



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

**ANÁLISE DA PROPOSTA DE INTERVENÇÃO PARA O
PROCESSO EROSIVO DA FALÉSIA DO CABO BRANCO,
JOÃO PESSOA – PB**

EDUARDO GONÇALVES PATRIOTA

João Pessoa – PB

2021

EDUARDO GONÇALVES PATRIOTA

**ANÁLISE DA PROPOSTA DE INTERVENÇÃO PARA O
PROCESSO EROSIVO DA FALÉSIA DO CABO BRANCO,
JOÃO PESSOA – PB**

Monografia apresentada ao departamento de Engenharia Civil e Ambiental do Centro de Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba, Campus I, em cumprimento às exigências para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Fábio Lopes Soares

João Pessoa – PB

2021

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

P314a Patriota, Eduardo Gonçalves.

Análise da proposta de intervenção para o processo erosivo da Falésia do Cabo Branco, João Pessoa - PB / Eduardo Gonçalves Patriota. - João Pessoa, 2021.
81 f. : il.

Orientação: Fábio Lopes Soares.
TCC (Graduação) - UFPB/CT.

1. Movimentos de massa. 2. Erosão Marinha. 3. Contenção. 4. Dinâmica costeira. I. Soares, Fábio Lopes. II. Título.

UFPB/BSCT

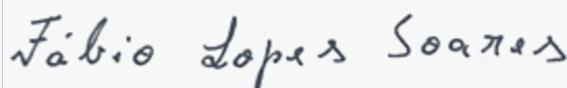
CDU 62

FOLHA DE APROVAÇÃO

EDUARDO GONÇALVES PATRIOTA

ANÁLISE DA PROPOSTA DE INTERVENÇÃO PARA O PROCESSO EROSIVO DA FALÉSIA DO CABO BRANCO, JOÃO PESSOA - PB

Trabalho de Conclusão de Curso em 05/07/2021 perante a seguinte Comissão Julgadora:



APROVADO

Fábio Lopes Soares
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB



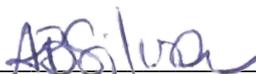
APROVADO

Aline Flávia Nunes Remígio Antunes
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB



APROVADO

Clóvis Dias
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB



Profª. Andrea Brasiliano Silva
Matrícula Siape: 1549557
Coordenadora do Curso de Graduação em Engenharia Civil

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por toda força e suporte dado nessa trajetória e em toda minha vida. Por ter sido refúgio e pilar necessário em tantos momentos, colocando pessoas incríveis em minha jornada e minha dando saúde para vencer.

A minha mãe e ao meu pai, por terem feito todo o possível e o impossível para que eu realizasse meus sonhos, dando suporte e afeto, sendo responsáveis pela minha educação e pela formação do adulto que sou hoje.

Aos meus irmãos por se fazerem presentes e apoiarem sempre os meus planos e objetivos, e por serem importantes no meu crescimento como ser humano.

Aos meus amigos de curso: Ana Carolina, Rayanne, Beatriz, Thiago, Rafaela, Larissa, Luanna e Elaine, que comigo enfrentaram momentos de persistência e que ao meu lado compartilharam dias de risada e dificuldades.

Aos meus amigos de vida: Victor, Caio, Marta, Rita, Ana Isis, Jefferson, Wilson, Taysande, Brenda e Aline, por estarem comigo e por apoiarem meu crescimento, bem como meus sonhos.

Aos professores Fábio, Clóvis e Aline por todo o ensinamento, auxílio e oportunidades.

A professora e coordenadora Andrea, por todo suporte e amizade.

Obrigado a todos, de todo meu coração!

Dedico este trabalho a Deus, a
minha família e aos meus
amigos que me deram suporte
para alcançar meus objetivos.

A felicidade não está na estrada
que leva a algum lugar. A
felicidade é a própria estrada.
(Bob Dylan)

RESUMO

O processo de degradação de encostas pela erosão marinha se dá por meio de um mecanismo complexo, composto pelas ações das chuvas, dos ventos, do homem e principalmente pelo mar. Tal processo acontece em toda faixa litorânea do Brasil, incluindo o local de estudo do referente trabalho, a Falésia do Cabo Branco. Um grande debate gira em torno desse gigantesco e importantíssimo cartão postal da cidade de João Pessoa – PB, e o presente trabalho aborda as principais causas de sua degradação e os principais agentes deflagradores dessa situação. Faz-se uma análise bibliográfica do tema, a fim de se descrever e caracterizar os movimentos de massa, juntamente com a caracterização da área de estudo quanto aos principais movimentos observados, clima, vegetação local, entre outros. Este documento também realiza um apanhado das diversas soluções implementadas pelo mundo que constituem alternativas de contenção a erosão marinha, como as obras longitudinais aderentes e não aderentes, obras transversais, alimentação artificial de praias e soluções com geossintéticos. Além disso, foi descrito e analisado de forma técnica a proposta de intervenção projetada e executada pela Prefeitura Municipal de João Pessoa, com o respaldo do conhecimento e opinião de alguns especialistas locais, no tocante a solução utilizada e suas consequências, citando também os impactos no transporte de sedimentos da Praia do Cabo Branco. Observa-se que o projeto e obra executados apresentam pontos negativos, como a ausência da execução de elementos de projeto, como engorda da praia e aterros junto ao enrocamento escolhido. O trabalho finaliza com sugestões de possíveis melhorias ao projeto executado, tendo em vistas os conhecimentos coletados e organizados no decorrer da pesquisa. São descritos pontos como a substituição do enrocamento pela utilização de geotubos, adoção do mecanismo de alimentação artificial de praia e gerenciamento da dinâmica costeira da cidade e regiões vizinhas, a fim de prever e observar os fenômenos de erosão e os locais mais vulneráveis.

Palavras-chave: Movimentos de massa, erosão marinha, contenção, dinâmica costeira.

ABSTRACT

The process of degradation of slopes by marine erosion takes place through a complex mechanism, composed of the actions of rain, wind, man and mainly by the sea. This process takes place throughout the coast of Brazil, including the study site of the related work, Falésia do Cabo Branco. A great debate revolves around this gigantic and very important postcard of the city of João Pessoa – PB, and this work addresses the main causes of its degradation and the main triggering agents of this situation. A bibliographical analysis of the theme is made, in order to describe and characterize the mass movements, together with the characterization of the study area regarding the main observed movements, climate, local vegetation, among others. This document also presents an overview of the various solutions implemented around the world that constitute alternatives to contain marine erosion, such as adherent and non-adherent longitudinal works, transversal works, artificial feeding of beaches and solutions with geosynthetics. In addition, the proposed intervention designed and implemented by the Prefeitura Municipal de João Pessoa was technically described and analyzed, with the support of the knowledge and opinion of some local experts, regarding the solution used and its consequences, also citing the impacts on the sediment transport from Cabo Branco Beach. It is observed that the project and work carried out have negative points, such as the lack of implementation of project elements, such as the fattening of the beach and embankments next to the chosen rockfill. The work ends with suggestions for possible improvements to the executed project, taking into account the knowledge collected and organized during the research. Points such as the replacement of rockfill by the use of geotubes, adoption of the artificial beach feeding mechanism and management of coastal dynamics in the city and neighboring regions are described, in order to predict and observe erosion phenomena and the most vulnerable places.

Keywords: Mass movements, marine erosion, containment, coastal dynamics.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Configurações geométricas de movimentos em falésias	23
Figura 2 - Localização geográfica da Falésia do Cabo Branco	27
Figura 3 - Localização da Falésia do Cabo Branco	28
Figura 4 - Perfil da Falésia do Cabo Branco	28
Figura 5 - Vegetação presente na Falésia com destaque para Estação Ciência.....	30
Figura 6 - Erosão pluvial em encostas	32
Figura 7 - Obra longitudinal aderente	34
Figura 8 - Erosão em paredões	35
Figura 9 - Erosão na praia de Massaguaçu.....	36
Figura 10 - Muro em pedra argamassada, seção A (H = 3,70 m).....	37
Figura 11 - Muro em pedra argamassada, seção B (H = 4,20 m).....	37
Figura 12 - Seção Tipo 1 (com muro).....	38
Figura 13 - Seção Tipo 2 (com muro remanescente).....	38
Figura 14 - Seção Tipo 3 (sem muro)	39
Figura 15 - Obra de intervenção na praia do Massaguaçu (2020-2021).....	40
Figura 16 - Obras longitudinais não aderentes (quebra-mares) em Olinda - PE.....	40
Figura 17 - Formação de tômbolos excessivos em Paulista - PE	41
Figura 18 - Espigão de João Cordeiro em Fortaleza - CE.....	44
Figura 19 - Campo de espigões de praia em Fortaleza - CE	45
Figura 20 - Esquema da praia artificial com utilização de soleira submersa	46
Figura 21 - Evolução das despesas com defesa costeira nos EUA, em função do tipo de intervenção utilizada: alimentação artificial de praias (beach nourishment) e estruturas costeiras (structures)	47
Figura 22 - Praia da Cova Redonda (Lagoa - Portugal) antes da alimentação artificial de praia (2010)	48
Figura 23 - Praia da Cova Redonda (Lagoa - Portugal) depois da alimentação artificial de praia	48
Figura 24 - Obra de alimentação artificial na Praia D. Ana, Lagos (Algarve) - Portugal	49
Figura 25 - Controle de processos erosivos com geossintéticos	52
Figura 26 - Controle de processos erosivos com geossintéticos	52
Figura 27 - Geotubo sobre a faixa de areia na praia de Moledo, em Caminha, Portugal	54

Figura 28 - Geotubo durante a tempestade.....	55
Figura 29 - Geotubo após a tempestade	56
Figura 30 - Geocontainers na praia de Maroochydore, Austrália.....	56
Figura 31 - Geogrelhas aplicadas em taludes	57
Figura 32 - Manta geotêxtil para drenagem	58
Figura 33 - Seção transversal de talude protegido com geocélula.....	59
Figura 34 - Execução da obra de drenagem em 01/08/2019	61
Figura 35 - Bacias de contribuição da área continental da Falésia do Cabo Branco	61
Figura 36 - Concepção dos coletores de drenagem urbana (Parte 1).....	62
Figura 37 - Concepção dos coletores de drenagem urbana (Parte 2).....	62
Figura 38 - Detalhe do enrocamento de proteção	64
Figura 39 - Deterioração da calçada, Orla do Cabo Branco.....	66
Figura 40 - Enrocamento concluído na Falésia do Cabo Branco	71

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação dos movimentos de massa	20
Tabela 2 - Características dos principais movimentos de encosta na dinâmica ambiental brasileira	20
Tabela 3 - Classificação dos agentes deflagradores do movimento de encostas.....	22
Tabela 4 - Tipos de quebra-mares.....	42
Tabela 5 - Obras realizadas na Falésia do Cabo Branco	60

LISTA DE ABREVIATURA E SIGLAS

EIA – *Estudo de Impacto Ambiental*

IBAMA – *Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis*

IBGE – *Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística*

IGS – *International Geosynthetic Society*

RIMA – *Relatório de Impacto Ambiental*

SECOM – *Secretaria Municipal de Comunicação Social*

SEINFRA – *Secretaria Municipal de Infraestrutura*

SEPLAN – *Secretaria Municipal de Planejamento*

SUDEMA – *Superintendência de Administração do Meio Ambiente*

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	16
1.1 Objetivos.....	17
1.1.1 Objetivo geral.....	17
1.1.2 Objetivos específicos.....	17
1.2 Organização do trabalho.....	18
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
2.1 Movimentos gravitacionais de massa.....	19
2.2 Análise de Estabilidade de Taludes.....	22
2.3 Soluções de estabilização de taludes em zonas costeiras	24
3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	26
4. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	27
5. CARACTERIZAÇÃO DO PROCESSO EROSIVO DA FALÉSIA DO CABO BRANCO	31
6. ALTERNATIVAS DE CONTENÇÃO APLICÁVEIS E ESTUDOS DE CASO .	33
6.1 Obras longitudinais aderentes.....	33
6.2 Obras longitudinais não aderentes	40
6.3 Obras transversais	43
6.4 Alimentação artificial de praias	45
6.5 Diques.....	49
6.6 Aplicação de Geossintéticos	50
6.6.1 Geotubos no controle da erosão	54
6.6.2 Geocontainers e geossacos no controle da erosão	56
6.6.3 Geogrelha no controle da erosão.....	57
6.6.4 Geotêxtil no controle da erosão	58
6.6.5 Geocélula no controle da erosão	58

7. ANÁLISE DA PROPOSTA DE INTERVENÇÃO DA PREFEITURA MUNICIPAL DE JOÃO PESSOA – PB	60
7.1 Intervenção na área continental da Falésia do Cabo Branco – etapa 1	60
7.2 Contenção do processo de erosão marinha da Falésia do Cabo Branco e da Praia do Seixas – etapa 2.....	63
7.3 Construção de quebra-mares – etapa 3	65
8. A INTERVENÇÃO E O DEBATE ENTRE PROFISSIONAIS LOCAIS	66
9. RESULTADOS E DISCUSSÕES	69
9.1 Intervenção na área continental da Falésia do Cabo Branco – etapa 1	69
9.2 Contenção do processo de erosão marinha da Falésia do Cabo Branco e da Praia do Seixas – etapa 2.....	70
9.3 Construção de quebra-mares – etapa 3	72
10. CONCLUSÃO	74
11. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	75
APÊNDICE A – Dados quantitativos da proteção das falésias.....	80
APÊNDICE B – Disposição dos quebra-mares.....	83

1. INTRODUÇÃO

O estudo da estabilidade de encostas, bem como a busca por soluções de recuperação de taludes constitui uma iniciativa importante na busca pela segurança de vidas humanas, pois através de uma análise adequada, pode-se obter alternativas que contornem os danos causados pelos movimentos de massa. Tais movimentos constituem, um conjunto de desastres que apresenta o maior grau de ocorrência no mundo, assim como enchentes. Estimativas mostram que a quantidade registrada desses movimentos no mundo, supera as de outras ameaças naturais, como vulcões e furacões (Chen Lee, 2004).

Esses fenômenos estão presentes tanto no interior do território brasileiro, quanto nas cidades que se localizam na zona costeira do país. Segundo French (1997), essas zonas apresentam uma grande fragilidade e vulnerabilidade às intervenções antrópicas, decorrentes da complexidade de ambientes resultantes da interação terra/mar. Trata-se de um espaço que está em constante modificação e que possui riqueza natural, apresentando diversos ecossistemas como mangues, praias, campos de dunas, estuários, além de outros ambientes.

Diante disso, é de extrema importância mitigar os efeitos de degradação e evitar os movimentos de massa nessas áreas. Estima-se que cerca de 26,58% da população vive em municípios de Zona Costeira, segundo dados do IBGE (2011, p. 117). Grande parte dessa população está ligada as atividades atreladas ao turismo e atividades que permeiam o ambiente costeiro.

Assim, mostra-se ainda mais importante preservar esses locais, garantindo a execução das atividades econômicas locais, bem como a preservação e a segurança de uma parcela considerável da população brasileira.

A erosão costeira resulta da degradação do material da costa pela ação das ondas que possuem um elevado poder de destruição. Os problemas decorrentes desse processo são cada vez mais agravados pela falta de planejamento do uso do solo e também pela elevação do nível do mar (Santos Jr., O. F., 2008).

A linha de costa do Nordeste Brasileiro é formada por falésias pertencentes à Formação Barreiras, tipo de formação que é extremamente modificada pela erosão costeira. A Falésia do Cabo Branco, objeto de estudo do presente trabalho, se localiza nessa formação e constitui um dos pontos turísticos mais importantes da cidade de João

Pessoa – PB, estando entre praias movimentadas da cidade, como a Praia do Cabo Branco e Praia do Seixas, que apresentam grande volume de turistas ao longo do ano.

Tendo em vista esse contexto, é de suma importância garantir a segurança da população, além de ser necessário por luz na preocupação referente ao patrimônio econômico do local, no qual o seu assolamento pode colocar em risco construções já concebidas como a Estação Cabo Branco – Ciência, Cultura e Artes e o Farol de Cabo Branco, pontos que se localizam sobre a falésia.

Portanto, o presente trabalho possui o intuito de analisar a proposta de intervenção apresentada e implantada pelos órgãos públicos locais a fim de mitigar os efeitos dos fatores morfológicos, naturais e até mesmo antrópicos que comprometem a integridade e a permanência física desse cartão postal paraibano e nordestino.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

O presente trabalho tem como principal objetivo avaliar a proposta de intervenção apresentada pela Prefeitura Municipal de João Pessoa, para a contenção dos processos erosivos da Falésia do Cabo Branco, apresentando os pontos positivos e negativos que possam ser identificados.

1.1.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos da corrente pesquisa são executar as seguintes etapas que serão cruciais para a concretização do produto:

- a) Identificar as principais causas do processo erosivo da falésia, classificando os movimentos de massa presentes;
- b) Apresentar vantagens e desvantagens da proposta de intervenção para a falésia, apontando pontos passíveis de modificação (quando houver);
- c) Fazer uma análise bibliográfica das principais soluções de proteção costeira aplicadas.

1.2 Organização do trabalho

O presente trabalho se organiza em capítulos que possuem as seguintes descrições e especificações quanto ao seu respectivo conteúdo:

- a) O capítulo presente, trata-se da introdução.
- b) O capítulo 2 comporta a revisão bibliográfica realizada, conceituando temas como movimentos gravitacionais de massa e análise de estabilidade de taludes.
- c) Em seguida, o capítulo 3 descreve a metodologia utilizada na pesquisa.
- d) Posteriormente, o capítulo 4 caracterizará a área de estudo.
- e) O capítulo 5 corresponde a descrição e análise do processo erosivo presente no local.
- f) O capítulo 6, traz um apanhado de alternativas de contenção para a erosão costeira, realizadas em diversas partes do mundo.
- g) Seguidamente, tem-se o capítulo 7, no qual é descrita e apresentada a proposta de intervenção para a Falésia do Cabo Branco, realizada pelo Poder Público Municipal.
- h) O capítulo 8, corresponde a coleta de opinião de dois especialistas locais, que se envolveram com a temática de forma técnica, analisando pontos da obra executada.
- i) O capítulo 9, traz a análise feita nesse estudo, enfatizando pontos positivos e negativos da intervenção adotada, bem como fazendo sugestões e citando outros tipos de solução.
- j) Por fim, o capítulo 10, comporta a conclusão da pesquisa.
- k) O capítulo 11, lista as referências bibliográficas utilizadas no presente estudo, seguido dos apêndices A e B.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Movimentos gravitacionais de massa

Os movimentos de massa podem ser definidos como quaisquer deslocamentos de um volume de solo ou rocha. A temática tem sido objeto de estudo em diversos países do mundo, se baseando principalmente nos aspectos referentes aos agentes e causas do acontecimento dos mesmos.

Os movimentos gravitacionais de massa estão intimamente atrelados aos processos erosivos e estão relacionados a dinâmica da camada superficial da Terra. Tais movimentos estão associados a problemas de instabilidade de encostas (Gerscovich, 2012). Segundo Fernandes e Amaral (2006), os deslizamentos de terra são, assim como os processos de intemperismo e erosão, fenômenos naturais contínuos de dinâmica externa, que modelam a paisagem da superfície.

Guerra (2003) afirma que a gravidade e a declividade da superfície possuem um papel importante na ocorrência desses movimentos. A água também se mostra um fator significativo e intensificador dos movimentos de solos e rochas.

Para Fiori (1995) a força gravitacional ocasiona tensões cisalhantes no interior do solo e entre suas camadas. Tais tensões são responsáveis pelos movimentos e aumentam em função da declividade e altura das encostas, do peso específico do solo e da presença de água, uma vez que a água se acumula nos planos de ruptura, minimizando a resistência do solo através do efeito da pressão neutra.

Com o passar dos anos, muitos estudos referentes a esse tema, produziram denominações e classificações para esses fenômenos. Esse processo de classificação possibilita a padronização do fenômeno em estudo e facilita a comunicação entre especialistas e profissionais da área de estudo. Além disso, é de extrema importância o estudo e entendimento das características que são peculiares para cada tipo de movimento de massa, como por exemplo a velocidade, potencial destrutivo, profundidade, entre outros. Existem diversas propostas de sistemas de classificação, como por exemplo, de Varnes (1978), Hutchinson (1968), Guidicini e Nieble (1983) e Cruden e Varnes (1996).

A classificação de Varnes (1978) é amplamente utilizada internacionalmente, na qual em cada tipo de movimento é indicado o material envolvido, como mostrado na Tabela 1. Nessa classificação os movimentos descritos são as quedas (*falls*), tombamentos

(*topless*), escorregamentos (*slides*), espalhamentos (*lateral spreads*), corridas (*flows*) e os movimentos complexos (*complex*). Os materiais descritos dividem-se em rocha e solo, que por sua vez se subdivide em predominantemente grosseiro e predominantemente fino.

Tabela 1 - Classificação dos movimentos de massa

Tipo de Movimento	Rocha	Solo Grosseiro	Solo Fino
Queda	Queda de Rocha	Queda de detritos	Queda de terra
Tombamento	Tombamento de rocha	Tombamento de detritos	Tombamento de terra
Deslizamento rotacional	Abatimento de rocha	Abatimento de detritos	Abatimento de terra
Escorregamento translacional	Escorregamento de blocos rochosos	Escorregamento de detritos	Escorregamento de terra
Espalhamento	Expansão de rocha	-	Expansão de terra
Escoamento ou fluxo	Rastejo de rocha (profundo)	Corrida de detritos	Corrida de areia/Corrida de terra
Complexos: combinação de dois ou mais tipos de movimentos de massa			

Fonte: Adaptado de Varnes (1978)

Com o intuito de adaptar a classificação dos movimentos de massa a ambientes mais próximos da realidade brasileira e típicos de regiões tropicais, Augusto Filho (1992), revisou o estudo e proposta de classificação elaborada por Varnes (1978) e criou a classificação comumente aceita pela comunidade de pesquisadores, autores de livros e entidades governamentais. O sistema proposto, baseia-se na junção de três fatores: tipo de material, granulometria do material que compõe a encosta e tipo de movimento, dividindo os movimentos em quatro classes: rastejos ou fluência (*creep*), escorregamentos (*slides*), quedas (*falls*) e corridas (*flows*) e estão associadas às características, tais como materiais, velocidade e geometria mobilizada.

