *ArcGis*, *Global Mapper*⁹, entre outros.

⁸ Disponível em <http://www.sisbahia.coppe.ufrj.br/> Acesso: 10/04/2021

⁹ Disponível em <https://www.blumarblegeo.com/global-mapper/> Acesso: 10/04/2021

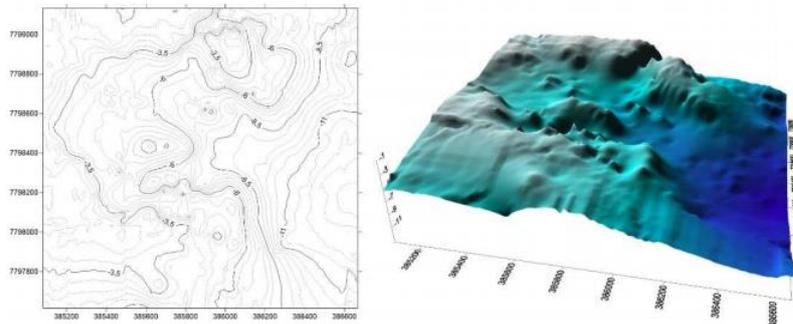


Figura 23 – Representação 2D e 3D do relevo de um terraço da antepraia de Putiri no litoral do Espírito Santo.

Fonte: Muehe, 2020 apud Albino et al., 2020

Carvalho (2019) comenta que ondas, correntes e maré movem o sedimento na antepraia superior e zona intermarés de acordo com a subida e descida do nível do mar. Devido ao papel desempenhado pelas forças hidrodinâmicas, a morfologia praial está em constante mudança e é sentido na antepraia. Os processos da antepraia moldam a morfologia da praia (Hardisty, 1990 *apud* Carvalho, 2019), e vice-versa, pois segundo Komar (1976 *apud* Carvalho, 2019) a morfologia da praia influencia os processos que trabalham na antepraia (Komar, 1976), sendo assim um ciclo a ser considerado. A Figura 24 ilustra a posição da antepraia superior mostrando os elementos que compõem a mesma e todo o dinamismo da interface mar e terra.

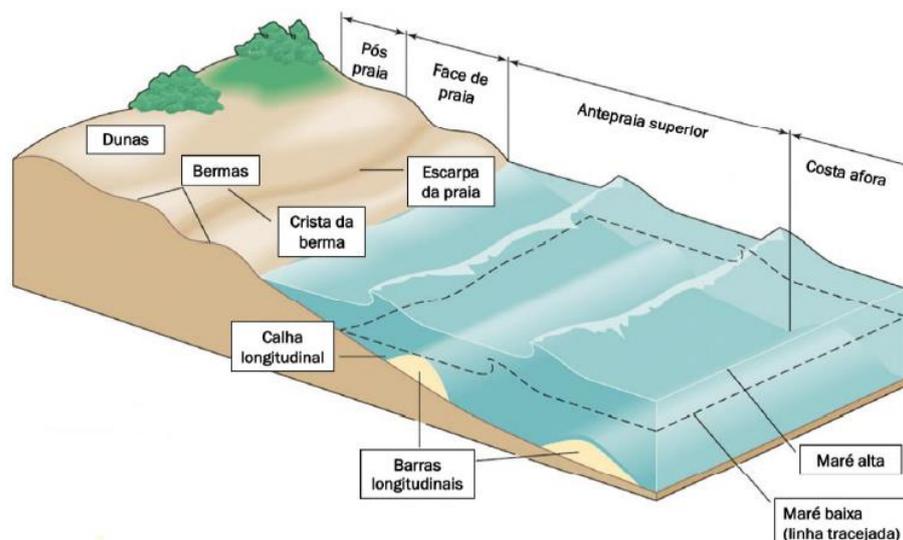


Figura 24 - Elementos que compõem a antepraia.
Fonte Carvalho, 2019.

2.2.2.4. Correntes costeiras

A corrente longitudinal é um fator que pode redistribuir sedimentos. As correntes longitudinais são correntes paralelas à costa (*longshore currents*) e são geradas devido à incidência oblíqua de ondas sobre a praia e/ou à variação longitudinal da altura da arrebentação. Esse processo é chamado de deriva litorânea e, por isso, as correntes longitudinais muitas vezes são também chamadas de correntes de deriva litorânea, conforme esquema ilustrativo da Figura 25. Esse processo pode ocorrer ao longo de vários quilômetros de praia, sendo muito importante para o balanço sedimentar das mesmas (Hoefel, 1998), uma vez que gera o acúmulo de sedimentos em uma extremidade da praia e erosão na outra.

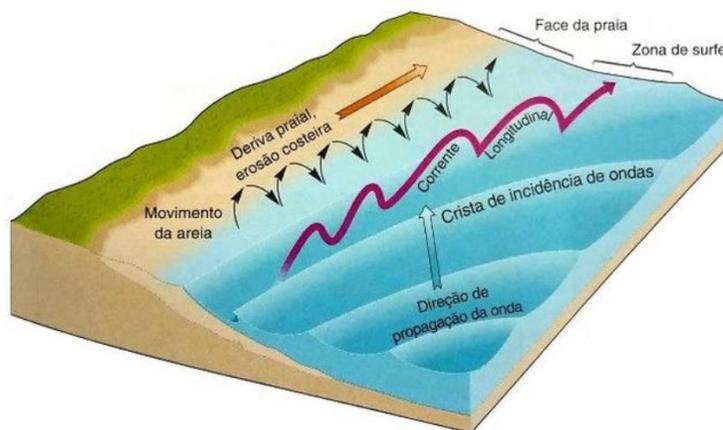


Figura 25 - Esquema ilustrativo da corrente longitudinal, deriva litorânea (praial) e processos associados.

Fonte: Chalegre -Touceira (2018) adaptado de Christopherson (2011)

Outro tipo de corrente costeira é a corrente de retorno. Segundo Chalegre - Touceira (2018), as correntes de retorno (*rip currents ou rips*) são correntes transversais à costa que se desenvolvem devido a variações longitudinais na altura da arrebentação, fluindo nos pontos onde há as menores ondas. Hoefel (1998) *apud* Lins-De-Barros (2010) comenta que as correntes de retorno são alimentadas por correntes longitudinais e formam células de circulação com elas mesmas (Figura 26).

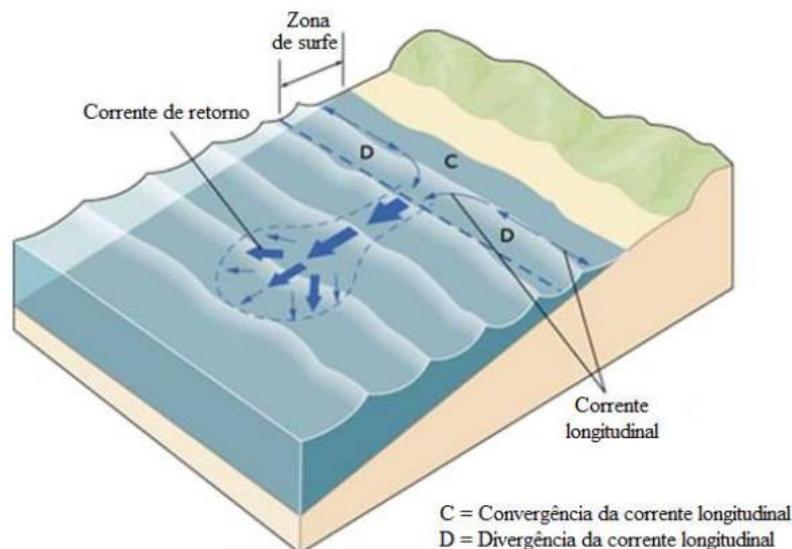


Figura 26 - Representação ilustrativa de uma corrente de retorno
Fonte: Chalegre -Touceira (2018) adaptado de Komar (1976).

2.2.2.5. Maré

Mangor *et al.* (DHI, 2017) comenta que a maré astronômica é gerada pela rotação da Terra combinada com o impacto gravitacional variável do sol, da lua e dos planetas nos oceanos. Como as forças geradoras da maré por metro quadrado são proporcionais à profundidade, a maré é gerada principalmente nos oceanos profundos, de onde a maré se propaga para as águas costeiras como uma onda longa.

As marés registradas em uma área são classificadas como semidiurnas, devido ao fato de terem um período médio de 12 horas e 24 minutos (744 minutos), apresentando duas preamares e duas baixa-mares por dia lunar (Craik, 2004 *apud* Gomes Jr., 2015). A água sobe gradualmente por cerca de 6 horas até atingir a maré alta ou preamar, e o ciclo então começa novamente. A diferença entre a maré alta e a baixa é chamada amplitude da maré.

A amplitude da maré difere dia após dia conforme a posição do Sol e da Lua. Quando a posição da Lua e do Sol estão em numa mesma linha em relação à Terra, como acontece na Lua Cheia e Nova, a maré fica mais alta do que o normal e é chamada de maré de Sízigia, ou maré de águas-vivas. Nos momentos em que o Sol e a Lua formam com a Terra um ângulo reto, como a Lua em quarto-crescente ou quarto-minguante, a maré é mais baixa que o normal, sendo chamada maré de Quadratura, ou maré de Águas-Mortas (Aleixo e Albino, 2020)

A própria formação e desenho da costa contribuem para que haja uma grande diferença na amplitude da maré. Nos estuários e baías com o formato de

funil, a amplitude pode ser muito alta. A forma, tamanho e profundidade dos mares e oceanos provocam diferenças no modo de agir da maré. No Brasil, dados de previsão da maré astronômica são disponibilizados pela Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) da Marinha do Brasil¹⁰.

O aumento do nível do mar de causa meteorológica, ou maré meteorológica ou tempestade de maré (*storm surge*), é uma variação do nível do mar produzida por causas climáticas, principalmente pelo atrito do vento com a superfície do mar e variações da pressão atmosférica (Parise; Calliari; Krusche, 2009), a duração destas oscilações geralmente varia entre alguns minutos até alguns dias. A maré meteorológica, somada com a elevação da maré astronômica e das ondas de ressaca, ela pode produzir inundações significativas na zona costeira. Os maiores eventos de marés meteorológicas estão associados a eventos climáticos, assim coincidem com os eventos de maiores ondas (Gomes Jr., 2015).

Aleixo e Albino (2020) descrevem que o esquema de perfil apresentado na Figura 18 está referenciado ao nível médio do mar, que é aqui definido como a posição da linha de costa. Contudo, a posição da linha de costa pode mudar através do tempo, dependendo do transporte de sedimento ao longo da costa e das mudanças do nível d'água (Aleixo e Albino 2020) como resultado de alterações climáticas. Ondas de tempestades, ventos e diferenças na pressão atmosférica são alguns parâmetros meteorológicos e oceanográficos que podem causar o aumento do nível do mar junto à costa, denominado maré meteorológica (Figura 25). Com o aumento relativo do nível do mar o espraiamento máximo se torna mais alto, alcança a base das dunas e pode ser responsável pela erosão das dunas e das praias. Se o momento de tempestade se somar a maré alta, o nível do mar aumenta ainda mais como pode ser visto na Figura 27.

¹⁰ <https://www.marinha.mil.br/chm/chm/pagina-basica/informacoes-sobre-mares> . Acesso: 25/01/2022

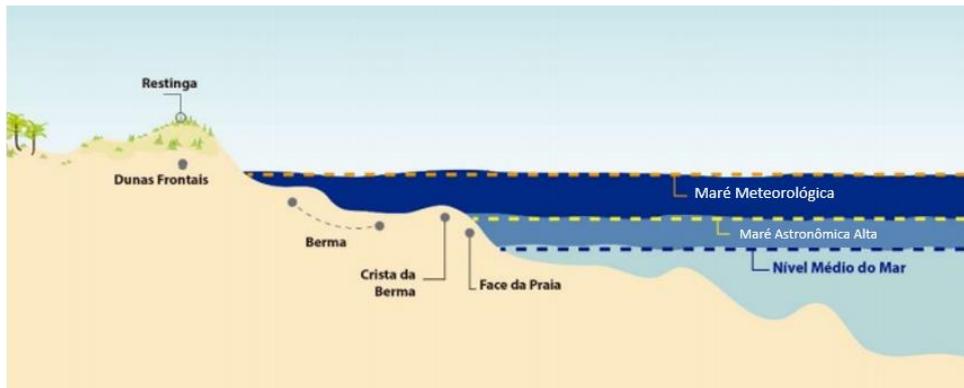


Figura 27 - Aumento do nível do mar por ocasião de maré astronômica alta e maré meteorológica.
Fonte: Aleixo e Albino, 2020

Existem duas formas para medir as marés, que são através de:

- Marégrafos;
- Observação horária da variação através de régua de maré.

Fenômeno de Ressaca (*Storm Surge*)

O PBMC (2016) em sua publicação afirmou que as inundações intensas podem ser mais frequentes, com o aumento das ressacas do mar se formam e impactam as comunidades costeiras. Paula, *et al.* (2015) citam que ressacas, ou em inglês, “*storm surge*”, são fenômeno está relacionado com sistemas de baixa pressão ou ventos fortes que induzam o empilhamento de água no litoral. Lins-de-Barros *et al.* (2020) acrescenta que a combinação de *storm surge* e ondas de gravidade é o principal problema para as comunidades costeiras e destruição de obras fixas.

Lins-De-Barros *et al.* (2020) ainda explica que a ressaca do mar é fenômeno costeiro natural resultante de uma força que ocasiona o aumento extremo do nível das águas do mar, ou empilhamento vertical da massa de água junto à costa, provocando uma sobre-elevação momentânea do nível total de água. Este aumento do nível vertical de água é denominado de ressaca do mar quando provoca efeitos negativos junto à costa com inundações extremas. Além da ação dos ventos e das ondas, ressalta-se também a influência da maré astronômica que altera o nível do mar local, e o alcance da onda na cota conforme pode ser visto na Figura 28.

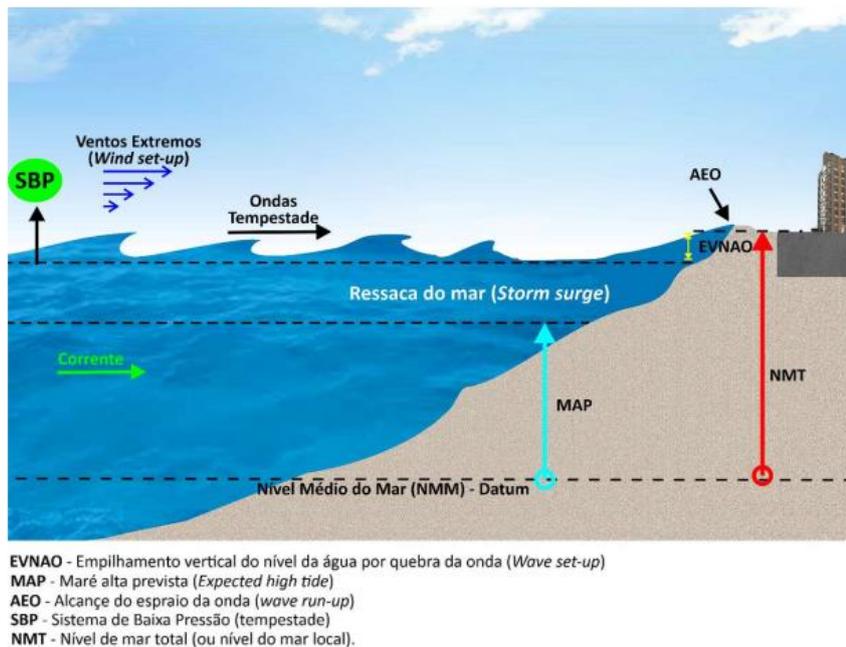


Figura 28 - Esquema gráfico dos componentes físicos atuantes em uma ressaca do mar.
 Fonte: Paula, *et al.*, 2020.

2.2.2.6. Restinga

Aleixo e Albino (2020) comentam sobre as dunas frontais, é possível haver a fixação de um conjunto diversificado de comunidades vegetais, que é denominado restinga. Tal vegetação também é capaz de promover a deposição e a fixação da areia trazida pelo vento para a formação de dunas costeiras, mantendo assim sua forma. Bitton e Hesp (2013) falam sobre a distribuição espacial da vegetação, e que as restingas promovem a estabilidade morfológica das dunas frontais, sendo a vegetação limitada a um número restrito de espécies, onde as gramíneas são adaptáveis a essas tensões ambientais. Falkenberg (1999), corrobora que vegetação da restinga exerce papel fundamental na manutenção da drenagem natural e na preservação da sua fauna residente e migratória.

2.2.2.7. Sedimentos

Em praias arenosas, o sedimento mais comumente encontrado é a areia, onde grande parte das praias e depósitos arenosos costeiros tem sua origem na plataforma continental, resultado do retrabalho de areias de origem continental durante a última transgressão marinha. Muehe *et al.* (2020) resumem que, a morfodinâmica das praias depende do alcance e a velocidade do espraio da onda na face da praia (*upwash*) ou do ciclo completo, espraio-refluxo,

(*upwash* e *backwash*), e que é função da altura e período da onda e da declividade da face praial, por sua vez relacionada à granulometria e, conseqüentemente, ao estágio morfodinâmico.

Atualmente há muitas tecnologias para medição e análise na identificação de formas dos sedimentos e sua variabilidade. Ferramentas como sísmica de subsuperfície, imageamento por veículos autônomos como AUVs (*autonomous underwater vehicle*) visto em Hongwei (2015), ROVs (*remote operated vehicle*) e imagens de satélites, entre outras técnicas de levantamento, se aliam a coleta de sedimentos para inferência através de softwares de processamento de dados para construções de informação e mapas detalhados essenciais para projetos que interferem na morfodinâmica praial (Bogue, 2015).

No entanto, o método de coleta de sedimentos passando por peneiras a fim de determinar sua granulometria (tamanho dos grãos) é a forma mais usual. Lins-De-Barros (2010), descreve que o estudo dos transportes dos sedimentos longitudinal e transversal de uma praia é importante para se conhecer o balanço sedimentar e desta forma estudar os ciclos de erosão e deposição de um determinado arco praial. O transporte longitudinal dos sedimentos pelas ondas é responsável pelos ciclos de erosão. Muehe (2011) complementa que quando ocorre mais perda de sedimentos do que ganho, a praia sofre erosão; ao contrário, quando o aporte sedimentar é maior a praia adquire um perfil de acumulação.

O balanço sedimentar de uma praia é, no entanto, influenciado por diversos outros fatores além do transporte longitudinal, que contribuem para o aporte ou a retirada de sedimentos (Bird, 1993). Os suplementos de sedimentos de uma praia podem ser através:

- Supridos por um rio;
- Originado de falésias;
- Trazido pelo continente pelo vento;
- Transportado do fundo do mar;
- Alimentação artificial.

Ainda quanto a origem a dinâmica costeira também classifica os sedimentos quanto ao grau de seleção (Passos *et al.*, 1980), onde os melhores selecionados possuem grãos mais arredondados que podem inferir serem grãos oriundos de jazidas fluviais, ou mesmo que a região seja mais dinâmica.

Por outro lado, Bird (1993) também comenta que a perda de sedimentos de uma praia pode se dar das seguintes formas:

- Transporte para o fundo marinho;
- Transportado pelas ondas ou pelo vento para o interior;
- Transportado lateralmente ao longo da costa;
- Volume reduzido da praia por intemperismo;
- Dragagem da praia.

Mangor *et al.* (2017) descrevem que a erosão crônica é tipicamente desenvolvida de forma progressiva e constante ao longo de longos períodos e, conseqüentemente, não está apenas associada a eventos extremos. A erosão aguda ocorre tipicamente durante eventos extremos, onde a costa é exposta simultaneamente a ondas altas e tempestades. A erosão aguda é frequentemente um processo reversível e, portanto, é frequentemente temporário na natureza, pois o perfil costeiro pode se recuperar total ou parcialmente após uma tempestade. A erosão aguda também pode ocorrer na parte de uma célula litoral devido a processos marítimos causados por uma tempestade extrema e atípica com características direcionais diferentes das ondas predominantes, ou combinação de ambas como resumido na Tabela 4.

Tabela 4 - Quadro resumo dos parâmetros ambientais que influenciam na erosão costeira.

Parâmetro ambiental	Influência na erosão	Erosão Crônica	Erosão Aguda
		Impacto Progressivo	Evento Extremo
Ventos	Indireta	Empilhamento das ondas	Ciclones/Furacões
Ondas	Direta	Interferência no balanço sedimentar	Ressacas/ aumento nível do mar
Perfil de praia	Direta	Interferência no balanço sedimentar	Favorece avanço do mar
Corrente longitudinal	Indireta	Interferência no balanço sedimentar	Engordamento ou redução praial
Maré	Direta	Avanço do mar	Maré meteorológica
Restinga	Indireta	Não há proteção do ambiente praial	Favorece avanço do mar
Sedimentos	Direta	Alteração da morfodinâmica	Desequilíbrio balanço sedimentar

Fonte: a autora.

Uma questão interessante levantada por Lins-De-Barros (2010) é que os processos físicos costeiros complexos e dinâmicos atuam em diferentes escalas espaço temporais. Na Figura 29 pode-se observar que os processos físicos podem variar entre escala de tempo instantânea, de eventos, macro escala ou geológica.

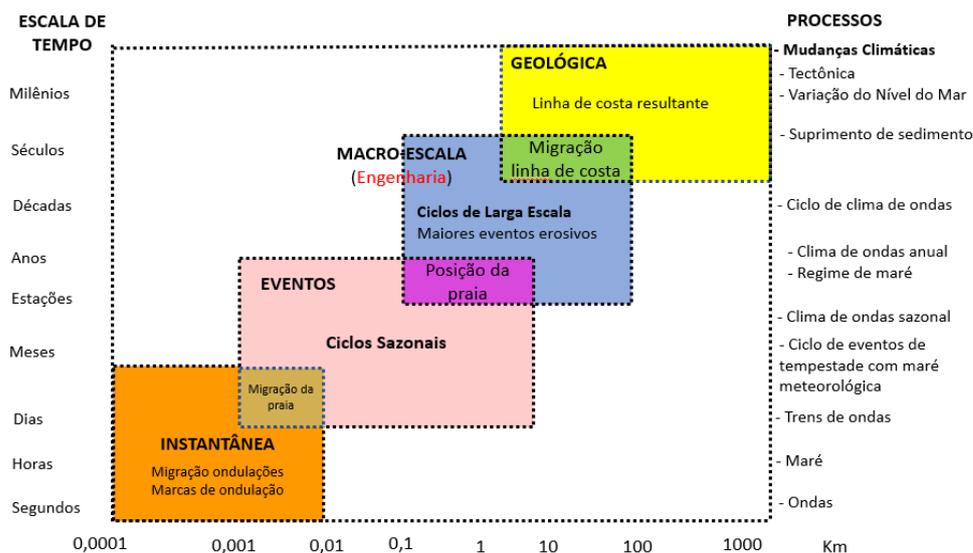


Figura 29 - Escalas espaço-temporal envolvidas no estudo de praias e processos relativos à dinâmica costeira.

Fonte: adaptado pela autora de Lins-De-Barros (2010).

Para fins de obras de engenharia e projetos urbanos a escala temporal trabalhada é a microescala, pois leva em consideração eventos extremos registrados em 100 anos para projetos, como a onda centenária que é o esforço máximo sobre uma construção.

2.2.3. Aspectos antrópicos e erosão costeira

Lins-De-Barros (2005) ressalta que o problema da erosão costeira é um fenômeno global e dada a intensa urbanização das orlas e desde a década de 1970, a erosão costeira começou a ser estudada sob o olhar socioeconômico também, levando em consideração os impactos causados nas intervenções à beira mar em áreas urbanas, integrados à noção atual de gerenciamento costeiro. Muehe e Neves (2008) levantam que a ocupação dos cordões litorâneos se concentrava em localidades isoladas, porém com o tempo, vêm se expandindo, e observam que as construções estão avançando para muito próximo da linha de praia, estando assim, cada vez mais, vulneráveis à erosão costeira.

