ESTUDOS DA DINÂMICA COSTEIRA PARA REDUÇÃO/CONTENÇÃO DO PROCESSO DE EROSÃO DA PRAÇA DE IEMANJÁ, FALÉSIA DO CABO BRANCO E PRAIA DO SEIXAS. NO LITORAL DE JOÃO PESSOA – PB

PROPOSTA BÁSICA

João Pessoa, 2011

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 3

2. METODOLOGIA 3

3. ÁREAS CRÍTICAS DE EROSÃO (*HOTSPOTS*) 4

4. PROBLEMAS IDENTIFICADOS 8

5. TIPOS DE PROTEÇÃO 10

5.1. Tipos de Estruturas 10

5.1.1. Revestimentos 11
5.1.2. Espigões 12
5.1.3. Quebra-Mar 13
5.1.4. Engordamento 13
5.1.5. Estruturas Submersas *Offshore* 15
5.1.6. Novas Tecnologias 15

6. ALTERNATIVAS DE PROTEÇÃO 16

6.1 Praia do Seixas 16
6.2 Falésia do Cabo Branco 18
6.3. Praça de Iemanjá 23
6.4. Resumo das Propostas 26

7. MODELAGEM NUMÉRICA 27

8. POSSÍVEIS IMPACTOS 29

ANEXOS

1. INTRODUÇÃO

A erosão costeira é um grave problema que afeta mais de 50% das linhas de praia do mundo, o que torna praticamente impossível prever uma proteção para cada praia. Por esta razão a reação mais comum consiste em não tomar ações de intervenções e aprender a conviver com a erosão. Porém, os estudos realizados indicam que diversas técnicas ou estruturas utilizando diferentes materiais podem ser adaptadas para resolver um problema particular de erosão. O importante é identificar os fatores que devem ser levados em conta na escolha de uma solução mais adequada entre as diversas possibilidades.

Precedendo a qualquer tipo de intervenção na zona costeira é necessário conhecer o comportamento, em médio prazo, da linha de costa (escala de décadas), utilizando produtos de tele detecção, ou seja, comparando as fotografias aéreas multitemporais, para definir as zonas em recuo real ou que apresentem um quadro crítico de erosão nos últimos anos.

Identificada à área que irá sofrer intervenção é necessário definir as condicionantes locais para a escolha do tipo de obra a ser construída, pois uma escolha incorreta ou uma obra mal desenhada pode causar mais danos que o esperado ou não apresentar nenhuma funcionalidade.

A Falésia do Cabo Branco constitui o marco paisagístico mais importante da zona costeira do Estado da Paraíba. Atualmente, o apelo do povo paraibano pela preservação desse patrimônio natural, justificou, plenamente, a realização do Estudo da Dinâmica Costeira para Redução/Contenção da Erosão da Falésia do Cabo Branco, da Praça de Iemanjá e da Praia do Seixas no Litoral de João Pessoa no Estado da Paraíba.

2. METODOLOGIA

Para a elaboração da presente Proposta Básica foram realizados todos os estudos previstos no Termo de Referência e nos Planos de Trabalho, a saber: identificação das características da erosão e dos parâmetros oceanográficos e geológicos, (clima de onda, batimetria, geomorfologia, estado da praia), presença e tipos de estruturas de engenharia, diagnóstico sócioambiental e diagnóstico do meio biótico.

Com todas as informações levantadas, foi possível a elaboração de propostas de intervenção, submetidas à Prefeitura do Município de João Pessoa em abril de 2009.

A PMJP solicitou uma segunda visita técnica para revisão de tais propostas. Nos dias 20 e 21 de julho de 2009, foram realizadas visitas técnicas em horários de maré baixa (baixa-mar 0,1) e maré alta (preamar de 2.4m), pela equipe do Meio Físico (Profs. da UFCE e UFPE), representante da Fadurpe e técnicos da Prefeitura.

A metodologia aplicada para indicação das intervenções para cada ponto crítico foi a seguinte:

1. Percorrer o trajeto litorâneo inserido na Área de Influência Direta.

2. Na faixa percorrida foram marcados 13 pontos, com spray, conforme indicado na Figura 1.

3. O trecho entre dois pontos, foi discutido com a equipe da Prefeitura, onde se indicou as proposições adequadas.

Após tal visita, as Propostas de Intervenção foram revistas e apresentadas à PMJP, no dia 28 de setembro de 2009, e após análise foram aprovadas por aquele órgão.

FIGURA 1. Visualização dos pontos marcados durante a visita técnica.

3. ÁREAS CRÍTICAS DE EROSÃO (*HOTSPOTS*)

O Diagnóstico do Meio Físico aponta como pontos críticos de erosão:

- Praia do Seixas;
- Falésia do Cabo Branco;
- Praça de Iemanjá,

Praia do Seixas: que corresponde ao arco de praia, com cerca de 900 metros de extensão, resultante da difração provocada pela passagem das ondas pela abertura natural dos recifes (**Figura 2**).

Falésia do Cabo Branco: separa a Praia do Seixas e a Praia do Cabo Branco e se prolonga para o mar em forma de uma plataforma de abrasão que protege a própria falésia. Porém sofre com a ação das ondas na base formando entalhes de erosão (**Figuras 3 e 4**).

No **Ponto 1** (Figura 1), a onda atinge o pé da falésia e movimenta os sedimentos do perfil de praia. A Proteção natural da falésia é a própria areia da praia que se deposita no seu pé.

FIGURA 2. Vista do Ponto 1, limite norte da Praia do Seixas.

FIGURA 3. Escadaria na Praia do Seixas, próxima ao Ponto 1.

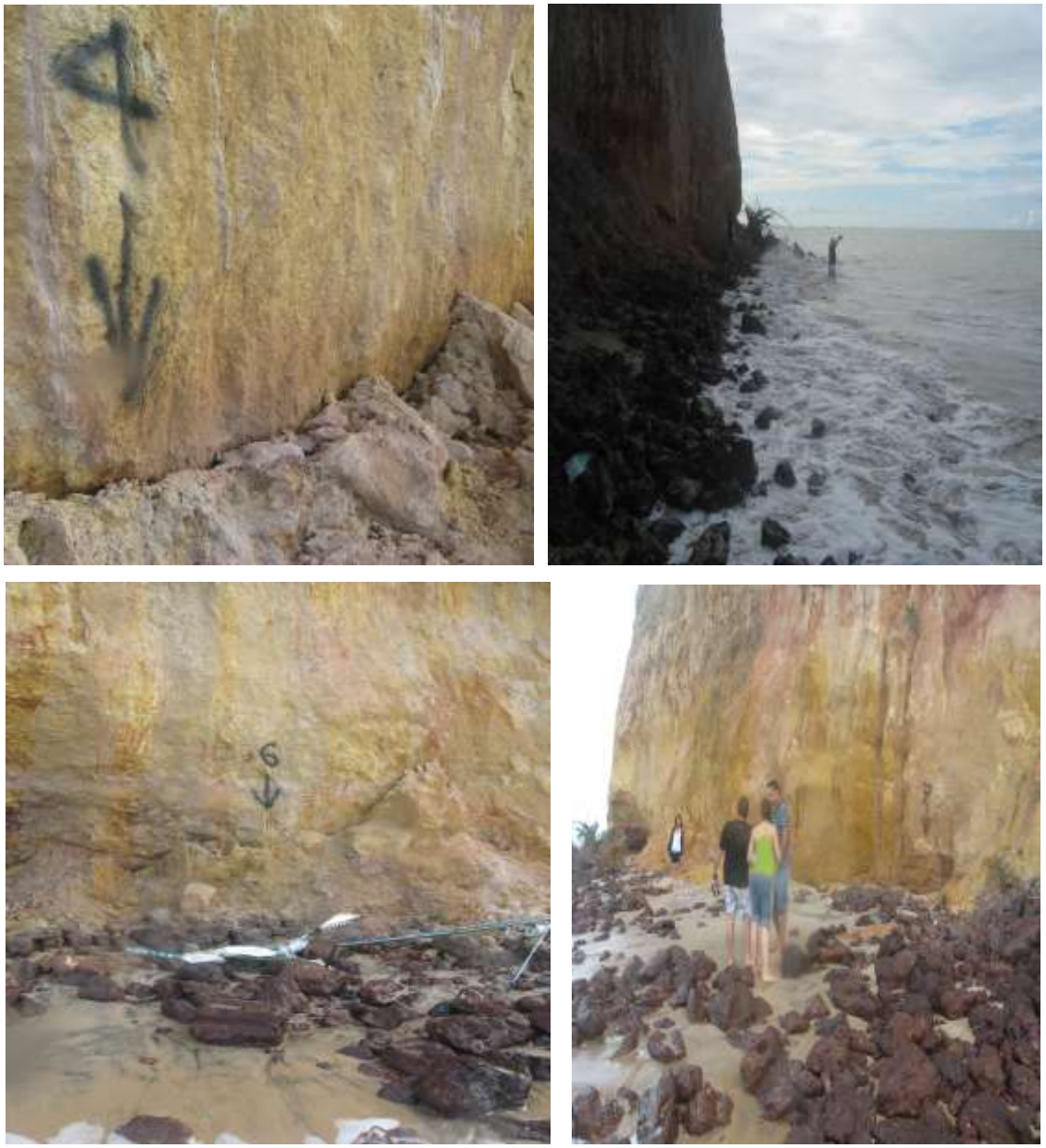


FIGURA 4. Vista do entalhe na Falésia do Cabo Branco que começa no ponto 4 e segue até o ponto 7.