Tabela 2 - Características dos principais movimentos de encosta na dinâmica ambiental brasileira

Tipo de Movimento	Características do movimento, material e geometria
Escorregamentos (<i>slides</i>)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Poucos planos de deslocamento (externos) ▪ Velocidades médias (m/h) a altas (m/s) ▪ Pequenos a grandes volumes de material ▪ Geometria e matérias variáveis ▪ Planares – Solos pouco espessos, solos e rochas com um plano de fraqueza ▪ Circulares – Solos espessos homogêneos e rochas muito fraturadas ▪ Em cunha – Solos e Rochas com dois planos de fraqueza
Rastejos (<i>creep</i>)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Vários planos de deslocamento (internos)

	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Velocidades muito baixas (cm/ano) a baixas e decrescentes com a profundidade ▪ Movimentos constantes, sazonais ou intermitentes ▪ Solo, depósitos, rocha alterada/fraturada ▪ Granulometria indefinida
Quedas (<i>falls</i>)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Sem planos de deslocamento ▪ Movimento tipo queda livre ou em plano inclinado ▪ Velocidades muito altas (vários m/s) ▪ Material rochoso ▪ Pequenos e médios volumes ▪ Geometria variável: lascas, placas, blocos, etc ▪ Rolamento de matacão ▪ Tombamento
Corridas (<i>flows</i>)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Muitas superfícies de deslocamento (internas e externas à massa em movimentação) ▪ Movimento semelhante ao de um líquido viscoso ▪ Desenvolvimento ao longo das drenagens ▪ Velocidades médias e altas ▪ Mobilização de solo, rocha, detritos e água ▪ Grandes volumes de material ▪ Extenso raio de alcance, mesmo em áreas planas

Fonte: Augusto Filho (1992)

Augusto Filho e Virgilli (1998) comentam que, geralmente as classificações modernas têm seu fundamento na combinação dos seguintes critérios: velocidade, direção e recorrência dos deslocamentos; natureza do material instabilizado; geometria das massas movimentadas e modalidade de deformação dos movimentos. Ademais, relacionam os principais agentes condicionantes para a ocorrência dos movimentos de massa e fenômenos parecidos ocorridos no contexto ambiental brasileiro:

- Características climáticas, com destaque para o regime de chuvas;
- Características e distribuição dos materiais presentes nas encostas/taludes, abrangendo solos, rochas, depósitos e estruturas geológicas (fraturas, xistosidade, entre outros);
- Características geomorfológicas, com destaque para amplitude, inclinação e forma da superfície das encostas (retilíneo, côncavo e convexo);
- Regime das águas na superfície;
- Características do uso e ocupação do solo, nas quais estão a cobertura vegetal presente e as diferentes intervenções antrópicas no local, como cortes, aterros, encaminhamento de águas pluviais e servidas, etc.

Identificar as causas desses fenômenos possibilita prevê-los e facilita a obtenção de soluções mitigadoras, a fim de minimizar as suas consequências. A Tabela 3 traz a

discriminação das causas de falta de estabilidade de encostas elaborada por Varnes (1978), o qual separa os agentes causadores em dois grandes grupos, responsáveis pela redução da resistência e responsáveis pelo aumento da sollicitação:

Tabela 3 - Classificação dos agentes deflagradores do movimento de encostas

Ação	Fatores	Fenômenos Geológicos/Antrópicos
Aumento da sollicitação	Remoção de massa (lateral ou de base)	Erosão, escorregamentos e cortes
	Sobrecarga	Peso da água das chuvas, acúmulo natural de material (depósitos), peso da vegetação, construções de estruturas, aterros, etc.
	Sollicitações Dinâmicas	Terremotos, ondas, vulcões, explosões, tráfego, sismos induzidos
	Pressões Laterais	Água em trincas, congelamento e material expansivo
Redução da resistência ao cisalhamento	Características inerentes ao material (geometria, estruturas, etc)	Características geotécnicas do material, tensões iniciais
	Mudanças ou fatores variáveis	Ação do intemperismo provocando alterações físico-químicas, redução da coesão e ângulo de atrito, elevação do nível d'água e variação das poropressões, aumento da umidade e redução da sucção, variações climáticas provocando o umedecimento e a secagem

Fonte: Varnes (1978)

2.2 Análise de Estabilidade de Taludes

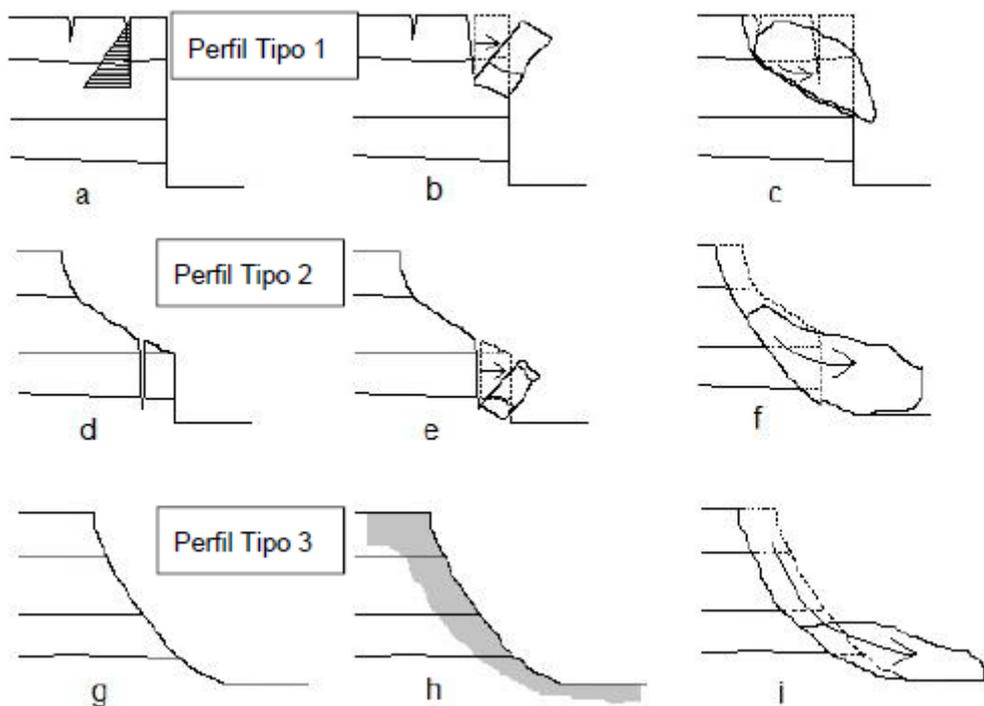
O estudo referente a este tópico, nada mais é do que a busca pela previsão do comportamento de um determinado talude, afim de se determinar a sua condição de ruptura, condição na qual são deflagrados os movimentos de massa. A ruptura é alcançada na formação de uma superfície de cisalhamento (ou superfície de ruptura), na qual o material perde as suas características de resistência, definidas principalmente pelo ângulo de atrito e coesão. Assim, atingido um determinado limite, com a ação deflagradora de fatores climáticos, geológicos e antrópicos, atinge-se a ruptura do corpo de solo ou rocha.

Os taludes são definidos por Augusto Filho e Virgilli (1998) como “superfícies inclinadas de maciços terrosos, rochosos ou mistos (solo e rocha), originados de processos

geológicos e geomorfológicos diversos”. Os autores acrescentam ainda que tais superfícies podem ter sofrido ou não a ação humana no seu processo de formação.

No estudo de Santos Jr. *et al.* (2008), o autor identificou os principais perfis de falésia presentes no litoral do Rio grande do Norte, citando ainda os movimentos presentes nesses locais, listando assim as três configurações de geometrias típicas da região, presentes na Figura 1:

Figura 1 – Configurações geométricas de movimentos em falésias



Fonte: Santos Jr. *et al.* (2008)

Segundo o autor, as falésias do tipo I estão mais sujeitas a ocorrência de tombamentos no topo, bem como queda de blocos e escorregamentos nessa região. Tal situação está relacionada a umidade que se encontra o material desse ponto, advinda da ação das chuvas.

Posteriormente, Santos Jr. *et al.* (2008) define o tipo II como sendo uma situação dupla, na qual a parte inferior tem face vertical e a parte superior possui uma inclinação que varia de 45° a 60° . Tal configuração geométrica permite a ocorrência de tombamentos na face inferior, e conseqüentemente a desestabilização do material da face superior, ocorrendo assim o deslizamento visto na Figura 1.

Por fim, o último perfil, de tipo III, é definido pelo autor como uma face totalmente inclinada, com uma variação entre 40° e 50° e apresentam os escorregamentos

como movimentos de massa típicos dessa configuração, ocorridos principalmente pela variação de umidade no solo do talude.

2.3 Soluções de estabilização de taludes em zonas costeiras

A preocupação com a segurança nas zonas costeiras bem como a sua estabilidade, têm levado a diversos estudos que buscam estabelecer diretrizes e soluções de obras em defesa dos litorais. Tais tipos de obra objetivam principalmente conter os efeitos da degradação ocasionados pela erosão.

Segundo Nascimento (2009), em muitos casos se optam por medidas não estruturais como métodos de defesa do litoral contra possíveis erosões. O autor acrescenta ainda que, tais medidas são as mais indicadas, pois não possuem qualquer tipo de interferência no meio ambiente local. Em seu estudo ele cita as seguintes medidas naturais:

- Determinação da faixa não edificável para conservação da praia natural;
- Limitação da extração de fluidos do subsolo;
- Limitação da mineração nas bacias contribuintes ao transporte litorâneo;
- Privilegiar o desenvolvimento urbano em profundidade (normal a costa) e não concentrado na orla;
- Evitar edificações de gabarito alto que afetem a circulação eólica.

Existem também as medidas estruturais, que de acordo com Alfredini (2005), têm a função de favorecer a estabilização ou a ampliação da linha de costa, defendendo-a contra a erosão. Tais tipos de obras geram uma nova condição de equilíbrio na dinâmica da costa, e quando mal estudadas ou improvisadas, podem agravar os efeitos da erosão da área ou regiões vizinhas.

Segundo Alfredini (2005), o comportamento da solução de engenharia adotada deve ser avaliado considerando as condições extremas da região onde a mesma será inserida, pois somente assim se tem um parecer sobre as vantagens e desvantagens de determinada obra.

Para Alfredini (2005) existem os seguintes exemplos de interferências advindas de obras em zonas costeiras:

- Mudanças na taxa e/ou características dos sedimentos da costa – o engordamento da praia é um tipo de obra que pode causar isso;

- Mudança no nível do fluxo de energia das ondas em direção a costa – pode ser causada pela utilização dos quebra-mares;
- Interferência no processo de transporte de sedimentos costeiros – pode ser causada pela ação dos espigões.

Nascimento (2009) em seu estudo traz uma breve classificação dos tipos de obras que podem ser implementadas em zonas costeiras a fim de mitigar sua degradação:

a) Quanto à natureza:

- Naturais: quando a própria morfologia e geologia local funcionam como defesa da costa contra as intervenções do mar sobre ela;
- Artificiais: quando são necessárias medidas estruturais para defender a costa contra a erosão.

b) Quanto à característica do transporte litorâneo:

- As de transporte de rumo dominante devem dispor de obras perpendiculares à costa;
- As de transporte insignificante ou nulo necessitam de obras paralelas à costa;

c) Quanto à localização:

- Transversais conectadas à costa – espigões;
- Aproximadamente paralelas e não enraizadas (conectadas) à costa – quebra-mares;
- Obras longitudinais aderentes (paredões);
- Alimentação artificial de areia;
- Fixação de dunas, proteção de escarpas.

3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Inicialmente, vale salientar que o presente trabalho é de cunho exclusivamente teórico, uma vez que será executado e elaborado no contexto da pandemia global do COVID-19, o que impossibilita qualquer realização de estudos em campo e em laboratório, uma vez que se faz necessário seguir as recomendações das organizações de saúde e orientações da Coordenação do Curso de Engenharia Civil da referida Universidade.

A etapa inicial do trabalho será a consolidação dos conceitos e conteúdos sobre o tema, através da análise bibliográfica de estudos referentes a formação geológica estudada, bem como a pesquisa e busca de estudos previamente feitos no local do estudo de caso.

Nessa etapa serão vistos e revistos os conceitos referentes a análise de estabilidade de taludes, associado ao estudo de formação barreiras, formação típica do local. Além disso, o referencial teórico possibilitará o esclarecimento de conceitos relativos aos movimentos gravitacionais de massa, as principais classificações desses movimentos e a conceituação dos tipos de erosão, com ênfase para os aspectos relativos à erosão costeira.

Posteriormente será feita a caracterização da região, apresentando suas peculiaridades referentes a relevo, vegetação, clima, dentre outros aspectos.

Em seguida o estudo citará os principais tipos de soluções de estabilização em zonas costeiras, de acordo com a classificação de Nascimento (2009).

Com essa classificação, o trabalho segue buscando e descrevendo os tipos de obras aplicáveis e que podem mitigar os danos causados pela erosão costeira na Falésia do Cabo Branco, citando também alguns casos nos quais essas soluções foram aplicadas e efetivadas.

Por fim, o estudo adentrará no projeto elaborado e executado pela Prefeitura Municipal de João Pessoa, que se destinou a minimizar a degradação da Falésia do Cabo Branco bem como conservar o cartão postal da cidade. O estudo buscará também coletar a opinião de alguns especialistas que se envolveram com a problemática. Serão apresentadas as vantagens e as desvantagens referentes ao projeto executado, bem como a apresentação de melhorias que possam ser vistas como necessárias, concluindo assim a presente análise.

4. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A Falésia do Cabo Branco ou Barreira do Cabo Branco, como é comumente conhecida pela população local, está localizada na zona costeira da cidade de João Pessoa, capital do estado da Paraíba, ponto indicado na Figura 2. Sua extensão é compreendida entre as coordenadas 7° 8' 44,51" S e 34° 48' 11,42" O (Praça de Iemanjá) e 7° 9' 2,37" S e 34° 47' 43,81" O (Início da Praia do Seixas).

Figura 2 - Localização geográfica da Falésia do Cabo Branco



Fonte: Google Maps

Percorrendo aproximadamente 1,17 Km de extensão, se situa no Bairro de Cabo Branco e constitui um dos pontos turísticos da cidade, ficando próxima a locais como o Farol do Cabo Branco e a Estação Cabo Branco – Ciência, Cultura e Artes, indicados na figura 3:

Figura 3 - Localização da Falésia do Cabo Branco



Fonte: Google Earth

Tipicamente, possui como constituição principal a Formação Barreiras. De acordo com Lima Filho (1998), toda a faixa costeira da Paraíba está inserida na Bacia Sedimentar Costeira Paraíba, e a área estudada, especificamente, pertence a Sub - Bacia Alhandra. A Figura 4 põe em destaque o perfil do local de estudo:

Figura 4 - Perfil da Falésia do Cabo Branco



Fonte: Portal Click PB

A faixa costeira da capital paraibana apresenta uma morfologia na qual se destacam dois domínios geomorfológicos distintos, os Baixos Planaltos Costeiros e a Baixada Litorânea (Reis *et. al*, 2008). Os Baixos Planaltos Costeiros, são sustentados pela Formação Barreiras e, geralmente, possuem superfícies aplainadas, inclinadas de forma suave para o mar. Sua constituição é predominantemente de sedimentos areno-argilosos de coloração avermelhada.

De acordo com Moura-Fé (2014), os estudos científicos sobre a Formação Barreiras foram iniciados com Branner em 1902, que mencionou pela primeira vez o termo “Barreiras” para dar nome aos depósitos situados ao longo da costa nordestina, associando a feição morfológica aos sedimentos que descreveu nas imediações de cidades pernambucanas (MAIA, 1988; 1993; SAADI E TORQUATO, 1992; ALHEIROS *et al.*, 1988).

Essa formação foi a primeira unidade estratigráfica documentada no Brasil, por ocasião da redação de Pero Vaz de Caminha ao Rei de Portugal, D. Manuel I. Esta unidade se estende ao longo do litoral brasileiro, desde Rio de Janeiro até o estado do Amapá no litoral norte, recobrando depósitos sedimentares mesozoicos de diversas bacias costeiras. Este é o substrato sobre o qual se desenvolve a maior parte do Quaternário costeiro do Brasil.

Segundo os autores Alheiros e Ferreira (1991), a Formação Barreiras possui tonalidades com coloração viva, no que diz respeito a sua composição e textura, variando desde vermelhas, amarelas e até brancas, que afloram nas falésias erodidas pelas praias. Os mesmos acrescentam ainda, do ponto de vista litológico, a presença de areias quartzosas, nas quais em sua base se desenvolvem níveis endurecidos de ferro, impermeabilizando essas areias. Essa litologia é dominante em João Pessoa – PB e outras cidades do litoral paraibano e potiguar. As diferentes cores presentes no corpo do talude, decorrem dos diferentes estágios de oxidação do ferro.

Com relação ao clima local, o litoral apresenta clima tropical úmido bem definido, com chuvas abundantes durante o outono e inverno e seca no verão, resultando em uma média anual acima de 1800 mm, com índices relativamente elevados de umidade do ar, bem como temperatura média anual de 27 °C (ATLAS GEOGRÁFICO DO ESTADO DA PARAÍBA, 2017).

A vegetação presente na cidade possui quatro formações: a vegetação pioneira, a mata de restinga, os manguezais e a mata úmida. A Falésia do Cabo Branco apresenta em sua composição, abundância da mata de restinga, do tipo arbustiva de densidade variável,

possuindo árvores de porte médio (10-15m), tronco de diâmetros pequenos, copas largas e irregulares (Souza, 2010), como pode ser observado na Figura 5:

Figura 5 - Vegetação presente na Falésia com destaque para Estação Ciência



Fonte: Poupa Turismo

5. CARACTERIZAÇÃO DO PROCESSO EROSIVO DA FALÉSIA DO CABO BRANCO

Especificamente, para a Barreira do Cabo Branco, os movimentos de massa ocorrem por diversos fatores, o principal deles é a erosão ocasionada pela ação do mar.

Entende-se por erosão, o processo de remoção das partículas do solo partindo das áreas mais elevadas do relevo pela ação da água e do vento, resultando no transporte e deposição dessas partículas nas áreas de menor altitude do relevo, ou para o fundo dos corpos d'água (LEPSCH, 2002). Segundo Lepsch (2010), o mais ou o menor grau de suscetibilidade que os solos apresentam frente a erosão está condicionado a natureza do solo, ao clima, a declividade do terreno e ao manejo desse solo.

No Brasil, é comum a ocorrência de áreas associadas a tais fenômenos em grandes cidades, incluindo as localizadas em regiões litorâneas, onde predominam, normalmente, relevos colinosos e/ou tabulares, além de um expansivo processo de urbanização (REDIVO et al., 2004; ZAIDAN; FERNANDES, 2009; VIEIRA et al., 2010; LISTO; VIEIRA, 2012).

O processo de erosão costeira ocorre por diversas razões, nas quais se destacam a urbanização e ocupação desordenada de ambiente de praia, aterro indiscriminado de ecossistemas como os mangues, a interferência antrópica e as mudanças climáticas decorrentes dos fenômenos naturais.

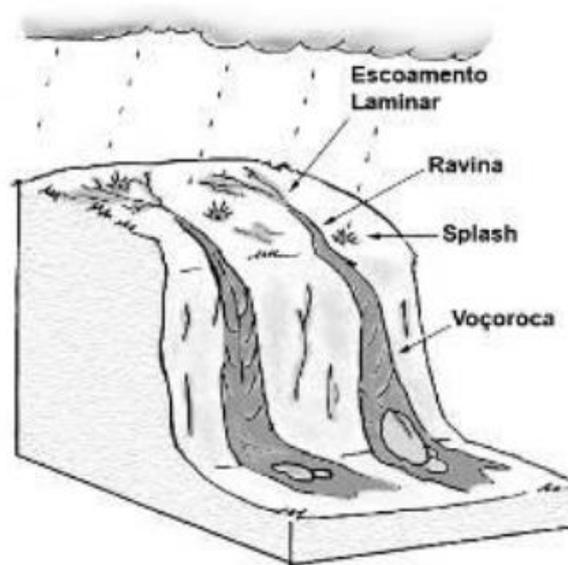
Conforme Castro (2007), a erosão marinha é resultado do movimento das águas oceânicas que atuam sobre as bordas litorâneas, modelando o relevo de forma destrutiva. O movimento das águas molda o relevo, gerando acumulação de partículas marinhas, dando origem a praias, restingas, recifes e tómbolos.

Outro tipo de erosão que intensifica a degradação da Falésia do Cabo Branco, é a processo erosivo causado pela ação das chuvas. A erosão pluvial é muito presente em áreas de clima tropical, onde os índices pluviométricos são maiores. O fato das chuvas se concentrarem em certas estações do ano nessas regiões, agrava ainda mais a erosão. Sem cobertura vegetal, o processo erosivo em encostas se intensifica facilmente, pois as chuvas incidem diretamente na face exposta do talude.