Souza (2009) comenta que as principais fontes de pressões antrópicas na zona costeira são as invasões de áreas públicas, áreas de preservação permanente e áreas sujeitas a riscos geológicos, o déficit crescente na infraestrutura, principalmente de saneamento básico e habitação; a informalidade, desconhecimento, ilegalidade e falta de entendimento no que se refere ao

cumprimento da legislação ambiental vigente para pesca e as atividades portuárias; as dúvidas quanto à estabilidade e clareza das regras ambientais de uso e ocupação do solo. Já Filet *et al.*, (2001) acrescentam ainda que o desenvolvimento acelerado de investimentos no setor imobiliário da zona costeira, visando às atividades de turismo e lazer, nos últimos anos, tem contribuído muito para erosão costeira em praias urbanas.

Souza (2009) discorre que os impactos de tais pressões são:

- Utilização dos recursos naturais: que levam a perdas dos recursos pesqueiros, comprometimento na quantidade e qualidade dos recursos hídricos (superficiais e subterrâneos); comprometimento do patrimônio histórico e cultural (sítios arqueológicos); decréscimo do potencial turístico regional e local.
- Qualidade Ambiental: comprometimento da qualidade das; alterações no balanço sedimentar da praias levando ao assoreamento de corpos d'água, sedimentação, erosão costeira, inundação, erosão fluvial e movimentos de massa; aumento das descargas de efluentes líquidos e da produção de resíduos sólidos urbanos e industriais; poluição de solos e ar; aterros de ambientes subaquáticos para o aumento de áreas terrestres; perdas nos aspectos estéticos da paisagem da zona costeira e decréscimo do potencial turístico.
- Perigos Naturais e Riscos: aumento da frequência e da intensidade dos processos naturais que geram impactos, como erosão costeira (incluindo ressacas), enchentes e inundações, movimentos de massa, assoreamento de canais de drenagem, erosão fluvial e marés vermelhas.
- Questões Institucionais: conflitos entre as legislações existentes (ambiental, pesqueira, de uso e ocupação do solo e portuária) e entre elas e as atividades antrópicas (leis muito restritivas e fiscalização e controle ineficientes); falta de integração entre os municípios de um mesmo setor costeiro e entre os próprios setores costeiros; capacidades institucionais e de planejamento inadequadas (federal, estadual e municipal).

A erosão costeira pode trazer várias consequências não somente à praia, mas também a vários ambientes naturais e aos próprios usos e atividades antrópicas na zona costeira, destacando-se (Souza *et al.*, 2005; Souza, 2009):

- a redução da face praial, engordamento e erosão ou mesmo o recuo da linha de costa;
- o desaparecimento da zona de pós-praia;
- a perda e o desequilíbrio de habitats naturais, como praias ou alguma de suas zonas, dunas, manguezais, florestas de “restinga”;

- aumento na frequência e magnitude de inundações costeiras, causadas por ressacas (marés meteorológicas) ou eventos de marés de sizígia muito elevados;
- aumento da intrusão salina no aquífero costeiro e nas drenagens superficiais da planície costeira;
- perda de propriedades e bens públicos e privados ao longo da linha de costa;
- destruição de estruturas artificiais paralelas e transversais à linha de costa;
- perda do valor imobiliário de habitações costeiras;
- perda do valor paisagístico da praia e/ou da região costeira.

No Brasil, em várias capitais e núcleos urbanos, a ocupação inclui a orla e o adensamento populacional, o que torna a área costeira oceânica mais vulnerável a seus efeitos, alguns deles listados acima. Muehe (2009) ainda comenta que a expansão da urbanização sobre antigas lagunas, geralmente próximos às praias, representa riscos que se agravarão significativamente em caso de elevação do nível do mar e intensificação de tempestades.

Coelho (2020) explica que uma orla, marcada pela degradação ambiental de origem humana, é representada por uma faixa de areia com supressão da vegetação e construção de edificações ou estruturas que em sua maioria interferem no processo de transporte sedimentar, provocando desequilíbrios no balanço sedimentar e, conseqüentemente, no recuo da linha de costa, causando a erosão costeira.

2.2.4. Instrumentos legais para gerenciamento costeiro

Os mecanismos legais que podem ser utilizados para ordenamento do espaço praiar visando a preservação do arco praiar e, conseqüentemente, a respectiva morfodinâmica costeira, com intuito de minimizar os riscos de erosão costeira em praias urbanas.

O aumento populacional tem afetado o processo de ordenamento territorial nas grandes cidades ao redor do mundo, bem como o aumento da fragmentação dos espaços, degradação ambiental e a falta de infraestrutura, conseqüentemente acrescentam mais pressão aos ambientes costeiros sensíveis e levam à perda de habitats (Rosenzweig *et al.*, 2015), e colocam o capital econômico e as populações em situação de alto risco (Banco Mundial ONU, 2010; Gasper *et al.*, 2011). Nesse sentido, criar mecanismos de organização do espaço, naturalmente dinâmico e sensível, e ao mesmo tempo disputado com é a zona costeira é de grande relevância.

Zile (1974) já mencionava que a origem da teoria da gestão costeira envolve uma coleção de avaliações sobre as formas de uso e ocupação do solo em áreas costeiras, e pesquisa em boas práticas que possam levar à conservação desse ambiente (Godschalk, 1992).

O conceito de gestão costeira integrada é uma abordagem que entende a costa como um sistema complexo e dinâmico que engloba muitas interações entre pessoas e ecossistemas, e deve ser gerenciado como um todo integrado. É um processo contínuo de formulação, implementar e refinar uma visão abrangente e holística de como a sociedade deve interagir de forma ecologicamente sustentável.

A Gestão Costeira Integrada (GCI) é significativamente melhor do que as abordagens tradicionais para a gestão de atividades humanas em áreas litorâneas. Uma série de instituições internacionais e regionais desenvolveram diretrizes sobre gestão costeira integrada, ao longo do tempo, como a OCDE (1991), a Conferência Mundial da Costa (1993), o Relatório do Banco Mundial (1993), a IUCN (1993), Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (1995) foram os passos pioneiros rumo ao entendimento integrado da gestão costeira.

Segundo a FAO – Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (2006)¹¹, outro desenvolvimento positivo foi uma mudança perceptível ao reconhecimento da importância essencial de manter o ambiente ecológico íntegro, onde as atividades humanas devem ser gerenciadas para garantir que essa integridade ecológica seja mantida e, quando necessário, restaurada. O referido estudo resume que a produtividade e a saúde das costas e das pessoas e outras espécies não viverão em harmonia se a manutenção ecossistêmica não for respeitada e todos serão prejudicados e as gerações futuras empobrecerão. Essa mudança se reflete, por exemplo, no desenvolvimento das chamadas “abordagens ecossistêmicas” lançada na 12ª Conferência das Partes (COP 2005) e na Convenção sobre a Diversidade Biológica 2005, onde foram abordados temas sobre a importância dos serviços ecossistêmicos.

Interessante observar que as leis de gestão costeira devem ser concebidas para gerir a sociedade a fim garantir que os seus impactos nas zonas costeiras respeitem os limites naturais (Rocha e Tavares; 2016), que também ressaltam que

¹¹ Food and Agriculture Organization. <http://www.fao.org/3/a0863e/a0863e00.pdf> Acesso: 11/05/2020

a gestão costeira deve ser sobre a gestão de pessoas e seus impactos sobre o ambiente costeiro.

O Macrodiagnóstico da Região Costeira e Marinha do Brasil (MMA-2018) indica Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro – PNGC no Brasil, um conjunto de ações que visa implementar uma política pública para a gestão da zona costeira e que se iniciou nos anos 1970 com o Decreto 74.557/74 criando a Comissão Interministerial para os Recursos do Mar – CIRM. Dentro da CIRM foi criada a Subcomissão de Gerenciamento Costeiro em 1983 no âmbito da Subcomissão de Gerenciamento Costeiro, alocada no Ministério da Marinha, criada em 1982.

Rocha e Tavares (2016) descrevem que entre os anos de 1982 e 1989 foram implementados no Brasil dois Planos Setoriais para os Recursos do Mar, onde a Marinha do Brasil teve um papel fundamental neste período e foi por meio das suas ações que no dia 16 de maio de 1988 o Brasil promulga seu Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro – PNGC (Lei 7.661/88) como parte integrante da Política Nacional para os Recursos do Mar - PNRM e Política Nacional do Meio Ambiente – PNMA (Lei Nº 6.938/1981). Este plano foi instituído cinco meses antes da promulgação da Constituição Federal de 1988 e no Capítulo VI - Do Meio Ambiente assegura que:

A Floresta Amazônica brasileira, a Mata Atlântica, a Serra do Mar, o Pantanal Mato Grossense e a **Zona Costeira** são patrimônio nacional, e sua utilização far-se-á, na forma da lei, dentro de condições que assegurem a preservação do meio ambiente, inclusive quanto ao uso dos recursos naturais. (Brasil, Constituição Federal, 1988, art. 225, parágrafo 4º)

Polette (2020) acrescenta que no final dos anos de 1990, e em 1992 na II Conferência das Nações Unidas, onde no Capítulo 17 da Agenda 21, realçava a importância da sua inserção nos países costeiros e insulares, foi a primeira vez que se foi mencionado o termo Gestão Costeira Integrada:

O meio ambiente marinho, inclusive os oceanos e todos os mares, bem como as zonas costeiras adjacentes forma um todo integrado que é um componente essencial do sistema que possibilita a existência de vida sobre a Terra, além de ser uma riqueza que oferece possibilidades para um desenvolvimento sustentável. (Agenda 21, 1992)

Pires do Rio (2020) comenta que o PNGC foi estabelecido com o objetivo de proporcionar as condições para envolver o governo e a sociedade na condução

dos processos de ocupação da zona costeira, buscando o uso sustentável dos recursos naturais. Em suma, a gestão integrada da zona costeira pode ser considerada como um compartilhamento de responsabilidades voltadas para um conjunto de recursos e sistemas conectados. De forma prática é a gestão feita por muitos, integrando os diferentes instrumentos e saberes de cada um (GI-GERCO, 2018).

A Lei Federal 7661/88¹² (PNGC, 1988) estabeleceu que todas as normas e regras deveriam ser detalhadas em um documento específico a ser produzido pela Comissão Interministerial para os Recursos do Mar. Assim, a Resolução CIRM 01/90 aprovou a primeira versão do PNGC e a Resolução CIRM 05/97 aprovou a segunda versão (denominada PNGC II), atualmente em vigor, ambas submetidas a audiências do Conselho Nacional de Meio Ambiente CONAMA.

A primeira versão do PNGC definiu seu modelo institucional e os instrumentos de gestão e o PNGC II visou buscar um equilíbrio entre a abordagem dos aspectos físico-naturais e os socioeconômicos (MMA, 2015).

O Projeto ORLA é uma iniciativa do governo federal, supervisionado pelo Grupo de Integração do Gerenciamento Costeiro (GI-GERCO) da Comissão Interministerial para os Recursos do Mar (CIRM).

O objetivo principal do Projeto ORLA é compatibilizar as políticas ambiental e patrimonial do governo federal no trato dos espaços litorâneos sob propriedade ou guarda da União, buscando, inicialmente, dar uma nova abordagem ao uso e gestão dos terrenos e acrescidos de marinha, como forma de consolidar uma orientação cooperativa e harmônica entre as ações e políticas praticadas na orla marítima (MMA, 2002).

Dentro do Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro, o Projeto ORLA, Projeto de Gestão Integrada da Orla Marítima, propõe limites de afastamento da urbanização com a finalidade de determinar um possível limite de segurança à ocupação, além da linha da zona de dinâmica típica desse ambiente como descreve Muehe (2001). Souza (2009) comenta que o Projeto Orla foi originalmente idealizado para lidar com as dificuldades para fiscalizar a ocupação e o uso indevido dos Terrenos de Marinha e seus Acrescidos.

¹² http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L7661.htm Acesso:22/01/2021.

O Projeto Orla constitui um Plano de Intervenção, elaborado com base no reconhecimento das características naturais e nos tipos de uso e ocupação existentes e projetados para a orla, e a sua proposta preconiza que haja 50 m a 200 m de não urbanização a partir do término da praia, sentido continente, ou a partir do reverso das dunas frontais (Muehe, 2001), fica excluída de ocupação toda a faixa arenosa sentido mar de alta dinâmica costeira, conforme Figura 30.

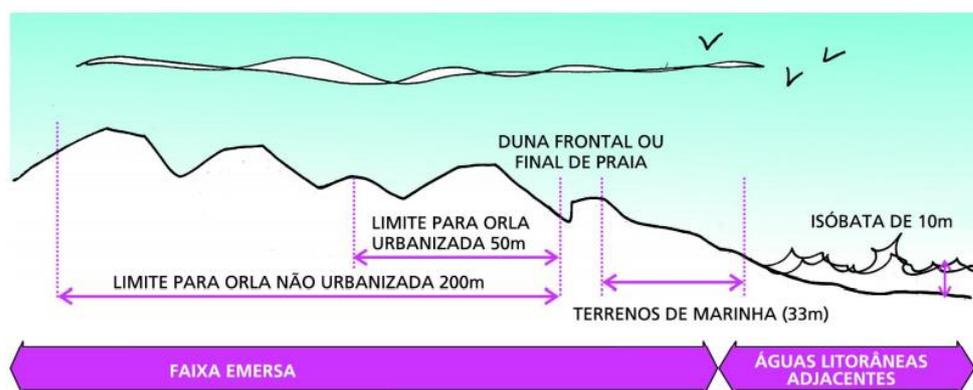


Figura 30 - Desenho esquemático da orla marítima do Brasil, segundo metodologia proposta no Projeto Orla.

Fonte: MMA, 2002¹³.

Nicolodi e Gruber (2020) relatam que em 2004 foi instituído um novo espaço de gestão territorial: a “orla marítima”. A orla foi definida no Artigo 22 do Decreto 5.300/04 como a faixa contida na zona costeira, de largura variável, compreendendo uma porção marítima e outra terrestre, caracterizada pela interface entre a terra e o mar (MMA, 2002).

O Artigo 23 do mesmo Decreto define os critérios para delimitação da orla marítima:

- Limite Marítimo: isóbata de dez metros, profundidade na qual a ação das ondas passa a sofrer influência da variabilidade topográfica do fundo marinho, promovendo o transporte de sedimentos;
- Limite Terrestre: cinquenta metros em áreas urbanizadas ou duzentos metros em áreas não urbanizadas, demarcados na direção do continente a partir da linha de preamar ou do limite final de ecossistemas, tais como as caracterizadas por feições de praias, dunas, áreas de escarpas, falésias, costões rochosos, restingas, manguezais, marismas, lagunas, estuários, canais ou braços de mar, quando existentes, onde estão situados os terrenos de marinha e seus acréscidos e descritos Oliveira e Nicolodi, (2012).

¹³ <https://www.gov.br/mma/pt-br/search?SearchableText=PROJETO+ORLA> Acesso: 22/01/2021.

Em 2018, foi criado o PROCOSTA, Programa Nacional para a Conservação da Linha de Costa, um programa permanente de planejamento e gestão da zona costeira com caráter territorial. Segundo MMA (2020), o PROCOSTA foi instituído pela Portaria Nº 76/2018 e busca solucionar a falta de informações confiáveis em escala nacional e, a partir dessa compilação, auxiliar na compreensão da atual situação na zona costeira, nas previsões de possíveis alterações futuras e nas alternativas de mitigação e adaptação. O PROCOSTA está centrado na análise da linha de costa e possui quatro projetos lógicos e interdependentes: “Alt-Bat – Altimetria e Batimetria”; “Projeção da Linha de Costa e Identificação de Perigos”; “Riscos Costeiros e Estratégias de Adaptação”; e “Monitoramento e Gestão para Conservação da Linha de Costa”.

Polette (2020) discorre sobre a operacionalização da gestão costeira no Brasil que está apoiada em vários instrumentos legais nos âmbitos federais, estaduais e municipais. É importante o conhecimento dos mecanismos legais que podem apoiar projetos que visam a proteção costeira, e quanto a Legislação Brasileira já avançou, como pode ser visto na Tabela 5.

A Tabela 5, adaptada de Polette (2020), descreve os quatro instrumentos de gestão da Zona Costeira nas diferentes esferas e escalas.

Tabela 5 – Instrumentos legais para gestão costeira.

Instrumentos Legais para Gestão Costeira	
Bases Legais	
Art. 225 da Constituição Federal	Estabelece a zona costeira como patrimônio nacional e área de interesse especial
Lei nº 7.661/88	Institui o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro.
Fundamentos para gestão integrada	
Lei nº 8.617, de 04/01/93	Dispõe sobre o mar territorial, a zona contígua e a zona econômica exclusiva e a plataforma continental brasileira.
Resolução CIRM no 05/97	Detalha os aspectos operativos do PNGC II.
Decreto nº 2.972, de 26/02/99	Instituiu o Projeto de Gestão Integrada dos Ambientes Costeiro e Marinho no âmbito do MMA
Decreto nº 2.956, de 03/02/99	Institui o V Plano Setorial para os Recursos do Mar (PSRM) - 1999 - 2003, aborda articulação com o GERCO.
Plano Plurianual PPA 2000-2003	Programa Zoneamento Ecológico Econômico, Projeto de Gestão Integrada dos Ambientes Costeiro e Marinho.
Lei Estadual de Gerenciamento Costeiro	Programa Zoneamento Ecológico Econômico, Projeto de Gestão Integrada dos Ambientes Costeiro e Marinho.
Instrumentos de planejamento	
Plano Estadual de Gerenciamento Costeiro - PEGC	Desdobramento do PNGC, em nível estadual, apoia a implementação da Política Estadual de Gerenciamento Costeiro.
Plano Municipal de Gerenciamento Costeiro - PMGC	Desdobramento do PNGC e do PEGC, apoia a implementação da Política Municipal de Gerenciamento Costeiro, guardando estreita relação com os instrumentos de planejamento territorial municipal (planos diretores).
Plano de Gestão da Zona Costeira - PGZC	Instrumento para a formulação do conjunto de ações e programas, articulados e localizados, elaborados com a participação da sociedade, que visa orientar a execução do Gerenciamento Costeiro em diferentes níveis de governo (Federal, Estadual ou Municipal).
Instrumentos de apoio ao planejamento	
Zoneamento Ecológico-Econômico Costeiro - ZEEC	Instrumento de apoio ao processo de ordenamento territorial. Utiliza técnicas e mecanismos para oferecer subsídios à sustentabilidade ambiental do desenvolvimento da zona costeira.
Sistema de Informações do Gerenciamento Costeiro e Marinho – SIGERCOM	sistema que integra e disponibiliza informações do PNGC com dados retirados de várias fontes: banco de dados, sistemas de informações geográficas e sensoriamento remoto.
Sistema de Monitoramento	Estrutura operacional de coleta de dados e informações, de forma contínua, visando acompanhar os indicadores de qualidade socioambiental
Relatório de Qualidade Ambiental	Elaborado periodicamente pela coordenação Nacional do Gerenciamento Costeiro, a partir de relatórios desenvolvidos pelas coordenações estaduais, permitindo a avaliação da eficiência e eficácia das medidas e ações de gestão desenvolvidas.

Fonte: a autora, adaptado de Polette, 2020.

Tabela 6 – Instrumentos para gestão da zona costeira.

Instrumentos para gestão da zona costeira	Esfera
Macrodiagnóstico para Zona Costeira	Federal
Plano de Ação Federal para Zona Costeira III PAF-ZC 2015-2016).	Federal
Zoneamento Costeiro	Estadual
Projeto Orla	Municipal

Fonte: a autora, adaptado de Polette, 2020.

O PNUD (2004) já descrevia que as populações e ativos das cidades costeiras enfrentam um descompasso no desenvolvimento e nas evidências dos impactos crescentes das mudanças climáticas, e que é improvável que soluções técnicas e de engenharia padrão sejam adequadas.

O alerta é que o futuro já está se manifestando por meio da gradual da exposição aos riscos costeiros, que se estende às pessoas, ao ambiente natural e ao patrimônio público e privado (PBMC, 2016). Os instrumentos legais e de gestão que já foram instituídos são de grande ajuda para que o ambiente urbano, natural e sua população possam se adaptar às mudanças e seus prognósticos.

2.2.5. Intervenções a beira mar

O potencial de risco de erosão, vem aumentando gradualmente, e alguns países já enfrentam seus efeitos há algum tempo, e muitos deles já são consequências das mudanças climáticas.

Segundo o *The World City Report* das Nações Unidas (ONU, 2020), alguns países já enfrentam problemas como engordamento de praias, desaparecimentos de ilhas, alteração significativa da amplitude dos impactos potenciais, tanto pela forma de ocupação de longos trechos do litoral quanto pela configuração morfológica de sua costa.

Cai *et al.* (2009) apontam que a ocupação desordenada do litoral é fator importante na desestabilização da linha de costa, uma vez que é limitante na atuação dos processos naturais costeiros, alterando principalmente no balanço sedimentar das praias. A fim de mitigar os impactos da erosão costeira são realizadas obras de engenharia costeira com caráter de contenção como espigões, gabiões e paredões associadas a alimentação artificial de praias, vegetação e dunas.

De forma geral, o recuo da linha de costa é o impacto mais notório e decorre do balanço sedimentar negativo. Para Bulhões (2020), esse balanço negativo muitas vezes decorre da falta de sedimentos que advém do esgotamento das fontes, seja pela retirada dos materiais para o abastecimento de dunas e em boa parte pelas intervenções antrópicas, como a construção de barragens nas bacias de drenagem que reduzem o volume de materiais transportados pelos rios para o mar, ou mesmo pela urbanização da orla, como pode ser visto nas Figura 31 e Figura 32.



Figura 31 - Erosão na Carolina do Norte EUA
Julho 2018.
Fonte: WNCT News¹⁴.



Figura 32 - Erosão em Miami Beach EUA
Janeiro 2020 – reposição do estoque de areia.
Fonte: Miami Herald¹⁵.

Bulhões (2020) comenta que a invasão da área do ambiente praias atrapalha a dinâmica sedimentar, fazendo com que o sedimento invada os perfis ativos das praias, impedindo sua movimentação natural durante tempestades. A interrupção do fluxo sedimentar ao longo da costa, com impactos previsíveis de erosão, iniciando pela perda de linha de costa (retrogradação), como pode ser notado na Figura 33 em Macaé RJ, onde é evidente o avanço da urbanização sobre o arco praias com a supressão da vegetação que é um elemento fixador de areia.



Figura 33 - Exemplo de erosão costeira contrastando com a parte não urbanizada na cidade de Macaé – RJ.
Fonte: Eduardo Bulhões, 2019.

Face ao crescente fenômeno que é a erosão costeira no litoral e consequente comprometimento da infraestrutura construída, há uma tendência de se utilizar técnicas de estabilização da linha de costa. Bulhões (2020), comenta que são tentativas de mitigar os impactos negativos da erosão costeira, através de obras que atingem somente as consequências da erosão, mas não mitigam as causas (Figura 34 e Figura 35).

¹⁴ <https://www.wnct.com/local-news/where-did-the-beach-go-dramatic-erosion-in-nags-head/>
Acesso: 10/04/2021

¹⁵ <https://www.miamiherald.com/news/local/community/miami-dade/miami-beach/article239077713.html> Acesso: 10/04/2021



Figura 34 - Exemplo de tentativa de contenção da erosão costeira com enrocamento em área urbana em Macaé, RJ.
Fonte: Muehe (2001).



Figura 35 - Erosão costeira em Long Island com tentativa de enrocamento – NY – EUA – 2010.
Fonte: ToolKit Climate Gov USA¹⁶.