Ponta da Praia do Cabo Branco: apresenta um trecho protegido naturalmente por rochas ferruginosas, em que encontramos também uma praia que permitiu o crescimento de vegetação de restinga. É nesse trecho que as ondas não atingem a falésia, que corresponde ao **Ponto 10** e o **Ponto 11,** com uma face da falésia vegetada (**Figuras 5 e 6**)

FIGURA 5. Trecho da Praia do Cabo Branco entre os Pontos 10 e 11.

FIGURA 6. Face da falésia do Cabo Branco com vegetação de restinga.

Praça de Iemanjá: apresenta uma proteção completamente comprometida. A erosão nesse trecho de praia possivelmente é causada por processos semelhantes aos encontrados na Praia do Seixas, pois existe uma pequena abertura no recife, permitindo a passagem das ondas que atingem a praia (**Figuras 7 e 8**).

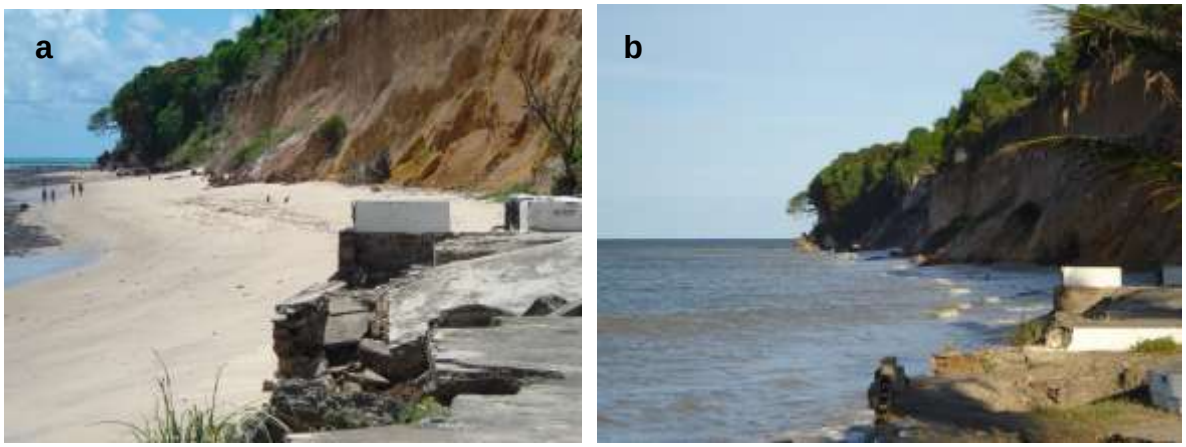


FIGURA 7. Trecho entre a Praça da Iemanjá e a Falésia, (a) Vista em Baixa-mar; (b) Vista em Preamar.

FIGURA 8. Vista da escadaria e do muro da Praça de Iemanjá destruídos pela ação das ondas.

4. PROBLEMAS IDENTIFICADOS

Os problemas que atingem as áreas críticas de erosão descritas podem ser resumidos em:

- Falta do fornecimento de sedimentos
- Desaparecimento da praia de proteção
- Ataque das ondas ao pé da falésia
- Formação do entalhe de erosão
- Grandes desmoronamentos
- Falésias atuais com forte talude.

FIFGURA 9. Mapa com a indicação dos problemas em cada trecho visitado do ponto 1 ao ponto 13**.**

5. TIPOS DE PROTEÇÃO

As obras de contenção, de um modo geral, têm como objetivos básicos à recuperação da praia, compensando o desequilíbrio do litoral, provocado pela erosão natural ou devido a ações antrópicas e a criação de praias artificiais.

Existem vários tipos de proteção de praia contra os riscos costeiros que podem ser usados individualmente ou de forma associada para aumentar sua eficiência.

Antes da definição da alternativa mais adequada para a proteção da linha de costa e a estabilização da praia é necessária uma clara definição do objetivo do projeto. A seleção da melhor alternativa para solução do problema de proteção e estabilização da Falésia do Cabo Branco e das Praias do Seixas e do Cabo Branco depende dos processos físicos atuantes na área do projeto. Os efeitos do projeto sobre as praias adjacentes são também um fator que deve ser levado em conta na escolha entre os diversos tipos de proteção de praia.

5.1. Tipos de Estruturas

Geralmente se distinguem as estruturas construídas paralelas à praia que protegem o continente, mas não promovem o crescimento da praia, tais como, os diversos tipos de muros (s*eawalls, bulkheads, revestments)* e as estruturas construídas normalmente à praia, do tipo espigão, (*groynes, jetties*) que protegem o continente devido o crescimento da praia e estruturas afastadas da praia, incluindo os diversos tipos de quebra-mares e recifes (*offshore breakwater*s, *submerged reefs).*

5.1.1. Revestimentos

O revestimento ou enrocamento aderente é uma proteção de superfície que é posicionada em uma praia inclinada para proteger a zona adjacente contra a erosão causada pelas correntes e ondas. Os revestimentos refletem e desviam as ondas sobre sua face inclinada, dissipam parte da energia incidente e; sua integridade funcional depende da estabilidade estrutural da camada de proteção que abrange a sua superfície.

O revestimento pode ser construído em uma praia ou em uma encosta de uma falésia, caso estas sejam estáveis. No caso de uma encosta instável, esta deve ser tratada apropriadamente antes da colocação das várias camadas de material do revestimento. Caso o revestimento esteja localizado na parte mais alta da praia, de modo que sua exposição ao ataque das ondas ocorra somente durante as marés extremas, o efeito de perda de material pode ser negligenciado.

Os revestimentos protegem apenas o terreno localizado imediatamente atrás da estrutura, não oferecendo proteção para as áreas adjacentes a montante e jusante, nem para a praia. Em uma praia em erosão, o recuo da linha de costa circundante deve continuar e pode ser acelerado nas vizinhanças do revestimento pela reflexão das ondas a partir da estrutura.

Um revestimento é composto por três componentes. O primeiro, que determina as características dos outros dois, é a camada de proteção (armadura), e que deve ser estável sob a ação das ondas. O segundo componente é o filtro inferior (*underlying filter*) que suporta a camada de proteção, promove a drenagem da água subterrânea na estrutura e evita que o solo seja lavado pelo impacto das ondas na camada de proteção ou pela infiltração de água. O terceiro componente, a proteção do pé, que protege a estrutura contra recalques ou remoção das extremidades da estrutura voltadas para o mar.

Entre as principais vantagens dessas estruturas estão:

1. A superfície irregular dissipa a energia das ondas mais do que estruturas de concreto com face lisa;
2. É auto-ajustável a pequenos movimentos ou acomodações do substrato;
3. De fácil manutenção pela colocação adicional de blocos rochosos;
4. Organismos aquáticos podem usar como substrato.

Essas estruturas são esteticamente impactantes e podem acelerar o processo erosivo nas extremidades e dificultar o acesso à praia. Esse problema pode ser mitigado através da construção de flancos de proteção.

5.1.2. Espigões

Os espigões constituem o tipo mais comum de estrutura de estabilização de praia. Eles são geralmente construídos perpendicularmente à praia para interromper o transporte normal de areia pela deriva litorânea. As correntes costeiras induzidas pelas ondas movem o sedimento e provocam, sua acumulação a montante da estrutura e erosão no lado oposto. Geralmente são usados em conjunto de vários espigões espaçados e paralelos ao longo do trecho de praia que se quer estabilizar.

Se adequadamente desenhados, os espigões são eficientes na estabilização das praias onde a areia está sendo perdida pelo transporte litorâneo. Uma grande vantagem dessas estruturas é que funcionam independentemente da direção do transporte litorâneo e podem exibir variações sazonais no local de retenção da areia, seja de um lado ou do outro da estrutura, dependente da direção da onda incidente. Os espigões geralmente não alteram as características das ondas ao longo das praias, exceto em áreas limitadas próximo à estrutura. Seus efeitos se fazem sentir a certa distância de ambos os lados da estrutura. São fáceis de construir, baratos e de baixa manutenção.

Os espigões podem provocar uma perda de areia durante os períodos de nível alto das ondas ou durante as ressacas, pela deflexão da corrente litorânea em direção ao mar. Esta situação causa uma circulação dentro do compartimento limitado por dois espigões e pode formar uma corrente de retorno transportando areia para fora do compartimento em direção ao mar. Os espigões não devem ser utilizados em regiões onde domina o transporte transversal por não serem efetivos nesta situação.

Os espigões podem gerar correntes de retorno que constitui um perigo adicional para os banhistas. A principal limitação dos espigões, devido à acumulação de sedimentos, é a transferência da erosão para área a jusante da estrutura pondo em risco a estabilidade da praia. Para minimizar esse problema eles devem ser usados associados a um processo de engordamento artificial de praia.