A erosão pluvial começa no instante em que as primeiras gotas de chuva batem no solo. Tal momento é denominado de “splash” e pode resultar na ruptura dos agregados, selando o topo do solo e dando condições para formações de poças (Severo, 2011). O

autor ainda cita que, posteriormente com o escoamento dessa água formam-se ravinas no corpo do talude, como esquematizado na Figura 6:

Figura 6 - Erosão pluvial em encostas



Fonte: Santos Jr. *et al.* (2008)

Esse escoamento ocorre devido a saturação do solo pelo acúmulo de água. Inicialmente tem-se uma erosão laminar decorrente do escoamento laminar, caracterizado por ser difuso. Quando o fluxo de água começa a se concentrar em determinadas regiões do talude, aparecem as ravinas, constituindo assim o estado crítico dessa erosão.

Observou-se que a região estudada apresentava predominância de características desse processo, uma vez que foram encontradas erosões tanto na face quanto no topo dos taludes.

6. ALTERNATIVAS DE CONTENÇÃO APLICÁVEIS E ESTUDOS DE CASO

São diversos os aspectos a serem considerados em obras de defesa de zonas costeiras, que vão dos fenômenos naturais até o custo-benefício da obra.

Tal situação evidencia que o enfrentamento da degradação costeira deve ser de caráter interdisciplinar, uma vez que devem ser levados em consideração o impacto ambiental que pode ser trazido pela implantação, preocupando-se com os organismos e com o ecossistema. Além disso, planos de emergência para essas regiões que garantam a segurança da população e o aspecto estético da obra, a fim de se ter o mínimo impacto paisagístico com a implementação da obra, são pontos importantes e devem ser lembrados.

Todo esse contexto exige um estudo apurado do projeto a ser executado, uma vez que obras mal estudadas ou até mesmo improvisadas podem agravar os efeitos locais de degradação.

Segundo Ceccarelli (2009) a definição de qual o tipo de obra mais adequado deve partir do entendimento da dinâmica da praia, o balanço dos sedimentos no local, o transporte litorâneo, os regimes de vento e de marés, de ondas e de correntes marítimas. Tal observação evidencia o caráter interdisciplinar da problemática em questão.

6.1 Obras longitudinais aderentes

O tipo de obra aqui exposto se refere às estruturas verticais de contenção, comumente conhecidas como paredões, que são construídos na interface terra-mar.

Essa categoria de obra tem como principal objetivo estabelecer o limite da praia em costas que não possuem proteção natural adequada (Netto e Bulhões, 2017). Os principais mecanismos são a resistência a ação das ondas fracas e severas, bem como a minimização dos efeitos de inundações provenientes de grandes precipitações. Um exemplo de obra longitudinal aderente pode ser visto na Figura 7:

Figura 7 - Obra longitudinal aderente

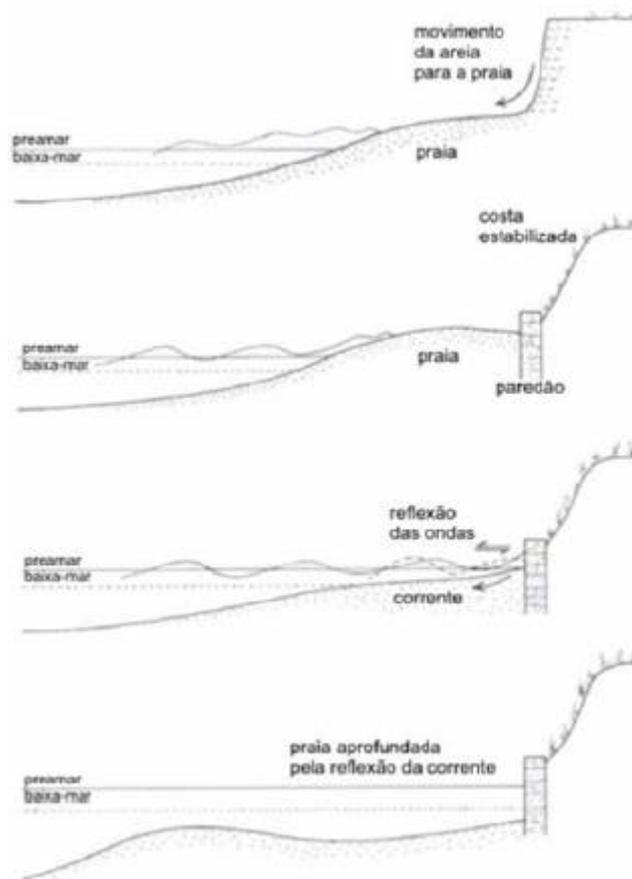


Fonte: Nunes (2017)

As obras longitudinais aderentes desempenham ótima resistência a ação das ondas mais severas e são capazes de evitar inundações em períodos meteorológicos mais intensos no formato de muros de choque. Entretanto, apresenta algumas limitações no que se refere a retenção dos sedimentos em trânsito, intensificando o processo de erosão na sua base. Tal desvantagem pode ser evitada com a ação conjunta de obras de enrocamento (Ceccarelli, 2009).

Um processo que pode ocorrer e que deve contribuir para a ruína do muro vertical é o mecanismo de reflexão das ondas na face da obra longitudinal aderente. Tal processo leva ao desaparecimento da praia frontal, aumentando o risco de a obra ser galgada pelo escoamento. Consequentemente o tardoz será erodido, desestabilizando a estrutura, como ilustrado na Figura 8:

Figura 8 - Erosão em paredões



Fonte: Alfredini (2005)

A sua implementação fixa o limite da praia, ao longo das linhas de costa que não são protegidas adequadamente e são de caráter provisório para áreas extremamente danificadas pela ação do mar. Podem ser também permanentes quando se quer manter a costa em posição avançada com relação às áreas vizinhas, como no caso de avenidas beira-mar (Ceccarelli, 2009).

São utilizadas principalmente as peças maciças de concreto nos muros de choque. Porém, podem ser construídos com estacas prancha de concreto, estacas metálicas ou de madeira.

Muitas vezes, são empregados os chamados revestimentos de alto da praia. De acordo com Ceccarelli (2009), esse tipo de estrutura consiste em um conjunto flexível, que confere menor resistência à energia das ondas e correntes marítimas, mas resistem às ondas fracas e moderadas. Podem ser construídos em conjunto com muretas baixas de concreto ou alvenaria de pedra, gabiões, enrocamentos, e estacas pranchas.

Um exemplo de aplicação de obra longitudinal aderente é o da Praia de Massaguaçu, na cidade de Caraguatatuba, município do litoral norte de São Paulo. A obra

em questão foi objeto de estudo do trabalho “Paradigmas Para Projetos de Obras Marítimas no Contexto das Mudanças Climáticas”, tese apresentada pela Mestre Talita Sampaio Ceccarelli à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo em 2009.

Em seu trabalho, Ceccarelli (2009) descreve as particularidades do local e põe em destaque a problemática da erosão costeira que afetava diretamente o acostamento da rodovia local, contextualizando assim um cenário de risco à população e usuários da rodovia. A mesma descreve que as principais causas do processo erosivo foram a ação das ondas do mar e a saídas de drenagem de águas pluviais. A problemática é ilustrada na Figura 9:

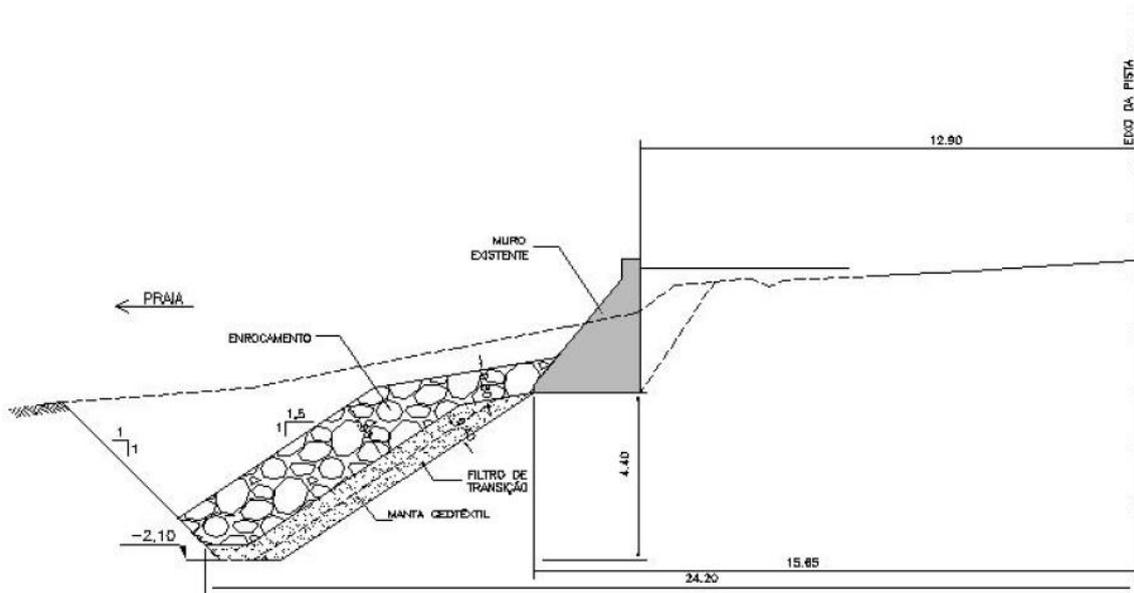
Figura 9 - Erosão na praia de Massaguaçu



Fonte: Ceccarelli (2009)

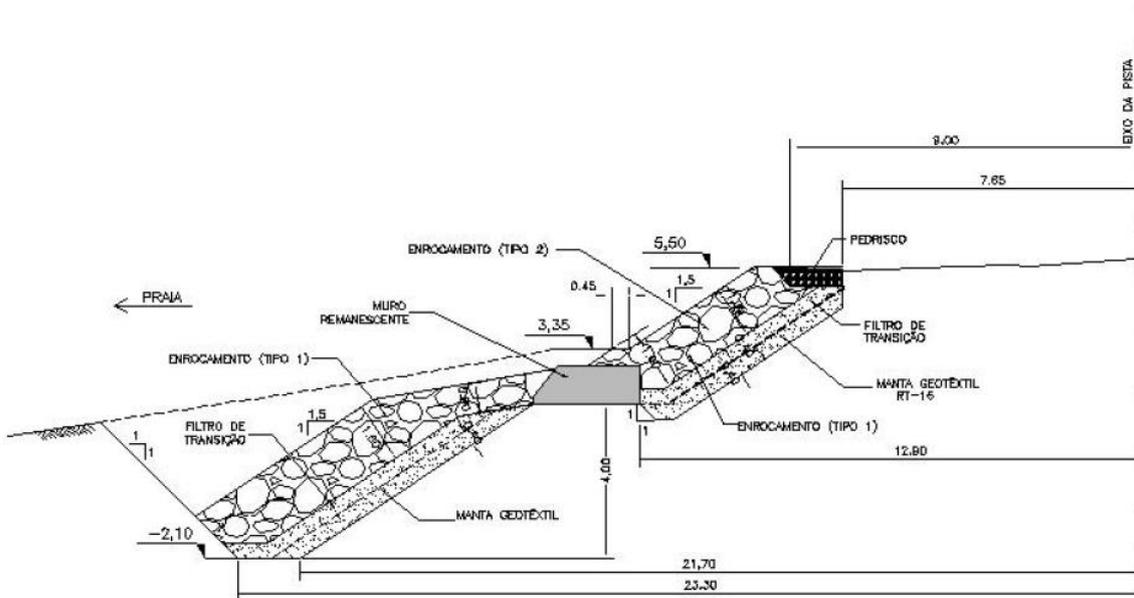
A autora descreve que a solução utilizada e que se mostrou conveniente seria a implementação de muros de pedra argamassada, com cota de topo igual à cota da rodovia existente. Tal projeto foi executado com dois tipos de seção, A e B (Figuras 10 e 11, respectivamente) e se estendia por 500 metros da costa, dos quais 380 metros seriam executados com a seção tipo A (3,70 m de altura) e 120 metros com a seção tipo B (4,20 m de altura).

Figura 12 - Seção Tipo 1 (com muro)



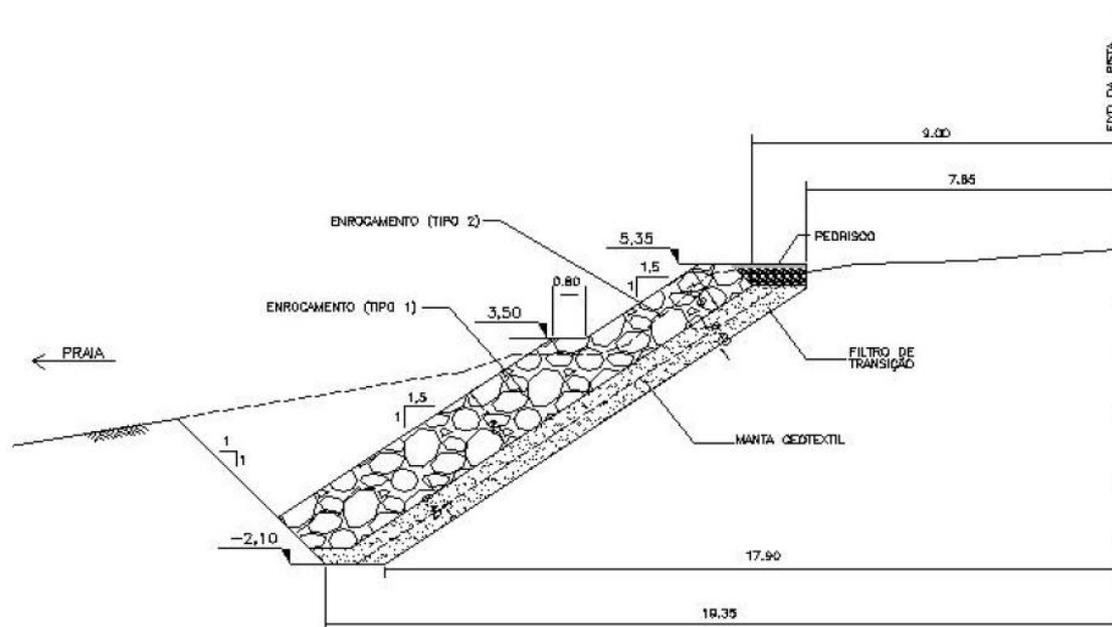
Fonte: Ceccarelli (2009)

Figura 13 - Seção Tipo 2 (com muro remanescente)



Fonte: Ceccarelli (2009)

Figura 14 - Seção Tipo 3 (sem muro)



Fonte: Ceccarelli (2009)

Posteriormente, ressacas marítimas voltaram a acontecer e danificaram a estrutura implementada. Segundo a autora, medidas emergenciais como a colocação de sacos de areia em conjunto com a interdição do acostamento da pista foram utilizadas na época, até que se realizasse um novo projeto para uma nova intervenção.

Atualmente, entre as intervenções realizadas no local no período 2020-2021 estão: a reorganização e o aumento da extensão do enrocamento não aderente – pedras de grandes dimensões (matacões) formando uma espécie que tem como objetivo dissipar a energia das ondas que chegam até a praia e reparo de todas as drenagens de águas pluviais nesse trecho da rodovia de forma a evitar o surgimento de pontos de erosão.

Tais intervenções estão sendo executadas com o investimento de 7,4 milhões do Governo do Estado de São Paulo, segundo o portal SP Rio Mais e podem ser vistas na Figura 15:

Figura 15 - Obra de intervenção na praia do Massaguaçu (2020-2021)



Fonte: SP Rio Mais (2020)

6.2 Obras longitudinais não aderentes

São estruturas implantadas com certa distância da costa em posição paralela a mesma, podendo ser submerso ou não. O seu principal objetivo é dissipar a energia das ondas antes que as mesmas cheguem à costa, minimizando assim os efeitos da erosão costeira.

Segundo Ceccarelli (2009) são construídos em profundidades maiores do que os espigões, com a função de defesa da costa. Essas estruturas não interrompem completamente as ondas incidentes e são implementadas formando uma simples barreira. Um exemplo de aplicação desse tipo de obra pode ser visto em Olinda – PE, situação observada na Figura 16:

Figura 16 - Obras longitudinais não aderentes (quebra-mares) em Olinda - PE



Fonte: Google Earth (adaptado)

Podem ser utilizados em áreas de baixo tráfego marítimo e sua implementação muitas vezes gera a formação de tômbolos (saliência) que também promove a proteção da praia, como fixado na Figura 17:

Figura 17 - Formação de tômbolos excessivos em Paulista - PE



Fonte: Google Earth (adaptado)

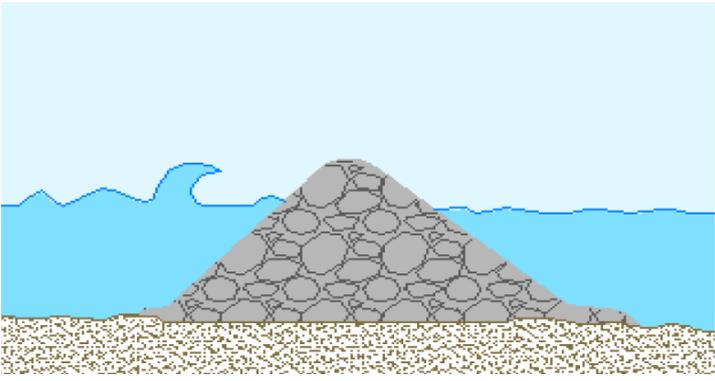
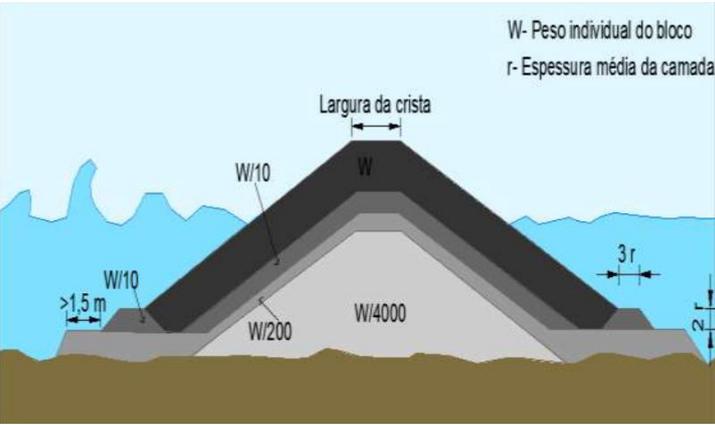
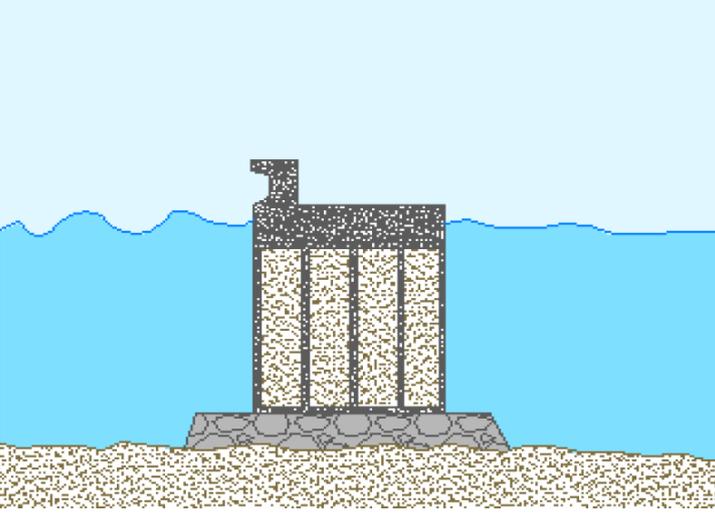
Quando em excesso, a formação desses tômbolos pode trazer graves consequências para a zona costeira, pois diminui a capacidade de renovação das águas, aumentando os índices de poluição e conseqüentemente problemas de cunho sanitário para a população local.

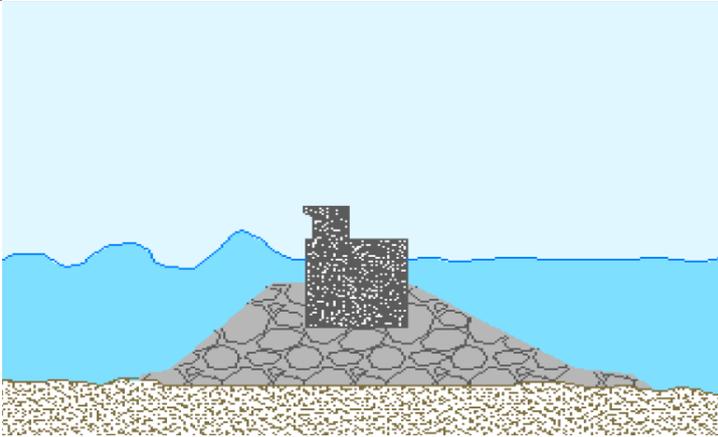
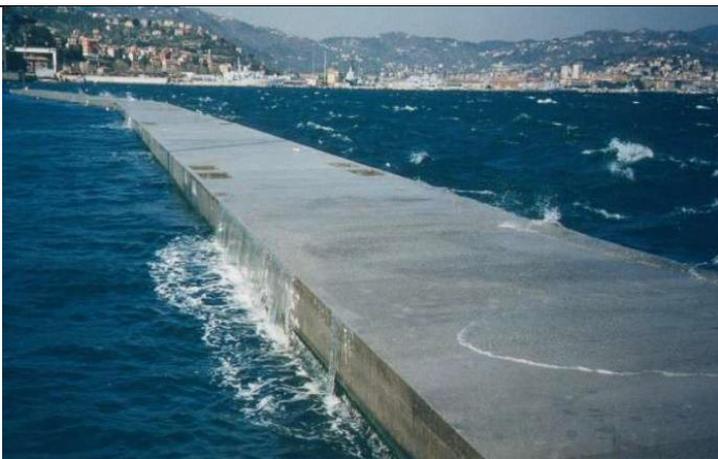
A implementação de quebra-mares se torna inviável e onerosa em locais com grande declividade do terreno, pois isso exige uma obra com grande profundidade, aumentando assim o custo de construção. Outra desvantagem apresentada é que são esteticamente desagradáveis, principalmente os quebra-mares emersos (Ceccarelli, 2009).