E apesar de todo esforço e recurso, a erosão é uma ameaça recorrente, e dependendo do posicionamento da praia e conseqüente exposição aos fatores ambientais mais importantes para a erosão costeira, o gerenciamento costeiro deve ser integrado.

Um exemplo de integração pode ser visto na região de Shandong na China (Figura 36), a erosão costeira atinge várias praias, cada uma de uma forma, mas são diagnosticadas de forma integrada (Ping *et al.*, 2018).

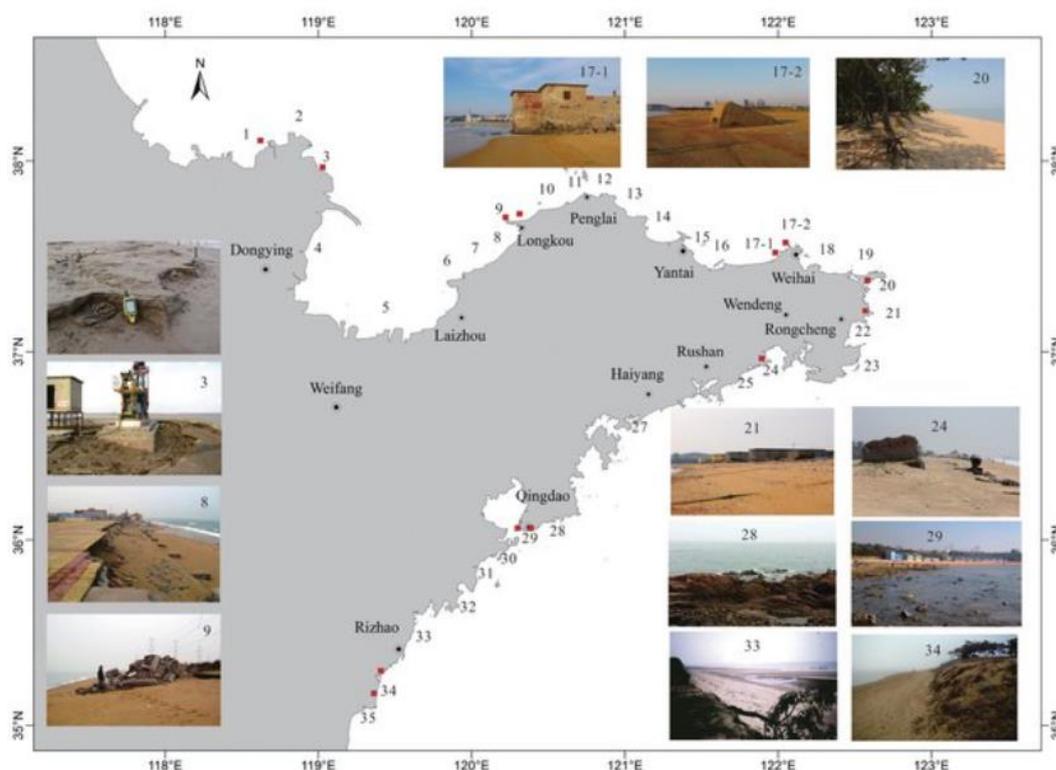


Figura 36 - Diagnóstico de erosão costeira integrada na região Shandong – China – 2018.
Fonte: Ping *et al.* (2018).

¹⁶ <https://toolkit.climate.gov/topics/coastal-flood-risk/coastal-erosion>. Acesso: 10/05/2021

Outros exemplos também citados por Bulhões (2020) podem dimensionar os prejuízos aos cofres públicos, e que no médio para longo prazo, os impactos da erosão costeira passam a atingir também o patrimônio particular. A Figura 37 apresenta um exemplo de erosão costeira e destruição de infraestrutura pública e privada em área urbana, após tempestade na Praia da Macumba, Rio de Janeiro - RJ. Esta estrutura, em 15 anos, colapsou ao menos cinco vezes. A Figura 38 apresenta a invasão do mar na Avenida Bartolomeu Gusmão em Santos (SP) em dias de ressaca, causando prejuízos ao bem público.



Figura 37 – Praia da Macumba – Rio de Janeiro (RJ).

Fonte: Bulhões, 2020



Figura 38 - Av. Bartolomeu Gusmão – Santos (SP).

Fonte: O Globo¹⁷

Bulhões (2020) ainda relata que obras de defesa do litoral são intervenções que tendem a interpor no transporte de sedimentos, com o objetivo de estabilizar a linha de costa e defendê-la contra a erosão. Tais obras podem ser classificadas entre obras naturais e obras artificiais. As “obras naturais”, também chamadas de ‘obras leves’, como aquelas que buscam aproveitar as condições das praias e dunas como defesas naturais, como por exemplo, o caso dos sistemas de transposição artificial de areias e dos projetos de recuperação (ou alimentação) artificial de praias e dunas.

As obras artificiais são chamadas de obras rígidas ou obras cinzas, em áreas com transporte litorâneo com estruturas de defesa perpendiculares à linha de costa, como espigões, guias-corrente e molhes (GI-GERCO, 2018). Podem também ser construídos utilizando blocos rochosos, cimento/concreto, madeira, metal ou tecidos sintéticos resistentes e preenchidos com areias ou outros materiais como os geotêxteis apresentados na Figura 39.

¹⁷ <https://g1.globo.com/sp/santos-regiao/noticia/2016/04.html>. Acesso: 12/04/2021

Nas áreas onde o transporte litorâneo é menor, as obras devem ser realizadas perpendicular à costa (Figura 40), de modo a fixar a posição da linha de costa ou conter o efeito das ondas, como exemplo: paredões (Figura 41) ou muretas (Figura 42).



Figura 39 – intervenção fixa (espigão) construída com geotêxtis (*geobags*) – Buzios – RJ.

Fonte: Eduardo Bulhões, 2015.



Figura 40 – intervenção fixa com espigão na Praia de Iracema – Fortaleza – CE.

Fonte: O Globo¹⁸



Figura 41 - Exemplo de intervenção fixa do tipo paredão (*seawall*) – Staten Island – Nova Iorque – NY – EUA.

Fonte: CNN¹⁹



Figura 42 – Exemplo de intervenção fixa do tipo mureta (*bulkhead*) defletindo as ondas – Miami Beach – FL – EUA.

Fonte: NY Times²⁰

Algumas soluções tradicionais de obras fixas para controle de erosão costeira são descritas em GI-GERCO (2018), onde é ressaltado que diferentes tipos de estruturas podem ser utilizados em conjunto com um projeto de alimentação praial para retardar a erosão e assim reduzir os custos com a periodicidade das novas alimentações praiais, entre elas:

¹⁸ <https://g1.globo.com/ce/ceara/noticia/2020/08/24/.ghtml>. Acesso: 10/04/2021

¹⁹ <https://edition.cnn.com/style/article/staten-island-seawall-climate-crisis-design/> . Acesso: 15/03/2021

²⁰ <https://www.nytimes.com/2016/11/24/science/global-warming-coastal-real-estate.html> . Acesso: 10/04/2021

- Espigões: Estrutura transversal à praia que se estende do pós-praia, com comprimento suficiente para não ser contornado pelo espraiamento, até a primeira linha da arrebentação.
- Quebra-mares: São estruturas, geralmente paralelas à praia, que têm como objetivo reduzir a soma de energia de onda que chega na área costeira protegida, ou seja, dissipar a energia da onda antes que atinja a praia e, assim, reter sedimentos junto à zona de menor energia da onda. São similares a bancos naturais, recifes ou ilhas.
- Enrocamentos: Utilizado para proteger estruturas que estão em dunas muito próximas ao nível do mar, os enrocamentos são basicamente estruturas de substrato rochoso rente a linha de costa, feitos para proteger construções em zonas de erosão, tem como efeito fazer diminuir a praia arenosa, é a construção de um paredão que estreita a praia tornando a praia submersa mais inclinada, substituindo areia (substrato móvel) por rochas (substrato fixo).
- Molhes: Um molhe é uma obra marítima de engenharia hidráulica que consiste numa estrutura costeira alongada que é introduzida nos mares ou oceanos apoiada no leito submarino pelo peso próprio das pedras ou dos blocos de concretos especiais, emergindo da superfície aquática. É uma longa e estreita estrutura que se estende em direção ao mar.
- Gabiões: Esta estrutura rígida rente a praia traz algumas desvantagens, pois a salinização das telas do gabião enfraquece a estrutura, além de risco para os banhistas em fios oxidados, além de favorecer a proliferação de insetos, aves e roedores. Dificulta o acesso da população à praia.
- Estabilização de Dunas: são efetivas barreiras contra a inundação costeira, porém são vulneráveis aos efeitos de erosão induzida pelo vento e/ou pelo ataque das ondas.

Ceccarelli (2009) menciona ainda:

- Revestimento: Estruturas mais flexíveis que oferecem resistência a ondas fracas e moderadas.
- Dique – Estruturas de proteção costeira de áreas baixas contra inundações por ocasião de grandes ressacas.

Um projeto de alimentação praial é considerado uma perturbação ao sistema praial, o que, sob a ação do clima de ondas, irá espalhar o sedimento adicionado ao longo da linha de costa. O transporte longitudinal de sedimentos é descrito como um dos principais processos costeiros de controle da variação da morfologia praial, determinando a propensão à erosão, acreção ou estabilização da linha de costa (USACE, 2002), condicionando assim sua evolução temporal.

Com os exemplos vistos anteriormente, e analisando as opções de gestão da costa para reduzir o risco de erosão, é importante considerar todas as alternativas disponíveis que beneficiam não apenas o litoral no local, mas as praias e propriedades vizinhas, os processos costeiros que afetam a área e o ecossistema local e nos arredores e suas funções, desenvolvendo uma solução integrada.

2.2.5.1. Resiliência urbana – ambiental – área costeira

O IPCC (2021) divulgou em seu último relatório que os cientistas que observam sistematicamente as mudanças no clima da Terra em todas as regiões e em todo o sistema climático, e apontam que definitivamente estamos na era do Antropoceno, e todas as consequências climáticas têm responsabilidade direta e exclusiva das ações humanas. Cientistas também descrevem que a resiliência das comunidades costeiras é a capacidade da sociedade de absorver os impactos e

Kim, *et al.* (2016) já afirmavam que a resiliência ecológica seria discutida também à luz das “políticas de adaptação às mudanças climáticas”, o que quer dizer que um sistema é capaz de se transformar e alcançar um equilíbrio alternativo por meio de um processo dinâmico, que são as alterações climáticas. A resiliência vincula a adaptação à uma oportunidade para uma mudança positiva.

Ernestson *et al.* (2010) descrevem que resiliência ecológica e resiliência urbana são conceitos que estão ligados à resiliência climática urbana e a perspectiva de equilíbrio. O complexo sistema do meio urbano é capaz de sustentar equilíbrios múltiplos do ponto de vista ecológico, e isso significa que é possível um equilíbrio resultante positivo, diante de um choque externo.

Paiva e Schicchi (2020) descrevem que a resiliência urbana é simultaneamente um anseio e um método, que impulsionam a definição de um leque de intervenções e investimentos estratégicos em um sistema urbano que pode ser entendido através das inter-relações entre escalas e riscos, e que encontrar técnicas menos agressivas que possam solucionar problemas atuais e se adaptar a possíveis

impactos futuros, é praticar a resiliência, uma das características da sustentabilidade urbana.

2.2.5.2. Soluções baseadas na Natureza e Tecnologia Verde

O termo, soluções baseadas na natureza, foi criado pela União Internacional para a Conservação da Natureza (UICN) para definir um conceito abrangente que inclui abordagens para a restauração e conservação de ecossistemas, serviços de adaptação climática, infraestrutura natural, gerenciamento de recursos naturais, entre outras.

Lins-De-Barros *et al.* (2020) comentam que existe um crescimento no número de estudos que buscam avaliar a contribuição dos ecossistemas costeiros para a defesa do litoral. O conceito é que os serviços ecossistêmicos naturais dão a sustentação das condições para permanência da vida humana na Terra (Daily, 1997). A destruição de habitats ao longo da costa é maior ao redor das áreas urbanas, onde os impactos da erosão são maiores. O conceito de soluções baseadas na natureza (SbN) tem a perspectiva que tais ecossistemas possam ser restaurados para atender diretamente os objetivos de proteção costeira, trazendo uma série de benefícios bióticos e físicos à costa.

Em resposta a erosões expressivas, o que é notado são instalações de estruturas rígidas, ditas também como fixas ou cinzas, como a praia de Iracema, em Fortaleza/CE, que são construídas para mitigar os impactos negativos da erosão costeira e é conhecido e documentado que essas estruturas artificializam o litoral gerando impactos ecológicos ainda mais intensos. Souza (2009) alerta que algumas obras fixas podem trazer perda de biodiversidade, a incorporação de espécies invasoras, o declínio na qualidade da água, dentre outros impactos e Dafforn *et al.* (2015) acrescenta, que algumas intervenções ainda causam a erosão costeira em áreas adjacentes, o que tem realçado a busca por soluções para mitigar os impactos negativos das estruturas rígidas de defesa do litoral.

Sedon *et al.* (2020) descreve que há uma consciência crescente de que "Soluções baseadas na Natureza" (SbN) podem ajudar a proteger dos impactos das mudanças climáticas e, ao mesmo tempo, desacelerar o aquecimento, apoiar a biodiversidade e proteger os serviços ecossistêmicos, onde a resiliência baseada na biodiversidade e nas paisagens multifuncionais são peças-chaves para manutenção das áreas costeiras e cooperar nos desafios da adaptação humana.

Todas essas ações incentivam o uso da própria natureza para otimizar as adaptações e ajudar no enfrentamento às mudanças climáticas. Entende-se que as soluções podem ser parte de um todo, ou mesmo uma alternativa ou complemento à infraestrutura construída para tal finalidade (Nesshover *et al.*, 2017).

Nesshover *et al.* (2017) descrevem sobre o desafio central para um conceito abrangente como a SbN estabelece seus limites, e quanto ao que é considerado natural. As intervenções costeiras, por exemplo, podem ser de usos específicos e devem levar em consideração processos ecossistêmicos, exigindo decisões sobre quais seriam os níveis aceitáveis de intervenção humana, e conseqüentemente, para expansão urbana.

Bulhões, (2020, apud Temmereman *et al.*, 2013) comenta que com eco-engenharia, além de prover o incremento de biodiversidade, é também esperada uma redução de custos de manutenção dos sistemas de proteção costeira.

A Figura 43 demonstra como a agência americana NOAA (Agência Nacional para Administração Oceânica e Atmosférica) / NCCOS (Centro Nacional para Ciência Costeira e Oceânica) tem disseminado a tendência de obras cada vez mais verdes, além de indicar como as técnicas de engenharia em proteção costeira podem ser classificadas, e seus valores extremos que são cinza e verde. Como cinza, são obras tradicionais como a mureta, e verde seria o outro extremo com a solução de somente vegetação.

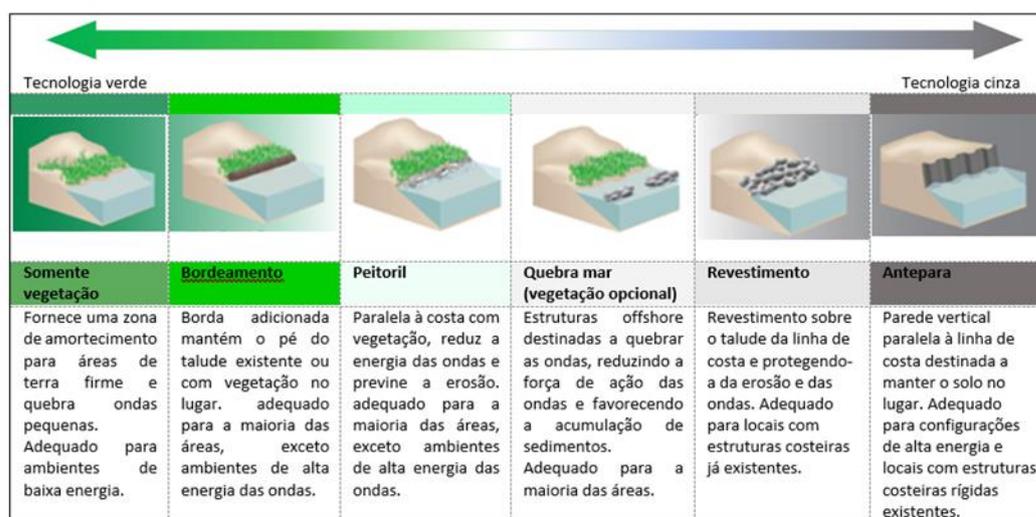


Figura 43 – Classificação e escalonamento entre técnicas cinzas a verdes de proteção costeira.

Fonte NOAA.²¹ – adaptado pela autora.

²¹ <https://coastalscience.noaa.gov/category/coastal-change/natural-and-nature-based-features/>. Acesso: 13/04/2021

Davis, *et al.* (2015) descrevem que o termo "costas vivas" é amplamente reconhecido por abranger uma gama de diferentes aplicações de estabilização da linha costeira (ao longo das costas de estuários, baías e tributários) tipicamente compostos por vegetação e podem incluir algum tipo de estrutura costeira mais “dura” (como ostras ou recifes de ostras) para maior estabilidade. Litorais vivos reduzem a erosão de forma que os habitats naturais conseguem se adaptar a uma condição não muito favorável, mitigando os impactos e aumentando a resiliência urbana-ambiental.

Embora as técnicas e projetos sejam regionalmente específicos, todos eles têm elementos que mantêm a contínua relação entre a terra e a água para apoiar os serviços ecossistêmicos e os valores dos habitats. Tais conceitos apesar de científicos, atualmente integram relatórios de entidades financeiras, como o Banco Mundial (2019) que lançou um programa de incentivo a projetos de Soluções Baseados na Natureza (SbN) para gestão de crises, e tem usado sua base de conhecimento para apoiar a adoção do SbN para gerenciar desastres e recursos hídricos. Desde 2012, o Banco Mundial tem apoiado projetos, como por exemplo, sobre Prática de Enchentes Urbanas (UFCOP) e a parceria com WAVES²² sobre a valoração e avaliação da natureza com base em soluções para proteção costeira.

A Comissão Ambiental da União Européia (EC, 2015) tem lançado constantes chamadas para financiamento para projetos em EcoInovação, demonstrando a importância do tema e realçando que a tecnologia baseada em inovação ambiental, a chamada tecnologia verde, a qual pode ajudar a criar oportunidades de negócios, empregos e crescimento na Europa. O Plano de Ação de EcoInovação da UE (EcoAP) definiu como um compromisso da iniciativa da União da Inovação para Europa 2020, se concentrar nos desafios e oportunidades específicos para atingir os objetivos ambientais por meio da inovação. O plano inclui ações direcionadas a investigação, indústria e aos instrumentos de política e financeiros. As medidas são realizadas pela Comissão Europeia, autoridades nacionais e regionais, indústrias e organizações de investigação.

²² <https://www.worldbank.org/en/topic/disasterriskmanagement/brief/nature-based-solutions-cost-effective-approach-for-disaster-risk-and-water-resource-management> . Acesso: 20/04/2021

A EcoAP inovação da União Européia²³ informa que este setor tem atualmente um volume de negócios anual estimado em € 227 bilhões ou cerca de 2,2% do produto interno bruto da UE - superando o desempenho da indústria aeroespacial ou farmacêutica europeia. Emprega diretamente 3,4 milhões de pessoas. Quase metade das empresas europeias ativas nos setores de manufatura, agricultura, água e alimentos inovaram recentemente e se beneficiaram com a tecnologia verde.

Pontee *et al.*, (2016) descrevem que as soluções baseadas na natureza podem ser aplicadas total ou parcialmente, o que quer dizer que a introdução de recursos naturais para oferecer ou melhorar a proteção costeira pode ser integralmente verde ou híbrida. Isso inclui:

- Soluções totalmente naturais (por exemplo, recifes de coral naturais, pântanos e manguezais).
- Soluções naturais gerenciadas (por exemplo, recifes de corais, ostras artificiais, renovados praias e dunas, reintrodução de restingas e manguezais).
- Soluções híbridas que combinam engenharia estrutural com recursos naturais (por exemplo, sistemas pântano-dique ou sistemas duna-dique).
- Engenharia estrutural "favorável ao meio ambiente" (por exemplo, engenharia com vegetação ou cercas de sedimentos de bambu).

Para Morris *et al.*, (2019) as soluções baseadas na natureza (SbN), primariamente, deveriam buscar soluções 100% naturais, porém, devido à destruição do habitat induzida pelo homem, esses ecossistemas sofreram uma perda de até 85% em todo o mundo. Assim, as soluções baseadas na natureza muitas vezes exigirão a restauração ou criação de novos habitats (Spalding *et al.* 2014).

A constatação de que as SbN e as tecnologias verdes estão criando, cada vez mais, seu espaço e já tem alguns exemplares de sucesso, como ideias inovadoras tanto para projetos urbanos quanto objetos e soluções que vêm de encontro o anseio de adaptar-se a um futuro repleto de desafios ambientais. Para a proteção de áreas costeiras, Morris *et al.*, (2019) cita o exemplo de Norfolk no Reino Unido que criou

²³ https://ec.europa.eu/environment/green-growth/eco-innovation/index_en.htm. Acesso: 10/04/2021

uma duna artificial com uma mureta de madeira (Figura 44), e também comenta sobre soluções 100% naturais com os recifes artificiais feitos de casca de ostras como ilustrado na Figura 45.



Figura 44 – Duna artificial. Norfolk – Reino Unido.

Fonte: The Guardian.²⁴



Figura 45 – Recife artificial com ostras – Golfo do México – EUA.

Fonte: Eurekalert²⁵



Figura 46 - Projeto vencedor calçada em Terrigal Beach - Austrália.

Fonte: Yourvoice Journal²⁶



Figura 47 - Projeto vencedor do Imagine Boston 2030 EUA.

Fonte: NGO DIRT²⁷

²⁴ <https://www.theguardian.com/environment/2019/sep/20/norfolk-slows-down-coastal-erosion-with-sandscaping-scheme>. Acesso: 10/04/2021

²⁵ <https://www.eurekalert.org/multimedia/623321> Acesso: 10/04/2021

²⁶ <https://www.yourvoiceourcoast.com/all-projects/terrigan-boardwalk-project-and-rockpool-restoration> Acesso: 10/04/2021

²⁷ <https://dirt.asla.org/2018/01/17/to-become-more-resilient-boston-leverages-its-landscape/> Acesso: 10/04/2021



Figura 48 - Proposta para área costeira de Boston para os próximos 50 anos.
Fonte: NGO DIRT²⁸



Figura 49 - Projeto híbrido SbN para Howard Beach – NY – EUA.
Fonte: Urban Coastal Resilience (2015)

Na Figura 46, é apresentado um desenho do projeto vencedor para um calçadão em Terrigal Beach na Austrália, que optou por uma solução híbrida de estrutura de ferro e madeira contornando os costões rochosos da praia. Outro projeto vencedor do concurso Imagine Boston 2030 é a resignificação da área portuária de Boston – EUA (Figura 47), introduzindo ilhas flutuantes feitas com materiais naturais (palha, madeira, cordas) e caminhos de madeira que conectam essas ilhas ao longo de toda área portuária de Boston. Também para Boston uma proposta de para os próximos 50 anos, mostra um projeto de reestruturação para a área costeira de calçadão em vários níveis, já prevendo um possível aumento do nível do mar (Figura 48). E na Figura 49, um exemplo de solução híbrida para Howard Beach em Nova Iorque – EUA. O projeto vencedor propõe comportas e espigões, mas também está no escopo da proposta criação de canais pelo bairro, banco de ostras, plantação de árvores que possam filtrar água, jardins de chuva, barreiras naturais e artificiais.

Shan *et al.*, (2021) ressaltam que o objetivo das tecnologias verdes é proteger o meio ambiente através da reparação de impactos causados no passado. Utilizando a inovação, a tecnologia verde inovadora (TVI), além de conservar os recursos naturais, atua um papel fundamental para a que o desenvolvimento sustentável se atinja com o mínimo de consequências ambientais.