Os espigões podem ser construídos de diversos tipos de materiais, sendo mais comum à utilização de blocos rochosos do tipo granítico. Suas dimensões são calculadas levando em conta o nível das marés e a altura das ondas. Um espigão é formado por duas unidades principais. A primeira é a camada de proteção (armadura), que deve ser estável sob a ação das ondas, e a segunda, o núcleo que suporta a camada de proteção.

5.1.3. Quebra-Mar

Os quebra-mares são uma das mais efetivas estruturas de estabilização da linha de costa, pois controlam o transporte longitudinal e transversal de sedimentos, sendo desta forma efetivo para o controle da erosão causada por ambos os tipos de transporte. Este tipo de estrutura é geralmente construído paralelamente a praia e reduz significativamente a altura das ondas e ressacas que alcançam a linha de costa.

A distância entre a praia e a estrutura é determinada em função dos objetivos do projeto, pois quando são construídas próximo à praia induzem a formação de tômbolos (pontas ou flechas de areia que se desenvolvem da praia na direção do quebra-mar).

A principal desvantagem do quebra-mar está associada ao seu custo de construção, que está diretamente relacionado com a sua localização em relação à praia. Quando posicionado a uma distância muito grande da costa, aumenta o volume da seção transversal, além de exigir para sua execução uma ponte provisória de acesso mais extensa, acarretando um aumento considerável dos custos.

Os quebra-mares alteram significativamente as características da zona de *surf* e pode restringir certas atividades recreacionais. Se for desenhado de forma incorreta pode causar alterações na qualidade da água devido à diminuição da circulação na área compreendida entre a praia e a estrutura.

Os quebra-mares podem ser construídos utilizando diversos tipos de materiais, como os blocos rochosos do tipo granítico, pré-moldados de concreto, geocontainer, etc. Suas dimensões são calculadas levando em conta o nível das marés e a altura das ondas. Quando construídos com blocos rochosos, a estrutura assemelha-se a um espigão, sendo formado pelas duas unidades principais: camada de proteção (armadura) e o núcleo que suporta a camada de proteção.

5.1.4. Engordamento

Atualmente um dos métodos de proteção mais utilizados tanto no Brasil como em outros países é a regeneração de praias através do aporte de areia associado a obras rígidas. O engordamento consiste na introdução artificial de areia colocada sobre a praia, por meio hidráulico ou mecânico, cujo efeito imediato é o aumento da largura da praia seca. Esse

método que é menos agressivo ao ambiente é classificado como uma estrutura flexível, cuja forma é modelada pela ação das ondas, correntes e marés.

O engordamento, a regeneração ou alimentação artificial de praias é indicada quando uma área litorânea apresenta um equilíbrio sedimentar negativo ou quando a largura da praia mostra uma dimensão inferior a desejável. Entretanto, nas últimas décadas o avanço na tecnologia de manipulação de areias e a impopularidade alcançada pelos outros sistemas de defesa (espigões, enrocamentos) e principalmente, aos inúmeros fracassos, motivaram a ampla utilização dessa técnica, sendo hoje aplicada extensivamente em vários países.

O primeiro objetivo da alimentação artificial é a formação de uma praia com algumas condições mínimas de estabilidade e duração.

Existem várias classificações dos tipos de regeneração, sendo a mais comum, a que se refere ao sistema de transporte e colocação da areia na praia onde se podem distinguir três métodos:

- Lançamento do material na zona de arrebentação;
- Lançamento hidráulico na praia;
- Lançamento ou enchimento mecânico na praia.

Uma das maiores desvantagens que pode ter o processo de regeneração é não modificar as causas que provocam a erosão, mas atuar nos efeitos da erosão.

Entretanto quando adequadamente desenhado, o engordamento forma uma praia protetora, dissipando a energia das ondas e criando excelentes condições recreacionais. Devido a sua adaptação às condições hidrodinâmicas, absorve uma maior quantidade de energia e causa menos impacto erosivo nas praias adjacentes do que as outras estruturas costeiras.

Além disto, por não interferir na corrente de deriva litorânea, não causa erosão nas praias situadas a jusante. O engordamento é indicado para longos trechos de praia, devido ao custo relativamente inferior a de outras estruturas de proteção.

Tratando-se de uma estrutura flexível a principal limitação é a necessidade de manutenções periódicas, através da realimentação de areia. A estabilidade do aterro depende das condições hidrodinâmicas extremas, sendo especialmente afetadas por ocasião das fortes ressacas.

Por último, vale ressaltar que as atividades turístico-recreativas são notavelmente favorecidas pela regeneração de praias, principalmente pelo atrativo que exerce esse recurso e que gera um forte desenvolvimento turístico com benefícios para as atividades inerentes e de natureza diversa.

5.1.5. Estruturas Submersas *Offshore*

O uso de estruturas submersas afastadas da praia, as chamadas "*Low Crested Structures*", tais como quebra-mares e recifes artificiais tornou-se nos últimos anos, muito bem aceito pelo público e largamente aplicado na maioria dos países (Pilarzyck, 2003). Essas estruturas submersas estão sendo cada vez mais selecionadas para projetos de proteção costeira devido às muitas vantagens que oferecem quando comparadas com as estruturas tradicionais, especialmente um baixo impacto ambiental, eliminando o uso de obras com blocos rochosos na praia. São eficientes na arrebentação das ondas sobre o recife, resultando em uma perda de energia na praia do lado protegido e a consequente deposição de sedimentos com aumento da área de praia.

A profundidade do recife, sua extensão e a distância da praia determinam o nível de proteção costeira que poderá ser fornecido pela estrutura, que pode ser usada individualmente ou associada a um processo de engordamento, que deverá ser iniciado após a construção da estrutura submersa.

Um breve resumo sobre proteção costeira por estruturas submersas é apresentado por Black & Mead (2000). Segundo esses autores os recifes submersos representam uma solução com baixo impacto ambiental. As pontas arenosas formadas no lado protegido aumentam a estabilidade e a proteção da praia. O uso de recifes submersos representa o primeiro passo para eliminar o uso de rochas na praia.

5.1.6. Novas Tecnologias

Os métodos tradicionais usados para estabilização e controle da erosão das praias se resumem, basicamente, na utilização de estruturas paralelas à praia que provocam a atenuação das ondas ou de estruturas perpendiculares à praia que retêm areia.

Nos últimos anos está sendo cada vez mais indicado para projetos de proteção costeira o uso de novos materiais conhecidos como sistemas geotêxteis, entre os quais se destacam os

sandbags, geobags, sand-filled tubes, geotubes, geoconteineres, etc. Esses sistemas ganharam popularidade em anos recentes devido a sua simplicidade de instalação e construção, eficiência, melhor custo/benefício, celeridade na execução do processo e mínimo impacto ambiental. Os sistemas geotêxteis são fabricados sob medida e preenchidos no próprio local da obra, com qualquer tipo de areia, dispensando o uso de ponte provisória de acesso para o transporte do material rochoso. A utilização de um desses sistemas poderia ser aventada como alternativa de proteção para as Praias do Cabo Branco e do Seixas. Se mal desenhadas as estruturas submersas podem acelerar a erosão quando colocadas muito próxima à praia pela "compressão" da zona de *surf* e aumento da corrente de deriva.

Os recifes *offshore* podem ser usados quando:

1 – o objetivo é aumentar a largura da praia

2 – construções rígidas na praia não são desejadas ou permitidas

3 – o aspecto natural da praia deve ser preservado ou recuperado

4 – dotar a praia de um ambiente recreativo seguro

6. SOLUÇÕES DE PROTEÇÃO DAS ÁREAS CRÍTICAS DE EROSÃO

6.1 Praia do Seixas

Como foi visto a abertura entre os recifes controla todas as alterações das ondas que se propagam em direção à praia, sendo responsável pela concavidade do arco da Praia do Seixas. O fenômeno observado pela passagem das ondas pela abertura é definido como difração.

A difração aparece quando um trem de ondas intercepta algum tipo de obstáculo, submerso ou não, criando uma perturbação no movimento ondulatório e gerando um aporte lateral de energia oscilatória de mesma frequência da onda incidente. As ondas que se formam atrás do obstáculo são as ondas difratadas.

Assim, a onda antes de alcançar a abertura dos recifes apresenta um padrão de aproximação linear e a partir da abertura na direção da praia, um padrão curvilíneo formando semicírculos com centro no ponto médio da abertura. Como produto aparece à distribuição dos raios das ondas na forma de um leque, gerando um fluxo bidirecional a partir do ponto central da abertura, que origina uma circulação e o transporte de sedimentos na direção das extremidades do arco de praia.

O tamanho e forma das células de difração dependem da permeabilidade e espaçamento entre as aberturas e da distancia do recife à praia. Apesar da redução da altura, pela transferência de energia lateral para formação das ondas difratadas, as ondas ainda atingem à praia com uma altura considerável.

As simulações mostram que as ondas difratadas alcançam à costa moldando a Praia do Seixas em forma de arco. Nas condições de direção de aproximação de NE, E ou SE, as ondas convergem sempre para a Ponta do Seixas, concentrando energia e criando o ponto crítico da erosão de praia (**Figura 10**).