Os principais materiais utilizados na construção desse tipo de obra é o enrocamento (compondo quebra-mares de talude), blocos de concreto (quando se necessita de maiores profundidades), estacas metálicas e até mesmo estacas de madeira.

Alguns tipos de quebra-mares destacados por Sousa (2011) são os descritos na Tabela 4:

Tabela 4 - Tipos de quebra-mares

Tipo	Esquema simplificado (Sousa, 2011)
<p>1. Quebra-mares de taludes: constituído por blocos ou por elementos rochosos, de construção e manutenção relativamente simples. Podem ser compostos por camada simples ou por várias camadas</p>	<p style="text-align: center;">Camada simples</p>  <p style="text-align: center;">Camada composta</p> 
<p>2. Quebra-mares de parede vertical: em grande maioria, formados por caixotões de concreto armado preenchidos com areia, ou ainda blocos maciços de concreto, colocados sobre um enrocamento de regularização.</p>	

<p>3. Quebra-mares mistos: são a junção de quebra-mares de taludes com uma superestrutura. Recomendado em grandes profundidades ou em fundos marinhos de baixa resistência.</p>	
<p>4. Quebra-mares flutuantes: utilizados em zonas de baixa energia das ondas, com o intuito de proteger marinas e docas portuárias.</p>	

Fonte: Adaptado de Sousa (2011)

6.3 Obras transversais

As estruturas transversais, também conhecidas como espigões de praia, são estruturas que se localizam no pós-praia que agem mais significativamente na faixa de transporte litorâneo de sedimentos.

Esse tipo de obra se encarrega de interceptar o transporte de sedimentos que ocorre naturalmente na faixa do litoral pelo seguinte mecanismo: ocasiona o depósito de sedimentos a barlar (lado ou sentido de onde naturalmente vêm os sedimentos), evitando o assoreamento a sotamar (lado ou sentido para onde naturalmente vão os sedimentos), estabilizando assim a faixa de praia. Um exemplo dessa alternativa, pode ser analisado na Figura 18:

Figura 18 - Espigão de João Cordeiro em Fortaleza - CE



Fonte: Google Images

Ceccarelli (2009) cita que os espigões quando implantados, podem aumentar a largura da praia para fins balneários e de reurbanização. Tal processo ocorre pela fixação da areia alimentando artificialmente as praias.

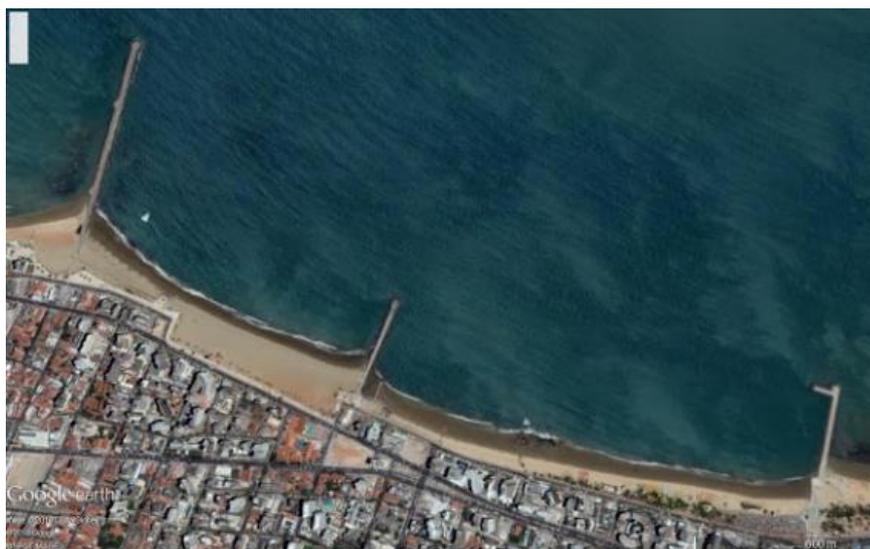
Em áreas de transporte litorâneo fraco, não são indicadas as construções de obras transversais, pois podem intensificar as erosões a sotamar (lado ou sentido para onde vão os sedimentos).

Uma desvantagem marcante dos espigões é que eles não evitam as erosões causadas pelas correntes marítimas de retorno transversais, criando assim turbulências nas suas extremidades e conseqüentemente erosões que levam a ruína da sua estrutura, nos casos onde não ocorrem manutenção operacional adequada.

A criação e proteção de uma extensa faixa de praia, pode ocorrer através da implementação dos chamados campos de espigões, nos quais são empregados vários espigões em conjunto.

Nesse processo, a construção deve ser efetuada em etapas iniciando de sotamar, adicionando novos espigões sempre que for atingida a capacidade de retenção máxima, observada quando os sedimentos passam a contornar a obra (Ceccarelli, 2009). Um exemplo de campo de espigões já concebido no Brasil é o da capital cearense, fotografado na Figura 19:

Figura 19 - Campo de espigões de praia em Fortaleza - CE



Fonte: Google Earth

O material mais utilizado na sua construção é o enrocamento, pois auxilia na construção de estruturas flexíveis que se adaptam facilmente aos assentamentos do solo. São aplicáveis também os gabiões ou sacos preenchidos de argamassa de alta resistência, nas áreas onde ocorrem o assoreamento da estrutura. Podem ser utilizadas também, estacas metálicas planas preenchidas de agregados e concreto, ou estacas de madeira, essas mais indicadas para áreas de menos agitação.

Em seu estudo e parecer técnico ambiental sobre a “Dinâmica costeira do litoral de Fortaleza e os impactos da construção dos aterros das praias Meireles (Beira Mar) e Iracema sobre o litoral de Caucaia” (2018), o Prof. Dr. Fábio Perdigão Vasconcelos destaca a importância da construção dos espigões para a diminuição do assoreamento e depósito de sedimentos no Porto de Mucuripe (Porto de Fortaleza).

Além disso, o autor conclui no seu trabalho que a construção de obras de proteção costeira instaladas no litoral de Fortaleza constituídas por espigões, têm-se mostrado eficientes para as duas principais finalidades a que se propuseram: conter o recuo da linha de costa e recompor as praias erodidas.

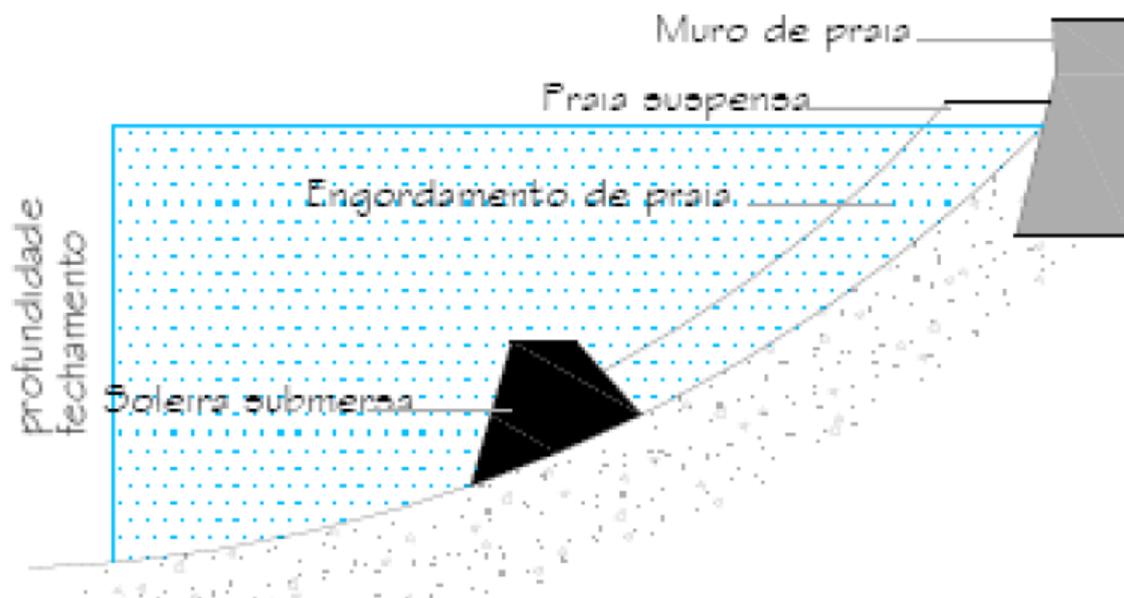
6.4 Alimentação artificial de praias

A alimentação artificial de praias é prática recorrente em engenharia costeira, utilizada com muitos objetivos, sendo um deles o combate e mitigação dos efeitos da erosão costeira (Van Rijn, 2011).

O processo consiste no suprimento de areia com o material obtido de áreas de empréstimo. Consiste em uma solução temporária, para os casos em que não se conhece suficientemente as causas da erosão. Tal processo busca estabilizar ou ampliar praias já existentes e que estão sujeitas à erosão, ou criar uma praia de proteção que absorva a energia das ondas.

Conforme a definição de Ceccarelli (2009), essa intervenção é uma alternativa estrutural reconhecida como uma das melhores defesas contra a erosão costeira, uma vez que não necessita de obras fixas, que destoam do ambiente natural e que podem trazer efeitos colaterais para as áreas vizinhas. No caso da alimentação artificial, o excessivo arrastamento de areia pode favorecer ainda mais locais adjacentes. A Figura 20 traz o esquema estrutural simples de um projeto de alimentação artificial:

Figura 20 - Esquema da praia artificial com utilização de soleira submersa



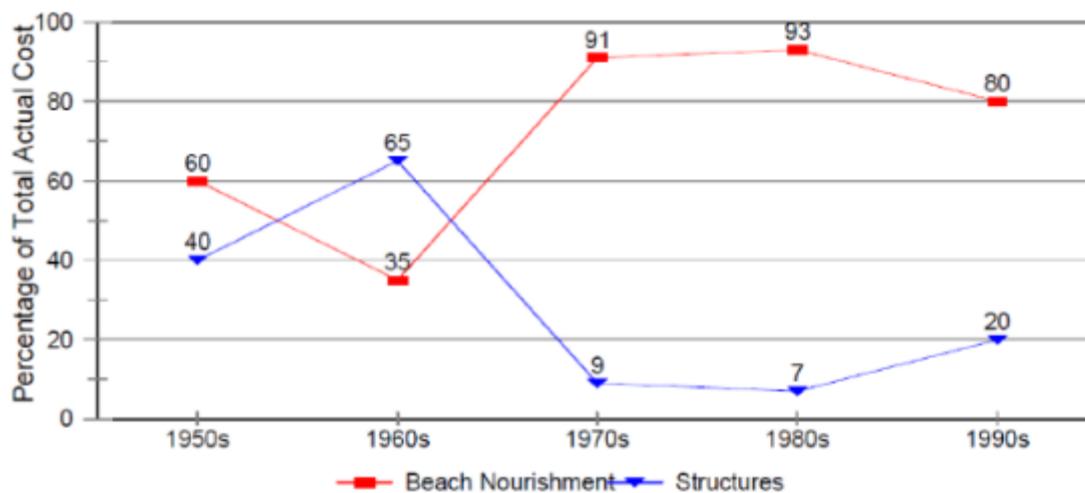
Fonte: Alfredini (2005)

Vale salientar que um projeto de alimentação artificial pode não ser suficiente quando não se sabe as causas da erosão encontrada e eliminada, pois esse mecanismo é bastante natural e apenas repõe artificialmente um déficit no balanço sedimentar em um trecho de praia com volume correspondente.

As alimentações artificiais têm sido amplamente utilizadas nas últimas décadas e pelo mundo inteiro, substituindo assim obras de engenharia mais pesadas e tradicionais na defesa contra a erosão. De acordo com Gravens et al. (2006), nos Estados Unidos da América (EUA), o US Army Corps of Engineers (USACE) ampliaram o número de

intervenções costeiras do tipo alimentação artificial, em detrimento das intervenções ditas “pesadas”, a partir do fim da década de 60 e início da década de 70. A Figura 21 ilustra a alteração da proporção de investimentos em alimentação artificial de praias (*beach nourishment*) e estruturas costeiras (*structures*) nos EUA com o passar das décadas:

Figura 21 - Evolução das despesas com defesa costeira nos EUA, em função do tipo de intervenção utilizada: alimentação artificial de praias (*beach nourishment*) e estruturas costeiras (*structures*)



Fonte: Hyllier (1996)

Acredita-se que ao contrário das obras ditas “pesadas”, como obras longitudinais aderentes, longitudinais não aderentes, transversais, diques e outros, as alimentações de praia possuem um caráter dinâmico e flexível, que se torna compatível com a sazonalidade presente no balanço sedimentar da praia em que se quer trabalhar, embora necessite de manutenção periódica.

Uma vantagem que deve ser destacada é que a alimentação possui efeito imediato quando comparada com as outras obras costeiras, que levam algum tempo para apresentarem seus benefícios.

Em situações em que a margem terrestre é limitada por falésias, esse tipo de intervenção pode auxiliar no combate da erosão de base, pois retarda os efeitos da incidência direta das ondas, minimizando assim a degradação. Tal processo pode ser observado em imagens da Praia da Cova Redonda, em Lagoa (Algarve), Portugal:

Figura 22 - Praia da Cova Redonda (Lagoa - Portugal) antes da alimentação artificial de praia (2010)



Fonte: Pinto, Silveira e Teixeira (2018)

Figura 23 - Praia da Cova Redonda (Lagoa - Portugal) depois da alimentação artificial de praia



Fonte: Pinto, Silveira e Teixeira (2018)

Outro exemplo de aplicação que obteve sucesso, também em Portugal, foi na praia D. Ana, em Lagos (Algarve), na qual a alimentação trouxe melhoria nas condições da estabilidade da linha de costa, por meio da redução da frequência do impacto da ondulação na base das falésias e diminuição significativa do risco, gerando assim uma ocupação balnear e atraindo turistas e ocupantes no local. A intervenção ocorreu por meio da deposição de 140.000 m³ de sedimento de praia provenientes de uma jazida continental próxima e foi complementada pela construção de um esporão no extremo da praia, a fim de promover a retenção da areia na praia. Ao todo o custo da obra chegou a € 1.800.000, o que correspondem a R\$ 11.898.000 (levando em consideração que € 1 = R\$ 6,61, em 22 de abril de 2021). O processo de execução foi registrado na Figura 24:

Figura 24 - Obra de alimentação artificial na Praia D. Ana, Largos (Algarve) - Portugal



Fonte: Pinto, Silveira e Teixeira (2018)

São muitos os benefícios advindos com a alimentação artificial de praias, indo das melhorias nas condições de estabilidade da costa até o aumento da largura da praia para uso recreativo. Entretanto, é importante frisar que a prática deve levar em consideração muitos aspectos como as características dos sedimentos utilizados. O material que será dragado, bem como transportado e depositado deve ser proveniente de jazidas próximas do local onde ocorrerá a alimentação artificial, uma vez que as características sedimentares e granulométricas devem ser compatíveis com as areias do local de deposição. Os sedimentos devem ser de boa qualidade, ou seja, não podem apresentar poluentes que tragam malefícios para a praia. Desejavelmente, a compatibilidade granulométrica deve ser garantida através da utilização de sedimentos com tamanho de grão médio idêntico ou ligeiramente superior ao do sedimento nativo (CUR, 1987; Dean, 2002; Gravens et al., 2006; Teixeira, 2011).

Além disso, a retirada de material deve ser obrigatoriamente precedida de estudos de impacto ambiental, levando em consideração as consequências que podem surgir com a ausência do volume de sedimentos nos locais de origem, pois tal processo pode contribuir para mudanças na dinâmica costeira e nos padrões de transporte de sedimentos.

6.5 Diques

Podem ser definidos como estruturas de proteção costeira que são aplicados para conter inundações de áreas baixas, inundações que são causadas pelo surgimento das grandes ressacas.

Sua constituição varia de areia com camadas de terra e grama para áreas que não apresentam efeito erosivo, até revestimentos mais resistentes para os casos nos quais a erosão é um fator preponderante na degradação.

Segundo Ceccarelli (2009), a extensão frontal ao dique atenua a ação das ondas e são normalmente construídos com taludes muito suaves e com vegetação densa e bem enraizadas, favorecendo a estabilidade da obra. A parte frontal do dique, sujeita a erosão, deve apresentar o trecho revestido, com colchão de concreto articulado, protegendo também a base da estrutura com enrocamento.

6.6 Aplicação de Geossintéticos

A Associação Brasileira de Geossintéticos (2018), define os materiais geossintéticos como “produtos industrializados com pelo menos um de seus componentes fabricado com polímero sintético ou natural. Apresentam-se na forma de manta, tira, ou estrutura tridimensional, e são utilizados em contato com o solo ou com outros materiais em aplicações da engenharia civil, geotécnica e ambiental”.

Etimologicamente, o termo “geossintético” é composto por “geo + sintético”, que corresponde a “terra + um produto manufaturado pelo homem”. A natureza sintética desses elementos faz que os mesmos sejam amplamente aplicados em obras de terra, nas quais se necessita de uma grande durabilidade. Constituídos por uma grande variedade de materiais e formas, se aplicam em obras geotécnicas de aeroportos, ferrovias, aterros, canais, barragens e estruturas de contenção.

Segundo Nascimento (2002) as características importantes levantadas por engenheiros geotécnicos, relacionadas às propriedades daqueles encontrados no mercado, vão da alta capacidade impermeabilizante até o satisfatório atendimento da resistência mecânica, fluência, rigidez a tração e durabilidade. Assim, observa-se a vantagem de se utilizar esse mecanismo em obras geotécnicas.

De acordo com a Sociedade Internacional de Geossintéticos (2018) identifica-se que as funções primárias dos geossintéticos são: filtração, drenagem, reforço, contenção de fluidos/gases, ou controle de processos erosivos. Tais funções podem ser desempenhadas em conjunto e estão descritas a seguir:

- a) **Separação:** o geossintético atua na separação de duas camadas de solo que têm distribuições de partículas diferentes. Por exemplo, geotêxteis são usados para evitar que os materiais da base penetrem no solo mole de camadas

subjacentes, assim mantendo a espessura da camada de projeto e a integridade de estradas. Também auxilia na prevenção do “bombeamento” de finos para o interior da camada granular permeável de estradas.

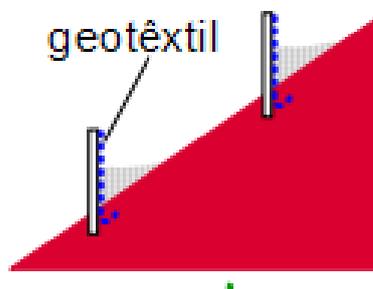
- b) **Filtração:** O geossintético desempenha papel similar a um filtro de areia, permitindo a livre passagem de água através do solo enquanto retém as partículas sólidas. Por exemplo, geotêxteis são empregados para evitar a migração do solo para dentro do agregado drenante ou de tubulações, enquanto mantém o fluxo do sistema. Geotêxteis são também utilizados abaixo de “rip-rap” e de outros materiais em sistemas de proteção costeira e de rios para prevenir a erosão do solo.
- c) **Drenagem:** O geossintético age como um dreno que carrega o fluido através de solos com menor permeabilidade. Por exemplo, geotêxteis são utilizados para dissipar poro-pressão na base de aterros rodoviários. Para fluxos mais elevados, drenos geocompostos foram desenvolvidos. Esses materiais têm sido utilizados como drenos laterais de pavimentos, drenos de taludes e drenos de aterros e muros de contenção. Drenos verticais pré-fabricados (DVP’s) têm sido utilizados para acelerar a consolidação do solo mole de fundações de aterros. aplicação das geogrelhas é em reforço de solos.
- d) **Reforço:** O geossintético atua como elemento de reforço inserido no solo ou em associação com o solo para a melhoria das propriedades de resistência e de deformação do solo natural. Por exemplo, geotêxteis e geogrelhas são usados para acrescentar resistência à tração na massa de solo de forma a possibilitar paredes de solo reforçado verticais ou aproximadamente verticais. O emprego do reforço possibilita a construção de aterros sobre fundações de solos extremamente moles, bem como a de muros íngremes improváveis de serem viabilizados em solos não-reforçados. Geossintéticos (geralmente geogrelhas) têm sido também usados para sobrepassar vazios que podem se desenvolver sob carregamentos em camadas granulares (estradas e autoestradas) ou sob sistemas de cobertura de aterros sanitários.
- e) **Contenção de Fluidos/Gases (barreira):** O geossintético atua como uma barreira relativamente impermeável a fluídos e gases. Por exemplo, geomembranas, geocompostos, geocompostos argilosos (GCL’s) e geotêxteis revestidos são empregados como barreiras para impedir o escoamento de líquidos e gases. Além disso, podem ser utilizados na capa asfáltica de

pavimentos, no envelopamento de solos expansivos e na contenção de resíduos.

- f) **Controle de Processos Erosivos:** O geossintético trabalha para reduzir os efeitos da erosão do solo causados pelo impacto da chuva e pelo escoamento superficial da água. Por exemplo, mantas ou colchões de geossintéticos, temporários e permanentes, são dispostos ao longo do talude. Barreiras de geotêxtil são também usadas na retenção de sedimentos carregados durante o escoamento superficial. Algumas barreiras de controle de processos erosivos são fabricadas com materiais biodegradáveis.