A seguir alguns exemplos de tecnologia verde inovadora para proteção costeira e da biodiversidade:

²⁸ <https://dirt.asla.org/2018/01/17/to-become-more-resilient-boston-leverages-its-landscape/>.
Acesso: 13/04/2021

- Bloco articulado: Uma matriz de blocos de concreto individuais colocados juntos para formar uma camada resistente à erosão com características específicas de desempenho hidráulico. O sistema inclui uma camada de filtro subjacente que permite que a infiltração ocorra, enquanto fornece a retenção de partículas do subleito do solo na Figura 50.



Figura 50 - Bloco articulado na Flórida – EUA.
Fonte: International Coast Inc.²⁹

- Esteira redutora: Instalada em praias em um ângulo compatível ao aumento com o nível do mar com a maré, capaz de reduzir a energia das ondas em 30-50%. O sedimento se acumula gradualmente a cada onda que passa pela esteira. Com o tempo, a profundidade da areia aumentará tanto na frente quanto atrás da esteira reduzindo a inclinação na encosta e empurrando a costa em direção ao mar (Figura 51).



Figura 51 – Esteira redutora de ondas – Shungchun Beach – Taiwan.
Fonte: Reshore Tech³⁰

- Blocos de concreto bio-reforçado: Blocos com baixo teor de carbono e feitos sob medida para orlas urbanas, esculpidos em forma côncava que imita uma costa rochosa e juntos imitam uma poça de maré. Esta

²⁹ <http://www.ic-rp.com/Uses/tabid/64/Default.aspx>. Acesso: 12/06/2021

³⁰ <https://reshore.tech/our-technology/>. Acesso: 12/06/2021

característica ajuda na retenção de água e promove o crescimento de algas, caranguejos e peixes (Figura 52).



Figura 52 – Blocos de concreto bioreforçado – Ponte de Brooklyn – Nova Iorque – EUA.
Fonte: Econcretetech³¹

- Bloco de concreto articulado submerso: Blocos projetados para estabilizar a construção em linhas costeiras. Auxiliam a controlar a erosão, além de propiciar um ambiente para formação e fixação de vida marinha (Figura 53).



Figura 53 – Bloco de concreto submerso – Polinom Port, Haifa – Israel.
Fonte: Econcretetech³²

- Paredões vivos: Manufaturados com placas de plástico reciclado hexagonal que reproduzem o desenho das raízes dos manguezais habitat ideal para a vida marinha do litoral. As placas, confeccionadas com uma mistura de cimento e plástico a partir de um molde feito em 3D, têm uma estrutura biométrica complexa, próprias para filtragem de

³¹ https://econcretetech.com/wp-content/uploads/2018/05/EConcrete_Case_Study_BBP_Tech_Jan_2018.pdf Acesso: 10/04/2021

³² https://econcretetech.com/wp-content/uploads/2018/05/EConcrete_Case_Study_Armoring_Tech_Jan_2018.pdf Acesso: 10/04/2021

microplásticos e são escoradas por pequenos orifícios de tamanho ideal para a instalação de ostras e outros moluscos (Figura 54).

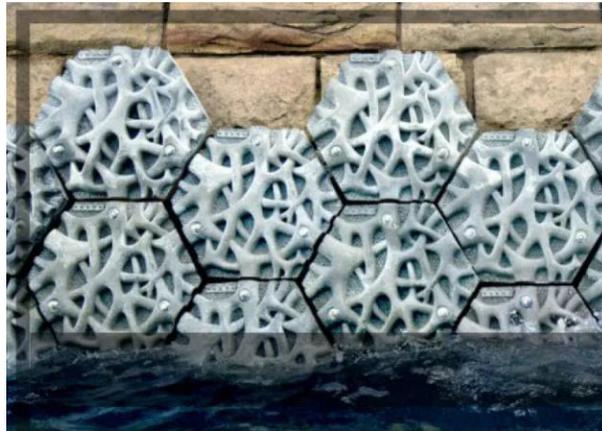


Figura 54 – Placas que filtram microplástico do mar – Zona portuária de Sidney - Austrália.
Fonte: Felfil³³

- Túnel costeiro multipropósito: Paredão fixo que visa proteger a orla contra a energia das ondas, projetado também para proteger e melhorar o ecossistema costeiro, como restaurar migração de espécies que vivem na região entre marés, através de um túnel aquático com luminosidade para fixação de flora aquática. Um exemplo de resiliência urbano costeira atendendo à vários propósitos ambientais e sociais. (Figura 55 e Figura 56).

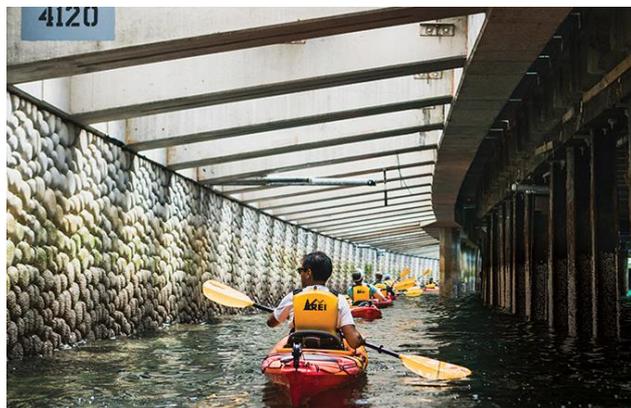


Figura 55 – Túnel costeiro multipropósito na Baía de Elliot Seattle - WA – EUA.
Fonte: Parsons³⁴

³³ <https://felfil.com/the-living-seawall-sidney-for-the-oceans> Acesso: 10/04/2021

³⁴ <https://www.parsons.com/project/elliott-bay-seawall-project/> Acesso: 10/04/2021



Figura 56 – Túnel costeiro multipropósito e calçada na Baía de Elliott Seattle - WA EUA.
Fonte: Seattlemag³⁵.

Os habitats naturais têm o potencial de se adaptar a mudanças, como por exemplo, em resposta ao aumento do nível do mar (Rodriguez *et al.*, 2014) ou subsidência local (Casas, La Peyre e La Peyre 2015), desde que existam recursos e espaço para a acumulação de habitat (Mitchell e Bilkovic, 2019). Além disso, a defesa costeira baseada na natureza pode mostrar maior resiliência a tempestades do que estruturas 100% artificiais, e tem a capacidade de autorreparação após o evento (Gittman *et al.*, 2014). Embora seja reconhecido que as soluções baseadas na natureza não são isentas de manutenção (Mitchell e Bilkovic, 2019), os custos de manutenção são provavelmente muito mais baixos do que as estruturas artificiais que precisam ser reconstruídas quando danificadas.

Diante de tantas opções naturais e combinadas com tecnologias fixas, Morris *et al.* (2019) ajudaram a desenvolver um conceito NBCD (Defesa da Costa Baseada na Natureza) e um conjunto de perguntas que um manual com diretrizes para ajudar na escolha da melhor técnica para proteção da costa (Tabela 7).

³⁵ <https://www.seattlemag.com/news-and-features/new-seawall-anchors-seattles-waterfront>
Acesso: 17/09/2021

Tabela 7 - Questões chave para escolha da melhor técnica de defesa da costa utilizando soluções baseadas na natureza (NBCD).

Questões	Considerações
Quando o NBCD é uma alternativa viável às estruturas tradicionais?	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Valor da infraestrutura que precisa de proteção. ▪ Taxa de erosão. ▪ Adequação ambiental para habitats.
Quais são os riscos associados ao NBCD?	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Resiliência de um ecossistema à perturbação.
Quais são os custos do ciclo de vida?	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Recuperação de um ecossistema após perturbação. ▪ Manutenção de habitat .
Quais são os prazos necessários e o retorno de um investimento inicial?	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Tempo para colonização e crescimento de habitats naturais. ▪ Visão de futuro versus investimento reativo.
Qual é a gama de abordagens que podem ser usadas em diferentes ambientes?	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Taxa de erosão e exposição a ondas. ▪ Abordagens flexíveis versus híbridas. ▪ Tipo de espécie com base na adequação do habitat.
Quais são as contribuições ou compensações para outros serviços ecossistêmicos?	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Co-benefícios do NBCD para outros serviços. ▪ Trade-offs de serviços ecossistêmicos.

Fonte: Morris *et al* (2019). Adaptado pela autora.

Os exemplos de dois projetos a seguir são provas que o urbanismo, arquitetura e engenharia podem compor equipes multidisciplinares para projetos mais eficientes e alinhados com as perspectivas futuras de mudanças climáticas, praticando a resiliência urbana – ambiental.

Projeto Blue Dunes

Após a tempestade tropical Sandy, em 2012, ter devastado várias localidades na costa do Estado Norte Americano de Nova Iorque, causando mortes e prejuízos de bilhões de dólares, um desafio foi lançado para recomposição de 400 milhas de costa que levasse em conta as projeções futuras de mudanças climáticas³⁶.

O Blue Dunes é o projeto conceitual para uma série de ilhas de barreira em resposta aos desafios da resiliência costeira regional no nordeste dos Estados Unidos. O escritório WXY architecture + urban design, West 8 Urban Design & Landscape Architecture, AIR Worldwide, ARCADIS, BJH Advisors, Center for Urban Real Estate, NowHere Office, Parsons New School for Design, Rutgers University, Griffith Urban Planning & Design, Stevens Institute of Technology, e Varisk Analytics formando uma equipe de arquitetos paisagistas, cientistas do clima e economistas, desenvolveu modelos hidrodinâmicos e econômicos para mostrar que as dunas *offshore* têm grande potencial para diminuir os riscos de perda de vidas

³⁶ <https://www.greenbiz.com/article/new-yorks-challenge-design-truly-blue-dune> – Acesso: 21/6/2022

e propriedades e, assim, mitigar os danos de futuras tempestades em tempos de mudanças climáticas em Nova York e Nova Jersey. A Figura 57 mostra o resultado do projeto, à esquerda desenhos esquemáticos da solução da ilha no oceano (*offshore*) atenuando a energia das ondas, e à direita duas figuras ilustrando o potencial de risco de inundação causados pela ressaca (situação real) e uma outra figura com o potencial de risco de inundação bem mais atenuado por conta da instalação da ilha *offshore*.

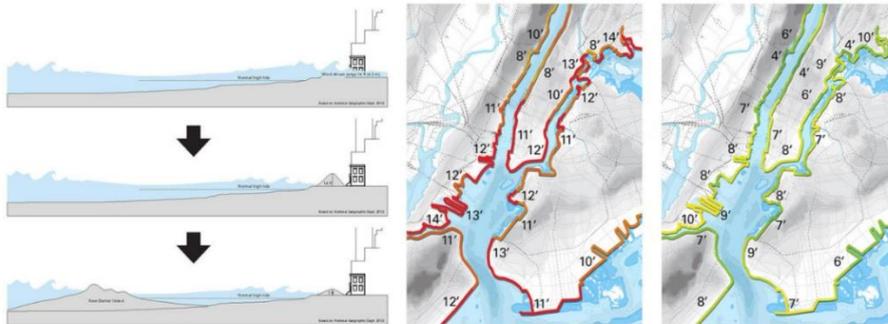


Figura 57 – Projeto conceitual Blue Dunes para Nova Iorque/ Nova Jersey – EUA.
Fonte: WXY Studio³⁷.

O projeto Blue Dunes foi criado a partir da necessidade urgente em aliar as demandas que o desenho urbano impõe, frente o crescimento populacional nas zonas costeiras, aos estudos científicos. Tais estudos podem ser classificados como secundários ou primários. Dados secundários exigem intensa pesquisa e primários são aqueles medidos. A Figura 58 apresenta como essa ilha seria instalada, um exemplo de como o estudo dos parâmetros influenciam em projetos urbanos, tendência cada vez mais evidente.

³⁷ https://www.wxystudio.com/projects/urban_design/blue_dunes Acesso 01/10/2021

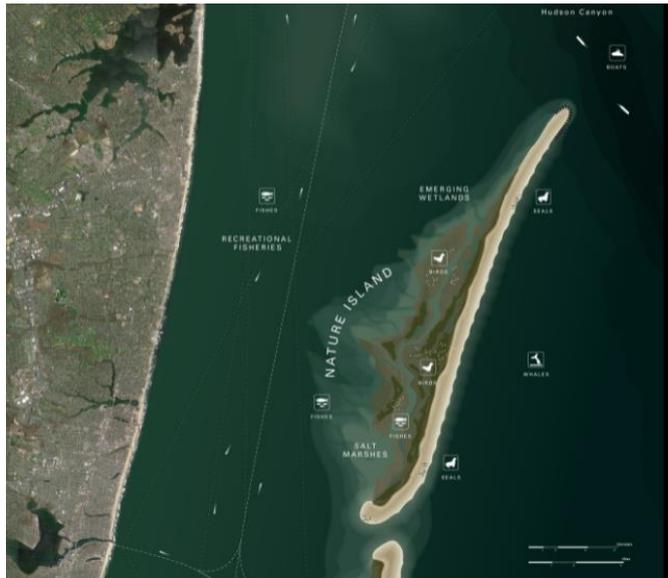


Figura 58 - Projeto conceitual Blue Dunes para Nova Iorque/ Nova Jersey – EUA.
Fonte: WXY Studio²⁹.

O projeto Blue Dunes contou com uma equipe multidisciplinar para pensarem projetos resilientes na zona costeira, envolvendo a aplicação de várias ferramentas tecnológicas, como modelo de inundação e a equipe de técnicos multidisciplinar consegue propor soluções resilientes para praias arenosas urbanas. Para tanto, o projeto instalou equipamentos de medição de dados, como ondas, perfil de praia, corrente e granulometria afim de propor soluções de longo prazo, através da predição de cenários.

Segundo a equipe da WXY, a participação de cientistas ambientais é, cada vez mais, necessária para que projetos urbanos sejam mais a longo-termo.³⁸

Projeto East River Blue Way

O Projeto East River Blue Way³⁹ também do escritório WXY Architecture Studio e propõe soluções e estratégias de projeto, utilizando soluções híbridas (verdes e cinzas), para evitar inundações, devido ao aumento do nível do mar, ressaca e tempestades. Na Figura 59 foi proposto que nas margens do estuário do Rio Hudson, Nova Iorque, fossem plantadas mudas de pântano (*salt marshes*), além de ambientes semelhantes às poças de marés, aumentando a área de úmida com capacidade maior de absorção, além de criar ambientes propícios para o desenvolvimento de biodiversidade.

³⁸ https://www.wxystudio.com/projects/urban_design/blue_dunes Acesso: 11/04/2021

³⁹ https://www.wxystudio.com/projects/urban_design/east_river_blueway_plan Acesso: 10/04/2021



Figura 59 - Projeto Blue Way – Nova Iorque – EUA.
Fonte: WXY Studio.

A plantação de mudas de pântano também pode ser prevenção contra a alta energia das ondas, mas também prevenção contra enchentes, com os jardins de chuva vistas na Figura 60.

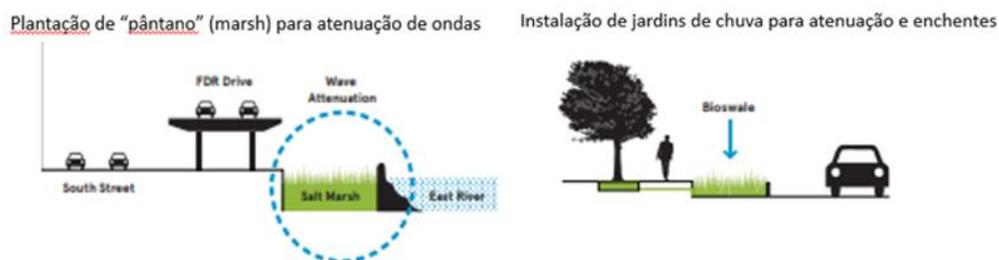


Figura 60 - Projeto Blue Way – Nova Iorque – EUA.
Fonte: WXY Studio.

Na Figura 61, um exemplo de solução híbrida, a presença de técnicas cinzas como enrocamento e mureta, complementada com o plantio de pântano. Entre as duas áreas de pântano, um lago se forma, ambiente propício para ocorrência de peixes, formando uma área para pesca.

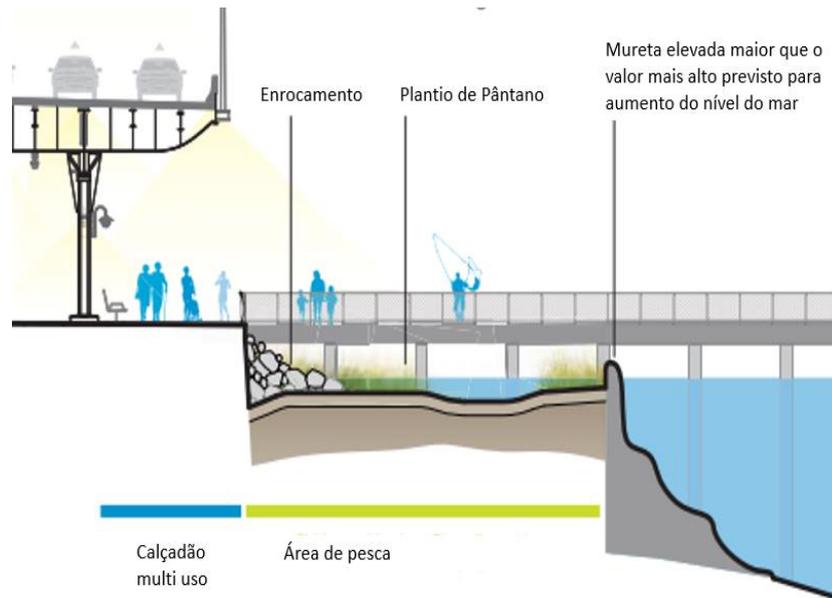


Figura 61 – Projeto Blue Way – Nova Iorque – EUA.
Fonte: WXY Studio30.

Madeiras certificadas

A madeira é o material de construção mais antigo e mais usado, até os dias de atuais, nos Estados Unidos devido à sua eficiência, durabilidade e utilidade (Falk, 2009). Um dos maiores atributos da madeira é que ela é um recurso renovável, tem baixo impacto de carbono e baixa energia incorporada. O carbono na madeira permanece armazenado até que a madeira se deteriore ou seja queimada. Por outro lado, o descarte da madeira em aterros sanitários, ou similar, faz com que esse material se decomponha lentamente, liberando metano e dióxido de carbono por anos, ou são queimados a céu aberto (Araújo *et al.*, 2018; Timilsina *et al.*, 2014).

Segundo a ONG Urban Wood Network⁴⁰, dezenas de milhares de árvores são removidas dos meios urbanos cada ano devido a construções, danos causados pelo clima, insetos ou doenças. No passado, a madeira dessas árvores era uma dúvida sobre o descarte correto, e a dúvida se aquela matéria prima poderia ser ainda aproveitada. Atualmente existe um movimento para fazer uso de toda a árvore como parte de um compromisso com a silvicultura urbana sustentável, aplicando técnicas para o correto manejo arbóreo (Klingenberg, 2022).

⁴⁰ <https://urbanwoodnetwork.org/> - Acesso: 23/11/2021

Como apontado pela empresa Think Wood⁴¹, o manejo florestal ativo, ou desbaste florestal, mitiga incêndios florestais, reduz as emissões de carbono, repõe os cursos de água da área, expande o habitat biogênico em ambientes urbanos e cria empregos nas áreas rurais. Na Figura 62 um exemplo de píer construído com madeira certificada na cidade de Oslo – Noruega e na Figura 63 piso e mobiliário urbano em madeira certificada.



Figura 62 - Exemplo de píer em madeira certificada.

Fonte: <https://us.kebony.com/projects/sorenga-harbor-pool/> Acesso: 02/10/21.



Figura 63 - Exemplo de piso e mobiliário urbano em madeira certificada.

<https://ecochoice.co.uk/manchester-deck-panels>.

Algumas árvores ou partes de árvores são melhor convertidas em lascas de madeira ou lenha. Outros têm troncos que podem ser resgatados e transformados em madeira. A madeira serrada urbana é um recurso abundante, local e renovável com características de design exclusivas. Ambientes urbanos oferecem oportunidades para recuperar essa madeira para uma variedade de usos, incluindo armários, móveis, pisos e acabamentos internos e mobiliários urbanos como o da Figura 64, que apresenta um banco modular que pode ser montado e desmontado quantas vezes necessárias e possui uma área verde onde cria uma zona de relaxamento e proteção, feito resíduo de madeira urbana para cidade de Portland - Oregon – USA.

⁴¹ <https://www.thinkwood.com/sustainability> Acesso: 23/11/2021



Figura 64 - Mobiliário articulado em madeira urbana – Portland – Oregon – EUA.

Fonte: <https://www.portlandoregon.gov/transportation/article/470472>

A empresa Britânica Eco Choice⁴² tem aplicado as técnicas de reaproveitamento de madeiras para combater a erosão costeira, utilizando técnicas de engenharia rígidas com madeira reciclável (Figura 65 e Figura 66).



Figura 65 – Exemplo de instalação de espigão com madeira certificada em Bournemouth – Reino Unido.

Fonte:

<https://ecochoice.co.uk/news/blog/item/using-wood-for-sea-defence> em 02/10/21



Figura 66 – O espigão instalado em Bournemouth – Reino Unido.

Fonte:

<https://ecochoice.co.uk/news/blog/item/using-wood-for-sea-defence> em 02/10/21

O subcapítulo sobre soluções baseadas na natureza e tecnologia verde tratou de mostrar alguns aspectos, mostrando que, desde obras de engenharia, passando por mobiliários urbanos e chegando a pequenas membranas filtrantes, é possível ter projetos que levam em consideração a sustentabilidade em várias escalas.

⁴² <https://ecochoice.co.uk/news/blog/item/using-wood-for-sea-defence> Acesso: 23/11/2021

3. Metodologia aplicada ao Estudo de Caso

A proposta do estudo de caso nessa dissertação, busca entender as causas do impacto erosivo em uma praia urbana, arenosa, levando em consideração os parâmetros ambientais. O objetivo dessa dissertação é melhorar o entendimento da influência dos parâmetros ambientais nos impactos erosivos em praias arenosas e urbanas, além de elencá-los, visando a proteção costeira e projeções futuras de eventos extremos advindos das mudanças climáticas.

Sendo assim, a metodologia se baseará em coleta de dados secundários para caracterização da área, utilização de fotos e imagens de satélites para determinação dos pontos de destruição do calçadão e proposta de uma intervenção visando questões ambientais futuras, conforme fluxograma a seguir:

COLETADA DE DADOS SECUNDÁRIOS	CARACTERIZAÇÃO AMBIENTAL	SELEÇÃO DOS TRECHOS MAIS SUCETÍVEIS A DESTRUIÇÃO	PROPOSTA DE SOLUÇÕES
<p>Pesquisa e seleção de trabalhos acadêmicos onde foram coletados dados primários na região da Praia de Piratininga.</p> <p>Seleção das datas quando houve destruição do calçadão</p>	<p>Caracterização Ambiental com dados que influenciam na erosão costeira.</p> <p>Compreensão dos possíveis motivos da destruição constante do calçadão de Piratininga.</p>	<p>Cruzamento dos dados com fotos , imagens de satélite, e outros dados acessórios.</p> <p>Seleção dos trechos onde houve destruição do calçadão.</p>	<p>Proposta de soluções para os trechos suscetíveis a erosão costeira.</p> <p>Seleção de soluções visando possíveis danos futuros em razão das mudanças climáticas.</p>

Figura 67 - Metodologia para confecção do estudo de caso.

Fonte: a autora.

3.1. Objeto de estudo

Niterói é um município integrante do Estado do Rio de Janeiro e pertence à Região Metropolitana da cidade do Rio de Janeiro e dista da capital do Estado em cerca de 13 quilômetros, sendo limítrofe com os municípios de São Gonçalo e Maricá. Niterói é banhada por praias da Baía de Guanabara e da região oceânica (Figura 68).