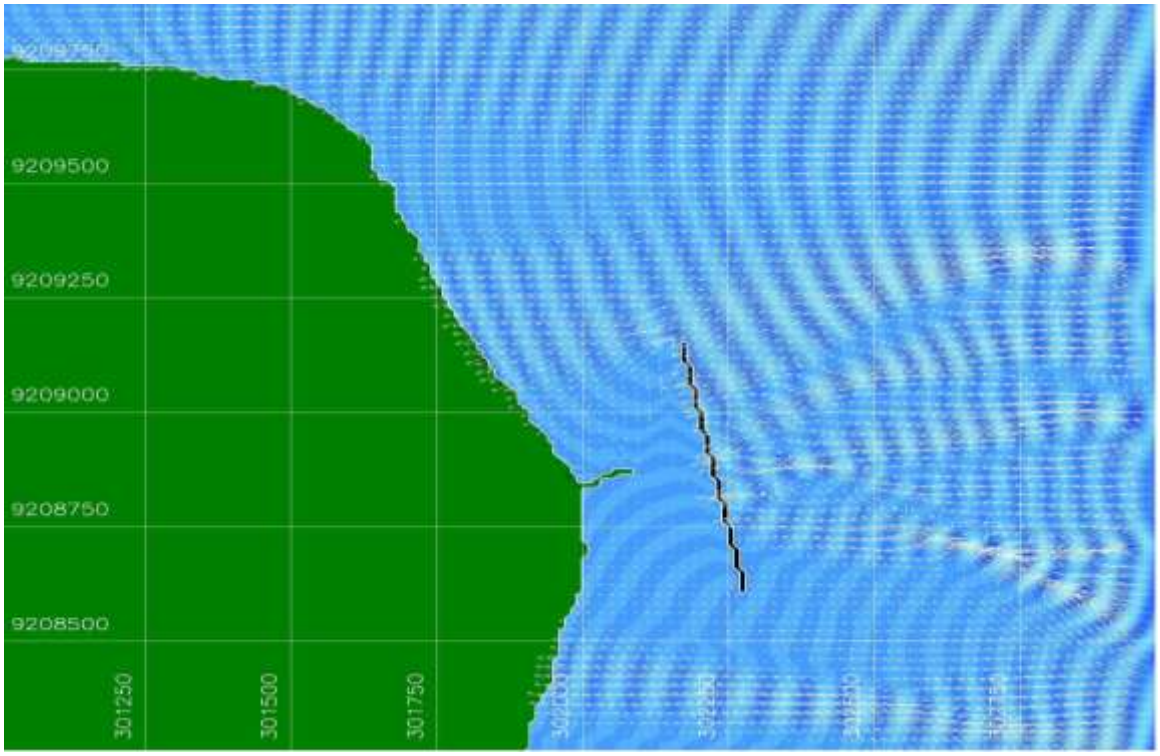


FIGURA 10. Esquema que aponta o posicionamento do quebra-mar na Praia do Seixas.

Desta forma, a escolha do tipo de proteção para a área deve necessariamente consistir em uma estrutura do tipo quebra-mar para dissipar, em parte ou totalmente, a energia das ondas que atingem à praia através da abertura. A priori e visando diminuir os impactos visuais dessa estrutura, poderíamos dissipar as ondas através da construção de um recife artificial semi-submerso, com 440 metros de comprimento, afastado de 230 metros da praia (**Figuras 10 e 11**). A realização de um projeto executivo irá indicar a necessidade ou não de uma estrutura auxiliar de contenção.

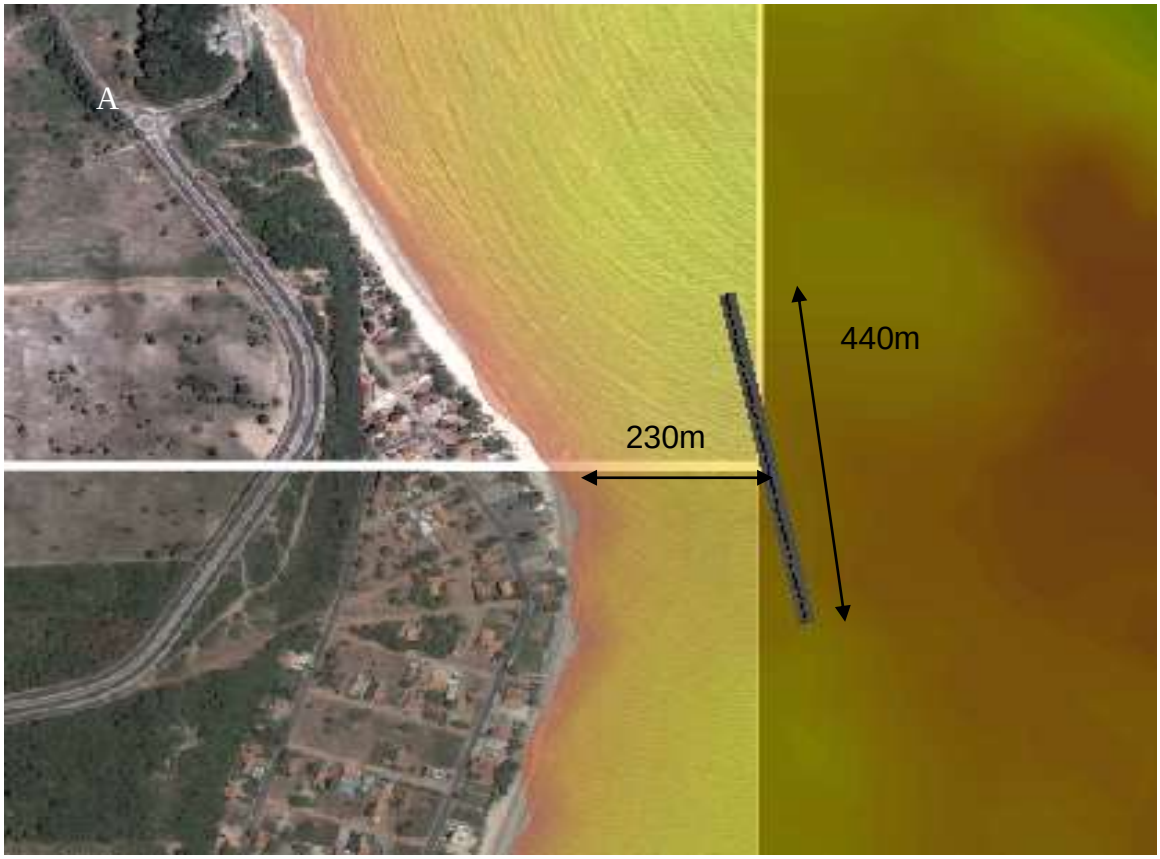


FIGURA 11. Indicação do local onde deverá ser instalado o quebra-mar.

6.2 Falésia do Cabo Branco

O termo erosão da linha de praia (*shoreline erosion*) geralmente inclui a erosão pelas ondas e correntes as quais resultam na perda de material da praia e da falésia. Quando os sedimentos finos, tais como silte e argila, são erodidos, eles ficam em suspensão enquanto a areia é transportada ao longo da praia na direção dos ventos incidentes, das ondas e correntes. Os seixos e blocos de rocha permanecem na praia, formando depósitos residuais resistentes à erosão, como pode visto na Praia do Cabo Branco nas **Figuras 12**.

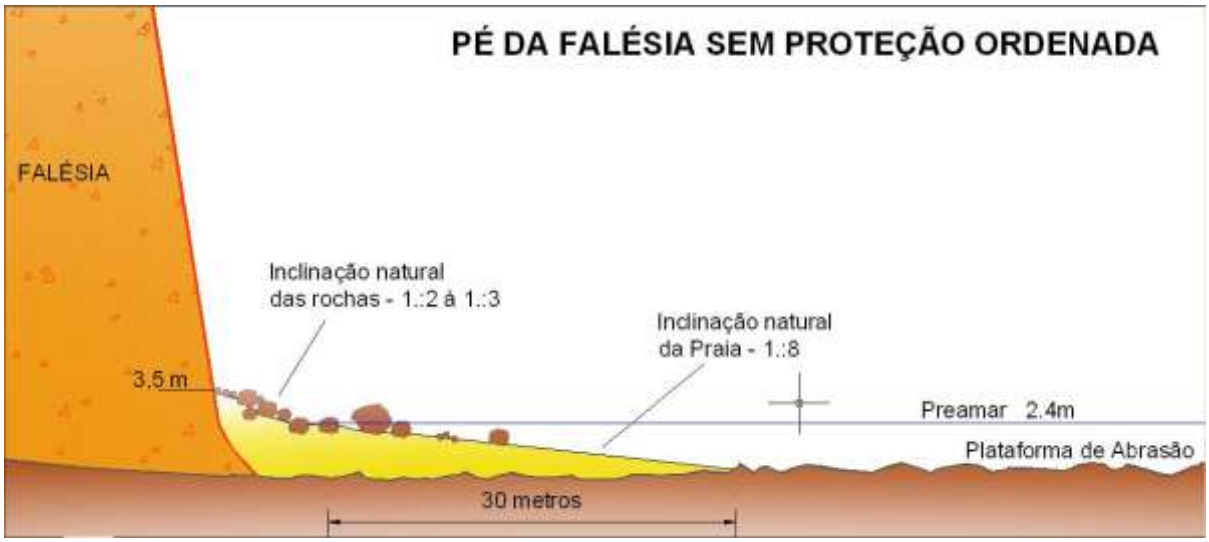


FIGURA 12. Esquema que identifica o alcance da onda no pé da Falésia de Cabo Branco.