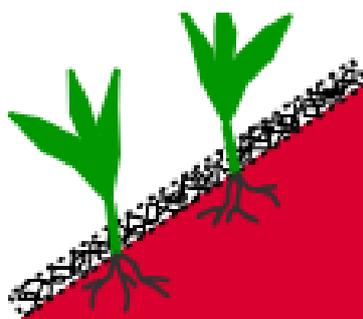
Definidas as funções, a aplicação dos geossintéticos na mitigação da erosão em falésias da zona costeira se evidencia nas propriedades de drenagem, auxiliando no escoamento através do corpo do talude, de reforço, uma vez que tal aplicação conferiria aumento da resistência do solo e conseqüentemente maior estabilidade, e controle de processos erosivos, servindo de barreira para a ação da erosão pluvial sobre a face do talude, como esquematizado nas Figuras 25 e 26:

Figura 25 - Controle de processos erosivos com geossintéticos



Fonte: Sociedade Internacional de Geossintéticos (2018)

Figura 26 - Controle de processos erosivos com geossintéticos



Fonte: Sociedade Internacional de Geossintéticos (2018)

Muitos materiais especializados foram desenvolvidos no ramo da engenharia costeira para resistir às severas condições marítimas, incluindo a exposição às ondas, chuvas, abrasão e radiação solar (OYEGBILE; OYEGBILE, 2017).

De acordo com Das Neves (2003), o interesse pela incorporação dos geossintéticos a engenharia costeira se deu pelas melhorias alcançadas à nível dos materiais, a forte dinâmica da indústria têxtil, concomitante ao lançamento de novos produtos, e a menor aceitação das obras mais tradicionais de proteção costeira, principalmente devido aos impactos ambientais e também visuais oriundos das mesmas.

As primeiras aplicações de geossintéticos no controle de erosão datam do final da década de 1960 e início da década de 1970, quando pesquisas comprovaram que alguns materiais têxteis poderiam substituir filtros granulares (CARROLL; RODENCAL; COLLIN, 1992). Desde a década de 1990, com diversas possibilidades de aplicação em obras de proteção costeira, estes materiais tornaram-se componentes imprescindíveis destas estruturas (GARCIA, 2007).

Partindo das suas primeiras utilizações como substituição de filtros granulares, os geossintéticos surgem em formas mais sofisticadas, os chamados geossistemas, que são conjuntos de sedimentos confinados por geossintéticos, que de acordo com MORAIS (2010) e PALMA (2016), podem ser utilizados como substitutos de enrocamento e blocos de concreto convencionalmente utilizados. Estão entre os geossistemas mais populares os tubos geotêxteis, os geossacos e os geocontainers.

Com os estudos de caso encontrados e que serão em breve apresentados, nota-se que a aplicação dos geossintéticos em obras costeiras tem mostrado elevada eficiência no controle da degradação dos litorais pela erosão, pois apresentam plasticidade, economia e facilidade de execução, além de serem bastante adaptáveis a diversas situações.

Garcia (2007) reforça que a menor aceitação das estruturas convencionais estão cada vez mais em desuso, devido aos impactos visuais e ambientais já mencionados anteriormente.

A aplicação de geossintéticos e geossistemas no controle de erosão costeira pode ser estabelecido com diversos tipos de materiais e métodos.

6.6.1 Geotubos no controle da erosão

Os geotubos, também conhecidos como geocilindros, são estruturas tubulares compostos por polipropileno de alta resistência. Seu preenchimento se dá por bombeamento hidráulico de sedimentos. O geossintético utilizado é poroso e retém apenas os sedimentos os quais foram bombeados para seu interior, deixando passar a água.

Segundo Palma (2016) a areia é o material mais utilizado para o seu preenchimento. Os geotubos possuem uma das dimensões muito maiores do que as outras, podendo chegar a 30 metros de comprimento ou mais.

Morais (2010 apud PALMA, 2016), considera que a aplicação deste tipo de geossistema é ideal à superfície ou em casos onde se deve submergir até 5 metros de profundidade. O autor acrescenta ainda que, a sua capacidade volumétrica varia de 2 a 10 m³, podendo ser aplicados em diversos locais como quebra-mares, espigões e entre outros. Um exemplo de geotubo pode ser analisado na Figura 27:

Figura 27 - Geotubo sobre a faixa de areia na praia de Moledo, em Caminha, Portugal



Fonte: GEOTUBE

A técnica apresenta versatilidade de aplicação em inúmeras obras de proteção marinha e projetos de estruturas subaquáticas e já tem sido aplicada em diversos locais pelo mundo com comprovação da sua eficiência e baixo custo (Nóbrega Júnior, 2016). Uma das principais vantagens é que a praia erodida pode ser recriada com sua inclinação original, recuperando assim a estética do local.

Em consoante a Nóbrega Júnior (2016), a estrutura do geotubo é capaz de bloquear o fluxo da água e o impacto das ondas e pode ser desenvolvida na medida exata e no local adequado para que a praia seja restabelecida da erosão sofrida através da alteração do comportamento das ondas. Utilizam-se os geotubos em função do seu baixo custo quando comparado a construção de diques em concreto, simplicidade e rapidez de instalação mesmo se tratando de mar aberto.

Castro, Escobar, Martins (2009), destacam a grande aceitação dessa tecnologia em projetos de controle da erosão em função das questões ambientais. Em substituição ao enrocamento e o concreto, soluções mais utilizadas em obras costeiras, os tubos geotêxteis evitam a importação de material diferente àquele habitat e o transporte complexo, devido ao difícil acesso. Em ambientes costeiros as forças são elevadas, resultando em materiais (rochas, concreto, etc.) de grande dimensão para se atingir a estabilidade.

Um exemplo de obra bem-sucedida utilizando esse tipo de tecnologia, foi realizada na cidade de Sea Isle no estado de New Jersey (EUA). Foram utilizados geotubos para proteção da orla e restauração da avenida que vinha sofrendo com o impacto das fortes ondas durante tempestades. Nesta obra foram utilizados 1200 metros lineares de tubos de geotêxtil, preenchidos com areia. As Figuras 28 e 29 mostram os geotubos aplicados no local durante e após a tempestade, permanecendo intactos e sem nenhum dano após o evento:

Figura 28 - Geotubo durante a tempestade



Fonte: Castro, Escobar, Martins (2009)

Figura 29 - Geotubo após a tempestade



Fonte: Castro, Escobar, Martins (2009)

6.6.2 Geocontainers e geossacos no controle da erosão

O geocontainer, ou *geotextile sand container* (GSC), caracteriza-se pelas suas grandes dimensões e pode ser fabricado com geotêxtil tecido ou não-tecido. Segundo Hornsey et al. (2011), o seu enchimento pode ocorrer através de bombeamento hidráulico ou a seco por via mecânica, possuindo normalmente suas seções em forma de retângulo ou elipse após o seu devido preenchimento. O geossintético utilizado deve resistir às solicitações durante o processo de preenchimento, instalação no seu local de uso e vida útil. A praia australiana presente na Figura 30, apresenta um exemplo de aplicação de geocontainers.

Figura 30 - Geocontainers na praia de Maroochydore, Austrália



Fonte: Hornsey et al. (2011).

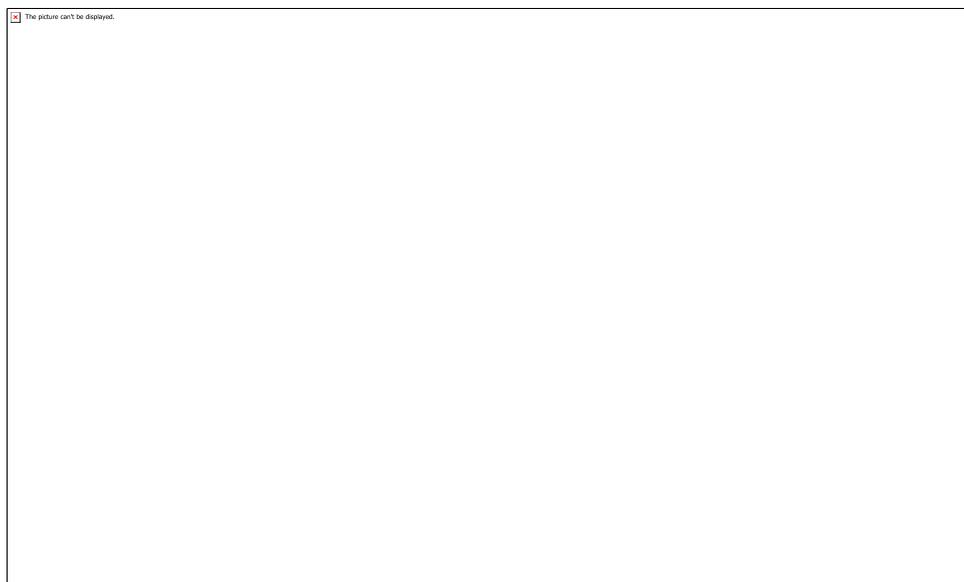
Já os geossacos ou *geotextile sand bags*, são geossistemas de menores dimensões, com cada unidade contendo entre 1 a 10 m³ de solo. Ambos são preenchidos usualmente com areia e podem ser aplicados em conjunto nas diversas estruturas de proteção costeira, como os espigões, quebra-mares, estruturas longitudinais aderentes, dentre outros.

6.6.3 Geogrelha no controle da erosão

A principal função da geogrelha é o reforço do solo que compõe o talude a fim de diminuir a erosão. Vertematti (2001) define esse material como estruturas planas em forma de grelha, cujas aberturas permitem uma maior interação com o meio em que estão confinadas e conseqüentemente um maior esforço de ancoragem.

Uma ação interessante e que pode ser viabilizada para a Falésia do Cabo Branco, é o retaludamento da barreira para que se chegue a um ângulo de inclinação desejado, juntamente com a utilização de geogrelhas para o reforço do solo. Um exemplo dessa alternativa, pode ser observado na Figura 31:

Figura 31 - Geogrelhas aplicadas em taludes



Fonte: NAUE Archives – Geosynthetica Brazil

6.6.4 Geotêxtil no controle da erosão

Podem ser definidos como materiais poliméricos bidimensionais permeáveis bastante utilizados em obras geotécnicas, possuindo propriedades mecânicas e hidráulicas. São usualmente utilizados na proteção superficial de taludes, servindo de barreiras contra a ação erosiva do vento e da água, evitando assim o transporte de partículas de sedimento na face do talude. Um exemplo de aplicação do geotêxtil pode ser observado na Figura 32:

Figura 32 - Manta geotêxtil para drenagem



Fonte: Total Solo

Assim como as geogrelhas, eles também podem ser utilizados no reforço de solo em superfícies susceptíveis a erosão. É utilizado envelopando materiais granulares, dando reforço ao solo em substituição das tradicionais e pesadas estruturas de arrimo. O material de preenchimento pode ser o solo local e o revestimento da face da estrutura pode ser feita por: vegetação, alvenaria comum, concreto projetado ou muro de blocos articulados (VERTEMATTI, 2001).

6.6.5 Geocélula no controle da erosão

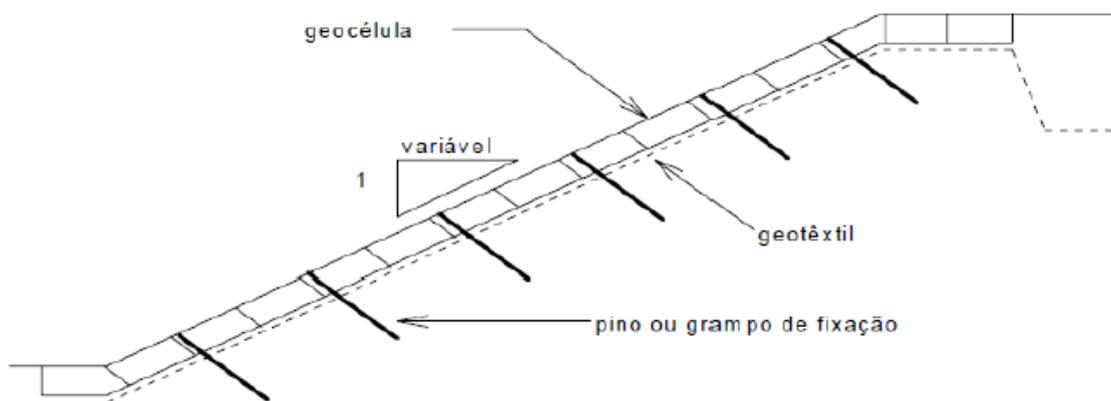
Segundo Vertematti (2004), a geocélula é um tipo de geossintético que apresenta estrutura tridimensional aberta, constituída de células interligadas, que confinam

mecanicamente os materiais neles inseridos. Suas funções principais são o reforço do solo e controle da erosão, pois age impedindo o fluxo de água e a desagregação de partículas de solo.

Farias (2005) ressalta que o confinamento celular proporcionado por essas estruturas se apresenta como ótima solução para os processos erosivos em taludes. O confinamento oferece alta resistência e inibe as forças hidráulicas de arraste, evitando também a migração de material do topo para a base do talude.

Na proteção de taludes revestidos com vegetação, as geocélulas confinam este solo evitando a desagregação das suas partículas, principalmente, nas áreas onde se encontram as raízes, acarretando proteção ao plantio e aumentando a resistência dessa vegetação. Já nos taludes que não possuem vegetação, este geossintético confina o solo, acarretando uma maior resistência das suas partículas e evitando o carreamento de partículas pelo escoamento hidráulico e pela ação da gravidade. (FARIAS, 2005). A Figura 33, traz o esquema de um talude protegido por geocélula:

Figura 33 - Seção transversal de talude protegido com geocélula



Fonte: Farias (2005).

7. ANÁLISE DA PROPOSTA DE INTERVENÇÃO DA PREFEITURA MUNICIPAL DE JOÃO PESSOA – PB

O enfrentamento dos problemas erosivos da Falésia do Cabo Branco, por parte da Prefeitura Municipal de João Pessoa, se deu através da Secretaria Municipal de Planejamento (SEPLAN) e possuiu até então dois processos licitatórios que deram origem aos respectivos contratos firmados entre a Secretaria e as empresas responsáveis. Os procedimentos foram os descritos na Tabela 5.

Tabela 5 - Obras realizadas na Falésia do Cabo Branco

Processo Licitatório	Descrição da obra
33006/2017	Contratação de empresa especializada para intervenção na área continental da Falésia do Cabo Branco: pavimentação, drenagem e recuperação de áreas degradadas na cidade de João Pessoa/PB
33005/2019	Realização da obra de contenção do processo de erosão marinha da Falésia do Cabo Branco e da Praia do Seixas na Cidade de João Pessoa/PB – 1ª Etapa: proteção do sopé da falésia

Fonte: Autor

Nesta seção do presente trabalho serão descritas as duas obras realizadas, com ênfase para a segunda, na qual se tem a aplicação direta de um projeto de minimização dos processos de erosão costeira. O objeto será dividido em três etapas, a fim de facilitar a compreensão. A etapa 1 corresponde a obra de pavimentação e drenagem da área continental, a etapa 2 se refere ao enrocamento já concluído e a etapa 3 a construção dos quebra-mares previstos em projeto.

7.1 Intervenção na área continental da Falésia do Cabo Branco – etapa 1

O projeto de intervenção inicial na região teve como principal objetivo sanar os escoamentos das ruas e vias que estão acima da falésia. Essas vias passaram por obras de drenagem e de redimensionamento da drenagem já existente, com porte para atender o aumento dos escoamentos superficiais, decorrente da expansão urbana. O processo de execução pode ser observado na figura 34, em visita ao local.

Figura 34 - Execução da obra de drenagem em 01/08/2019



Fonte: Autor

O projeto de drenagem que foi executado na região, se baseou na identificação de 9 (nove) bacias de contribuição de água da chuva (descritas na Figura 35) e contemplou a concepção de uma rede de galerias composta por 9 (nove) coletores, que resolveriam o problema de escoamento superficial excessivo no local, uma vez que existiam apenas 4 (quatro) coletores de drenagem urbana.

Figura 35 - Bacias de contribuição da área continental da Falésia do Cabo Branco

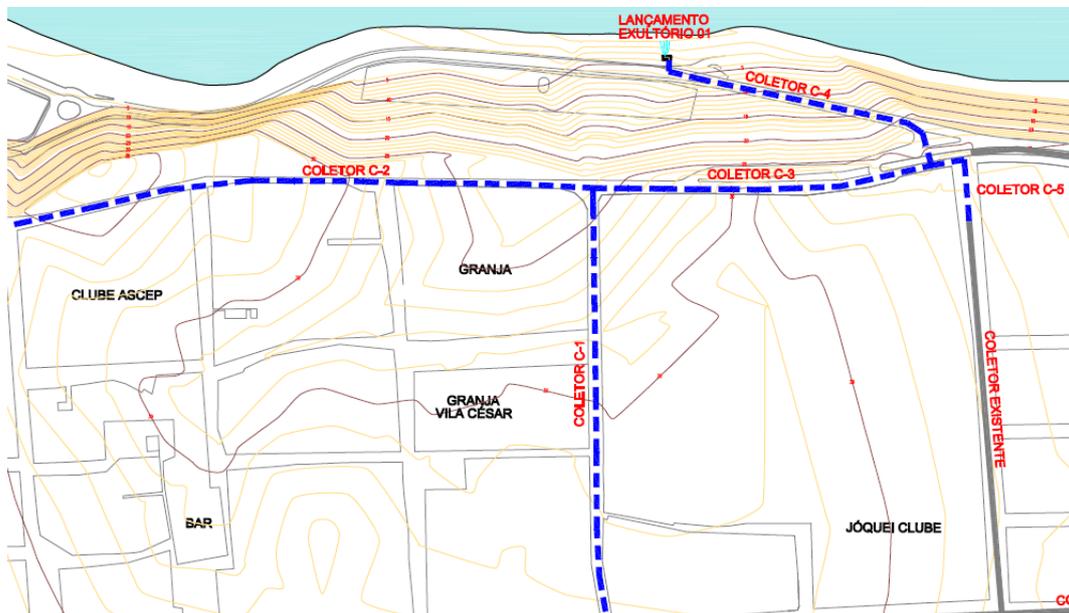
IDENTIFICAÇÃO DA BACIA	AREA	
	m2	hectare
BACIA 01	95700,00 m ²	9,57 ha
BACIA 02	178000,00 m ²	17,80 ha
BACIA 03 - 1	73100,00 m ²	7,31 ha
BACIA 03 - 2	6500,00 m ²	0,65 ha
BACIA 04	910400,00 m ²	91,04 ha
BACIA 05	21600,00 m ²	2,16 ha
BACIA 06	130300,00 m ²	13,03 ha
BACIA 07	56000,00 m ²	5,60 ha
BACIA 08	37200,00 m ²	3,72 ha
BACIA 09	224100,00 m ²	22,41 ha

Fonte: SEPLAN – Prefeitura Municipal de João Pessoa

A obra possibilitou o encaminhamento da água da chuva, distanciando o escoamento para outros locais, reduzindo assim a infiltração, bem como a erosão

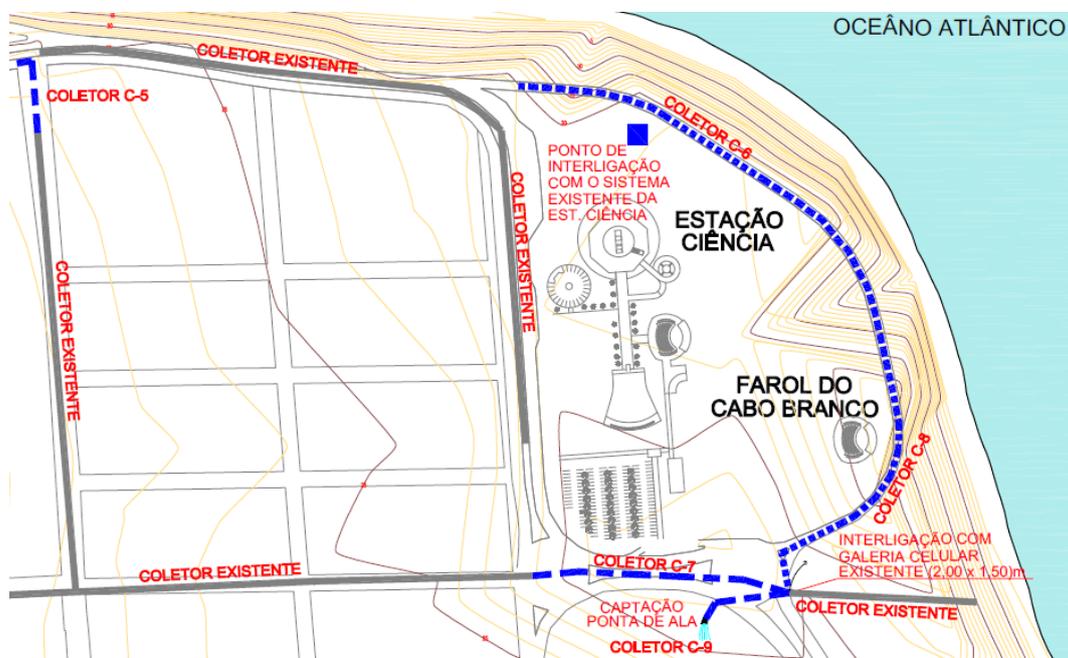
excessiva no solo da região. A concepção dos coletores pode ser vista nas Figuras 36 e 37.

Figura 36 - Concepção dos coletores de drenagem urbana (Parte 1)



Fonte: SEPLAN – Prefeitura Municipal de João Pessoa

Figura 37 - Concepção dos coletores de drenagem urbana (Parte 2)



Fonte: SEPLAN – Prefeitura Municipal de João Pessoa

O valor contratual da obra foi de R\$ 5.272.637,39 (cinco milhões duzentos e setenta e dois mil seiscentos e trinta e sete reais e trinta e nove centavos), onde estavam incluídos também os serviços de pavimentação de alguns trechos de vias locais.