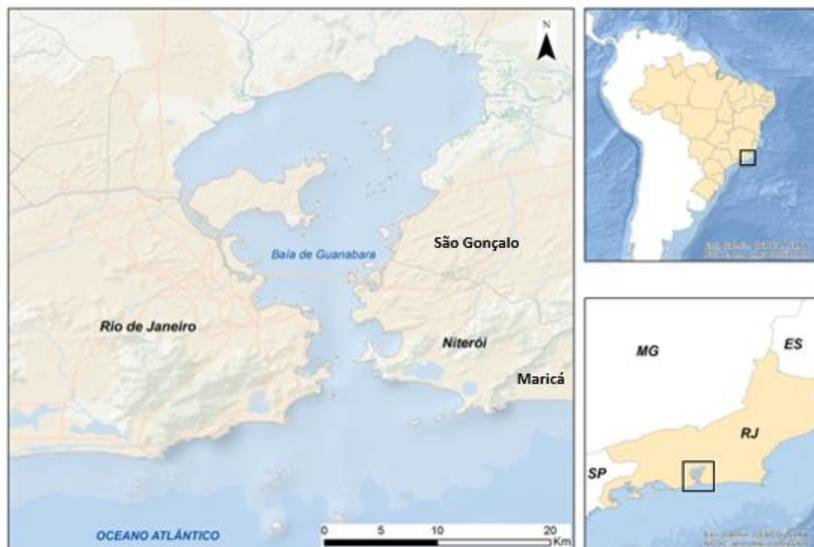


Figura 68 - Localização de Niterói – RJ.

Fonte: a autora.

A área municipal de Niterói possui cinco regiões administrativas e são formadas pela aglutinação de bairros e procuram respeitar os limites de bacias hidrográficas, conforme diretrizes do Plano Diretor Municipal (PMN, 1992). Uma dessas regiões, é a região oceânica (Figura 69 e Figura 70).

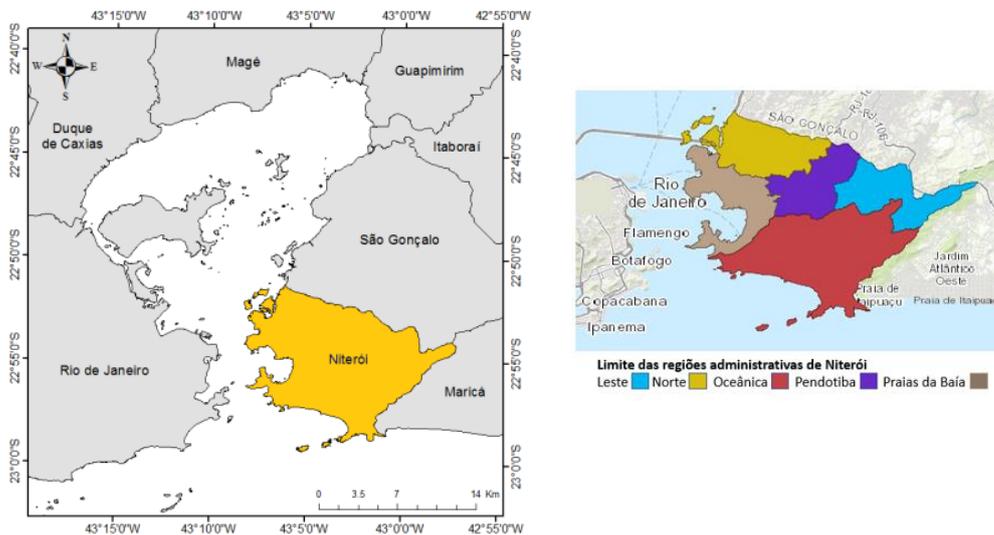


Figura 69 – Limites e regiões administrativas de Niterói – RJ.

Fonte: <https://www.siggeo.niteroi.rj.gov.br>



Figura 70 - As regiões administrativas de Niterói – Detalhe Região Oceânica – RJ.
Fonte: Fontenelle e Correa, (2013).

A região oceânica do município de Niterói, tem passado por um processo de intensa urbanização nas últimas três décadas, iniciando com a inauguração da Ponte Rio-Niterói em 1974 e, conseqüentemente, a entrada de agentes do mercado imobiliário (Mizubuti, 1986; Wehrs, 1984). A partir de 1974, passando pelos anos de 1980, a região oceânica tem sido apontada como o vetor de expansão de Niterói, investimentos públicos foram redirecionados objetivando a adequação e ampliação da infraestrutura básica como subsídio ao mercado imobiliário em Niterói, tanto em áreas mais consolidadas – região Norte e região praias da baía – como nas áreas preferenciais de expansão urbana, em especial a oceânica (PMN, 2021).

No entanto, somente na década de 1990 é que a migração para a Região Oceânica tomou força, muito pela instalação de infraestrutura de ligação entre os bairros antigos com essa região de expansão. Novos marcos de intervenção no ambiente são criados, como o aterro de porções da margem das lagoas e a abertura de um canal permanente com o mar na Lagoa de Itaipu. Estas intervenções foram associadas principalmente a loteamentos, como o Plano Estrutural de Itaipu, da Veplan Residência, que em 1976 substituiu parte do antigo loteamento Cidade Balneária de Itaipu, de 1945 (PMN 2021; Fontenelle e Correa, 2013).

Nos anos 2000 a Região Oceânica começou a ser dotada de serviços urbanos. Na segunda metade dos anos 2010 a obra do túnel de ligação Charitas – Cafubá, Região Oceânica, a inauguração do corredor transoceânico BHLS (Bus

with High Level Service) e a estação de catamarãs em Charitas para o Rio de Janeiro, em frente ao túnel, conferindo outra dimensão populacional para a Região Oceânica (Figura 71), e, portanto, Piratininga ainda pode ser considerada, uma área em expansão da cidade de Niterói. Trata-se de uma praia arenosa, que tem 2,5 Km de extensão, e apesar de receber muitos visitantes durante os finais semanas, ainda é pouco adensada durante a semana.



Figura 71 - Localização da Praia de Piratininga – Niterói – RJ.
Fonte: GoogleEarth.

O bairro de Piratininga localiza-se no entorno da laguna de mesmo nome, limítrofe aos bairros de Cambinhas, Itaipu, Cafubá, Charitas e Jurujuba (Figura 71). Possui uma população residente predominantemente de classe média e, ao redor da laguna, há uma ocupação de pescadores, constituindo uma população de baixa renda (Silva *et al.*, 2021). O bairro possui uma pequena concentração de estabelecimentos comerciais e restaurantes, a beleza natural de sua praia atrai muitos turistas no verão, representando um dos atrativos do município.

Piratininga está inserida em duas Unidades de Conservação de Niterói, a Reserva Extrativista (RESEX) Marinha de Itaipu criada pelo Decreto Estadual 44.417/2013, e trata-se de uma área protegida quase exclusivamente marinha, incluindo as praias de Piratininga, Cambinhas, Sossego e Itaipu, as ilhas do Pai, da Mãe e da menina, e a Lagoa de Itaipu; e o Parque Municipal de Niterói (PARNIT). O PARNIT foi instituído a partir da publicação do Decreto Municipal nº 11.744/2014 com o objetivo de delimitar um mosaico de áreas de interesse ambiental destinado ao manejo integrado de ações. Em Piratininga, o PARNIT

inclui os promontórios rochosos nos extremos da praia e o entorno da Lagoa de Piratininga (Figura 72).

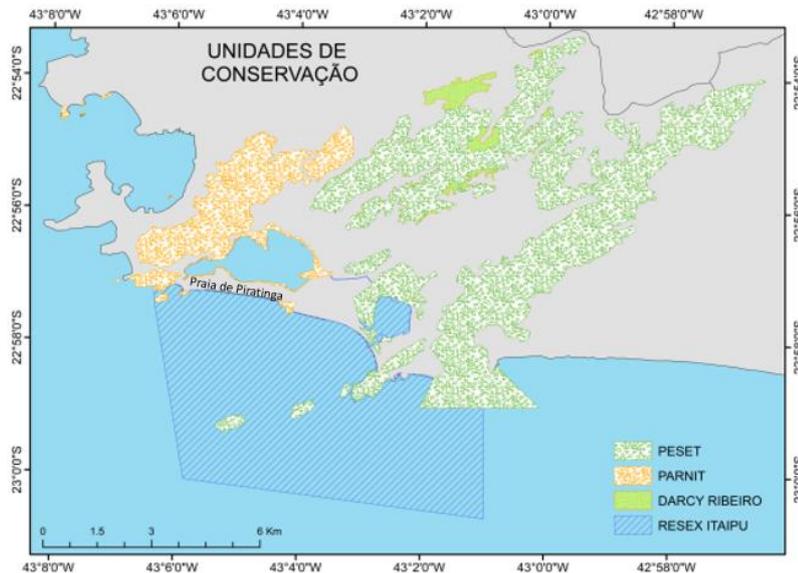


Figura 72 - Unidades de Conservação de Niterói.

Fonte: www.prosustentavel.niteroi.rj.gov.br/pdf/

As transformações urbanas no bairro de Piratininga são recentes e o Projeto Parque Orla de Piratininga Alfredo Sirkis⁴³ está inserido no âmbito de um conjunto de medidas e projetos sustentáveis a serem implantados pela Prefeitura Municipal de Niterói, o que tem atraído vários investimentos imobiliários. A comparação entre uma foto de 2005 e outra de 2021 pode evidenciar que as casas em frente à praia estão sendo substituídas por residências multifamiliares, com prédios de 5 andares no máximo (Figura 73).



Figura 73 - Vista da Praia de Piratininga de Leste para Oeste comparação entre os anos de 2005 (esquerda) e 2021 (direita).

Fonte: Silva A.L.C, 2006 e a autora, 2021.

⁴³ <http://www.prosustentavel.niteroi.rj.gov.br/parque-orla-de-piratininga/> Acesso: 21/04/2022

A Praia de Piratininga foi escolhida para o estudo de caso na análise de impacto erosivo, pois é uma praia urbana, arenosa e tem problemas de destruição de seu calçadão, que acontece em tempos de ressaca e ataques extremos de ondas. Um problema recorrente que causa prejuízos econômicos, sociais e ambientais.



Figura 74 - Exemplo de erosão costeira e destruição do passeio a beira mar da Praia de Piratininga – Niterói – RJ.
Fonte: Muehe D. (2009).

4. Estudo de caso

4.1. Caracterização ambiental da área de estudo

No Estado do Rio de Janeiro, aproximadamente 60% da população vive em municípios litorâneos (Muehe 1998), as praias arenosas, além de sofrerem as pressões antrópicas da expansão urbana, algumas delas estão expostas à entrada de frentes frias, e conseqüentemente, mais expostas aos impactos erosivos. Oliveira Filho *et al.* (2018) descrevem que a Região Fluminense recebe durante todo o ano ondas com maior altura e período, geradas a partir de frentes frias, e apontam que esses eventos ocasionam uma elevação do nível do mar alterando o volume de sedimentos e, conseqüentemente, a morfologia das praias, tendo como conseqüência a destruição estruturas urbanas.

Santos *et al.* (2004), descrevem a frequência de tempestades e os problemas a elas associados no litoral fluminense, e constatam que a duração média de cada ressaca é de aproximadamente 5 dias e a maior frequência ocorre entre os meses de março e agosto.

As praias da região oceânica de Niterói, em especial a Praia de Piratininga, vêm sofrendo modificações devido ao intenso processo de urbanização, acentuado a partir da década de 1970 até os dias atuais. Acrescentando ao processo crescente de urbanização, as tempestades mais intensas também oferecem um incremento ao risco de erosão. A praia de Piratininga tem cerca de 2,5 km de extensão na direção aproximada Leste-Oeste (Figura 75) e é limitada por dois promontórios rochosos (Silva, A.L.C.; Silva, M.A.M. e Santos, C.L.; 2009). Oliveira *et al.* (2018) ainda acrescenta que as ilhas da Menina, da Mãe e do Pai são importantes na refração de ondas que influenciam na Praia de Piratininga.



Figura 75 - Imagem da Praia de Piratininga.
Fonte: Google Earth. Adaptado da autora.

As Figura 76 a e b mostram a praia de Piratininga nos anos 1960, em 2005 e em 2021. Silva, Silva e Santos (2009), comparam as fotos de 1960 e 2005 e notam que houve a supressão total da área de dunas e da área de sobrelavagem das ondas, quando as ondas depositam areia além da faixa de praia, alcançando onde a vegetação de restinga se desenvolve, e tem a função de atenuar a energia das ondas em épocas de ressacas intensas. Em 2005, o calçadão após sucessivas destruições, nota-se a antiga Av. Litorânea e à época, Av. Alnte Tamandaré com casas unifamiliares e alguns terrenos livres. A autora acrescentou a Figura 76 C que mostra a mesma Avenida, atualmente chamada de Av. Praia de Piratininga, onde as casas começam a ceder espaço para os prédios de gabarito de até 5 andares, marcando uma nova fase de ocupação urbana.



Figura 76 - Fotos da Praia de Piratininga em 1960, 2005 e 2021.

Fonte: Silva et al (2009)⁴⁴. Foto 76 c: a autora.

Após a urbanização da orla de Piratininga observou-se que, ao longo dos anos, o calçadão vem apresentando problemas de estabilidade em decorrência das ressacas mais intensas.

Desde a década de 1980 há relatos que da destruição do calçadão de Piratininga. Destruído em 1996, parte da orla foi novamente devastada por ressaca em 1999. Somente em 2008, o calçadão foi recuperado. Três anos depois, em junho de 2011, o mar novamente revolveu a areia e pôs abaixo os trechos do pavimento, na parte Leste da praia (Figura 77).

⁴⁴https://www.researchgate.net/publication/301220025_Morfodinamica_e_a_estabilidade_da_praia_de_Piratininga_Niteroi_RJ [accessed Oct 23 2021].



Figura 77 - Lado Leste destruído em 2011.

Fonte: Guia de Niterói ⁴⁵

Algumas fotos foram compiladas para melhor compreensão da frequência em que a destruição do calçadão acontece na Praia de Piratininga. Nos anos 1990 (Figura 78 A e C) é registrada a destruição do calçadão tanto do lado Leste quanto do lado Oeste. A Figura 78 B ilustra a tentativa de remediação e proteção do calçadão utilizando sacos de areia.



Figura 78 a – Ressaca Julho 1993 (Oeste).



Figura 78 b – Remediação com sacos de areia 1996.



Figura 78 c – Ressaca Agosto 1999 (Leste)

Figura 78 - Fotos da Praia de Piratininga da década dos anos 1990.

Fonte: fotos cedidas por André L. C. Silva e Leonardo Eccard.

No início dos anos 2000, já com o calçadão com trechos avariados, as ressacas causaram ainda mais estragos, como podem ser vistos nas figuras 79 A e B. Em 2008 o calçadão foi reconstruído (Figura 79 C).



Figura 79 a - Ressaca Junho 2001- (Oeste)

Fonte: Dieter Muehe, 2011

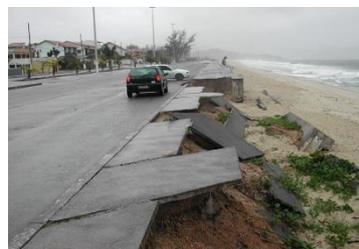


Figura 79 b - Ressaca Julho 2004 (Oeste).



Figura 79 c - Reconstrução do calçadão 2009 (Oeste).

Figura 79 - – Fotos da Praia de Piratininga da década do início dos anos 2000.

Fonte: foto 79 a - Muehe, D. (2011); fotos 79 b e b - cedidas por André L. C. Silva e Leonardo Eccard.

⁴⁵ <https://www.guiadeniteroi.com/recifes-artificiais-e-o-calçadao-em-piratininga/>

Na segunda década dos anos 2000, algumas ressacas foram registradas como em 2010 (Figura 80 a), 2016 (Figura 80 b) e 2020 (Figura 80 c).



Figura 80 a – Ressaca maio 2010.

Fonte: Foto cedida por André L. C. Silva e Leonardo Eccard.



Figura 80 b – Ressaca Abril 2016. (Leste)

Fonte: Pereira *et al*, 2017.



Figura 80 c – Ressaca Julho 2020 (Oeste)

Fonte: Jornal O São Gonçalo⁴⁶

Figura 80 - Fotos da Praia de Piratininga da década do início dos anos 2000.

O ano de 2016 foi um ano de eventos seguidos de mau tempo frequentes, como pode ser visto nas imagens GoogleEarth dos meses de abril, maio e junho. Interessante notar que em abril o lado mais atacado pela ressaca foi o lado Leste (Figura 81). Em maio de 2016, nota-se que o ataque foi mais severo, o mar avança sobre o calçadão em quase toda sua extensão, principalmente no lado Leste (Figura 82). Em junho de 2016, pode ser notado que tanto no lado Leste quanto no lado Oeste o mar avançou sobre o calçadão.

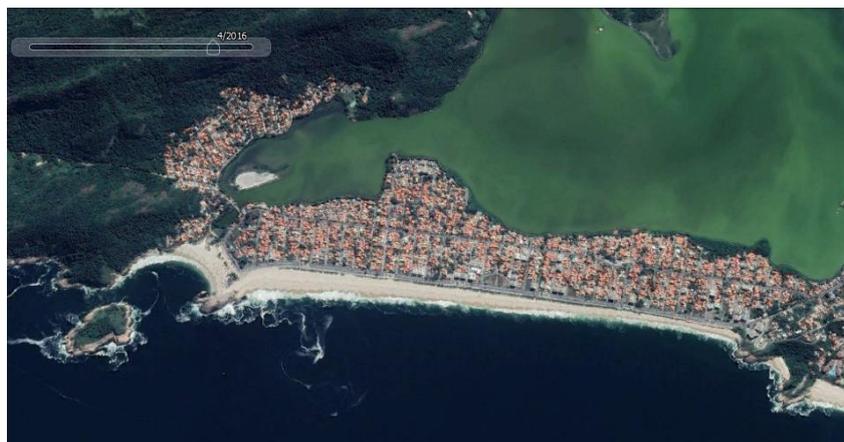


Figura 81 - Imagem de abril de 2016.

Fonte: Google Earth Pro.

⁴⁶ <https://www.osaogoncalo.com.br/geral/85124/ressaca-na-praia-de-piratininga-faz-faixa-de-areia-desaparecer> - acesso: 12/08/2021



Figura 82 - Imagem de maio de 2016.
Fonte: Google Earth Pro.

Uns dos primeiros estudos sobre erosão costeira no litoral Fluminense foi de Muehe (1975). Na figura original de seu estudo (Figura 83) Muehe & Correa (1989) destacam que a praia de Piratininga é uma das praias que tem risco de alteração da linha de costa como moderado, tanto no lado Oeste quanto no lado Leste, e por conta disso, é mais suscetível a ter suas características morfológicas dos ambientes costeiros e estruturas urbanas alteradas, e ainda comentam que é a única que está exposta à eventos erosivos, e em várias ocasiões de tempestades extremas. Oliveira (2012) também corrobora com esta afirmação, ressaltando que na região oceânica de Niterói, Piratininga é a praia que tem mais de alteração da linha de costa.



Figura 83 - Classificação da linha de costa das praias de Piratininga, Cambinhas, Itaipu e Itacoatiara.

Fonte: Muehe & Correa (1989)

Como visto anteriormente, o recuo e avanço (Δl) da linha de costa é proporcional ao volume de sedimentos (Q_s) que se movimenta para dentro e fora do sistema, do diâmetro granulométrico dos sedimentos (G), da energia da onda (E), da declividade do fundo marinho (β) e da variação do nível do mar (ΔM) que pode ser variação da maré, se for uma análise continuada no tempo. E é expressa da seguinte forma: $\Delta l \approx Q_s \cdot G E - \beta \Delta M$, para melhor entendimento da morfodinâmica praial da praia de Piratininga e relacioná-lo à erosão costeira.

Variáveis tais como, ondas, granulometria, topografia da face praial, batimetria são dados relevantes, e neste estudo de caso foram utilizados dados secundários e, alguns deles, correlacionados a eventos extremos.

4.1.1. Ondas

Segundo Silva, A.L.C.; Silva, M.A.M. e Santos, C.L. (2009), o litoral de Piratininga é caracterizado por maré do tipo mista, semidiurna, com amplitudes que não ultrapassam 1,40 m (DHN) e que, o clima de ondas é a principal variável responsável pela dinâmica e pela variabilidade morfológica de praias arenosas.

Uma das mais importantes entradas de energia na zona costeira são as ondas geradas pelos ventos, que em conjunto com as correntes geradas pelas ondas, são responsáveis pela erosão costeira e pelo transporte de sedimentos.

Oliveira Filho *et al.* (2018) analisaram a propagação de ondas de duas tempestades, ocorridas em abril e junho de 2016, para avaliar os impactos na praia de Piratininga, Niterói/RJ. Visando comparar as características das ondas na costa com os impactos levantados em campo, utilizando perfis topográficos transversais à praia em 5 pontos de monitoramento (Figura 84), foram geradas simulações de ondas utilizando o programa Mike21⁴⁷, com dados do modelo de reanálise de onda WaveWatch III⁴⁸.

⁴⁷ <https://www.mikepoweredbydhi.com/products/mike-21-3>

⁴⁸ <https://polar.ncep.noaa.gov/waves/wavewatch/>

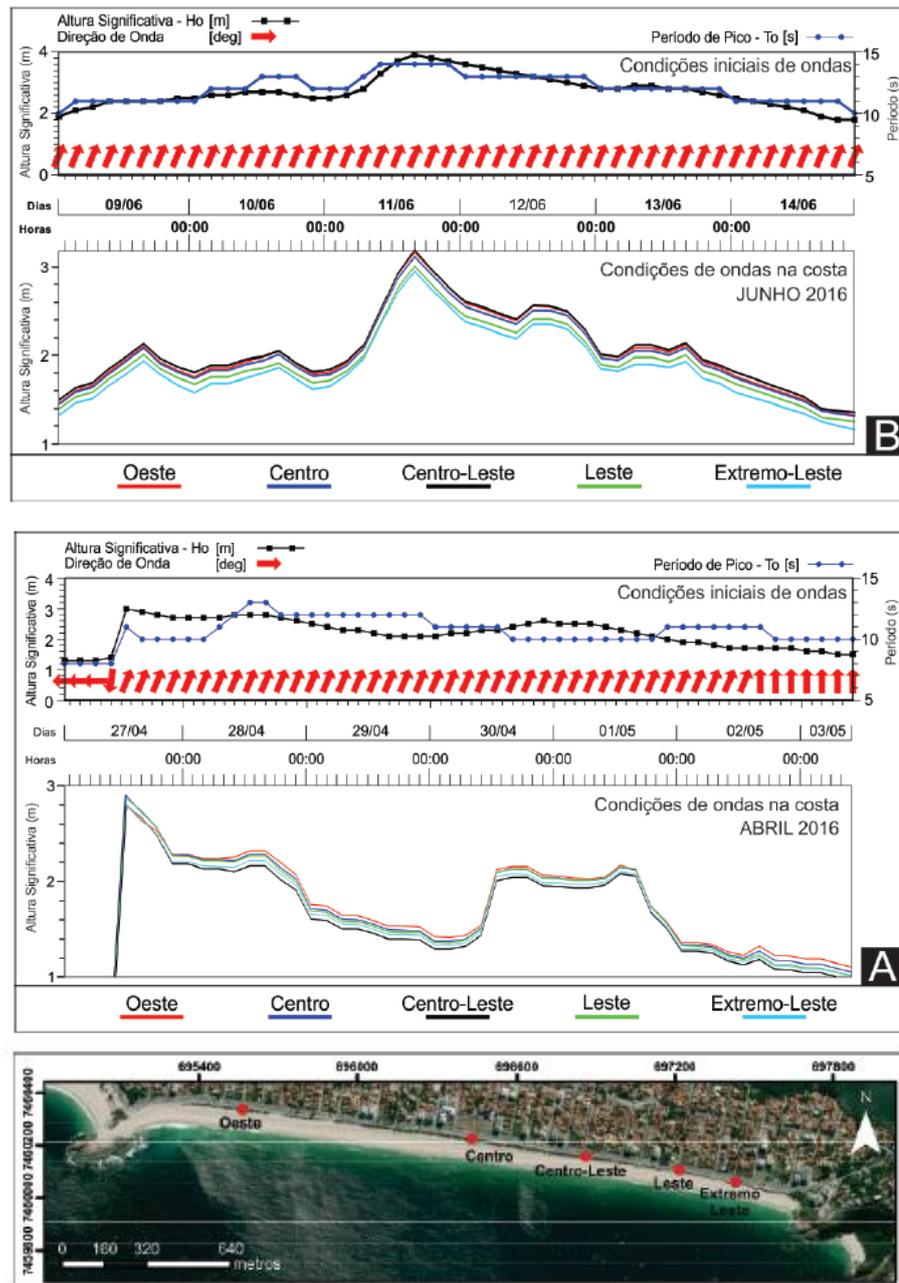


Figura 84 - Cinco pontos de monitoramento ao longo da praia de Piratininga.
Fonte: Oliveira Filho *et al.* (2018).

