

6. ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS E LOCACIONAIS

6.1 Modelagem Matemática

A modelagem matemática referente às possíveis intervenções na costa confrontante com o Hotel Transamérica foi realizada pelo Danish Hydraulics Institute (DHI). O relatório completo em inglês é apresentado no **ANEXO 6-1** deste estudo. Uma tradução deste estudo para o Português é apresentada a seguir.

Há alguns anos processos erosivos tem sido observados ao longo da propriedade do Hotel Transamérica, na Ilha de Comandatuba – BA. Análises anteriores (DOMINGUEZ, 2008¹, ²) mostraram que a erosão da praia é episódica e uma análise de fotos históricas mostrou uma tendência geral de leve acreção ao longo da ilha. A **FIGURA 6.1-1** mostra a praia em frente ao Hotel durante uma tempestade em setembro de 2006.

As fotografias mostram que o nível da água era tão alto que as ondas podiam passar através da praia e atacar a duna. Este evento causou danos à infra-estrutura da costa e deixou uma grande marca na praia, a qual é claramente visível nas fotografias.

A erosão das praias é um fenômeno que atua em várias escalas temporais. Ressacas atuam em escalas de tempo curtas, da ordem de horas ou dias. Quando fenômenos meteorológicos de escala regional, como frentes frias, coincidem com a maré alta e ondas grandes, taxas elevadas de erosão podem ocorrer em curtos períodos de tempo. Em escalas de tempo maiores, efeitos como a variação nas condições meteoceanográficas podem ser importantes. De vários locais sabe-se que variações nas características de ondas oceânicas podem ocorrer. Estas últimas podem ocorrer em escalas temporais de estações, anos ou mesmo décadas.

¹ DOMINGUEZ, J. M. L. 2008. *Relatório Comandatuba Geologia*.

² DOMINGUEZ, J. M. L. 2008. *Diagnóstico da Erosão Costeira entre Canavieiras e a Ilha de Comandatuba – Vulnerabilidade da Linha de Costa em Frente ao Hotel Ilha de Comandatuba*.



FIGURA 6.1- 1 – Fotografias mostrando a praia em frente ao hotel durante uma tempestade (Fonte: DOMINGUEZ, 2008).

Um dos principais problemas ao longo da costa em frente ao hotel é a insuficiência de areia acima da linha da preamar na frente da propriedade (edifícios, piscinas e outros equipamentos). Caso existisse, esta poderia atuar como um tampão natural que viria a absorver as variações naturais na linha de costa.

Possivelmente, a erosão observada estaria relacionada com a dinâmica do delta na foz do Rio Comandatuba, na ponta norte da ilha (DOMINGUEZ, 2008). A foz do rio migrou ao longo da costa nas últimas décadas. Em caso de uma ruptura repentina do canal do rio, o delta de vazante situado na frente da foz do rio sofrerá mudanças. O delta de vazante antigo seria erodido, devido à interrupção no fornecimento de sedimentos pelo rio. Neste caso, um novo delta de vazante seria formado em frente ao novo ponto de desembocadura do canal do rio. Este processo poderia ocasionar variações no volume de sedimentos transferido ao longo da foz do rio. O delta atua como barreira para o transporte de sedimentos, assim como o

fazem as estruturas costeiras. Quando o delta é erodido, sua resistência à passagem do transporte litoral será reduzida, o que resultará em erosão na margem situada à montante da direção de deriva. Esta erosão está migrando gradualmente na direção sul e poderá afetar o comportamento da linha de costa em frente ao hotel. Contudo, essa erosão irá diminuir gradualmente, na medida em que o novo delta alcançará o seu equilíbrio e um novo balanço de transporte de sedimentos terá sido estabelecido.

Nesta análise, alguns conceitos de proteção costeira foram identificados e testados mediante modelagem matemática. Este estudo foi auxiliado por dados de campo colhidos na Ilha de Comandatuba durante o seu curso. Os resultados encontrados por DOMINGUEZ (2008^{1,2}) foram utilizados e incorporados ao presente estudo.

6.1.1. Características das Ondas Oceânicas na Área de Interesse

O transporte de sedimentos costeiros é regulado principalmente pela incidência de ondas (frentes de onda), na medida em que quando estas alcançam a linha de costa interagem com o fundo, provocando re-suspensão de material sedimentar e o transporte em uma dada direção, geralmente orientada paralelamente à linha de costa.

Para que seja possível trabalhar com dados confiáveis, as séries de dados de medições de ondas devem abranger períodos extensos. Deste modo, a base utilizada para a análise atual das condições de ondas na área em estudo foram os dados de ondas de mar aberto contidos no modelo global de ondas, operado pelo United Kingdom Meteorological Office (UKMO). Neste modelo as condições das ondas foram simuladas com base nas variações dos campos de ventos e pressão atmosférica. Os dados utilizados na presente análise se baseiam nas coordenadas geográficas 16,2°S e 38,1°W, de acordo com a **FIGURA 6.1.1-1**. Os dados utilizados cobriram o período entre Junho de 1991 e Setembro de 2007 e referem-se a medições com intervalos de 6 horas.