7.2 Contenção do processo de erosão marinha da Falésia do Cabo Branco e da Praia do Seixas – etapa 2

Posterior a obra de intervenção na área continental, ocorreu o processo que neste trabalho será chamado de Etapa 2 do processo.

Essa etapa consistiu na proteção do sopé da Barreira do Cabo Branco, parte inferior da falésia, na qual ocorrem os maiores danos advindos da dinâmica das ondas.

De acordo com o projeto previsto em licitação, esta mediação é composta por três elementos: um cordão de enrocamento, um aterro entre este enrocamento e o sopé da falésia, e uma engorda de praia posterior ao enrocamento.

O enrocamento e o aterro pretendem garantir a proteção da falésia durante eventos extremos, bem como prover a existência de um caminho de acesso perene que não depende dos níveis de maré. Já a engorda da praia cumpre a função fundamental na dissipação e quebra das ondas incidentes, bem como possui valor paisagístico e recreativo, tornando balneáveis as praias no entorno da falésia.

De acordo com o projeto, o enrocamento possui um comprimento de 1740 metros, que vão das proximidades da praia de Iemanjá até o início da Praia do Seixas, procurando proteger a falésia da ação erosiva das ondas, bem como de eventos extremos, servindo também de suporte para o aterro a sotamar.

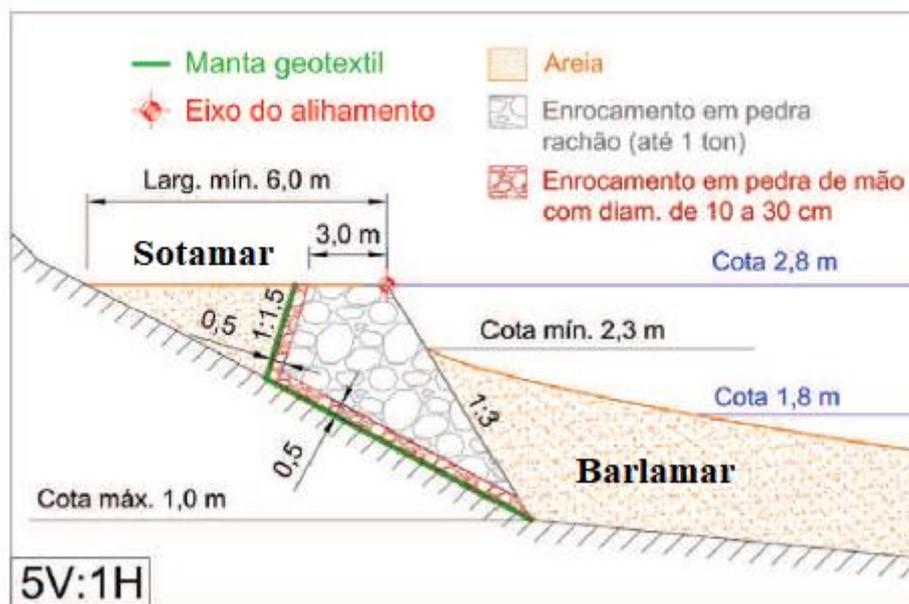
Esta estrutura possui uma seção transversal trapezoidal, com talude de barlamar de 1:3 e talude de sotamar de 1:1,5, coroamento na cota de 2,8 metros de altura e largura de 3 metros, com volume médio de 12 m³/m. Sendo assim, o volume utilizado de enrocamento na obra foi de 20.880 m³ (considerando os 1740 metros de comprimento).

O posicionamento da seção se deu baseado nos seguintes critérios fundamentais em todas as seções transversais:

- a) A base do talude de barlamar não pode superar a cota de 1 metro.
- b) A largura inicial da plataforma formada pelo coroamento do enrocamento e pelo aterro de sotamar deve ser sempre superior a 6 metros.

O esquema da seção de enrocamento é observado na Figura 38:

Figura 38 - Detalhe do enrocamento de proteção



Fonte: SEPLAN – Prefeitura Municipal de João Pessoa (Adaptado)

O aterro de sotamar, localizado entre o enrocamento e o pé da falésia visa, além de formar um patamar que sirva de caminho de acesso independentemente do nível da maré, trabalhar como filtro, impedindo o carreamento do sedimento fino que forma a falésia. O material destinado a compor esse aterro é arenoso de granulometria acima de 150 μm .

Como pode ser analisado na Figura 36, entre o sedimento do aterro de sotamar e o enrocamento, assim como entre o enrocamento e o solo a barlamar, o projeto previa a aplicação de uma manta geotêxtil não tecida com alta resistência a tração e abertura aparente de 125 μm (Tipo BIDIM RT 31 ou similar).

O terceiro elemento de proteção, localizado agora localizado a barlamar do enrocamento, consiste no aterro de areia de diâmetro igual ou superior a 300 μm de plataforma na ordem de 45 m de comprimento.

Os dados quantitativos dos materiais utilizados e discriminados por estaca, estão presentes no Apêndice A do presente trabalho.

7.3 Construção de quebra-mares – etapa 3

A alternativa final, prevista em projeto executivo, para a proteção da costa foi a construção de 8 quebra-mares paralelos à costa, que totalizam uma extensão de aproximadamente 2.600 metros.

O comprimento de cada um dos quebra-mares será de aproximadamente 300 metros e o espaçamento entre as estruturas é da ordem de 50 metros. Apenas o afastamento entre os quebra-mares 7 e 8 será de 75 metros. Tal diferenciação será adotada para facilitar a navegação das embarcações de turismo que comumente transportam passageiros da Praia dos Seixas para as piscinas. A largura prevista em projeto para as soleiras será de 10 metros.

O esquema representativo da disposição dos quebra-mares a serem implantados está presente no Apêndice B.

Segundo a Secretaria Municipal de Planejamento, a escolha da alternativa final se deu baseada em avaliações orçamentárias, procedimentos de modelagem matemática determinística e análises semiempíricas de dimensionamento. O processo teve como objetivo prever os possíveis comportamentos das estruturas e avaliar o desempenho futuro do conjunto de intervenções sugeridas.

Essa avaliação se deu por modelagem numérica que verificou a eficiência desses quebra-mares sob diferentes condições climáticas, bem como, prover subsídios que permitam realizar os últimos ajustes no seu projeto. O modelo utilizado foi o SWAN, modelo de simulação numérica de ondas desenvolvido pela Universidade de Tecnologia de Delft (Holanda). Tal software é capaz de computar a propagação de ondas, a geração de ondas pelo efeito do vento e a dissipação destas pela interação com o fundo.

Vale salientar que essa etapa de construção dos quebra-mares ainda não foi iniciada pela Prefeitura Municipal de João Pessoa. O que consta no Portal da Transparência do jurisdicionado é que a Concorrência Pública nº 33.005/2019, correspondente ao enrocamento (Etapa 1 – proteção do sopé da Falésia) celebrou um aditivo em janeiro do presente ano (2021) que adicionou mais 120 dias ao prazo contratual da obra.

8. A INTERVENÇÃO E O DEBATE ENTRE PROFISSIONAIS LOCAIS

Nesta seção serão abordadas algumas opiniões de profissionais coletadas por meio de entrevista, a fim de se obter uma abordagem mais ampla da problemática. Todos os entrevistados são profissionais da área e de alguma forma tiveram contato com a temática.

Segundo o Professor Dr. Francisco Sarmiento, Engenheiro Civil formado pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB), e então docente dessa instituição, o enrocamento concluído trouxe alguns malefícios para as regiões vizinhas, como é caso da Orla do Cabo Branco. Em seu artigo técnico, o mesmo aponta como a implementação do enrocamento alterou a dinâmica de transporte dos sedimentos por parte do mar na praia do Cabo Branco. Segundo Sarmiento (2020) o enrocamento impede que a areia, que antes era naturalmente levada da costa para a enseada do Cabo Branco, mantenha o equilíbrio que torna a praia com sedimentos arenosos. Conseqüentemente, ocorre um processo erosivo da areia da praia, expondo assim as pedras agora em destaque e as estruturas de proteção (como os gabiões) de locais muito visitados por turistas e habitantes, como a ciclovia e a calçada que passaram a perder material sedimentar de apoio. Com essa perda de material, as estruturas se tornam instáveis expondo a população ao perigo, situação demonstrada na Figura 39.

Figura 39 - Deterioração da calçada, Orla do Cabo Branco



Fonte: Sarmiento (2021)

Em entrevista realizada com o professor, ele destacou que a execução do projeto foi feita de forma invertida, pois o que se previa seria a contemplação dos quebra-mares antes mesmo do enrocamento. Tal inversão de ordem, foi adotada, segundo ele, em virtude da falta de recursos financeiros por parte do Poder Público Municipal, uma vez que a construção dos quebra-mares (etapa 3) se tratava de uma etapa mais onerosa.

Sarmento acrescentou que se encontrava ausente o Licenciamento Ambiental junto aos órgãos como o IBAMA e a SUDEMA, sendo o mesmo substituído por um licenciamento realizado pela própria Secretaria do Meio Ambiente da Prefeitura Municipal. Destacou também, que o projeto é plausível e retardaria o efeito de erosão causado pelo mar, desde que fossem executados na ordem correta, na qual a concepção dos quebra-mares viria primeiro. Tal processo deveria ser feito com um estudo mais ampliado da modelagem da dinâmica das ondas, juntamente com a realização de um adequado levantamento batimétrico, no qual seria possível prever os possíveis impactos ao Norte do litoral da cidade, em praias presentes em Manaíra, Bessa e nas proximidades do Porto de Cabedelo. O professor finaliza a entrevista citando que é de extrema importância a interdição definitiva do tráfego por cima da Falésia, pois a passagem de veículos causa abalos na estrutura e concomitantemente acelera o processo erosivo, tornando assim as vias extremamente inseguras para a população.

O segundo entrevistado, se tratou do Professor William Guimarães, Geógrafo pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB) e Mestre em Geodinâmica e Geofísica pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN).

Inicialmente, ao ser perguntado sobre a temática, o geógrafo aponta a ausência do Estudo de Impacto Ambiental (EIA) e do seu respectivo Relatório de Impacto Ambiental (RIMA), documento esse obrigatório quando se trata de uma obra desse porte. Além disso, destaca também a falta de licenças ambientais junto aos órgãos como a SUDEMA ou IBAMA, como citado pelo entrevistado anterior.

De acordo com Guimarães (2021), as ações decorrentes da obra descaracterizam a paisagem, restringe o uso da área pela população local e altera o ecossistema no qual vivem diversas espécies animais e vegetais, inclusive espécies ameaçadas de extinção.

Em consoante ao que foi dito, a instalação dos quebra-mares traria maiores impactos para o meio biótico, especialmente o marinho, alterando habitats naturais de diversos organismos.

Quando perguntado sobre a possibilidade de outras soluções, o geógrafo cita que entre os anos de 2007 e 2009 foi elaborado um EIA/RIMA em ação conjunta das

instituições de ensino superior UFPB, UFPE e UFC, no qual foram apontadas soluções pontuais como o enrocamento apenas nos pontos necessários e dois quebra-mares instalados na Praia dos Seixas e em frente à Praça de Iemanjá. Com relação a esse estudo, nada se concretizou.

9. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Considerando a classificação de Augusto Filho (1992), esses dois tipos de erosão (pluvial e marinha) identificados no local e citados anteriormente fazem surgir as seguintes movimentações identificadas na barreira:

- a) Queda: observam-se no local a queda de blocos de rocha, bem como blocos de solo em diversos pontos. Movimentação de grandes massas de solo, principalmente de solo mais grosseiro, na qual não se observou nenhum plano de deslocamento.
- b) Escorregamento: movimento de grande presença no local, ocorrido pelo deslocamento de grandes blocos, com destaque para os dois tipos de escorregamento, planar e rotacional.
- c) Rastejo: identificado pelos diversos planos de deslocamento e pela movimentação de objetos sobre a falésia, como a vegetação inclinada.

Especificamente, para a área de estudo, o aumento da sollicitação se dá pela sobrecarga advinda do acúmulo da água das chuvas, tanto no solo que compõe a barreira como na vegetação ali presente. A remoção de massa na base e acima dos taludes, por meio das ondas e das chuvas que saturam o solo exposto na face, respectivamente, são os fatores preponderantes na deflagração da erosão.

A redução da resistência ao cisalhamento do solo característico se dá com as variações climáticas do local, por meio do umedecimento e secagem, reduzindo assim propriedades como o ângulo de atrito e coesão, fatores importantes para manter a integridade do solo local.

Levando em consideração esses aspectos, este capítulo do trabalho fará considerações com relação as propostas de intervenção implantadas e previstas na seção anterior, a fim de apontar os prós e contras de cada uma das etapas destacadas anteriormente.

9.1 Intervenção na área continental da Falésia do Cabo Branco – etapa 1

Analisando o projeto e a obra executada no local, observou-se que a execução possibilitou a ampliação de uma rede de drenagem para a região, rede essa que já se

encontrava bastante deficiente, uma vez que apresentava apenas dois coletores de águas pluviais.

Tal construção, possibilitou o devido encaminhamento das águas de chuva que infiltravam e conseqüentemente sobrecarregavam o solo da região acima dos taludes da falésia.

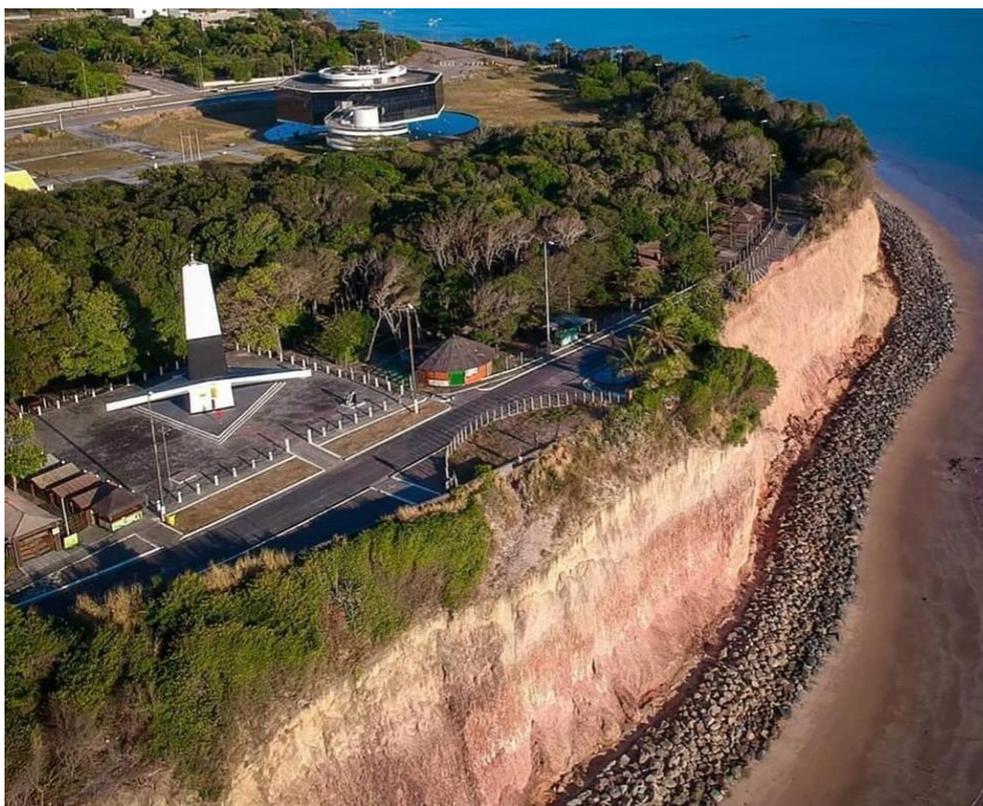
Entretanto, não foram apontados aspectos no projeto executado que contemplassem a drenagem no corpo dos taludes da falésia. Não foi levada em consideração a possibilidade da construção de escadarias hidráulicas, por exemplo, o que possibilitaria a redução da energia cinética da água das chuvas e conseqüentemente reduziria os danos da erosão pluvial. A ausência de um sistema como esse faz com que os escoamentos decorrentes da precipitação sejam ainda mais agressivos, ocasionando movimentações em toda extensão do corpo do talude.

É necessário destacar também os problemas causados pelo livre tráfego de veículos nas vias sobre a Falésia. Tal dinâmica de passagem desses automóveis causam sucessivos abalos na estrutura do solo e conseqüentemente agravam ainda mais o processo de instabilidade dos taludes que compõem a Barreira. Esse contexto deveria ser evitado e o tráfego por cima da falésia, extinto enquanto não houvesse um projeto de reforço dos taludes, como por exemplo solo reforçado e solo grampeado.

9.2 Contenção do processo de erosão marinha da Falésia do Cabo Branco e da Praia do Seixas – etapa 2

Esta fase das medidas de proteção da barreira, foi entregue pelos órgãos competentes em 23 de novembro de 2020. Com relação ao projeto de enrocamento e proteção do sopé da falésia, observou-se a situação da figura 40, após a execução da obra:

Figura 40 - Enrocamento concluído na Falésia do Cabo Branco



Fonte: Secom-JP (2020)

Estudando a situação observa-se que a faixa de enrocamento é considerável e de fato pode sanar, a um certo prazo, os efeitos da erosão marinha na camada mais abaixo dos taludes. Entretanto, não foram observados os outros dois elementos: o aterro a sotamar (entre o sopé da falésia e o enrocamento) e a engorda da praia a barlar do enrocamento, previstos no projeto.

Como citado anteriormente o aterro a sotamar do talude tinha como objetivo garantir a proteção em eventos extremos, bem como prover a existência de uma faixa que serviria de caminho de acesso. Já a engorda da praia possibilitaria a dissipação da energia das ondas, juntamente com o enrocamento, e criaria uma área balneável.

Uma complementação, a nível de sugestão, da execução do enrocamento, seria a alimentação artificial da praia, tópico citado na seção 5 do corrente trabalho, e que traria benefícios para o local, pois como citado anteriormente, essa prática possui um efeito mais rápido quando comparada as obras mais pesadas e possibilitaria para a região um caráter mais dinâmico, trazendo maior balneabilidade e atração turística para a praia que hoje não possui função turística ou econômica alguma para a população local.

Outra possibilidade de aprimoramento da obra executada, teria sido a utilização de geotubos, elementos apresentados no capítulo 5, no lugar do enrocamento realizado, pois como citado anteriormente, eles evitam a importação de material diferente ao presente no local, bem como o transporte complexo do mesmo. Os tubos geotêxteis apresentam maior aceitação ao redor do mundo no controle da erosão, em função também do aspecto ambiental. Reitera-se o seu custo-benefício quando comparado a outros tipos de soluções, como citado em Nóbrega Júnior (2016). Além disso, seria interessante e pertinente, retirar as rochas menores do enrocamento, pois grande parte delas são carregadas facilmente pela ação da maré.

9.3 Construção de quebra-mares – etapa 3

A obra de implantação dos quebra-mares visa proteger a linha costeira por dois caminhos distintos: pela redução do transporte de sedimentos de forma longitudinal e transversal a linha costeira da falésia.

A redução do período de incidência das ondas do mar, bem como a redução da altura das mesmas, faz com que seja minimizado o transporte transversal, no qual os sedimentos do sopé da Falésia são arrastados em direção ao mar. Nesse processo, o sedimento que é retirado da base da barreira é depositado nas praias vizinhas. Sem a capacidade de devolver os sedimentos a praia original, onde se localiza a falésia, o mar transporta o material composto principalmente por siltes e argilas através das correntes litorâneas.

Por outro lado, o transporte de material de forma longitudinal também é reduzido pela utilização das estruturas. A implantação dos quebra-mares faz com que a areia transportada pelas correntes litorâneas tenda a se depositar sobre a praia que se quer proteger.

Se espera que com esse acúmulo natural de areia, associado com a engorda da praia proposta no projeto, permitirá uma condição de estabilidade no transporte de sedimentos, tanto para a Praia do Cabo Branco quanto para a Praia do Seixas. Essa dinâmica reduz ainda mais a possibilidade de erosão da falésia. Porém, como observado anteriormente a engorda da praia prevista para ser realizada juntamente com o enrocamento (Etapa 2), não foi executada.

Como citado acima, os geotubos são bastante versáteis e podem, segundo Nóbrega Júnior (2016), desempenhar a função de quebra-mares, quando instalados no mar,

constituindo assim um forte candidato a substituir os quebra-mares previstos no projeto. Sabe-se que a execução da etapa 3, ainda não foi iniciada pela Prefeitura Municipal, e não se tem ainda nenhuma data prevista, ou nomeação da empresa responsável pela implantação.

10. CONCLUSÃO

Com base no exposto, conclui-se que o processo de degradação da Falésia do Cabo Branco é complexo e possui diversas causas, decorrentes tanto de processos naturais como de processos antrópicos.

Observou-se também que as soluções adotadas pelos órgãos responsáveis apresentaram pontos positivos, como por exemplo a proteção do sopé da falésia pelo enrocamento realizado. Entretanto, há ressalvas nas consequências dessa implementação, uma vez que trouxe a alteração da dinâmica de transporte de sedimentos na enseada da Orla do Cabo Branco. Além disso, o que se espera é que o processo natural de aumento do nível do mar aconteça no decorrer do tempo, sendo assim evidente a necessidade de um acompanhamento da solução atualmente adotada, a fim de projetar e executar ajustes necessários.