No estudo de Oliveira *et al.* (2018) além de analisar a altura significativa da onda em dois períodos de tempestade destrutiva no ano de 2016, também foi objeto da pesquisa estimar a retirada e reposição de estoque de sedimentos. Oliveira *et al.* (2018) compararam os dados extraídos do programa *Mike21*, e nota-se que os dados de abril de 2016 mostram uma maior convergência de ondas no lado Leste da praia, que foi o setor mais erodido, principalmente pela inexistência de vegetação de restinga, baixo estoque sedimentar emerso, e ainda, em decorrência da reflexão de onda no muro do calçadão, ocasionando sobreposição de ondas e gerando maior energia na zona de surfe.

Já na tempestade de junho de 2016, os dados mostram maior distribuição da energia na praia, sendo o setor Leste dessa vez, o menos atingido. Segundo Oliveira *et al.* (2018) os perfis Oeste e centro foram os mais atingidos, indicando que a tempestade de abril tenha deixado este setor mais vulnerável à tempestade de junho, em decorrência da recuperação mais lenta do estoque emerso.

Silva *et al.* (2020) publicaram um modelo de processos litorâneos derivado do acoplamento entre um modelo hidrodinâmico 2DH⁴⁹, um modelo de transporte de sedimentos e modelos de propagação de ondas para a praia de Piratininga. Houve uma simulação de uma tempestade ocorrida em 1996 que causou um grande prejuízo ao calçadão de Piratininga.

Silva *et al.*, (2020) simularam o evento de tempestade considerando ondas de Sul-Sudoeste com período de pico entre 12 e 15 s e alturas significativas entre 2,5 e 3,0 m. A Figura 85 exemplifica a distribuição espacial de alturas significativas e direção de uma onda vinda de Sul ao se aproximar da Praia de Piratininga. Silva *et al.* (2020) ressaltam que é interessante notar a arrebentação de ondas com até 3,9 m de altura na porção Leste da praia, em simulação de evento de ressaca de 1996.

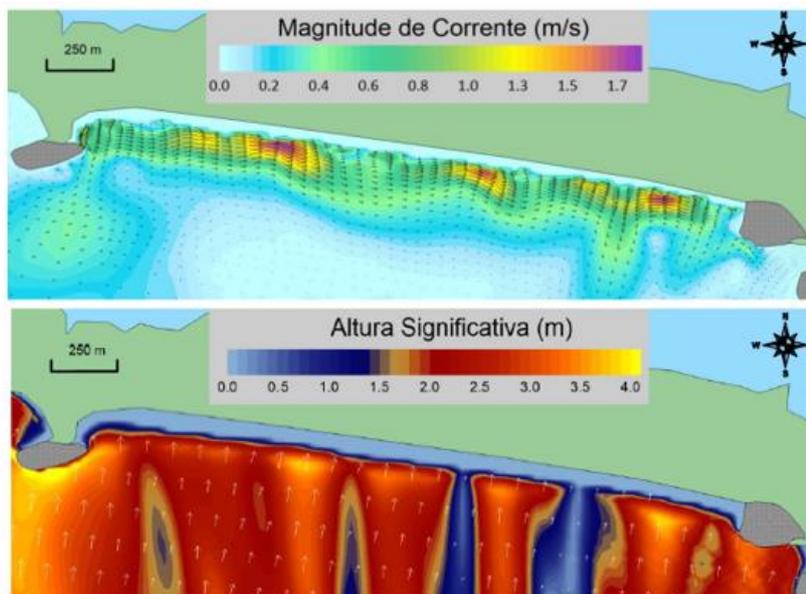


Figura 85 – Altura e direção de onda na praia de Piratininga para ondulação de Sul e corrente litorânea, ambas simulações da ressaca de 1996.
Fonte: Silva et al (2020).

As ondas de tempestade, provenientes de Sul e Sudoeste, convergem diretamente sobre o arco praiar, afetando principalmente o setor Oeste mais exposto da praia (Bastos 1994, Santos 2001, Santos *et al.* 2004, Silva 2006, Silva *et al.* 2006;

⁴⁹ <http://www.sisbahia.coppe.ufrj.br/ManualSisBAHIA/D7Modelo%20Hidrodinamico.htm>

apud Silva *et al.*, 2009). Portanto, a praia apresenta uma dinâmica diferenciada ao longo do arco praiar: o setor Oeste é apontado por Silva, A.L.C.; Silva, M.A.M. e Santos, C.L. (2009) como o mais dinâmico.

Em relação às ondas o lado Oeste é o lado mais dinâmico e o lado Leste recebe mais ataques das ondas de mau tempo por estar posicionado de frente para sul, e, portanto, mais exposto às maiores ondas e eventos de tempestade (Figura 86).

Silva, Filippo e Costa (2021) calcularam que para regime de eventos extremos os valores a serem considerados para ondas são de 4 metros de altura significativa com período de retorno de 2 anos, ondas de 4,5 metros com período de retorno de 10 anos e ondas superiores a 5 metros com período de retorno próximo de 50 anos. Isto quer dizer que projetos de intervenção a beira mar devem considerar valores de onda acima de 5 metros.



Figura 86 - Figura resumo em relação ao clima de ondas reinantes na Praia de Piratininga.
Fonte: a autora

4.1.2. Granulometria dos sedimentos

Silva (2010) comenta que a granulometria dos sedimentos da praia de Piratininga pode ser classificada como areia média, composta por areia e fragmentos de conchas de vários tamanhos, ressaltado por Muehe (1975) e Mendes (2004, *apud* Silva, 2006) que também classifica a areia como sendo sub angular e arredondada para a fração predominante (0,250 mm), quanto maior o grau de seleção mais arredondado é o grão, significando que o sedimento mais arredondado sofre maior retrabalho.

A Figura 87 extraída de Silva (2006), indica que o comportamento sedimentológico da praia de Piratininga tem uma homogeneidade ao longo do arco praiial e é condicionado às ondas de bom tempo de sudeste, alternando com as ondas de Sul e Sudoeste associadas à passagem de ressacas. Silva (2006) também cita outros fatores que influenciam na dinâmica sedimentar na praia de Piratininga, tais como: a corrente de deriva litorânea para Oeste, os promontórios rochosos em cada extremo da praia e as ilhas do Pai, Mãe e Menina que influenciam na refração e difração das ondas, alterando a mobilidade dos sedimentos.



Figura 87 - Figura de caracterização sedimentar.
Fonte: adaptado pela autora de Silva (2006).

4.1.3. Perfil de praia e batimetria

Para melhor entendimento da variação morfológica de uma praia arenosa, é necessário analisar o perfil da praia nas diferentes estações, principalmente verão e inverno, onde o clima de ondas se altera, modificando assim o deslocamento dos sedimentos. É uma troca cíclica entre o material sedimentar entre a parte submersa e a parte emersa da praia, além do deslocamento lateral, derivado da corrente litorânea. Diversos autores relacionam o transporte de sedimentos ao alargamento e estreitamento da praia. Portanto, os perfis de praia são efetivamente importantes, pois refletem a atuação dos parâmetros ambientais que influenciam na erosão costeira.

Alguns estudos de perfis da praia de Piratininga foram realizados. Silva (2009) fez um estudo consistente analisando 3 perfis em duas sazonalidades (verão e inverno) por 2 anos seguidos (2004 e 2005). Esse mesmo estudo comparou com os perfis coletados por vários autores (Muehe, 1975; Bastos, 1994; Santos, 2001;

Santos *et al.*, 2005 e Santos & Silva, 2005) e fez um resumo conclusivo sobre a análise do perfil topográfico da praia de Piratininga (Figura 88).



Figura 88 - Variabilidade de perfil de praia - Piratininga.
Fonte: adaptado pela autora de Silva, 2006

Em estudos mais recentes, Silva, Filippo e Costa (2021) fizeram medidas de perfis topográficos na praia de Piratininga e corroboram com a mesma colocação dos autores acima citados, que o lado Oeste da praia possui maior amplitude topográfica. Para Silva (2006) tal característica influencia diretamente na largura da praia do lado Oeste, onde as variações são maiores sazonalmente, com estreitamento no inverno e alargamento no verão. Os perfis topográficos refletem e afirmam a tendência de deriva litorânea para Oeste, transportando os sedimentos e alargando a praia neste lado durante o verão e as ondas de tempestade, comuns no período de inverno, atacam o lado Oeste retirando os sedimentos causando um estreitamento da faixa de areia desse mesmo lado.

O meio do arco praiial da praia de Piratininga tem perfil topográfico estável e conseqüentemente menor variação na morfologia e na largura da praia (Muehe, 1975 e 2011; Bastos, 1994 e Santos, 2005).

O lado Leste tem perfil topográfico pouco variável ao longo ano, e por conta disso, não recebe a quantidade necessária de sedimentos para alimentar sua faixa de areia, ficando mais exposto e mais vulnerável aos eventos extremos (Silva, Filippo e Costa; 2021).

Os resultados mostram que a morfodinâmica associada as características fisiográficas locais favorecem maior perda de areia no setor Leste da praia, tanto pela menor largura e volume, como pelas configurações batimétricas da antepraia, ocasionando convergência de ondas.

Em trabalho realizado por Muehe (2011) foi observado que os processos erosivos presentes na praia de Piratininga é mais uma resposta aos eventos extremos, e não uma tendência de retrogradação da linha de costa, opinião compartilhada também por Silva (2006) e Oliveira *et al.* (2018).

Muehe (2011) ainda comenta que ao comparar os perfis de praia, antes e após a construção do muro, mostrou-se que eles se mantiveram inalterados, a não ser a variabilidade morfodinâmica típica de uma praia de estágio intermediário, reafirmando que eventos erosivos na praia de Piratininga são resultados de ataques de ondas de tempestades e ressacas.

O Projeto Pró Sustentável⁵⁰, (PMN, 2020) tem como um de seus objetivos entender melhor a dinâmica das praias de Niterói, especialmente a praia de Piratininga, e algumas coletas de dados *in situ* já iniciaram e alguns resultados já foram publicados, tanto no site da Prefeitura, quanto em publicações científicas, como a modelagem de propagação de ondas anteriormente. Nas Figura 90 a, b, c e d, são resultados da simulação da batimetria na praia de Piratininga ao início da simulação (a), ao início da ressaca (b) e dois dias após o início da ressaca (c) e (d), isolinhas de variação batimétrica. Interessante notar o banco de areia formado após a ressaca e a parte leste do calçadão destruído.

⁵⁰ <http://www.prosustentavel.niteroi.rj.gov.br/> acesso: 21/01/2022

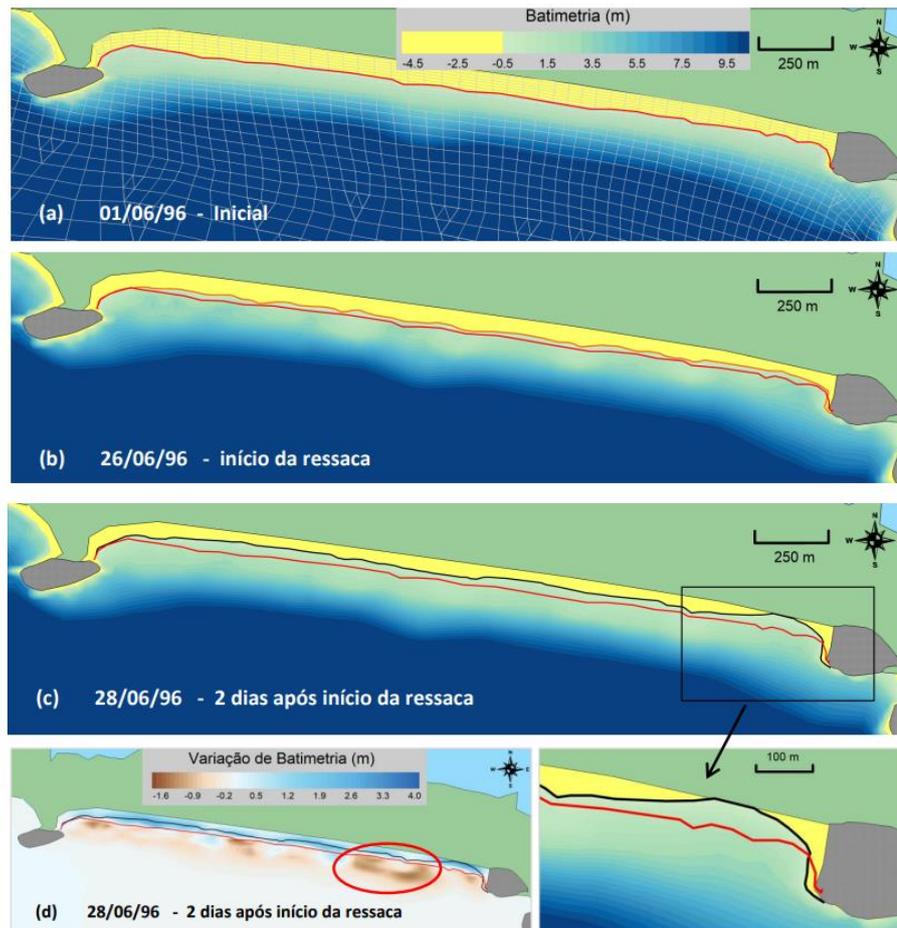


Figura 89 - Simulação da batimetria durante ressaca ocorrida em Junho de 1996.
Fonte: Silva *et al.* (2020).

A Figura 90 apresenta uma figura resumo da variabilidade morfológica da praia de Piratininga, onde a variabilidade do perfil de praia se dá nos extremos Leste e Oeste. O meio da praia não tem variação no perfil, possivelmente por ter o arco praiar e restingas preservadas.

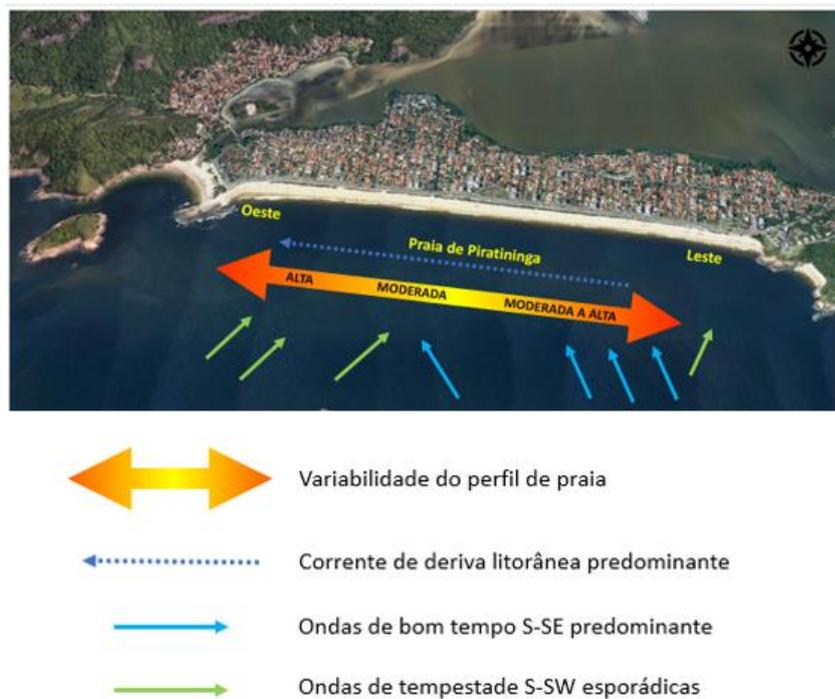


Figura 90 - Figura resumo da variabilidade morfológica da Praia de Piratininga.
 Fonte: Silva, A.L.C.; Silva, M.A.M. & Santos, C.L. (2009) adaptado pela autora.

Considerando as informações coletadas de diversos estudos para formar a caracterização da praia de Piratininga, pode-se afirmar que não há perda de território proveniente da alteração da morfodinâmica costeira típica em praias arenosas, mas sim há destruição de obras à beira mar, provenientes de ataques de ondas durante eventos extremos, devido ao posicionamento da praia em relação às ondas de Sul e Sudoeste, características de frentes frias e ressacas.

4.2. Soluções propostas

Considerando que, pelo posicionamento da Praia de Piratininga, a praia está exposta a eventos que tendem a ser tornar mais frequentes e mais extremos no futuro, originários dos efeitos das mudanças climáticas, a solução proposta passa por indicar projetos para o futuro, principalmente para os extremos Leste e Oeste da praia de Piratininga (Figura 91) são as duas áreas que sofrem maior ataque dos efeitos destrutivos das ondas provenientes de Sul e Sudoeste, a Oeste pelo perfil de praia de alta variabilidade e a Leste por estar mais exposta a chegada das ondas.

Sendo assim, o conjunto de soluções se propõe em minimizar os impactos nas áreas nos extremos Oeste e Leste, que já ocorrem, bem como preparar para o futuro de cada vez mais, frentes frias chegando com mais frequência e magnitude.



Figura 91 - Praia de Piratininga e os lados Oeste e Leste mais vulneráveis.
Fonte: a autora.

No conjunto de propostas para os trechos Oeste e Leste da Praia de Piratininga envolve uma solução híbrida com a manutenção do calçadão existente com o material e o método construtivo que foi construído anteriormente e os extremos são elevados, em relação ao piso original, com deck de madeira certificada e articulado. O deck articulado de madeira pode ser substituído com mais facilidade e menor custo.

O replantio de restinga no trecho Oeste, em frente ao trecho do calçadão em madeira, pode impedir que o mar avance com violência, como foi percebido na parte central da praia, onde o cordão de restinga age como uma barreira física ao avanço das ondas em épocas de ressaca. O deck de madeira projetado e construído sobre concreto permite que, caso haja nova destruição do trecho, este possa ser recomposto de forma mais econômica, a elevação do piso vem minimizar o alcance das ondas. O calçadão, nos trechos em madeira tem gradis, também de madeira, fazendo às vezes de uma cerca de proteção, podendo ser isolados em tempos de ressaca (Figura 92).



Figura 92 - Solução híbrida para o trecho oeste deck elevado em madeira certificada e articulada e replantio de restinga como barreira física.

Fonte: a autora

A proposta é que, com o passar do tempo, as entradas das frentes frias, cada vez mais frequentes e de forma extrema farão que o mar avance, e assim uma parte do deck, por ser articulado, poderá perder uma parte antes da reconstrução total (Figura 93).

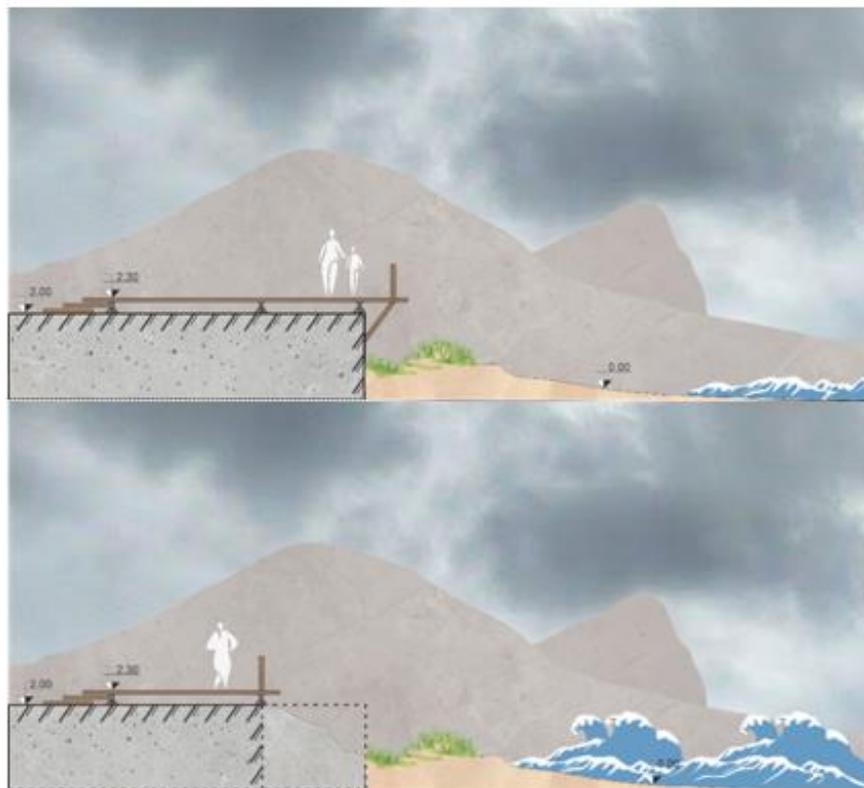


Figura 93 - Perfis esquemáticos da proposta: o primeiro em situação de bom tempo e o segundo em situação de ataque severo de ondas com quebra do calçadão e rápida recomposição de parte do deck de madeira.

Fonte: a autora.

Considerando que o lado Leste possui um posicionamento menos protegido aos ataques das ondas, que tendem a aumentar em frequência e magnitude com o tempo, é proposto um estudo para construção de uma ilha em frente ao trecho Leste para que as ondas percam energia e sejam menos destrutivas ao chegar na praia, além de larga barreira de restinga replantada e o deck articulado de madeira no trecho mais sensível a ruptura (Figura 94).

Os modelos de refração de ondas, bem como dados medidos sistematicamente, serão requeridos para estimar o melhor posicionamento e profundidade para que se atinja ao objetivo esperado.



Figura 94 - Ilha artificial de concreto ecológico proposta para diminuir a energia das ondas no trecho Leste.

Essa ilha artificial pode ser construída, por exemplo, com concreto ecológico, blocos de concreto ecológicos, projetados por biólogos e desenhados para criar vida biológica, atraindo biodiversidade e provendo espaços para berçários de vida marinha (Figura 96).



Figura 95 - Blocos de concreto ecológico.

Fonte: EconcreteTech⁵¹

O monitoramento sistemático de parâmetros ambientais que influenciam na erosão costeira é de grande valia para ampliar o conhecimento das causas deste fenômeno. Assim, uma proposta para coleta sistemática e ampliada de dados ambientais ao longo da Praia de Piratininga, a fim de melhorar o entendimento das causas da erosão costeira, e que possa envolver a sociedade nessa coleta.

A proposta se baseia em um método que fixa um ponto, através de um totem para encaixe do celular na parte Leste, onde qualquer cidadão pode fotografar a linha de costa e enviar para um banco de dados, que pode medir o avanço do mar em vários momentos do dia e em diferentes sazonalidades (Figura 96 e Figura 97).



Figura 96 - Proposta de Totem de monitoramento da linha de costa através de celulares instalado do lado Leste.

Fonte: a autora.