Para conter o processo erosivo na base da falésia a intervenção mais indicada é a construção de um enrocamento aderente (*bulkdead*) ou revestimento, usando material da própria falésia, com o objetivo de minimizar o impacto visual decorrente da presença de estruturas de engenharia no ambiente natural (**Figura 13**).

A realimentação da praia com seixos é muito utilizada e pode reduzir a ação das ondas na base da falésia. Essa alternativa é indicada para a construção do muro de proteção do pé da Ponta do Cabo Branco, tendo em vista a ocorrência de seixos de arenito ferruginoso da Formação Barreiras na praia (**Figura 14**).

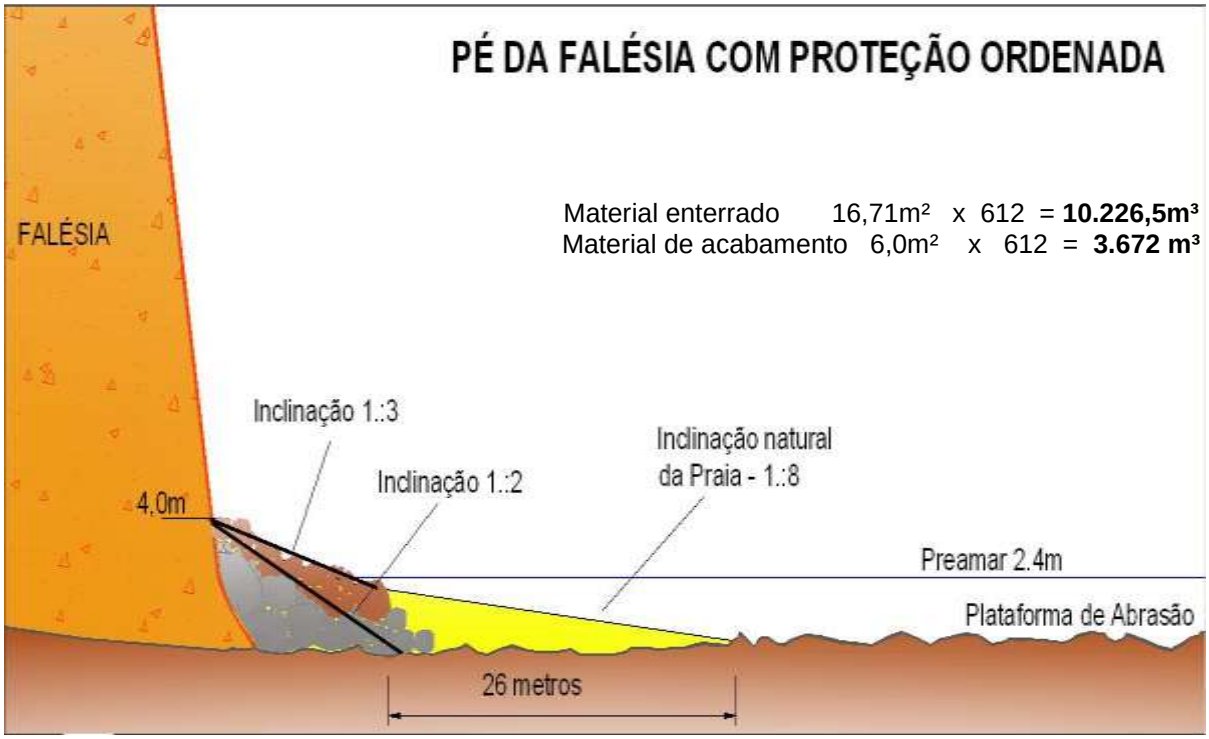


FIGURA 13. Esquema que apresenta o pé da falésia com enrocamento aderente recoberto por rochas para minimização do impacto visual.

FIGURA 14. Proteção do pé da falésia pela acumulação natural dos blocos rochosos da própria barreira.

Para estabilizar a face do talude da falésia e conter o processo de desmoronamentos é recomendável promover a revegetação adequada no topo da falésia e nos setores com inclinação favorável do talude, associada ao manejo da água de escoamento superficial (**Figuras 15**e **16**).

Métodos biotécnicos podem ser usados na estabilização do talude e no topo da falésia. Plantas podem ser empregadas para reforçar o solo, a drenagem da água, atuar como barreira na presença de erosão e absorver o excesso de água no solo.

FIGURA 15. Contribuição da fácies de areia branca da Falésia para as Praias do Cabo Branco e Tambaú.

FIGURA 16. Vista geral de praia arenosa com vegetação bem desenvolvida.

Inicialmente para avaliação do problema é importante saber se a erosão é principalmente devida à ação da onda ou é mais relacionada com as condições do solo no talude, ou as duas e, qual a magnitude do problema e uma estimativa da velocidade aproximada de recuo. É igualmente importante saber se o processo erosivo ocorre de maneira contínua ou se é concentrado em intervalos como no período chuvoso ou durante as ressacas. Para quando construir algum empreendimento fazê-lo o mais longe possível da crista da Falésia para evitar problemas com a proteção do imóvel, segundo metodologia descrita por Johnsson (2003).

Os estudos indicaram também a necessidade de remoção ou a substituição de estruturas ameaçadas, tais como, escadarias, edificações, e a retificação do curso da via Panorâmica, afastando-a da crista da Falésia do Cabo Branco, e desconectando-a da Av. Cabo Branco, uma vez que a mesma está construída nos trechos de maior incidência de deslizamentos.

Segundo Silva (2006) “o motivo pelo qual os taludes da Falésia do Cabo Branco estão gradativamente se rompendo deve-se à falta de estabilidade estática. Além disso, estes taludes

estão resistindo apenas por forças residuais advindas das raízes da vegetação ou pela presença de algum aglomerante natural".

O trabalho do referido autor conclui que "o talude do Cabo Branco, na atual configuração não apresenta estabilidade adequada nem mesmo para seu peso próprio". Continua: "o talude do Cabo Branco seria também estável aos níveis de aceleração observados nas simulações em modelos em elementos finitos.". Finalmente, faz a proposta de um retaludamento, que no nosso entendimento, não deve ser acolhida porque provocaria uma forte agressão estética e uma descaracterização da paisagem.

Na California–USA, onde as falésias costeiras estão recuando, a uma taxa média de 10 a 30 centímetros por ano, a intervenção mais comum para o gerenciamento do recuo da linha de praia tem sido a construção de estruturas de proteção costeira, também conhecidas como "*Coastal Armoring"* Atualmente, cerca de 10 % da linha de costa da Califórnia estão protegidos por um tipo de armadura (Griggs & Patsch, 2004). Os muros e revestimentos (*seawalls e riprap)* são os tipos mais comuns de estruturas de armadura usadas na Califórnia central.

É importante destacar que a armadura é colocada para proteger as construções, a infra-estrutura localizada à retaguarda e, portanto, não protege a praia (Kraus & McDougal, 1996). Ao contrário, um campo de espigões associado a um engordamento são métodos comuns pelos quais as praias são estabilizadas e são fundamentalmente diferentes da armadura, que são construídas para combater a erosão da falésia ou para proteger o patrimônio construído na pós-praia (acima da linha de preamar).

6.3. Praça de Iemanjá

A defesa de estruturas ou equipamentos de laser na zona costeira é importante quando os fenômenos erosivos ocorrem sobre as mesmas. Obras bem dimensionadas e com manutenções regulares evitam o desgaste pela ação marinha. Devido a sua localização, a Praça de Iemanjá está seriamente ameaçada pela ação das ondas que atingem o muro frontal pondo em risco o patrimônio situado a retaguarda. A morfologia dos recifes, a sua frente, apresenta uma situação semelhante a aquela encontrada na Praia do Seixas, onde uma interrupção na linha de recife permite a passagem livre das ondas, acelerando o processo erosivo na praia (**Figura 17**).

FIGURA 17. Condição de novembro de 2008 da Praça da Iemanjá. Vista de praça para a Falésia do Cabo Branco.

A erosão nesse trecho de praia parece ter a mesma origem daquela da Praia do Seixas, pois existe uma pequena abertura no recife no trecho entre os pontos P12 e P13, permitindo a passagem das ondas que atingem a praia (**Figura 18**). Poderia ser usado um tipo de intervenção semelhante ao sugerido para a Praia do Seixas, que consiste no fechamento de uma pequena abertura nos recifes, associado a um enrocamento aderente na praia.

FIGURA 18. Trecho entre a Praça de Iemanjá e a Falésia.

Portanto duas medidas devem ser consideradas: executar um revestimento ou muro de proteção com talude inclinado para diminuir a energia da onda e encrave abaixo da cota de -1,0 metro, evitando o retrabalhamento dos sedimentos situados acima da cota de baixa-mar (**Figura 19**). A outra é o fechamento da abertura no recife através de um pequeno quebra-mar, construído na mesma cota em que se encontram os recifes existentes com a finalidade de reduzir a ação das ondas e acelerar a deposição de mais sedimentos na praia adjacente à praça.