Deve-se realizar um bom gerenciamento do espaço costeiro do município e regiões vizinhas, que viabilize o monitoramento dos riscos de erosão das praias locais, estudo necessário para garantir a segurança dos usuários desse ambiente. Tal monitoramento deve acompanhar a linha de costa através de registros periódicos, a fim de prever a evolução do processo erosivo após a concepção da intervenção utilizada pela Prefeitura Municipal. Esses registros periódicos proporcionarão a previsão da susceptibilidade aos movimentos de massa e avaliar a estabilidade de taludes tanto na Falésia do Cabo Branco, quanto em outros pontos presentes na costa, identificando assim as áreas mais críticas.

Como sugestão aos trabalhos futuros, aconselha-se também a caracterização detalhada do solo presente nos taludes, pois através dessa, tem-se a previsão do comportamento desse solo com relação a erosão, tanto pluvial como marinha. Tal processo pode se dar por meio de ensaios de campo como a sondagem de simples reconhecimento (SPT) e coletas de amostras indeformadas das camadas de solo que compõem a Barreira, com a finalidade de obter os parâmetros de resistência em laboratório e conseqüentemente fazer uma análise de estabilidade mais completa.

11. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALFREDINI, P. Obras e Gestão de Portos e Costas. São Paulo: Edgard Blucher, 2005.
- ALHEIROS, M. M. e FERREIRA, M da G.V.X. (1991) – A Sub-Bacia Cabo. Revisão Geológica da Faixa Sedimentar Costeira de Pernambuco, Paraíba e parte do Rio Grande do Norte. Recife, UFPE- Estudos Geológicos, Série B Vol.10.
- AMARAL, R. F. Mecanismos de Movimentos de Massas em Falésias: Estudo de um Caso no Nordeste do Brasil. Revista Geotecnia, Sociedade Portuguesa de Geotecnia, aceito para publicação. 2009.
- ARAÚJO, Hipólito Filipe Costa de. Análise do mecanismo de ruptura da estrutura de contenção da Comunidade do Jacó – Natal (RN). 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal - RN, 2019.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GEOSSINTÉTICOS. Portal IGS Brasil. Disponível em:<<http://igsbrasil.org.br/os-geossinteticos>>. Acesso em 26 abril, 2021.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 11682: Estabilidade de Taludes. Rio de Janeiro. 1991.
- AUGUSTO FILHO, O. 1992. Caracterização geológico-geotécnica voltada a estabilização de encostas: uma proposta metodologica. ABMS/ABGE, Conferência Brasileira sobre Estabilidade de Encostas, 1, Rio de Janeiro, Anais, p. 721-733.
- AUGUSTO FILHO, O.; VIRGILI, J.C., Geologia da Engenharia. 1. ed. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 1998. cap. 15: Estabilidade de Taludes, p. 243-269.
- BARBOSA, Nathalia Marinho. Estabilidade das falésias da Barreira do Inferno – RN. 2017. 130 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN, Natal – RN, 2017.
- CARROLL, R. G.; RODENCAL, J. Jr.; COLLIN, J. G. Geosynthetics in Erosion Control: The Principles. Geotextiles and Geomembranes 11 (1992). ISBN 1-85166-796-2.
- CASTRO, Nathalia Paiva Barbosa de; ESCOBAR, Luiz Gustavo Burihan; MARTINS, Paula de Mello. O USO DA TECNOLOGIA DE TUBOS DE GEOTÊXTIL PARA CONTROLE DE EROSÃO MARINHA E FLUVIAL. 2009. Disponível em: <<file:///C:/Users/petronio/Downloads/Artigo-Nathalia-Controle-erosao-tubos-geotextil.pdf>>. Acesso em: 27 de abril, 2021.
- CERRI, L. E. S.; MACEDO, E. S.; AUGUSTO GILHO, O. Risco Geológico: uma nova área de atuação da geologia de engenharia no Brasil. Congresso Brasileiro de Geologia e Engenharia, 6, 1990, Salvador. Anais Salvador: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 1990, v.1, p. 319-325.
- CUR, 1987. Manual on Artificial Nourishment. In: Pilarczyk, K. W. & Overeem, J. (Eds.). Centre for Civil Engineering Research. Codes and Specifications. Delft Hydraulics. 195p.

DAS NEVES, L. P. Geossintéticos e Geossistemas em Engenharia Costeira. Dissertação de Mestrado em Engenharia do Ambiente, FEUP. Porto, 2003.

DEAN, R.G., 2002. Beach Nourishment: Theory and Practice. World Scientific Press, New Jersey, 399p.

FARIAS, Rideci de Jesus da Costa. UTILIZAÇÃO DE GEOSINTÉTICOS EM SISTEMAS DE CONTROLE DE EROSÕES. 2005. 188 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2005.

FILHO, H. de O. M.; CAMPOS, H. B. N.; SOARES, D. Rodrigues; FERREIRA, Ana Cláudia M. Novas observações do perfil estratigráfico da Falésia do Cabo Branco, compartimentação da Formação Barreiras, Paraíba-Brasil. Revista Principia – Divulgação Científica e Tecnológica do IFPB, n. 19, p. 108-114, João Pessoa – PB, 2011.

FIORI, A. P. (1995) - Fatores que Influem na Análise de Vertentes e no Movimento de Massa em Encostas. Boletim Paranaense de Geografia. N.43. 126p.

FRENCH, P.W. 1997. Coastal and Estuarine Management. Routledge. London and New York. 251p.

GARCIA, S. M. P. Aplicação informática de apoio à seleção de sistemas de protecção costeira com geossintéticos. Dissertação de mestrado em Engenharia do Ambiente, FEUP. Porto, 2007.

GERSCOVICH, D. Estabilidade de taludes. São Paulo: Oficina de Textos. 2012.

GRAVENS, M., Ebersole, B., Walton, T., Wise, R., 2006. Beach Fill Design. In: Ward, D. (editor). Coastal Engineering Manual. Part V. Coastal Project Planning and Design. Chapter IV. Engineer Manual 1110-2-1100 U.S. Army Corps of Engineers. Washington, DC.

GUERRA, A. J. T.; JORGE, M. C. O. Processos erosivos e recuperação de áreas degradadas. São Paulo, Oficina de Textos, 2013.

HILLYER, T.M., 1996. Shoreline Protection and Beach Erosion Control Study, Final Report: An Analysis of the U.S. Army Corps of Engineers Shore Protection Program. IWR Report 96-PS-1, Shoreline Protection and Beach Erosion Control Task Force, Water Resources Support Center, Institute for Water Resources, U.S. Army Corps of Engineers, Alexandria, VA (prepared for the Office of Management and Budget, Washington, DC.)

HORNSEY, W.P.; CARLEY, J.T.; COGHLAN, I.R.; COX, R.J. Geotextile sand container shoreline protection systems: Design and application. Geotextiles and Geomembranes 29 (2011) 425-439.

HUNGR, O.; LEROUEIL, S.; PICARELLI, L. The Varnes classification of landslide types, an update. Landslides, v. 11, n. 2, p. 167-194, 2014.

IBGE. Sinopse do Censo Demográfico. Disponível em: <<http://www.censo2010.ibge.gov.br/sinopse/>> Acesso em: 10/01/2015

IBGE. Atlas geográfico das zonas costeiras e oceânicas do Brasil. 2011. ISBN = 9788524042195.

Instituto de Estudos, Pesquisas e Projetos da UECE (IEPRO), Laboratório de Gestão Integrada da Zona Costeira (LAGIZC), Universidade Estadual do Ceará. Parecer técnico ambiental: Dinâmica costeira do litoral de Fortaleza e os impactos da construção dos aterros das praias de Meireles (Beira Mar) e Iracema sobre o litoral de Caucaia. Fortaleza – CE. Outubro de 2018.

LEPSCH, I. F. Formação e conservação dos solos. 2.ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

LEPSCH, I. F. Formação e conservação dos solos. São Paulo: Oficina de Textos, 2002.

LIMA FILHO, M. F. 1998. Análise Estratigráfica e Estrutural da Bacia Pernambuco. Tese de Doutorado, USP. Instituto de Geociências, São Paulo. 139p.

MOREIRA REIS, C. M. et al. Vulnerabilidade do Litoral de João Pessoa (PB) à Erosão Costeira. João Pessoa, Universidade Federal da Paraíba – UFPB, 2008.

MOURA-FÉ, M. M. Barreiras: série, grupo ou formação. Revista Brasileira de Geografia Física, vol. 07, nº 06 (2014) 1055-1061. Disponível em: <www.ufpp.br/rbgfe> Acesso em: 02 de setembro de 2020.

MOURA-FÉ, M.M. Barreiras: série, grupo ou formação. Revista Brasileira de Geografia Física, Recife, v. 07, n. 06, p. 1055-1061, fev. 2014.

NASCIMENTO, Kleiton Casemiro do. Monitoramento por DGPS e análise dos processos erosivos da linha de Costa na Praia do Pirangi do Norte – Parnamirim (RN). 2009. 112 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN, Natal – RN, 2009.

NASCIMENTO, MARUSKA TATIANA. Avaliação de Dano Mecânico em Geossintéticos em Obras de Disposição de Resíduos. 2002. Tese de Doutorado. Dissertação de Mestrado, Universidade de Brasília, Publicação G. DM-093A/02, 102p.

NEUMANN, V. H. et al. A Estratigrafia da Bacia Paraíba: uma reconsideração. Estudos Geológicos v. 13: 89-108, Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, 2004.

NÓBREGA JR., J. S. A problemática do processo erosivo da Falésia do Cabo Branco - PB. Trabalho de Conclusão de Curso - Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2016.

NORDSTROM, K. F. Recuperação de praias e dunas. São Paulo, Oficina de Textos, 2010.

NUNES, André Filipe Poiarez. Avaliação da sustentabilidade das infraestruturas de defesa costeira com recurso à utilização de veículos aéreos não tripulados e modelação 3D. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente, Perfil de Engenharia de Sistemas Ambientais) – Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, Portugal, 2017.

OYEGBILE, B. O.; OYEGBILE, B. A. Applications of geosynthetic membranes in soil stabilization and coastal defense structures. International Journal of Sustainable Built Environment 6 (2017). p636–662.

PALMA, D. M. L. C. Aplicação de geossistemas em obras de proteção costeira, o caso da restinga de Ofir. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Geológica, Universidade Nova de Lisboa. Lisboa, 2016.

PIÉRRE, Guilherme Cherem Schwarz. Análise de risco à erosão costeira de Tibau do Sul/RN através de mapeamento geoambiental e análise morfodinâmica. 2008. 174 f. Dissertação (Mestrado em Geodinâmica e Geofísica) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN, Natal – RN, 2008.

PINTO, Celso Aleixo., SILVEIRA, Tanya Mendes., TEIXEIRA, Sebastião Braz. Alimentação artificial de praias na faixa costeira de Portugal Continental: enquadramento e retrospectiva das intervenções realizadas (1950-2017) – Relatório Técnico. Departamento do Litoral e Proteção Costeira, Núcleo de Monitorização Costeira e Risco. Agência Portuguesa do Ambiente. Janeiro de 2018. Acesso em: 22 de abril de 2021.

Prefeitura Municipal de João Pessoa. Disponível em: <<http://www.joaopessoa.pb.gov.br/>>. Acesso em: 30 janeiro 2020.

REDIVO, A. L.; RAMOS, V. M.; GUIMARÃES, R. F.; JÚNIOR, O. A. D. C.; GOMES, R. A. T. Determinação de áreas susceptíveis a escorregamentos na BR 256 no município de Ouro Preto-MG. *Ciência e Natura*, v. 26, p. 31-46, 2004.

REIS, Christianne M. M.; NEUMANN, H. de M. Lopes; LIMA, E. R. Viana. Vulnerabilidade do litoral de João Pessoa (PB) à erosão costeira. *Estudos Geológicos* v. 18 (2), 2008.

SANTOS JR, O. F.; COSTA, Y. D. J.; CHAVES, L. F.; COSTA, C. M. L. Avaliação de processos erosivos de falésias em Pirangi do Norte, Parnamirim – RN.

SANTOS, Caio Lima; LISTO, F. de L. R.; SILVA, Osvaldo Girão da; REIS, Rafael B. dos. Análise metodológica de estudos referentes a eventos de movimentos de massa e erosão ocorridos na região Nordeste do Brasil. *Caderno de Geografia*, v. 28, n. 55, p 2318-2962, 2018.

SARMENTO, Francisco Jácome. “Até quando João Pessoa vai assistir impassível seu mais belo cartão postal ser destruído?”. Francisco Jácome Sarmento, 2020. Disponível em: <<https://www.franciscojacomesarmento.com>>. Acesso em: 29, maio e 2021.

SARMENTO, Francisco Jácome. “Afiml, o que está acontecendo na praia do Cabo Branco?”. Francisco Jácome Sarmento, 2020. Disponível em: <<https://www.franciscojacomesarmento.com>>. Acesso em: 29, maio e 2021.

SEVERO, Ricardo Nascimento Flores. Caracterização geotécnica da falésia da Ponta do Pirambu em Tibau do Sul – RN, considerando a influência do comportamento dos solos nos estados indeformado e cimentado artificialmente. 2011. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, Recife – PE, 2011.

SILVA, Breno Marques Ferreira da. Análise probabilística da estabilidade de falésias no litoral do RN. 2019. 271 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN, Natal – RN, 2019.

SILVA, Larissa Ferreira da. Análise de curva de correlação entre pluviosidade e movimentos de massa nas encostas de João Pessoa (PB). 2018. Monografia (Curso de Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal da Paraíba (UFPB) – Campus I, João Pessoa – PB, 2018.

SILVA, Shirleane R. da; SILVA, Renata de Lyra e; FERREIRA, Gleide Lima; CALDAS, Anildo. Impactos ambientais causados pela erosão marinha nas praias de Paulista. IV

Semana Nacional de Ciência e Tecnologia. Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE, Recife – PB, 2009.

SOCIEDADE INTERNACIONAL DE GEOSSINTÉTICOS (International Geosynthetic Society – IGS) disponível em: < <http://igsbrasil.org.br/wp-content/uploads/geossinteticos/2.pdf> >. Acesso em 26 de abril, 2021.

SOUSA, N. P. S. Avaliação de Processos Erosivos de Falésias do litoral sul da Paraíba. João Pessoa, Universidade Federal da Paraíba – UFPB, 2013.

SOUSA, Nuno Miguel Barros de. Obras Marítimas de Acostagem: o caso do Porto de Abrigo da Ilha do Porto Santo, 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade da Madeira. Funchal - Portugal, 2011.

SOUZA, Vladimir Sobral de. Mapa Climático Urbano da Cidade de João Pessoa. João Pessoa, Universidade Federal da Paraíba – UFPB, 2010.

SP RIO MAIS. Obras contra erosões na orla da Massaguaçu devem ficar prontas até fevereiro. Disponível em: <https://www.spriomais.com.br/2020/12/09/obras-contr-erosoes-na-orla-da-massaguacu-devem-ficar-prontas-ate-fevereiro-em-caraguatatuba/>. Acesso em: 20 de abril de 2021

TAQUEZ, David Esteban Diaz. Susceptibilidade à ocorrência de movimentos de massa e avaliação da estabilidade de falésias sob condição não saturada: estudo de caso no centro de lançamentos da Barreira do inferno – RN. 2017. 216 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN, Natal – RN, 2017.

TEIXEIRA, S.B., 2011. A alimentação artificial de praias com dragados no Algarve. In: Coelho C, Silva OA, Pinheiro LM, Gonçalves DS (Eds). Dragagens – Fundamentos, Técnicas e Impactos. Universidade de Aveiro, Lusoimpress, pp. 221-240.

TenCate GeoTUBE®. Disponível em: < <http://www.tencate.com/> >. Acesso em: 26 de abril, 2021.

VAN RIJN, L. C. (2011) - Coastal erosion and control. *Ocean & Coast. Manag.* 54, 867-887. doi:10.1016/j.ocecoaman.2011.05.004.

VARNES, David J. Slope movement types and processes. Transportation Research Board Special Report, n. 176, 1978.

VERTEMATTI, J. C. (Coord.). Manual Brasileiro de Geossintéticos. São Paulo: Ed. Edgar Blücher, 2004.

ZAIDAN, R. T.; FERNANDES, N. F. Zoneamento de suscetibilidade a escorregamentos em encostas aplicado à bacia de drenagem urbana do Córrego da Independência – Juiz de Fora (MG). *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 10, n. 2, p. 57-76, 2009.

APÊNDICE A – Dados quantitativos da proteção das falésias

Seção	Estaca	Distância Parcial (m)	Distância Acumulada (m)	Área de Aterro Sotamar - Areia (m²)	Área de Enrocamento (m²)	Volume de Rocha Parcial (m³)	Área de Aterro Barlamar - Areia (m²)	Área da Seção de Equilíbrio (m²)	Comprimento de Geotêxtil (m)	Área de Geotêxtil Parcial (m²)	Área de Geotêxtil Acumulado (m²)	Volume de Areia Parcial - Sotamar (m³)	Volume de Areia Parcial - Barlamar (m³)
01.1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	99,98	147,52	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
01.2	20,00	20,00	20,00	0,00	0,00	0,00	100,09	156,99	0,00	0,00	0,00	0,00	2.000,70
01.2	40,00	20,00	40,00	0,00	0,00	0,00	100,20	166,47	0,00	0,00	0,00	0,00	2.002,85
01.3	60,00	20,00	60,00	0,00	0,00	0,00	100,30	175,94	0,00	0,00	0,00	0,00	2.005,00
01.3	80,00	20,00	80,00	0,00	0,00	0,00	100,41	185,42	0,00	0,00	0,00	0,00	2.007,15
01.4	100,00	20,00	100,00	0,00	0,00	0,00	100,52	194,89	0,00	0,00	0,00	0,00	2.009,30
01.4	120,00	20,00	120,00	0,00	0,00	0,00	100,63	204,37	0,00	0,00	0,00	0,00	2.011,45
01.5	140,00	20,00	140,00	0,00	0,00	0,00	100,65	206,59	0,00	0,00	0,00	0,00	2.012,78
02.1	144,68	4,68	144,68	0,00	0,00	0,00	100,76	216,06	0,00	0,00	0,00	0,00	471,40
02.2	160,00	15,32	160,00	0,31	0,71	5,46	100,80	210,97	0,77	5,87	5,87	2,38	1.543,88
02.3	180,00	20,00	180,00	0,72	1,64	23,55	100,86	204,32	1,77	25,35	31,22	10,28	2.016,70
02.4	200,00	20,00	200,00	1,12	2,57	42,15	100,92	197,67	2,77	45,37	76,60	18,41	2.017,90
02.5	220,00	20,00	220,00	1,53	3,50	60,75	100,98	191,02	3,77	65,40	141,99	26,53	2.019,10
02.6	240,00	20,00	240,00	1,94	4,43	79,35	101,04	184,37	4,77	85,42	227,41	34,65	2.020,29
02.7	260,00	20,00	260,00	2,34	5,36	97,96	101,10	177,72	5,77	105,44	332,85	42,77	2.021,49
02.8	280,00	20,00	280,00	2,75	6,29	116,56	101,16	171,07	6,77	125,47	458,32	50,89	2.022,69
02.9	300,00	20,00	300,00	3,15	7,22	135,16	101,22	164,42	7,78	145,49	603,81	59,02	2.023,89
02.10	320,00	20,00	320,00	3,56	8,15	153,76	101,28	157,77	8,78	165,51	769,33	67,14	2.025,09
02.11	340,00	20,00	340,00	3,97	9,08	172,36	101,34	151,12	9,78	185,54	954,86	75,26	2.026,29
03.1	359,89	19,89	359,89	4,37	10,01	189,83	101,40	144,51	10,77	204,34	1.159,21	82,89	2.016,03
03.2	360,00	0,11	360,00	4,37	10,01	1,13	101,40	144,49	10,77	1,22	1.160,42	0,49	11,46
03.3	380,00	20,00	380,00	4,33	9,90	199,05	101,38	142,18	10,72	214,92	1.375,34	87,02	2.027,87
03.4	400,00	20,00	400,00	4,29	9,79	196,86	101,36	139,86	10,67	213,85	1.589,19	86,27	2.027,46
03.5	420,00	20,00	420,00	4,26	9,68	194,67	101,34	137,54	10,61	212,78	1.801,98	85,52	2.027,05
03.6	440,00	20,00	440,00	4,22	9,57	192,47	101,32	135,23	10,56	211,71	2.013,69	84,77	2.026,65
03.7	460,00	20,00	460,00	4,18	9,46	190,28	101,30	132,91	10,51	210,64	2.224,33	84,02	2.026,24
03.8	480,00	20,00	480,00	4,14	9,35	188,09	101,28	130,59	10,45	209,57	2.433,91	83,27	2.025,83
03.9	500,00	20,00	500,00	4,11	9,24	185,89	101,26	128,28	10,40	208,51	2.642,41	82,52	2.025,42
03.10	520,00	20,00	520,00	4,07	9,13	183,70	101,24	125,96	10,35	207,44	2.849,85	81,76	2.025,01
03.11	540,00	20,00	540,00	4,03	9,02	181,51	101,22	123,64	10,29	206,37	3.056,22	81,01	2.024,60
03.12	560,00	20,00	560,00	3,99	8,91	179,32	101,20	121,33	10,24	205,30	3.261,51	80,26	2.024,19
03.13	580,00	20,00	580,00	3,96	8,80	177,12	101,18	119,01	10,18	204,23	3.465,74	79,51	2.023,78
03.14	600,00	20,00	600,00	3,92	8,69	174,93	101,16	116,70	10,13	203,16	3.668,90	78,76	2.023,37