⁵¹ <https://econcretetech.com/> acesso: 25/01/2022

O conceito de ciência cidadã busca reunir a sociedade e a ciência para um objetivo maior, como por exemplo a disseminação da cultura da coleta de informação de forma sistemática e ampliada, utilizando ferramentas populares, simples a fim de garantir a participação da sociedade na solução de problemas relevantes. Um exemplo seria na costa Leste da Austrália, no estado de New South Wales, onde há uma iniciativa que implementa o conceito de Ciência Cidadã para o monitoramento da erosão costeira em praias arenosas, utilizando aplicativo de celular pelo projeto CoastSnap⁵² (Mitchell D. H., Michael A. K., 2022).



Figura 97 - Totem de monitoramento da linha de costa através de celulares.
Fonte: a autora.

Ao fixar a posição do dispositivo, há uma garantia de que todos os registros de fotos sejam capturados no mesmo local. As imagens de diferentes câmeras de smartphones mapeiam a linha de costa em cada foto contabilizando o nível da maré no momento da captura.

Com o tempo, as fotos constroem registros precisos de como as praias se desgastam e se recuperam com as condições oceânicas variadas, informando se o balanço sedimentar está saudável ou não. O resultado ao longo do tempo é uma figura sobre o avanço ou recuo da linha de costa (Figura 98).

⁵² <https://www.environment.nsw.gov.au/research-and-publications/your-research/citizen-science/get-involved/coastsnap>. Acesso: 25/01/2022

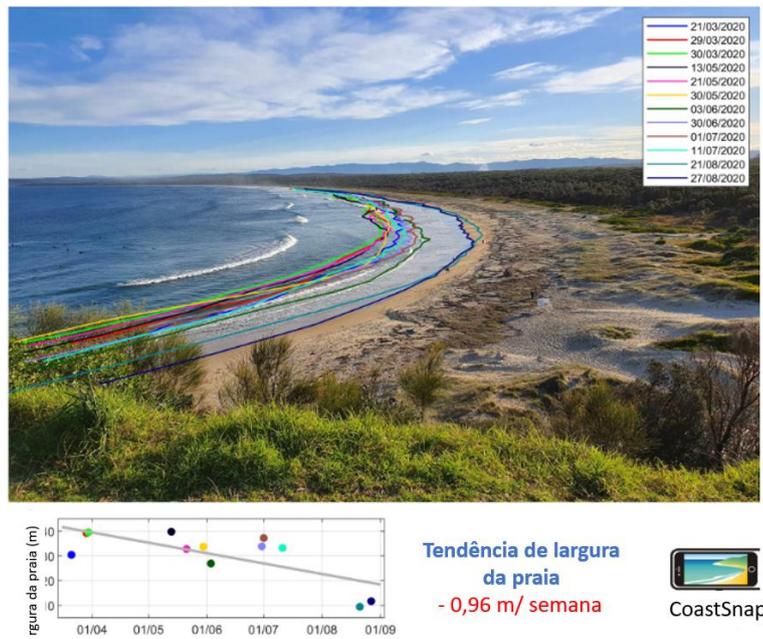


Figura 98 - Figura resultante da tendência de recuo ou avanço da linha de costa.
 Fonte: <https://www.environment.nsw.gov.au/research-and-publications/your-research/citizen-science/get-involved/coastsnap>

5. Conclusão

A zona costeira limita dois ambientes naturais distintos, sendo que o oceano já é um ambiente em constante dinamismo e a terra com uma dinâmica, majoritariamente, impulsionada por ações antrópicas, cada vez mais intensas com o aumento populacional nessa região. As dinâmicas dissonantes entre os dois ambientes tendem a causar impactos, principalmente relacionados à erosão costeira, que atinge principalmente as praias arenosas que descrevem a linha limite entre a terra e o mar através de faixas de areia, expostas à constantes retiradas e depósitos de areia em função das ações dos diversos parâmetros meteocanográficos, mas também por ações antrópicas, alterando o balanço sedimentar dentro do arco praial. A interferência no equilíbrio da retirada e do depósito de sedimentos em uma praia arenosa, pode causar, ao longo do tempo, a erosão costeira.

A retrogradação, ou recuo da linha de costa, é o impacto mais notório da erosão costeira e decorre do balanço sedimentar negativo dentro do arco praial. No entanto, muitos são os motivos para que o balanço sedimentar seja modificado, sejam eles naturais ou antrópicos, ao não respeitar a área de movimentação das areias do arco praial, invadindo os perfis ativos das praias, interferências na movimentação natural durante eventos naturais, como tempestades, podem causar a interrupção do fluxo sedimentar ao longo da costa com impactos previsíveis de erosão, e cada evento extremo a erosão tende a aumentar.

Face ao crescente fenômeno que é a erosão costeira no litoral, observa-se também o comprometimento da infraestrutura construída, como calçadões a beira mar e residências que são expostas à destruição em função da erosão costeira. Uma orla degradada geralmente tem sua vegetação suprimida e construções que interferem no transporte sedimentar causando instabilidade na linha de costa.

Houve uma evolução no desenvolvimento das técnicas de estabilização da linha de costa a fim de mitigar os impactos negativos da erosão costeira. No entanto, o que se observa é que algumas obras atingem somente as consequências da erosão, mas não mitigam as causas, fazendo com que os esforços sejam em vão, no médio e longo prazo. E apesar dos recursos empenhados, a erosão é uma ameaça constante.

No antropoceno, a era em que os impactos ambientais são consequências diretas das ações exercidas exclusivamente pela humanidade, as praias arenosas não só sofrem impactos imediatos ou de médio prazo pelas ações antrópicas, como a

expansão urbana, mas também pelos impactos de longo prazo de tais ações sobre o meio ambiente, de uma forma mais ampla, intensificando aumento de frequência e severidade dos eventos climáticos cada vez mais extremos, como tempestades, ciclones, aumento da energia das ondas e aumento do nível do mar.

Há uma quantidade expressiva de técnicas e materiais mais sustentáveis, que possam, de alguma forma estar mais próximos aos conceitos de resiliência urbana ambiental. Não somente pesquisas de materiais que tragam menos impactos ambientais, mas também técnicas de intervenção menos rígidas e planejamento urbanos mais integrados aos ambientes adjacentes, levando em consideração parâmetros ambientais para soluções mais adaptadas a um futuro de mudanças climáticas e de grandes impactos ambientais.

Quanto ao estudo de caso, a praia tipicamente urbana de Piratininga no município de Niterói/RJ, que tem seu calçadão constantemente destruído posteriormente a tempestades severas, após análise dos parâmetros ambientais que influenciam a erosão costeira, concluiu-se que apesar do arco praiar estar preservado, é uma praia de alta morfodinâmica, principalmente nos seus extremos.

A destruição do calçadão da Praia de Piratininga está relacionada à forma de recebimento de frente das ondas de bom tempo (Sudeste) e mau tempo (Sudoeste), atacando a parte extrema Leste e Oeste da praia. Se por um lado, tal afirmação traz um alívio, ao perceber que os estoques de sedimentos são retirados e repostos de forma equilibrada, por outro lado gera um alerta pela constatação que a praia, objeto de estudo, está exposta a ataques de ondas, um dos parâmetros responsáveis pela variação da linha de costa e, conseqüentemente, erosão costeira.

No caso da praia de Piratininga, por sua localização, há um prognóstico de que ataques de ondas, cada vez mais frequentes e extremos, aconteçam na proporção do avanço dos efeitos das mudanças climáticas na região, que por se tratar de uma problemática de larga escala, espera-se que seja uma tendência que dependerá de toda sociedade.

A solução proposta pretende minimizar a energia das ondas de mau tempo que ocorrem, principalmente no extremo Leste, construindo-se um recife na direção da propagação das ondas que atingem esta porção da praia, impedindo que as ondas quebrem com violência neste lado do calçadão. O recife construído com blocos de concreto ecológico e moldado de tal forma que se crie vida marinha, aumentando

assim a biodiversidade local, além de diminuir a energia das ondas de sudoeste em situações de mau tempo.

Como recurso complementar, a proposta é uma solução de desenho híbrido do calçadão, onde se mantém a estrutura atual de concreto ao longo da praia onde não há destruição do mesmo com a restinga preservada. E nos extremos, que são os trechos mais atingidos, são construídos em madeira certificada que, ao apresentar incidências de fortes ondas, esses trechos possam colapsar e serem reconstruídos de forma mais fácil, modular e econômica, praticando assim, o conceito de resiliência urbana ambiental, de adaptação e reconstrução. Evitando, assim, prejuízos maiores, que podem visar o controle de uso, ocupação e exploração do solo, de forma integrada aos diagnósticos ambientais.

Uma outra solução, mais além da adaptação do calçadão aos prognósticos futuros, seria a renaturalização dos trechos Leste e Oeste. A proposta de renaturalização significa demolir o calçadão nos dois trechos extremos e replantar restinga no lugar do calçadão até a primeira pista. Considerando que nos extremos o desenho do calçadão invade o arco praial, a ideia de recompor o ambiente com areia e restinga, poderia resolver a questão da destruição do calçadão, porém não é fácil antever se ao longo do tempo não haveria invasão das ondas sobre a pista mais próximas das edificações.

Com o lançamento da Década do Oceano pela UNESCO (entre 2021 e 2030), muito tem se discutido sobre formas de proteção dos oceanos, e um dos temas desse fórum é o Oceano Seguro, que discute as formas, causas e consequências dos momentos em que o oceano pode trazer problemas à humanidade também. Um dos tópicos de discussão é exatamente do avanço do mar sobre a terra e a perda da linha de costa, em função de vários fatores, inclusive aqueles causados pelas mudanças climáticas, onde esse estudo pode se inserir.

Entendendo a relevância do tema erosão costeira, e que é inevitável que, ao longo do tempo, o oceano realmente avance sobre a terra, é imperativo que haja um monitoramento sistemático dos parâmetros ambientais. Sendo assim, como recomendação para os gestores municipais, em especial de Niterói, que se monte uma rede de instrumentos oceanográficos a fim de medir, maré (marégrafos), onda (ondógrafos) e corrente (ADCPs de fundo), instalados nas praias oceânica de Niterói, além de medição sazonal de perfis de praia, a fim de entender a dinâmica integrada e, assim, se preparar melhor para eventos extremos no futuro.

6. Referências bibliográficas

AGRICIO et al. **Identificação de impactos ambientais associados à antropização das praias do Poço e Cambinha do município de Cabedelo – PB** – REGNE, Vol. 2, N° Especial (2016).

ALBINO, J. et al. **Mapeamento dos terraços de abrasão ao longo do litoral do Espírito Santo com uso de sensoriamento remoto**. Revista Brasileira de Geomorfologia, v. 21, p. 33-44, 2020.

ALEIXO, J. S.; ALBINO, J. **Conhecimento e acesso à informação sobre o papel do sistema duna-praia na proteção da costa**. In: MUEHE, D.; LINS-DE-BARROS, F. M.; PINHEIRO, L. (orgs.) Geografia Marinha: oceanos e costas na perspectiva de geógrafos. Rio de Janeiro: PGGM, 2020. p. 341-357. ISBN 978-65-992571-0-0.

ALLAN, J.C.; KOMAR, P.D. **Extreme Storms on the Pacific Northwest coast during the 1997-1998 El Niño and 1998-99 La Niña**. Journal of Coastal Research, v.18, n°, pp. 175-193. 2002.

ANDREOLI, R., et al. **Contribuição de diversos sistemas de observação na previsão de tempo no CPTEC/INPE**. Revista Brasileira de Meteorologia [online]. 2008, v. 23, n. 2 [Acessado 11 julho 2021], pp. 219-238. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0102-77862008000200009>>.

ARAÚJO, Y.R.V; et al. **Carbon footprint associated with four disposal scenarios for urban pruning waste**. Environmental Science and Pollution Research, v. 25, n.2, p.1863-1868, 2018. DOI: 10.1007/s11356-017-0613-y.

BALK, D., et al. **Mapping urban settlements and the risks of climate change in Africa, Asia and South America**, in J. M. Guzman, G. Martine, G. McGranahan, D. SchenSul and C. Tacoli (eds) Population Dynamics and Climate Change, United Nations Population Fund (UNFPA) and International Institute for Environment and Development (IIED), London, pp80–103 – 2009.

BIRD, E.C.F. **Submerging Coasts – The effects of a Rising Sea Level on Coastal Environments**. John Wiley & Sons. Earthwatch, 184 p. .1993.

BIRD, E.C.F. **Coastal Geomorphology: An introduction**. 2nd edition. Chinchester. Wiley and Sons. 436 pp. 2008.

BITTON, M.C.A., HESP, P.A. **Vegetation dynamics on eroding to accreting beach-foredune systems**, Florida panhandle. Earth Surface Processes and Landforms, v.38, p.1472–1480, 2013. 2013.

BOAK, E.H.; TURNER, I.L. **Shoreline Definition and Detection: A Review**. Journal of Coastal Research, v.21, n.4, p.688–703, 2005.

BOGUE, R. **Underwater robots: a review of technologies and applications**, *Industrial Robot*, Vol. 42 No. 3, pp. 186-191. <https://doi-org.ez370.periodicos.capes.gov.br/10.1108/IR-01-2015-0010>. 2015.

BORSJE, B. W., et al. - **How ecological engineering can serve in coastal protection**. *Ecological Engineering*, 37, 113-122 2011 (13) (PDF) Nature-based solutions: Lessons from around the world.

BRASIL. **Constituição de 1988**. Disponível em <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm>. Acesso: 28 maio. 2021.

_____. Ministério do Meio Ambiente. Lei nº. 7.661, de 16 de maio de 1988. **Institui o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro** e dá outras providências. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/sqa/projeto/gerco/planocac.html>. Acesso: 29 maio. 2021.

_____. Lei Nº 6.938 de 31 de agosto de 1981. **Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências**. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L6938.htm>. Acesso: 22 mai. 2021.

_____. Ministério do Meio Ambiente. Decreto 5.300/2004. **Regulamenta a Lei no 7.661, de 16 de maio de 1988, que institui o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro - PNGC**, dispõe sobre regras de uso e ocupação da zona costeira e estabelece critérios de gestão da orla marítima, e dá outras providências. Disponível em: <<https://presrepublica.jusbrasil.com.br/legislacao/97168/decreto-5300-04>>. Acesso: 23 mai. 2021.

_____. Resolução CIRM Nº 01, de 21 de novembro de 1990. Aprova o **Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro (PNGC)**. Comissão Interministerial para Recursos do Mar, Brasília, 1988. Disponível em: <www.ipef.br/legislacao/bdlegislacao/arquivos/17576.rtf>. Acesso: 02 jun. 2014.

_____. **Programa Nacional para a Conservação da Linha de Costa** - instituído pela Portaria Nº 76, de 26 de abril de 2021.

BRIDGES, T., et al. **Use of Natural and Nature-Based Features (NNBF) for Coastal Resilience**. North Atlantic Coast Comprehensive Study: Resilient Adaptation to Increasing Risk. Vicksburg, MS: US Army Corps of Engineers: Engineer Research and Development Center. 2015.

BULHÕES, E.M.R. et al. **Impactos costeiros induzidos por ondas de tempestade entre o Cabo Frio e o Cabo Búzios, Rio de Janeiro, Brasil** - *Quaternary and Environmental Geosciences Journal* (2014) 05(2):155-165.

BULHÕES, E. **Erosão costeira e soluções para a defesa do litoral**. In: MUEHE, D.; LINS-DE-BARROS, F. M.; PINHEIRO, L. (orgs.) *Geografia Marinha: oceanos e costas na perspectiva de geógrafos*. Rio de Janeiro: PGGM, 2020. p. 655-688. ISBN 978-65-992571-0-0.

CAI, F., et al. **Coastal erosion in China under the condition of global climate change and measures for its prevention.** Progress in Natural Science, v. 19, n. 4, p. 415-426, 2009.

CALLIARI et al. **Morfodinâmica praias: uma breve revisão - Revisão Rev. bras, oceanografia 51(único):63-78.** 2003.

CARVALHO, B.C. **Variabilidade da resposta da linha de costa aos condicionantes hidrodinâmicos e às oscilações do nível do mar no litoral Sul fluminense.** – Tese de doutorado - Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de Oceanografia. 192 f.: il. 2019.

CASAS, S. M., J. LA PEYRE, and M. K. LA PEYRE. **Restoration of Oyster Reefs in an Estuarine Lake: Population Dynamics and Shell Accretion** - Marine Ecology Progress Series 524: 171–184. doi:10.3354/meps11198. 2015.

CASTRO, J.W. de A.; VALENTINI, E.; ROSMAN, P.C.C. **Estudo diagnóstico do Comportamento Atual da Linha de Costa entre os Rios Pacoti e Tabuba, CE.** 37º Congresso Brasileiro de Geologia. Boletim de resumos expandidos, v.1. Simpósios, 1992, p. 27. São Paulo, 1992.

CECCARELLI, T. S. **Paradigmas para os projetos de obras marítimas no contexto das mudanças climáticas.** Dissertação de mestrado. Escola Politécnica de São Paulo. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária. 2009.

CHALEGRE-TOUCEIRA, M.C. **Caracterização e mapeamento de risco dos danos causados pelo mar na cidade do Rio de Janeiro – RJ, Brasil** – 2018.

Vista:

https://www.researchgate.net/publication/335241561_Caracterizacao_e_mapeamento_de_risco_dos_danos_causados_pelo_mar_na_cidade_do_Rio_de_Janeiro_-_RJ_Brasil/figures?lo=1 [accessed Jun 10 2021].

CHAPMAN, M. G. & UNDERWOOD, A. J. **Evaluation of ecological engineering of “armoured” shorelines to improve their value as habitat.** Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 400, 302-313. 2011(13) (PDF) Nature-based solutions: Lessons from around the world. Available from: https://www.researchgate.net/publication/297765063_Nature-based_solutions_Lessons_from_around_the_world [accessed Sep 11 2021].

CHENG, L., et al **Record-setting Ocean warmth continued in 2019.** Adv. Atmos. Sci., 37(2), 137–142, <https://doi.org/10.1007/s00376-020-9283-7> 2020.

CHRISTOPHERSON, R. W. **Geossistemas: uma introdução à geografia física.** 7 ed. Tradução de Francisco Eliseu Aquino et al. Porto Alegre: Bookman, 2012. 728 p. 2012.

CLIMATE CHANGE INITIATIVE COASTAL SEA LEVEL TEAM. **Coastal sea level anomalies and associated trends from Jason satellite altimetry over 2002-2018.** Sci Data. 2020;7(1):357. Published 2020 Oct 20. doi:10.1038/s41597-020-00694-w.

COELHO, A. L. N. **Análise do deslocamento da linha de costa e sua intensidade com base em produtos de sensoriamento remoto.** In: MUEHE, D.; LINS-DE-BARROS, F. M.; PINHEIRO, L.S. (orgs.) Geografia Marinha: oceanos e costas na perspectiva de geógrafos. Rio de Janeiro: PGGM, 2020. p. 56-73. ISBN 978-65-992571-0-0.

CRAIK, A. D. **The origins of water wave theory.** Annual review of fluid mechanics, 36. 2004.

DAILY, G. C. (Ed.). **Nature's services: societal dependence on natural eco systems.** Washington, DC: Island Press, 1997. ISBN: 9781559634762.

DAFFORN, K. A. et al. **Marine urbanization: an ecological framework for designing multifunctional artificial structures** – Frontiers in ecology and the environment Journal - <https://doi.org/10.1890/140050> - 2015.

DAVIS, JL, et al. **Living Shorelines: Coastal Resilience with a Blue Carbon Benefit.** 2015. PLOS ONE 10(11): e0142595.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0142595>

DIAS. G. M. **Praias urbanas e racionalidade ambiental: avaliação da gestão das intervenções urbanísticas e dos usos na praia de ponta negra – Natal – RN** – Dissertação de mestrado UFRN. 2015.

DONGHYUN. K. e UP. L. **Urban Resilience in Climate Change Adaptation: A Conceptual Framework** – MDPI – Multidisciplinary Digital Publishing Institute – Sustainability v. 8 – 405p.

DUARTE, R. X. **Caracterização Morfo-sedimentologia e Evolução de Curto e Médio Prazo das Praias do Pina , Boa Viagem e Piedade, Recife - Jaboatão do Guararapes – PE** – Dissertação de Mestrado. Pós-graduação em Geociências, UFPE. 2002.

ECCARD, L.R., et al. **Variações morfológicas nas praias oceânicas de Niterói (RJ, Brasil) em resposta a incidência de ondas de tempestades** - Revista Brasileira de Geografia Física v.10, n.01 (2017) 041-055- 2017.

ECLAC. **Effects of Climate Change on the Coast of Latin America and the Caribbean: Dynamics, Trends and Climate Variability.** LC/W.447, the Economic Commission for Latin America and the Caribbean (ECLAC), the Spanish Climate Change Office under the Ministry of Agriculture, Food and Environment of the Government of Spain, and the Environmental Hydraulics Institute of Cantabria University, ECLAC, Santiago de Chile, Chile, 2011, 263 p.

EMERY, K.O. **A simple method of measuring beach profiles.** Limnological Oceanography, v.6, p. 90-93, 1961. <https://doi.org/10.4319/lo.1961.6.1.0090>

ERNSTSON, H.; van der Leeuw, S.E.; Redman, C.L.; Meffert, D.J.; Davis, G.; Alfsen, C.; Elmqvist, T. **Urban transitions: On urban resilience and human-dominated ecosystems.** AMBIO: J. Hum. Environ. 2010, 39, 531–545.

EUROPEAN COMMISSION - Note by DG Climate – Subject: **Towards an EU Research and Innovation policy agenda for Nature-based Solutions & Re-Naturing Cities**. Final Report of the Horizon 2020 Expert Group on ‘Nature-Based Solutions and Re-Naturing Cities’ (full version): European Union, 2015.

EVERTS, C.H.; ELTON C.D. **Beach-retention structures and wide sandy beaches in southern California: Shore & Beach**. Vol. 68, no. 3, pp. 11-22. Jul 2000.

FALK, R. H. 2009. **Wood as a sustainable building material**. Forest products journal. Vol. 59, no. 9 (Sept. 2009): p. 6-12.

FALKENBERG, D.B. **Aspectos da flora e da vegetação secundária da restinga de Santa Catarina, Brasil**. INSULA Revista de Botânica, v. 28, p. 01, 1999.

FERNANDEZ, G.B. **Impacts of Severe Storm Occurred in April 2010 along Rio de Janeiro Coast, Brazil**. Journal of Coastal Research, SI64:1850-1854. 2011.

FERREIRA Souza, et al. **As Ucs de Sabiaguaba (Fortaleza-Ceará, Brasil): Diagnóstico Geoambiental e Propostas de Gestão e Manejo** Revista Geográfica de América Central, vol. 2, julio-diciembre, 2011, pp. 1-17 Universidad Nacional Heredia, Costa Rica.

FILET, M. et al. **Gerenciamento costeiro e os estudos do Quaternário no Estado de São Paulo, Brasil**. Revista Pesquisas em Geociências, 28(2):475-486. Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil, 2001.

FONTENELLE, T. H., & CORRÊA, W. B. (2013) - **Urbanização efetiva e densidade de domicílios na região oceânica de Niterói (RJ) entre 1976 e 2010**. Caminhos De Geografia, 14(45). Recuperado de Disponível em: <<https://seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/18178>>. Acesso 12 junho 2021.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. Disponível em: <<http://www.fao.org/3/a0863e/a0863e00.pdf>>. Acesso: /05/2020.

GASPER, R, et al. **Social and economic impacts of climate change on the urban environment**. 2011 Elsevier. Disponível em: www.sciencedirect.com Acesso 12 junho 2021.

GI-GERCO/CIRM -Grupo de Integração do Gerenciamento Costeiro. **Guia de Diretrizes de Prevenção e Proteção à Erosão Costeira** – Brasília/DF, 2018.111 p.: il-ISBN 978-85-68813-13-3.