O muro de proteção pode ser construído com blocos de rochas irregulares ou blocos regulares, porém faz necessário o dimensionamento correto do tamanho e formas para melhor relação custo benefício. A vantagem de blocos regulares é a estética, porém são obras mais caras comparadas as estruturas com blocos irregulares. A opção de utilização das duas soluções é de grande importância para a vida útil da Praça de Iemanjá (**Figura 19**).

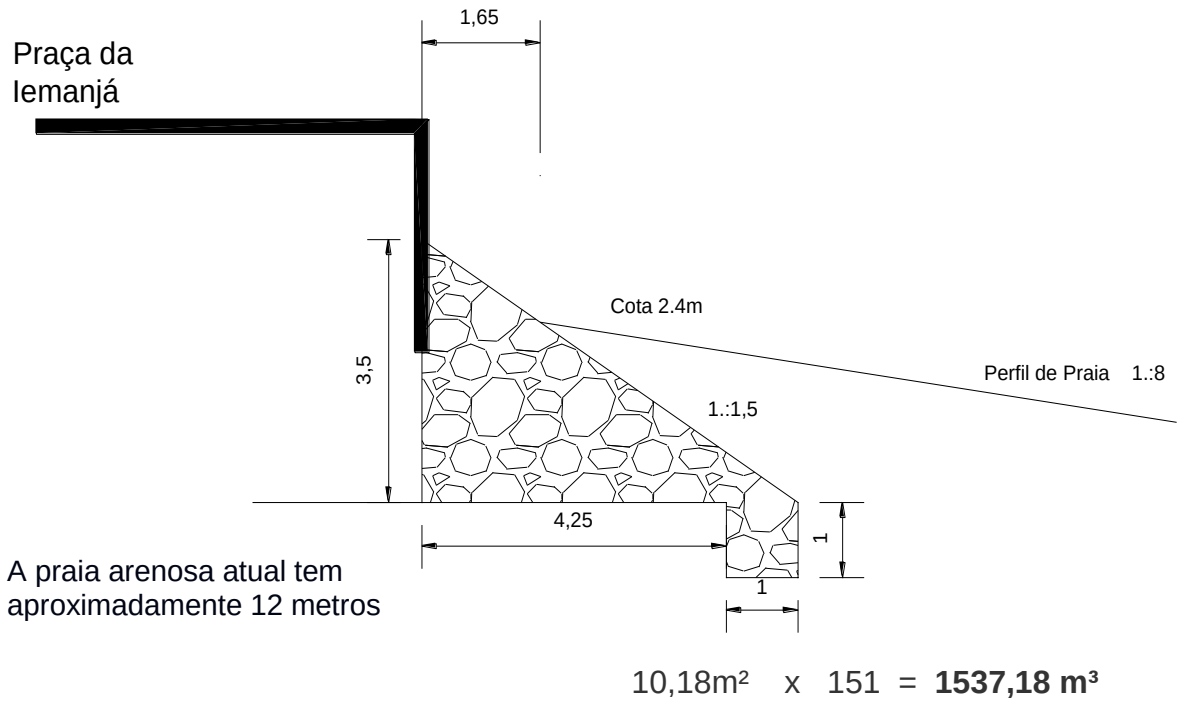


FIGURA 19. Construção de muro de proteção com talude inclinado e encrave até a cota de -1,0m. Seção esquemática de um revestimento.

6.4 Resumo das Propostas

FIGURA 20. Resumo das Propostas de intervenção.

7. MODELAGEM NUMÉRICA

Após os estudos de caracterização geral da área, foram selecionadas as condições extremas previstas para a área, que consistiram para o caso do Cabo Branco e Ponta do Seixas as situações de maré alta, submetidas a ondas de transição entre sea e swell, período ~ 10 segundos. A modelagem foi realizada utilizando a batimetria da área, com uma malha quadrada de 10 X 10 metros, detalhe suficiente para representar dentro do modelo numérico PMS (*Parabolic Mild Slop*) os principais fenômenos associados a propagação das ondas, isto é Refração, Reflexão e Difração. O modelo é do tipo barotrópico/baroclínico e trabalha com as equações de continuidade de Navier Stocks sendo robusto para incluir várias outras condicionantes tais como: Ventos, Correntes e Flutuações de Maré. Desta forma, o modelo preconiza as diferentes condições ambientais, em seus eventos mais extremos, para que possamos deduzir cenários probabilísticos com o objetivo de reduzir os efeitos dos impactos causados. Foi identificado que a Praia do Seixas, sobretudo na inflexão da linha de costa ao Sul da AID, é o setor que recebe maior quantidade de energia das ondas, causando assim uma erosão acentuada sobre a Ponta do Seixas.

De acordo com os estudos realizados, o clima de ondas na região varia principalmente de NE para SE com alta freqüência para as ondas de E – SE ao longo do ano. A altura da onda medida na costa não ultrapassou a 1,0m e o nível do mar foi definido, como discutido anteriormente com a maré máxima alta de sizígia (2,3 metros). Essas condições representam o trem de ondas mistas onde podem ser previstos os maiores campos de energia da onda sobre a praia.

Tabela 1. Eventos representativos das ondas selecionados para a modelagem numérica.

Eventos	Direção de Aproximação	Hs	T
1	NE 43°	1,0	9s
2	E 103°		
3	SE 128°		

Devido à batimetria complexa, as condições de ondas devem ser computadas com um modelo numérico bi-dimensional, o qual possa levar em conta efeitos tais como a refração, o empinamento, a reflexão, a fricção no fundo e a arrebentação das ondas. O modelo calcula a

variação espacial da altura, do período e da direção da onda. Mais adiante o campo de tensões de radiação, associado com a arrebentação da onda. Na fronteira ao largo foram especificados os parâmetros básicos das ondas (altura, período e direção).

As simulações mostram que as ondas difratadas alcançam a costa moldando a praia do Seixas em forma de arco. Nas condições de direção de aproximação de NE, E ou SE, as ondas convergem sempre para a Ponta do Seixas, concentrando energia e criando o ponto crítico da erosão de praia na AID (**Figura 21**).

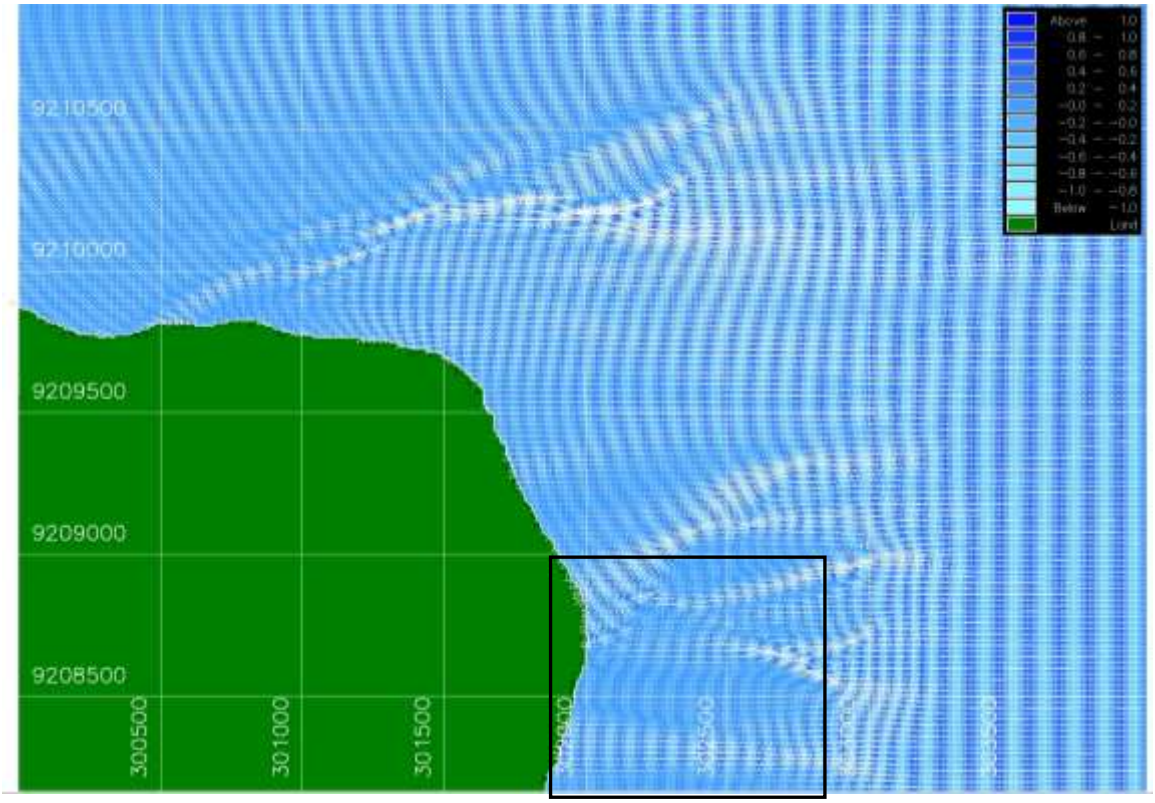


FIGURA 21. Campos de ondas simulados em condições médias de marés altas e Hs = 1.0 m, T =9s, direção de aproximação D = 103°. Concentração de energia de onda sobre a Ponta do Seixas.