Fonte: SEPLAN – Prefeitura Municipal de João Pessoa

Seção	Estaca	Distância Parcial (m)	Distância Acumulada (m)	Área de Aterro Sotamar - Areia (m²)	Área de Enrocamento (m²)	Volume de Rocha Parcial (m³)	Área de Aterro Barlamar - Areia (m²)	Área da Seção de Equilíbrio (m²)	Comprimento de Geotêxtil (m)	Área de Geotêxtil Parcial (m²)	Área de Geotêxtil Acumulado (m²)	Volume de Areia Parcial - Sotamar (m³)	Volume de Areia Parcial - Barlamar (m³)
04.1	615,08	15,08	615,08	3,89	8,61	130,42	101,14	114,95	10,09	152,45	3.821,35	58,88	1.525,05
04.2	620,00	4,92	620,00	3,83	8,55	42,23	101,14	116,25	10,07	49,62	3.870,97	18,99	497,91
04.3	640,00	20,00	640,00	3,56	8,30	168,47	101,11	121,56	9,97	200,32	4.071,29	73,86	2.022,43
04.4	660,00	20,00	660,00	3,30	8,05	163,51	101,08	126,86	9,87	198,31	4.269,60	68,56	2.021,86
04.5	680,00	20,00	680,00	3,03	7,80	158,54	101,05	132,16	9,76	196,30	4.465,90	63,26	2.021,29
04.6	700,00	20,00	700,00	2,77	7,55	153,57	101,02	137,46	9,66	194,29	4.660,20	57,96	2.020,72
04.7	720,00	20,00	720,00	2,50	7,31	148,60	100,99	142,77	9,56	192,28	4.852,48	52,66	2.020,15
04.8	740,00	20,00	740,00	2,24	7,06	143,64	100,96	148,07	9,46	190,28	5.042,76	47,36	2.019,57
04.9	760,00	20,00	760,00	1,97	6,81	138,67	100,94	153,37	9,36	188,27	5.231,02	42,06	2.019,00
04.10	780,00	20,00	780,00	1,71	6,56	133,70	100,91	158,67	9,26	186,26	5.417,28	36,75	2.018,43
04.11	800,00	20,00	800,00	1,44	6,31	128,73	100,88	163,98	9,16	184,25	5.601,53	31,45	2.017,86
04.12	820,00	20,00	820,00	1,17	6,06	123,77	100,85	169,28	9,06	182,24	5.783,77	26,15	2.017,29
04.13	840,00	20,00	840,00	0,91	5,82	118,80	100,82	174,58	8,96	180,23	5.964,00	20,85	2.016,72
04.14	860,00	20,00	860,00	0,64	5,57	113,83	100,79	179,88	8,86	178,22	6.142,22	15,55	2.016,14
05.1	872,51	12,51	872,51	0,48	5,41	68,69	100,78	183,20	8,80	110,47	6.252,69	7,03	1.261,01
05.2	880,00	7,49	880,00	0,50	5,53	40,97	100,77	181,83	8,85	66,08	6.318,78	3,68	754,59
05.3	900,00	20,00	900,00	0,57	5,85	113,85	100,76	178,18	9,00	178,48	6.497,26	10,73	2.015,29
05.4	920,00	20,00	920,00	0,64	6,17	120,26	100,75	174,52	9,14	181,37	6.678,63	12,05	2.015,06
05.5	940,00	20,00	940,00	0,70	6,49	126,67	100,74	170,87	9,28	184,25	6.862,88	13,36	2.014,82
05.6	960,00	20,00	960,00	0,77	6,81	133,08	100,72	167,22	9,43	187,14	7.050,02	14,68	2.014,59
05.7	980,00	20,00	980,00	0,83	7,13	139,49	100,71	163,56	9,57	190,02	7.240,04	15,99	2.014,35
05.8	1.000,00	20,00	1.000,00	0,90	7,46	145,90	100,70	159,91	9,72	192,91	7.432,95	17,31	2.014,12
05.9	1.020,00	20,00	1.020,00	0,96	7,78	152,31	100,69	156,26	9,86	195,79	7.628,75	18,62	2.013,88
05.10	1.040,00	20,00	1.040,00	1,03	8,10	158,72	100,68	152,60	10,01	198,68	7.827,43	19,94	2.013,64
05.11	1.060,00	20,00	1.060,00	1,10	8,42	165,13	100,66	148,95	10,15	201,56	8.028,99	21,26	2.013,41
05.12	1.080,00	20,00	1.080,00	1,16	8,74	171,54	100,65	145,30	10,29	204,45	8.233,44	22,57	2.013,17
05.13	1.100,00	20,00	1.100,00	1,23	9,06	177,95	100,64	141,64	10,44	207,34	8.440,78	23,89	2.012,94

Fonte: SEPLAN – Prefeitura Municipal de João Pessoa

Seção	Estaca	Distância Parcial (m)	Distância Acumulada (m)	Área de Aterro Sotamar - Areia (m²)	Área de Enrocamento (m²)	Volume de Rocha Parcial (m³)	Área de Aterro Barlamar - Areia (m²)	Área da Seção de Equilíbrio (m²)	Comprimento de Geotêxtil (m)	Área de Geotêxtil Parcial (m²)	Área de Geotêxtil Acumulado (m²)	Volume de Areia Parcial - Sotamar (m³)	Volume de Areia Parcial - Barlamar (m³)
06.1	1.115,12	15,12	1.115,12	1,28	9,30	138,82	100,63	138,88	10,55	158,70	8.599,48	18,94	1.522,03
06.2	1.120,00	4,88	1.120,00	1,27	9,35	45,46	100,64	139,20	10,58	151,52	8.651,00	6,21	490,71
06.3	1.140,00	20,00	1.140,00	1,25	9,54	188,90	100,69	140,53	10,72	213,08	8.864,07	25,17	2.013,36
06.4	1.160,00	20,00	1.160,00	1,22	9,74	192,81	100,74	141,86	10,87	215,92	9.079,99	24,67	2.014,33
06.5	1.180,00	20,00	1.180,00	1,20	9,93	196,71	100,79	143,19	11,01	218,76	9.298,75	24,17	2.015,29
06.6	1.200,00	20,00	1.200,00	1,17	10,13	200,61	100,84	144,52	11,15	221,61	9.520,36	23,67	2.016,26
06.7	1.220,00	20,00	1.220,00	1,15	10,32	204,52	100,89	145,85	11,29	224,45	9.744,81	23,18	2.017,22
06.8	1.240,00	20,00	1.240,00	1,12	10,52	208,42	100,93	147,18	11,44	227,29	9.972,10	22,68	2.018,19
06.9	1.260,00	20,00	1.260,00	1,10	10,71	212,33	100,98	148,51	11,58	230,14	10.202,24	22,18	2.019,16
06.10	1.280,00	20,00	1.280,00	1,07	10,91	216,23	101,03	149,84	11,72	232,98	10.435,22	21,68	2.020,12
06.11	1.300,00	20,00	1.300,00	1,05	11,10	220,13	101,08	151,17	11,86	235,82	10.671,04	21,18	2.021,09
06.12	1.320,00	20,00	1.320,00	1,02	11,30	224,04	101,13	152,50	12,00	238,67	10.909,71	20,68	2.022,06
06.13	1.340,00	20,00	1.340,00	1,00	11,49	227,94	101,18	153,82	12,15	241,51	11.151,22	20,19	2.023,02
06.14	1.360,00	20,00	1.360,00	0,97	11,69	231,84	101,22	155,15	12,29	244,35	11.395,57	19,69	2.023,99
07.1	1.380,00	20,00	1.380,00	0,95	11,89	235,75	101,27	156,48	12,43	247,20	11.642,77	19,19	2.024,96
07.2	1.400,00	20,00	1.400,00	0,96	11,80	236,83	101,25	160,29	12,40	248,31	11.891,08	19,07	2.025,26
07.3	1.420,00	20,00	1.420,00	0,97	11,71	235,09	101,24	164,10	12,37	247,69	12.138,77	19,32	2.024,91
07.4	1.440,00	20,00	1.440,00	0,99	11,62	233,35	101,22	167,90	12,34	247,07	12.385,84	19,58	2.024,56
07.5	1.460,00	20,00	1.460,00	1,00	11,54	231,61	101,20	171,71	12,31	246,44	12.632,28	19,83	2.024,20
07.6	1.480,00	20,00	1.480,00	1,01	11,45	229,87	101,18	175,51	12,28	245,82	12.878,10	20,09	2.023,85
07.7	1.500,00	20,00	1.500,00	1,02	11,36	228,13	101,17	179,32	12,24	245,20	13.123,30	20,34	2.023,49
07.8	1.520,00	20,00	1.520,00	1,04	11,28	226,40	101,15	183,13	12,21	244,58	13.367,88	20,60	2.023,14
07.9	1.540,00	20,00	1.540,00	1,05	11,19	224,66	101,13	186,93	12,18	243,96	13.611,84	20,85	2.022,79
07.10	1.560,00	20,00	1.560,00	1,06	11,10	222,92	101,11	190,74	12,15	243,34	13.855,18	21,11	2.022,43
07.11	1.580,00	20,00	1.580,00	1,07	11,02	221,18	101,10	194,55	12,12	242,71	14.097,89	21,36	2.022,08
08.1	1.599,42	19,42	1.599,42	1,09	10,93	213,10	101,08	198,24	12,09	235,08	14.332,97	20,99	1.963,10
08.02	1.600,00	0,58	1.600,00	1,09	10,92	6,34	101,08	198,46	12,09	7,01	14.339,98	0,63	58,63
08.03	1.620,00	20,00	1.620,00	1,08	10,72	216,41	101,11	206,19	11,92	240,02	14.580,01	21,68	2.021,86
08.04	1.640,00	20,00	1.640,00	1,08	10,51	212,24	101,14	213,91	11,75	236,67	14.816,67	21,57	2.022,44
08.05	1.660,00	20,00	1.660,00	1,07	10,30	208,07	101,16	221,63	11,58	233,31	15.049,98	21,45	2.023,01

Fonte: SEPLAN – Prefeitura Municipal de João Pessoa

Seção	Estaca	Distância Parcial (m)	Distância Acumulada (m)	Área de Aterro Sotamar - Areia (m²)	Área de Enrocamento (m²)	Volume de Rocha Parcial (m³)	Área de Aterro Barlamar - Areia (m²)	Área da Seção de Equilíbrio (m²)	Comprimento de Geotêxtil (m)	Área de Geotêxtil Parcial (m²)	Área de Geotêxtil Acumulado (m²)	Volume de Areia Parcial - Sotamar (m³)	Volume de Areia Parcial - Barlamar (m³)
08.06	1.680,00	20,00	1.680,00	1,06	10,09	203,90	101,19	229,36	11,41	229,95	15.279,93	21,34	2.023,59
08.07	1.700,00	20,00	1.700,00	1,06	9,88	199,73	101,22	237,08	11,25	226,59	15.506,53	21,22	2.024,16
08.08	1.720,00	20,00	1.720,00	1,05	9,67	195,55	101,25	244,80	11,08	223,24	15.729,77	21,11	2.024,73
08.09	1.740,00	20,00	1.740,00	1,05	9,46	191,38	101,28	252,52	10,91	219,88	15.949,65	21,00	2.025,31
08.10	1.760,00	20,00	1.760,00	1,04	9,26	187,21	101,31	260,25	10,74	216,52	16.166,17	20,88	2.025,88
08.11	1.780,00	20,00	1.780,00	1,04	9,05	183,04	101,34	267,97	10,57	213,17	16.379,34	20,77	2.026,46
08.12	1.800,00	20,00	1.800,00	1,03	8,84	178,87	101,37	275,69	10,41	209,81	16.589,14	20,65	2.027,03
08.13	1.820,00	20,00	1.820,00	1,02	8,63	174,69	101,39	283,41	10,24	206,45	16.795,59	20,54	2.027,61
08.14	1.840,00	20,00	1.840,00	1,02	8,42	170,52	101,42	291,14	10,07	203,09	16.998,69	20,43	2.028,18
08.15	1.860,00	20,00	1.860,00	1,01	8,21	166,35	101,45	298,86	9,90	199,74	17.198,42	20,31	2.028,75
08.16	1.880,00	20,00	1.880,00	1,01	8,00	162,18	101,48	306,58	9,74	196,38	17.394,80	20,20	2.029,33
08.17	1.900,00	20,00	1.900,00	1,00	7,80	158,01	101,51	314,30	9,57	193,02	17.587,83	20,08	2.029,90
08.18	1.920,00	20,00	1.920,00	1,00	7,59	153,84	101,54	322,03	9,40	189,66	17.777,49	19,97	2.030,48
08.19	1.940,00	20,00	1.940,00	0,99	7,38	149,66	101,57	329,75	9,23	186,31	17.963,80	19,86	2.031,05
08.20	1.960,00	20,00	1.960,00	0,98	7,17	145,49	101,60	337,47	9,06	182,95	18.146,75	19,74	2.031,62
08.21	1.980,00	20,00	1.980,00	0,98	6,96	141,32	101,62	345,19	8,90	179,59	18.326,34	19,63	2.032,20
08.22	2.000,00	20,00	2.000,00	0,97	6,75	137,15	101,65	352,92	8,73	176,24	18.502,57	19,51	2.032,77
08.23	2.020,00	20,00	2.020,00	0,97	6,54	132,98	101,68	360,64	8,56	172,88	18.675,45	19,40	2.033,35
08.24	2.040,00	20,00	2.040,00	0,96	6,34	128,80	101,71	368,36	8,39	169,52	18.844,97	19,29	2.033,92
08.25	2.060,00	20,00	2.060,00	0,96	6,13	124,63	101,74	376,08	8,22	166,16	19.011,14	19,17	2.034,49
08.26	2.080,00	20,00	2.080,00	0,95	5,92	120,46	101,77	383,81	8,06	162,81	19.173,94	19,06	2.035,07
09.1	2.083,62	3,62	2.083,62	0,95	5,88	21,35	101,77	385,20	8,03	29,09	19.203,04	3,44	368,21
09.2	2.100,00	16,38	2.100,00	0,86	5,31	91,64	101,66	383,63	7,24	125,06	19.328,10	14,79	1.666,30
09.3	2.120,00	20,00	2.120,00	0,74	4,61	99,13	101,52	381,72	6,29	135,29	19.463,39	16,00	2.031,75
09.4	2.140,00	20,00	2.140,00	0,63	3,91	85,11	101,38	379,80	5,33	116,16	19.579,54	13,73	2.028,94
09.5	2.160,00	20,00	2.160,00	0,52	3,20	71,10	101,24	377,88	4,37	97,03	19.676,57	11,47	2.026,13
09.6	2.180,00	20,00	2.180,00	0,40	2,50	57,08	101,10	375,97	3,42	77,90	19.754,46	9,21	2.023,32
09.7	2.200,00	20,00	2.200,00	0,29	1,80	43,06	100,96	374,05	2,46	58,77	19.813,23	6,95	2.020,51
09.8	2.220,00	20,00	2.220,00	0,18	1,10	29,04	100,81	372,13	1,50	39,64	19.852,87	4,69	2.017,70
09.9	2.240,00	20,00	2.240,00	0,06	0,40	15,03	100,67	370,22	0,55	20,51	19.873,37	2,42	2.014,89

Fonte: SEPLAN – Prefeitura Municipal de João Pessoa

Seção	Estaca	Distância Parcial (m)	Distância Acumulada (m)	Área de Aterro Sotamar - Areia (m²)	Área de Enrocamento (m²)	Volume de Rocha Parcial (m³)	Área de Aterro Barlamar - Areia (m²)	Área da Seção de Equilíbrio (m²)	Comprimento de Geotêxtil (m)	Área de Geotêxtil Parcial (m²)	Área de Geotêxtil Acumulado (m²)	Volume de Areia Parcial - Sotamar (m³)	Volume de Areia Parcial - Barlamar (m³)
10.1	2.251,44	11,44	2.251,44	0,00	0,00	2,29	100,59	369,12	0,00	3,13	19.876,50	0,37	1.151,15
10.2	2.260,00	8,56	2.260,00	0,00	0,00	0,00	100,62	369,88	0,00	0,00	19.876,50	0,00	861,30
10.3	2.280,00	20,00	2.280,00	0,00	0,00	0,00	100,68	371,67	0,00	0,00	19.876,50	0,00	2.013,06
10.4	2.300,00	20,00	2.300,00	0,00	0,00	0,00	100,75	373,45	0,00	0,00	19.876,50	0,00	2.014,34
10.5	2.320,00	20,00	2.320,00	0,00	0,00	0,00	100,81	375,23	0,00	0,00	19.876,50	0,00	2.015,61
10.6	2.340,00	20,00	2.340,00	0,00	0,00	0,00	100,88	377,02	0,00	0,00	19.876,50	0,00	2.016,88
10.7	2.360,00	20,00	2.360,00	0,00	0,00	0,00	100,94	378,80	0,00	0,00	19.876,50	0,00	2.018,16
10.8	2.380,00	20,00	2.380,00	0,00	0,00	0,00	101,00	380,58	0,00	0,00	19.876,50	0,00	2.019,43
10.9	2.400,00	20,00	2.400,00	0,00	0,00	0,00	101,07	382,36	0,00	0,00	19.876,50	0,00	2.020,70
10.10	2.420,00	20,00	2.420,00	0,00	0,00	0,00	101,13	384,15	0,00	0,00	19.876,50	0,00	2.021,98
10.11	2.440,00	20,00	2.440,00	0,00	0,00	0,00	101,19	385,93	0,00	0,00	19.876,50	0,00	2.023,25
10.12	2.460,00	20,00	2.460,00	0,00	0,00	0,00	101,26	387,71	0,00	0,00	19.876,50	0,00	2.024,53
10.13	2.480,00	20,00	2.480,00	0,00	0,00	0,00	101,32	389,50	0,00	0,00	19.876,50	0,00	2.025,80
10.14	2.500,00	20,00	2.500,00	0,00	0,00	0,00	101,39	391,28	0,00	0,00	19.876,50	0,00	2.027,07
10.15	2.520,00	20,00	2.520,00	0,00	0,00	0,00	101,45	393,06	0,00	0,00	19.876,50	0,00	2.028,35
10.16	2.540,00	20,00	2.540,00	0,00	0,00	0,00	101,51	394,84	0,00	0,00	19.876,50	0,00	2.029,62
10.17	2.560,00	20,00	2.560,00	0,00	0,00	0,00	101,58	396,63	0,00	0,00	19.876,50	0,00	2.030,89
11.1	2.576,46	325,02	2.576,46	0,00	0,00	0,00	101,63	398,09	0,00	0,00	19.876,50	0,00	1.672,18

Fonte: SEPLAN – Prefeitura Municipal de João Pessoa

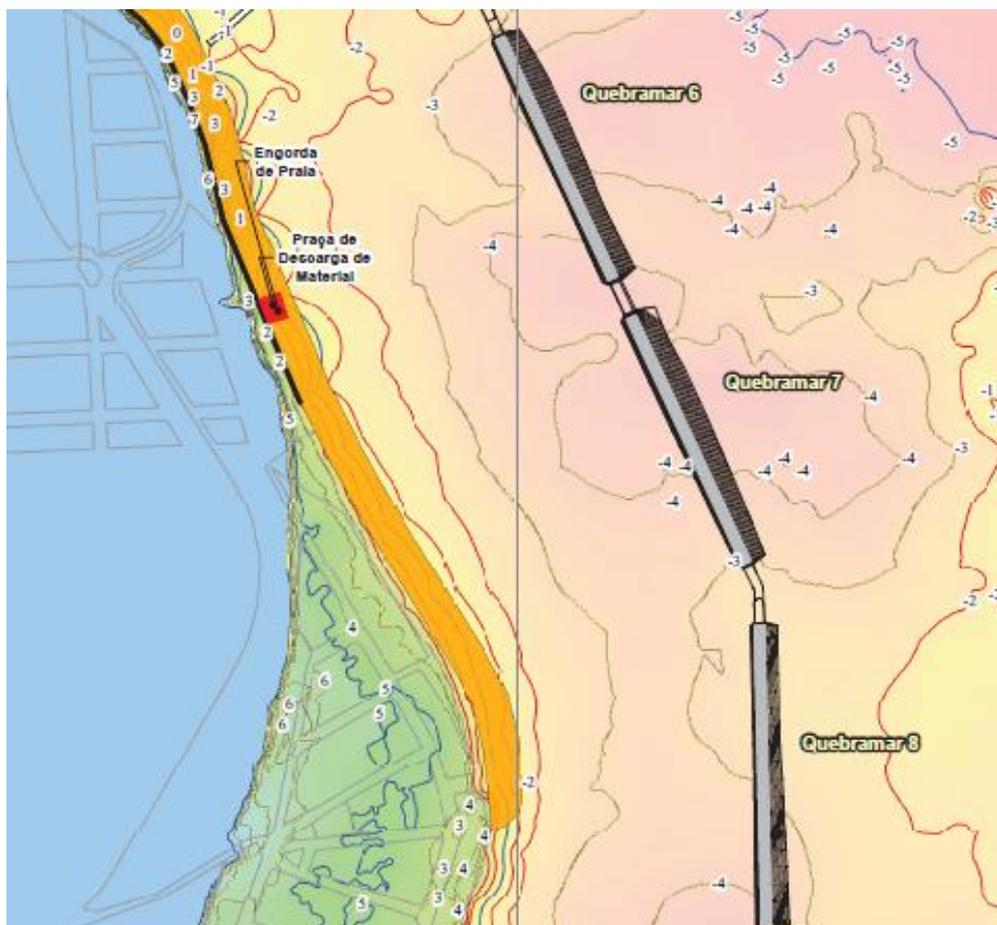
APÊNDICE B – Disposição dos quebra-mares

Figura B-1: Quebra-mares 1-5



Fonte: SEPLAN – Prefeitura Municipal de João Pessoa

Figura B-2: Quebra-mares 6-8



Fonte: SEPLAN – Prefeitura Municipal de João Pessoa