GITTMAN, R. K., et al. **Marshes with and without Sills Protect Estuarine Shorelines from Erosion Better than Bulkheads during a Category 1 Hurricane**. Ocean & Coastal Management 102: 94–102. doi:10.1016/j.ocecoaman.2014.09.016. 2014.

GODSCHALK, D. **Growth Management: Satan or Savior 2:** In Defense of Growth Management Journal of the American Planning Association 58,4:422. – 1992.

GOMES JUNIOR, G.A. **Aprimoramento do clima de ondas do SMC como subsídio ao estudo da erosão no litoral de Pernambuco** – Dissertação de Mestrado - Programa de Pós-Graduação em Oceanografia, Centro de Tecnologia e Geociências da Universidade Federal de Pernambuco. 2015. 149 f., il.

GONZALEZ, M., E. **EROS Modelo de Erosão/Sedimentação** - Santander, ES: IH - Cantábria., 2011.

HERBICH J.B., WALTERS T. **Wave climate. In: Climatology. Encyclopedia of Earth Science.** Springer, Boston, MA. https://doi.org/10.1007/0-387-30749-4_195, 1987.

HOEFEL, F. G. **Morfodinâmica de praias arenosas oceânicas: uma revisão bibliográfica.** Itajaí: Editora Univali, 1998.

HORTA, G. F. **Acelerômetros e sua aplicação no transporte de componentes para uma usina eólica** – Monografia - Universidade Federal De Ouro Preto Escola De Minas Colegiado Do Curso De Engenharia De Controle E Automação – Cecau -2020.

HONGWEI, Z. et al. **Research on the influence of balance weight parameters on the motion performance of the seafloor mapping AUV in vertical plane,** Ocean Engineering, Volume 109, 2015, Pages 217-225, ISSN 0029-8018

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Atlas geográfico das zonas costeiras e oceânicas do Brasil** / IBGE, Diretoria de Geociências. - Rio de Janeiro: IBGE, 2011 176p.

IAG USP - **Instituto de Astronomia Geofísica e Ciências Atmosféricas.**

Universidade de São Paulo (IAG USP) – 2020 – disponível em <<https://www.iag.usp.br/pos/meteorologia/portugues/dissertacOestestes/ciclones-subtropicais-sobre-o-Sudoeste-do-atl% C3% A2ntico-Sul-cl>>. Acesso: 12/6/ 2021

IOC Intergovernmental Oceanographic Commission. **Hazard awareness and risk mitigation in integrated coastal area management.** United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO), Manuals and Guides No 50, ICAM Dossier No 5, 141p., Paris, França. 2009.

IPCC, 2021. **Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change** [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.)]. Cambridge University Press. In Press.

IPCC, 2019. **Summary for policymakers. IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate**, H.- O. Pörtner et al., Eds. In Press.

IPCC Summary for policymakers. In: **Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, And Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution Of Working Group II To The Fifth Assessment Report Of The Intergovernmental Panel On Climate Change** [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L.White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 1-32.

IPCC. **The Physical Science Basis. Contribution Of Working Group I To The Fourth Assessment Report Of The Intergovernmental Panel On Climate Change** [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, M. Tignor, H. L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 pp., 2007.

JOHN, M.; JENA, B. K.; SIVAKHOLUNDU, K. M. **Surface current and wave measurement during cyclone Phailin** by high frequency radars along the Indian coast. *Current Science* (00113891), [s. l.], v. 108, n. 3, p. 405–409, 2015.

Disponível em:

<<http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=fst&AN=101021250&lang=pt-br&site=eds-live&scope=site>>. Acesso: 11 jul. 2021.

KLEIN, AHF. **Morphodynamics of Headland Bay Beaches**. 450 p. Tese de Doutorado (Ciências do Mar) – Universidade do Algarve, Faro, Portugal. 2004.

KLINGENBERG, D. **Caracterização da madeira da arborização urbana visando sua valorização em produtos com maior valor agregado** – Dissertação de mestrado – USP/ Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”.

KLUMB-OLIVEIRA, L.A. **Variabilidade Interanual do Clima de Ondas E Tempestades E Seus Impactos Sobre a Morfodinâmica de Praias do Litoral Sudeste do Estado do Rio de Janeiro** - Tese de doutorado submetida ao programa de pós-graduação em Geografia, pela Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2015.

KOMAR, P.D. **Beach Processes and Sedimentation, Englewood Cliffs** (New Jersey), Prentice-Hall, xii et 429, *Géographie physique et Quaternaire*, volume 32, number 2, 1978, p. 178–179. <https://doi.org/10.7202/1000349ar>.

KOMAR, P. D. **Beach processes and sedimentation**. 2. ed. New Jersey: Prentice-Hall, 1998.

LEVINTON, J.S. **Marine Biology: function, biodiversity, ecology**. Oxford. University Press. 420p: 1995.

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, 2005.

_____. **Risco, vulnerabilidade física à erosão costeira e impactos socioeconômicos na orla urbanizada do município de maricá, rio de janeiro -** Revista Brasileira de Geomorfologia - Ano 16, nº 2 2015.

LINS-DE-BARROS, F. M.; PAULA, D. P. de; SOUSA, P. H. G. **Vulnerabilidade costeira: conceitos, abordagens e aplicações.** In: MUEHE, D.; LINS-DE-BARROS, F. M.; PINHEIRO, L. (orgs.) Geografia Marinha: oceanos e costas na perspectiva de geógrafos. Rio de Janeiro: PGGM, 2020. p. 631-654. ISBN 978-65-992571-0-0

LUIJENDIJK, A.; et al. **The State of the World's Beaches.** Scientific Reports, v. 8, n.: 6641, 2018. <https://www.nature.com/srep/>.

MAGRIN, GO. et al. - **Central and South America. In: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change -** Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 1499-1566. 2014.

MANGOR et al. **Shoreline Managment Guidelines –** Published by DHI – Denmark. 2017.

MARCOLINI, S. **Ambiente urbano e geração de viagens – Niterói, um estudo de caso –** In: Dissertação de mestrado em Engenharia Urbana no Programa de engenharia urbana na Universidade Politécnica Federal do Rio de Janeiro. 2011.

MARTINS, A.L.G. **A macrofauna bentônica das praias arenosas expostas do Parque Nacional de Superagüi – PR: Subsídios ao Plano de Manejo -** Dissertação do Programa de Pós-graduação em Ecologia e Conservação, Setor de Ciências Biológicas da Universidade Federal do Paraná. 2007.

MARTINS L. R. e TOLDO JR. E.E. **Estoque arenoso da plataforma continental: um recurso estratégico para zona costeira –** GRAVEL n^o4 – 37-47 p. – South West Atlantic Coastal and Marine Geology Group – COMAR. CECO/IG/UFRGS. 2006.

MEEHL, G. A., et al. **How Much More Global Warming and Sea Level Rise?** Science, 307: 1769 - 1772, 2005.

MIGUENS, A. P. **Navegação a Ciência e a Arte,** 1996.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (Ed.). PEREIRA, F. C.; OLIVEIRA, M. R. L. de (Orgs.). **Plano nacional de gerenciamento costeiro: 25 anos do gerenciamento costeiro no Brasil.** Brasília: MMA, 2015. 181p.

_____. **AGENDA 21.** Capítulo 17. In: https://www.mma.gov.br/estruturas/agenda21/_arquivos/passoapasso.pdf Acesso :12.06.2021.

_____. **PROJETO ORLA: fundamentos para gestão integrada.** Brasília: MMA/SQA; Brasília: MP/SPU, 2002. 78p.

_____. **Macrodiagnóstico da Zona Costeira e Marinha do Brasil** – Brasília: MMA, 2008. 242 p.: il. color. 42 cm. ISBN 978-85-7738-112-8

MITCHELL, D. H., MICHAEL, A. K. **CoastSnap: A global citizen science program to monitor changing coastlines**, Continental Shelf Research, Volume 245, 2022,104796, ISSN 0278-4343, (2022).

MITCHELL, M., and D. M. BILKOVIC. **Embracing Dynamic Design for Climate-resilient Living Shorelines.** Journal of Applied Ecology 56: 1099–1105. doi:10.1111/1365-2664.13371. 2019.

MIZUBUTI, S. **O movimento associativo de bairro em Niterói (RJ).** Tese Doutorado. Universidade de São Paulo, São Paulo, 1986. 291 p.

MORRIS R., et al. **Developing a nature-based coastal defence strategy for Australia**, Australian Journal of Civil Engineering, 17:2, 167-176, DOI: 10.1080/14488353.2019.1661062. 2019.

MORRIS, R. L., T. M. et al. **From Grey to Green: Efficacy of Eco-engineering Solutions for Nature-based Coastal Defence.** Global Change Biology 24: 1827–1842. doi:10.1111/gcb.14063. 2018.

MUEHE, D. **Geomorfologia.** 2ed, cap. 6, pp. 291: 1994.

_____. **Estado morfodinâmico praias no instante da observação: uma alternativa de identificação.** São Paulo, Revista Brasileira de Oceanografia, 46 (2): 157-169. 1998.

_____. **Critérios morfodinâmicos para o estabelecimento de limites da orla costeira para fins de gerenciamento.** Revista Brasileira de Geomorfologia, v. 2, n. 1, p. 35-44, 2001.

_____. **Definição de Limites e Tipologias da Orla Sob os Aspectos Morfodinâmico e Evolutivo. Projeto Orla: subsídios de um projeto de gestão.** (2004) Ministério do Meio Ambiente,112007-30. Disponível em:<http://www.mma.gov.br/estruturas/orla/_arquivos/11_04122008110506.pdf> Acesso: 10 de maio de 2021.

_____. **Erosão e progradação do litoral brasileiro.** Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2006.

_____. **A zona costeira e sua vulnerabilidade frente à ocupação e às mudanças climáticas** – IX ENANPEGE – Encontro Nacional de Pós-graduação e Pesquisa em Geografia. 2009.

_____. **Erosão Costeira - Tendência ou Eventos Extremos? O Litoral entre Rio de Janeiro e Cabo Frio, Brasil.** In: Revista da Gestão Costeira Integrada 11(3):315-325, 2011).

_____. **Sistema praias: formas, termos, processos e medição.** In: MUEHE, D.; LINS-DE-BARROS, F. M.; PINHEIRO, L.S. (orgs.) Geografia Marinha: oceanos e costas na perspectiva de geógrafos. Rio de Janeiro: PGGM, 2020. p. 27-55. ISBN 978-65-992571-0-0.

MUEHE, D. et al. **Pulsos erosivos e resposta morfodinâmica associada a eventos extremos na costa Leste do estado do Rio de Janeiro.** In: Revista Brasileira de Geomorfologia, São Paulo, v.16, n.3, (Jul-Set) p.369-386, 2015.

NESSHÖVER, C. et al. **The science, policy and practice of nature-based solutions: An interdisciplinary perspective** - Science of the Total Environment 579 (2017) 1215–1227.

NEVES, C. F.; MUEHE, Dieter. - **Vulnerabilidade, impactos e adaptação a mudanças do clima: a zona costeira.** Parcerias estratégicas, v. 13, n. 27, p. 217-296, 2008.

NICOLODI, J.; GRUBER, N. - **Abordagem geográfica da Gestão Costeira Integrada.** In: MUEHE, D.; LINS-DE-BARROS, F. M.; PINHEIRO, L. (orgs.) Geografia Marinha: oceanos e costas na perspectiva de geógrafos. Rio de Janeiro: PGGM, 2020. p. 382-401. ISBN 978-65-992571-0-0.

NITERÓI. Lei nº 1.157, de 29 de dezembro de 1992. Aprova o **Plano Diretor do Município de Niterói.** Disponível em: <<http://urbanismo.niteroi.rj.gov.br>>. Acesso: maio de 2021.

OLIVEIRA, M.R.L. e NICOLÓDI, J.L. - **A Gestão Costeira no Brasil e os dez anos do Projeto Orla. Uma análise sob a ótica do poder público.** Revista da Gestão Costeira Integrada 12(1):89-98, 2012.

OLIVEIRA FILHO, S.R.; PEREIRA, T.G.; SILVA, A.L.C. LESSA, A.C.P. **Análise da propagação de ondas de tempestade através de simulações para a praia de Piratininga, Niterói – RJ.** 2018. Disponível em: <<http://www.sinageo.org.br/2018/trabalhos/2/2-258-1661.html>>. Acesso: maio de 2021.

OLIVEIRA, M. R. L.; NICOLÓDI, J. L. - **A Gestão Costeira no Brasil e os dez anos do Projeto Orla. Uma análise sob a ótica do poder público.** Revista de Gestão Costeira Integrada, v. 12, p. 89-98, 2012.

OLIVEIRA, J.F. **Identificação de áreas de sedimentos compatíveis na plataforma continental interna para recuperação de praias entre as cidades de Niterói e Macaé – RJ** – Dissertação de mestrado - Porto Alegre: IGEO/UFRGS, 2012.

OLSEN, S.B.; PAGE, G.G. & OCHOA, E. **The Analysis of Governance Responses to Ecosystem Change: A Handbook for Assembling a Baseline**. LOICZ Reports & Studies No. 34. GKSS Research Center, Geesthacht, 87 pages. 2009.

OLSON e DINERSTEIN **The Global 200: A Representation Approach to Conserving the Earth's Most Biologically Valuable Ecoregions**. Conservation Biology, 12:502-515. 2000.

PAIVA, M. et al. **Regeneração e resiliência: as intervenções urbanas recentes na Praça Roosevelt em São Paulo**. 121 Revista INVI, 35 (100), 115-142 doi:10.4067/S0718-83582020000300115, 2020.

PARISE, C. K.; CALLIARI, L. J.; KRUSCHE, N. **Extreme Storm Surges in the South of Brazil: Atmospheric Conditions**. Brazilian Journal of Oceanography, v. 57, n. 3, p. 1– 23, 2009.

PEREIRA, J. & CANDELLA, R. & CARVALHO, J. **O clima de ondas na costa Sul de arraial do cabo, rj: distribuição de parâmetros de onda**. Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology. 2000.

PAULA, D.P., et al. **Análise histórica das ressacas do mar em Fortaleza – CE: Origem, Características e Impactos**. In: D.V. Paula, & J.A.Dias (orgs) Ressacas do mar/temporais e gestão costeira, pp173-201, 2015.

PEDRUZZI, C. V. **Perfil Praial de Equilíbrio da Praia de Camburi. Vitória – ES**. Monografia de Graduação apresentado ao Departamento de Ecologia e Recursos Naturais da Universidade Federal do Espírito Santo, UFES, Vitoria – ES, 2005.

PEREIRA, T.G.; OLIVEIRA FILHO, S. G.; MORAES, C.P. R. A. & LESSA, A. C. P. **Impacto das Tempestades de 2016 em Orla Urbanizada: Arco Praial de Piratininga, Niterói – RJ** - Revista do Departamento de Geografia Universidade de São Paulo www.revistas.usp.br/rdg Volume Especial – XVII SBGFA/I CNGF 2017.

PEREIRA DA SILVA, C. **Gestão Litoral. Integração de estudos de percepção da paisagem e imagens digitais na definição da capacidade de carga das praias. Ilha do Pessegueiro. Lisboa Portugal**. Universidade Nova de Lisboa - Tese de Doutorado, p. 361, 2003.

PBMC. **Impacto, vulnerabilidade e adaptação das cidades costeiras brasileiras às mudanças climáticas: Relatório Especial do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas** [Marengo, J.A., Scarano, F.R. (Eds.)]. PBMC, COPPE - UFRJ. Rio de Janeiro, Brasil. 184 p. ISBN: 978-85-285-0345-6, 2016.

PIRES DO RIO, G.A. **Regulação de espaços marítimos: fronteiras, recursos e preservação.** In: MUEHE, D.; LINS-DE-BARROS, F. M.; PINHEIRO, L. (orgs.) Geografia Marinha: oceanos e costas na perspectiva de geógrafos. Rio de Janeiro: PGGM, 2020. p. 358-381. ISBN 978-65-992571-0-0.

PMN – Prefeitura Municipal de Niterói. **Diagnóstico Ambiental. Secretaria de Urbanismo e Meio Ambiente,** Prefeitura Municipal de Niterói 220 p. 1992.

_____. **A História da Cidade de Niterói.** Disponível em: <<http://urbanismo.niteroi.rj.gov.br>>. Acesso: abril de 2021.

PNUD – Relatório do Desenvolvimento Humano. **A próxima fronteira: O desenvolvimento humano e o Antropoceno,** 2020.

POLETTE, M. **Gestão e governança costeira e marinha.** In: MUEHE, D.; LINS-DE-BARROS, F. M.; PINHEIRO, L. (orgs.) Geografia Marinha: oceanos e costas na perspectiva de geógrafos. Rio de Janeiro: PGGM, 2020. p.292-340.

PONTEE, N.I., et al. **Building with nature: Lessons from around the world.** Maritime Engineering Journal, 169, 1, 29-36. 2016.

PSCHEIDT, I. **Influência de Episódios El Niño e La Niña na Frequência de Eventos Extremos de Precipitação no Sul do Brasil** – Dissertação de Mestrado - Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo. 2006.

REGUERO B.G., et al. **A Global Ocean Wave (GOW) calibrated reanalysis from 1948 onwards,** Coastal Engineering, Volume 65,2012, Pages 38-55, ISSN 0378-3839.

REIS, C. M. M. **Litoral de João Pessoa (PB) Frente ao Problema da Erosão Costeira.** Tese de doutorado apresentado ao Programa de Pós-graduação em Geociências da Universidade Federal de Pernambuco, UFPE, Recife – PE, 2008.

ROCHA, G. C. e TAVARES, A.C. **Política Nacional de Meio Ambiente e Gerenciamento Costeiro no Brasil** -Revista de Geociências do Nordeste, 01 novembro, 2016, Vol.2(1), pp.45-54.

RODRIGUEZ, A. B et al. **Oyster Reefs Can Outpace Sea-level Rise.** Nature Climate Change 4: 493–497. doi:10.1038/nclimate2216. 2014.

ROSENZWEIG, C. et al. **Summary for City Leaders. Urban Climate Change Research Network.** Columbia University. New York. 28p. 2015.

SANTOS, R. T. F. **Mudanças climáticas e a zona costeira: uma análise do impacto da subida do nível do mar nos recursos hídricos – o caso do Canal de São Francisco – Baía de Sepetiba – RJ** - Dissertação de Mestrado – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2012.

SEDDON N. et al. **Understanding the value and limits of nature-based solutions to climate change and other global challenges**. 2020 - Phil. Trans. R. Soc. B 375: 20190120. <http://dx.doi.org/10.1098/rstb.2019.0120>.

SHAN S., et al. **Role of green technology innovation and renewable energy in carbon neutrality: A sustainable investigation from Turkey**, Journal of Environmental Management, Volume 294,2021,113004, ISSN 0301-4797.

SHORT, A.D. **The role of wave height, period, slope, tide range and embaymentisation in beach classifications: a review**. Revista Chilena de História Natural. 69: 589-604. 1996.

SILVA, A.L.C., SILVA, M.A.M. e SANTOS, C.L. **Morfodinâmica e a estabilidade da praia de Piratininga, Niterói (RJ)**. In: Revista Brasileira de Geociências. 39(4): 685-694, dezembro de 2009.

SILVA, A.L.C. **Comportamento morfológico e sedimentológico do litoral de Itaipuaçu (Maricá) e Piratininga (Niterói), RJ, nas últimas três décadas**. Dissertação (Mestrado em Geologia e Geofísica Marinha) – Universidade Federal Fluminense – UFF – 2006.

SILVA, R.A.G.; CASSAR, J.C.M.; GUSMÃO, L.A.B. & ROSMAN, P.C.C. **Modelagem numérica de erosão da praia de Piratininga, Niterói – RJ por ação de ondas de tempestade** – XIV Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos – Campinas – SP – 2020.

SILVA, C.G.S.; FILIPPO, A.M.; COSTA, M.C.O. **Estudo da morfodinâmica na Praia de Piratininga, Rio de Janeiro, Brasil através do SMC – Brasil – X Congresso sobre Planejamento e Gestão das Zonas Costeiras dos Países de Expressão Portuguesa** – dezembro, 2021.

SOUZA, CRG. **Suscetibilidade morfométrica de bacias de drenagem ao desenvolvimento de inundações em áreas costeiras**. Revista Brasileira de Geomorfologia, Ano 6, nº 1, p. 45-62. 2005.

_____. **A erosão costeira e os desafios da gestão costeira no Brasil**. In: Journal of Integrated Coastal Zone Management 9(1):17-37, 2009.

_____. **Brazilian scientific programs in natural disasters**. In: IDRC Davos 2010 - International Disaster and Risk Conference, Davos (Suíça), 30/05 a 03/06/2010, Extended Abstracts (e-book), p.697-700. 2010a.

_____. **Impactos das mudanças climáticas no litoral do Estado de São Paulo (Sudeste do Brasil)**. In: VI Seminário Latino-Americano de Geografia Física e II Seminário Ibero Americano de Geografia Física, Coimbra (Portugal), 26-30/05/2010, (2010b) Actas, <http://www.uc.pt/fluc/cegot/VISLAGF/actas/tema4/celiaregina>, p.1-17.

_____. **Os ecossistemas costeiros frente às mudanças climáticas no Brasil: efeitos da elevação do nível do mar.** XIV Congresso Latino-Americano de Ciências do Mar - COLACMAR, Balneário Camboriú (SC). Boletim de Resumos Expandidos (CD-ROM). 2012.

SPALDING, M. D., et al. **The Role of Ecosystems in Coastal Protection: Adapting to Climate Change and Coastal Hazards.** *Ocean & Coastal Management* 90: 50–57. doi:10.1016/j.ocecoaman. 2013.09.007. 2014.

SWIFT, D.J.P. **Continental shelf sedimentation.** In: Stanley, D.J. e Swift, D.J.P., *Marine sediment transport and environmental management*, John Wiley & Sons, p.311-350, 1976.

TAGLIANI, C. R., et al. **Vulnerability to sea level rise of an estuarine island in southern Brazil.** *Quaternary and Environmental Geosciences*, v. 01, n. 1: 18-24, 2010.

TEMMERMAN, S. et al. **Ecosystem-based coastal defence in the face of global change.** *Nature*, v. 504, p. 79-83, 2013.

TIMILSINA, N. et al. **Tree biomass, wood waste yield and carbon storage changes in an urban forest.** *Land scape and Urban planning*, v.127, p.18-27, 2014.

UNITED NATIONS – UN HABITAT – Human Settlements Programme. **Cities and Climate Changes: Global report on human settlements**, 2011.

UNITED NATIONS UNIVERSITY - UN University's International Human Dimensions Programme on Global Environmental Change - UNU-IHDP. **Coastal Zones and Urbanization. Summary for Decision-Makers**, 2015.

UNITED NATIONS - **World Economic Situation and Prospects**, 2018.

USACE (US ARMY CORPS OF ENGINEERS). **Beach fill design.** In: USACE Coastal Engineering Manual, Chapter 4. Part V. Vicksburg, Mississippi, EM 1110-2-1100,2003a.0113p.

WEHRS, C. **Niterói, Cidade Sorriso: A história de um lugar.** Rio de Janeiro, p. 366. 1984.

WORLD BANK. **Natural Disaster Hotspots - A Global Risk Analysis.** Center for Hazards and Risk Research, Columbia University (www.ldeo.columbia.edu/chrr/research/hotspots). (2015).

_____. UNITED NATIONS - **Natural hazards, Unnatural Disasters: The Economics of Effective Prevention / The World Bank and The United Nations** (www.gfdrr.org/sites/gfdrr/files/publication/NHUD-ReportFull.pdf). (2010).

WUNDERLING, N., et al. **Global warming due to loss of large ice masses and Arctic summer sea ice.** *Nat Commun* 11, 5177 2020.

YIN, P. et al. **Coastal erosion in Shandong of China: status and protection challenges**. China Geology. 1. 512-521. 10.31035/cg2018073. 2018.