8. POSSÍVEIS IMPACTOS

Os impactos provocados pelas estruturas de proteção costeira constituem a grande preocupação de governos como também do setor privado (Stamski, 2005). Os impactos mais comuns são:

1 – Impactos Visuais – Geralmente os protestos contra as estruturas de proteção costeira são decorrentes de impactos visuais a paisagem natural do local, podendo afetar negativamente o uso recreativo da praia. Existem maneiras de minimizar os impactos visuais. A nova engenharia de *seawalls* faz uso de aglutinantes do tipo *gunite* ou *shotcrete*, para colorir as partes esculpidas da mesma cor da falésia natural. Tais muros estão sendo utilizados extensivamente para a estabilização de falésias ou cortes em rodovias como, por exemplo, na praia de Cowell em Santa Cruz, na Califórnia (**Figura 22**).

FIGURA 22. Impactos visuais minimizados pela adaptação de obras de proteção de falésias, exemplo da praia de Cowell em Santa Cruz Califórnia - EUA.

2 – Compressão da Praia – As estruturas costeiras de revestimento, inevitavelmente, vão consumir parte da área de praia em frente à estrutura construída. Vale ressaltar que o bem público (praia) vai perder parte de sua área em benefício de propriedades privadas, como por exemplo, a construção de grandes hotéis. Como medida mitigadora é melhor recomendar o uso de *seawall*, do que enrocamento aderente.

3 – Acesso à Praia – A compressão da praia através das estruturas de proteção onde se faz uso de enrocamento aderente, pode comprometer o acesso á praia. Como medida mitigadora a utilização de escadas ou sistema de trilhos, pode ser usado para facilitar o acesso à praia.

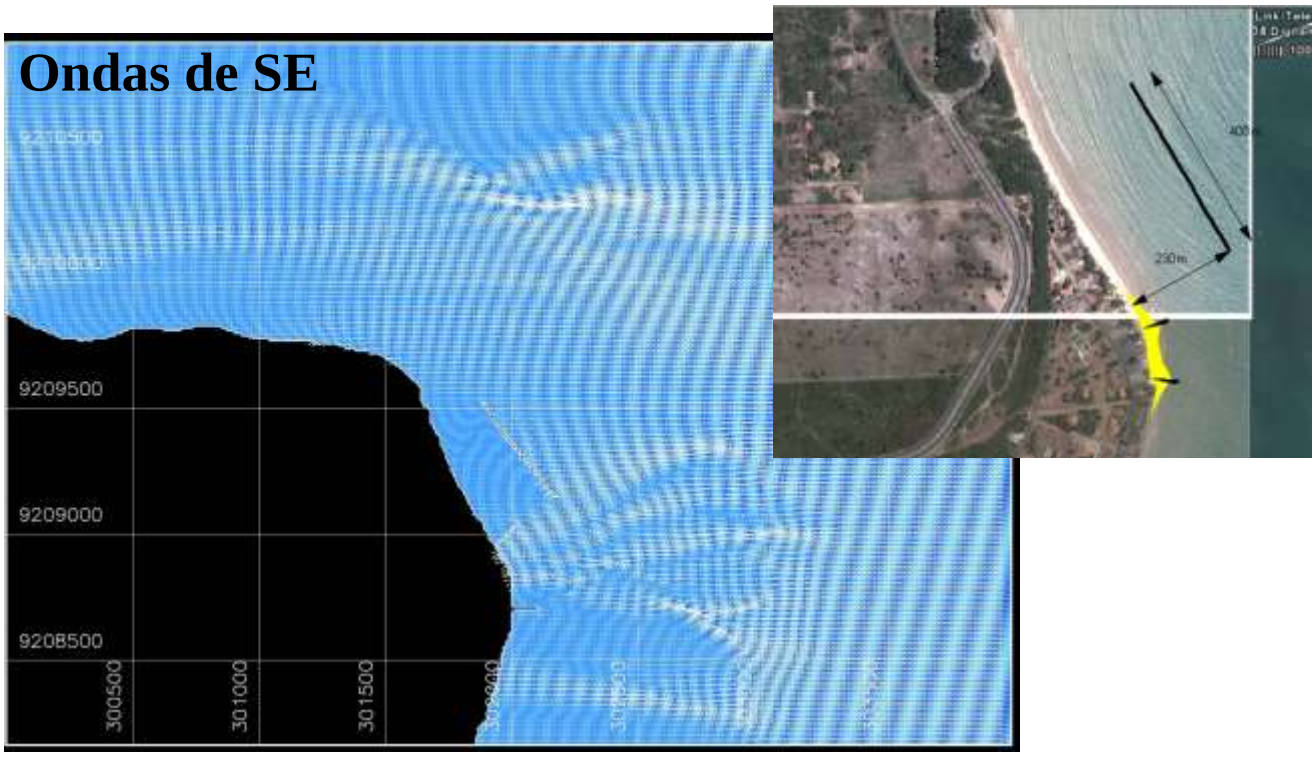
4 – Redução do Fornecimento da Areia pela Falésia – A alteração das rochas e sedimentos que constituem a falésia fornece areia que compõem parte do balanço sedimentar litorâneo da área, como foi visto na contribuição dos sedimentos da Formação Barreiras na Falésia do Cabo Branco, podendo se acumular e formar alguns depósitos arenosos e desse modo reduzir o transporte de areia para as praias situadas a jusante. Como medida mitigadora para compensar a redução do fornecimento de areia resultante da proteção da falésia, deve-se realizar o engordamento da praia ajusante.

5 – Erosão Passiva – É talvez o impacto mais agressivo e ao mesmo tempo o menos entendido provocado pelas armaduras costeiras. Quando uma estrutura *riprap* ou *seawall* é construída em frente a um bem que se deseja proteger, a linha de praia é fixada naquela posição. Praias e falésias adjacentes continuarão a recuar criando pontas artificiais, fora do segmento da costa protegida. Como medida mitigadora da erosão passiva recomenda-se a construção de flancos de contenção nas extremidades da estrutura e o engordamento com areia de outra localidade, reconhecendo que é uma solução temporária e muito agressiva para um problema crescente.

6 – Erosão ativa – A erosão acelerada e localizada pode ocorrer devido às interações entre a armadura de proteção e as ondas. Esse tipo de erosão inclui a corrente que se forma na base da estrutura de proteção ou segmento de praia adjacente e muda toda a morfologia da praia.

ANEXOS

Projeções – Através da Simulação de Ondas



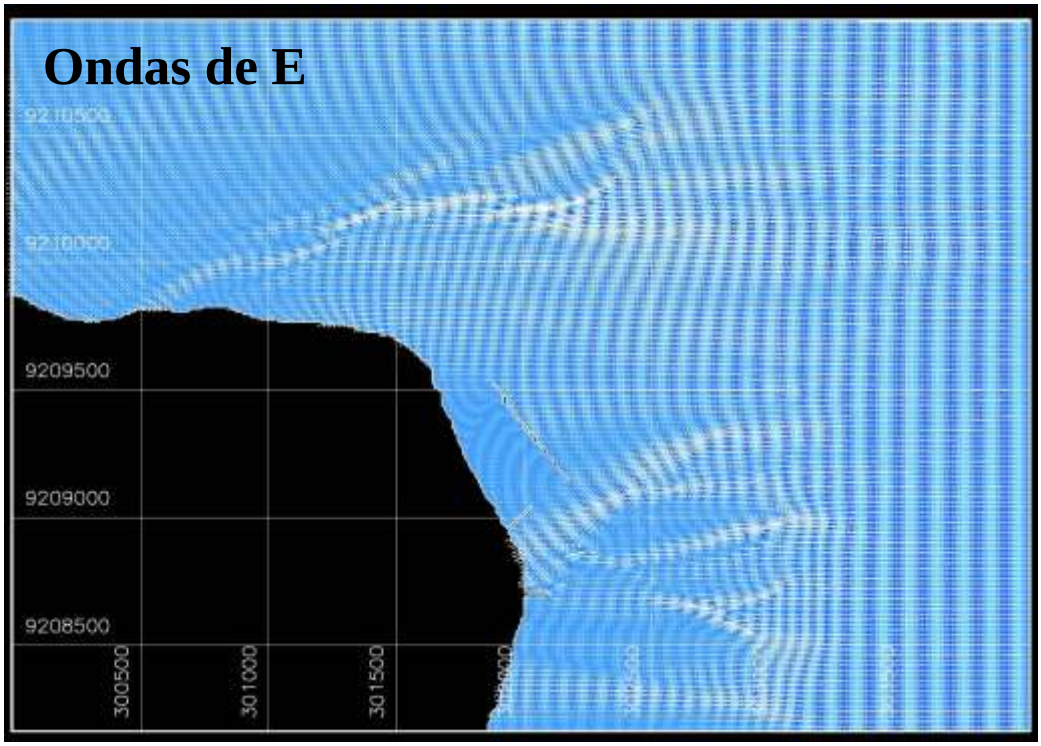


FIGURA 23. Primeira opção de proteção a Praia do Seixas. Projeções definidas através da simulação das ondas. O quadro mais acima apresenta o comportamento de ondas com direção de aproximação de SE.

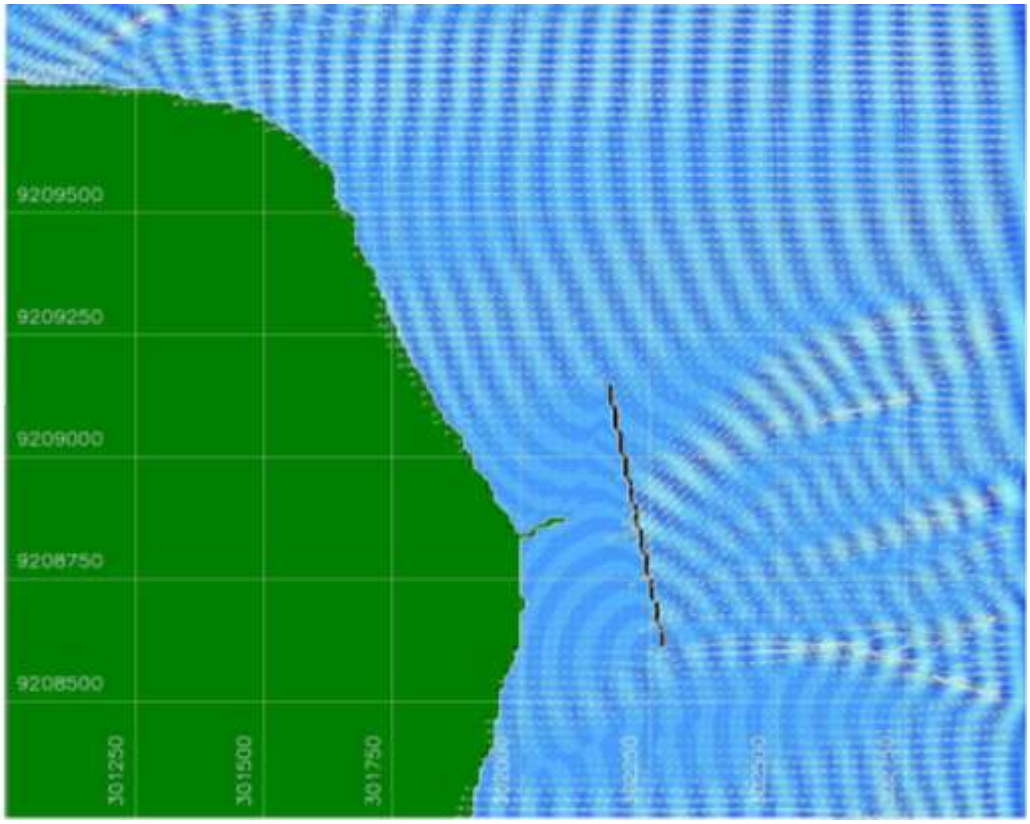


FIGURA 24. Simulação Ondas de Nordeste.

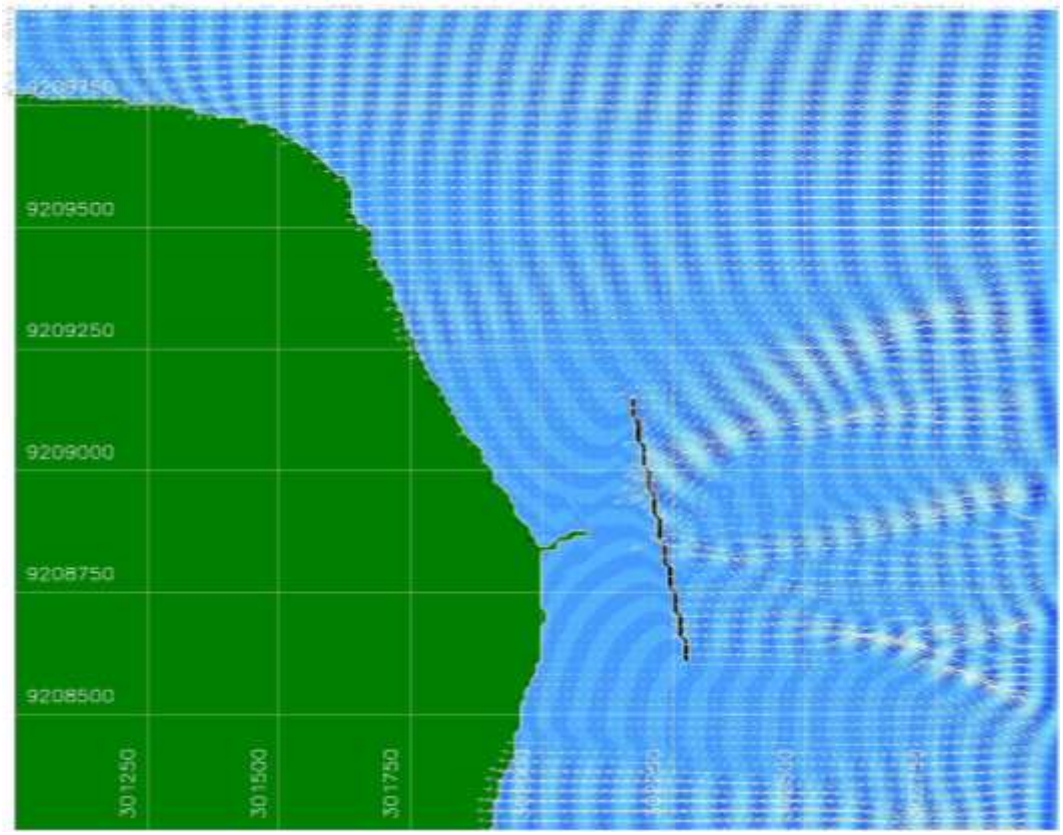


FIGURA 25. Simulação Ondas de Leste.

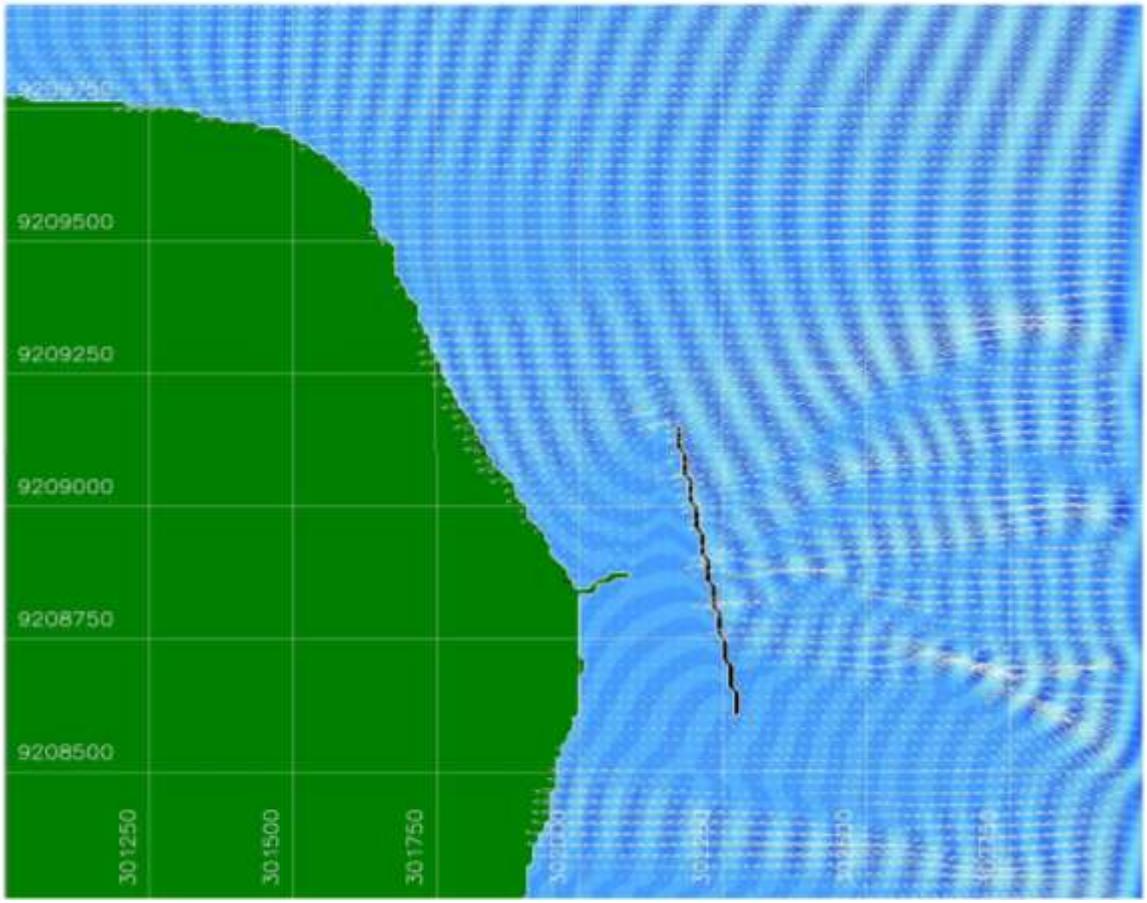


FIGURA 26. Simulação Ondas de Sudeste.