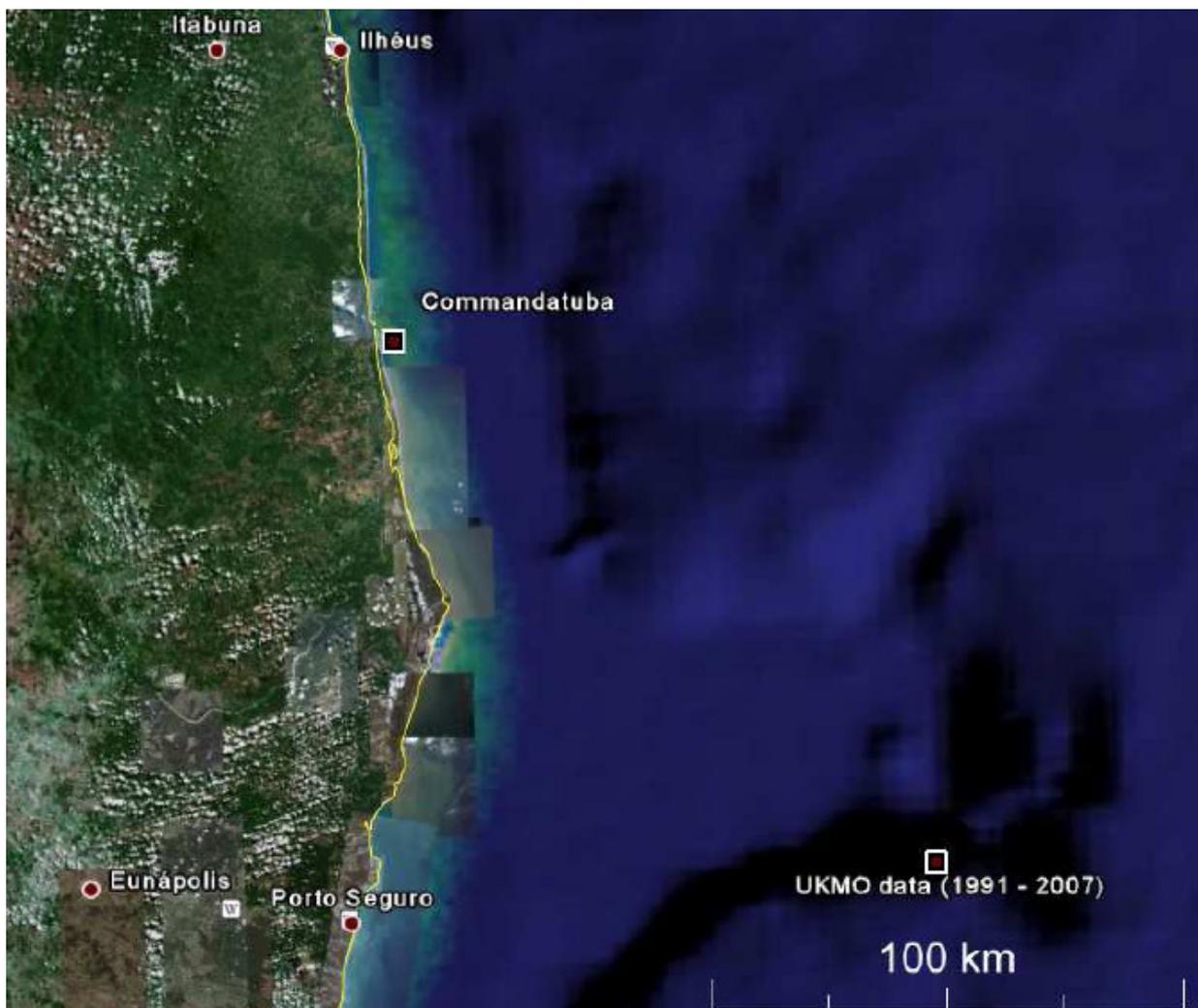


FIGURA 6.1.1- 1 – Posição do ponto do UKMO versus a localização do empreendimento.

A FIGURA 6.1.1-2 mostra a distribuição da energia das ondas oceânicas como função da altura das ondas. Os valores representam a contribuição da energia de onda média na zona oceânica calculados como médias do período coberto pelos dados. A figura mostra que a maior parte da energia das ondas oceânicas é transportada pelas ondas com alturas entre 1,5 e 2 metros. Além disso, nota-se que apenas uma pequena parte da energia total das ondas oceânicas é representada por ondas com alturas superiores a 4 metros.

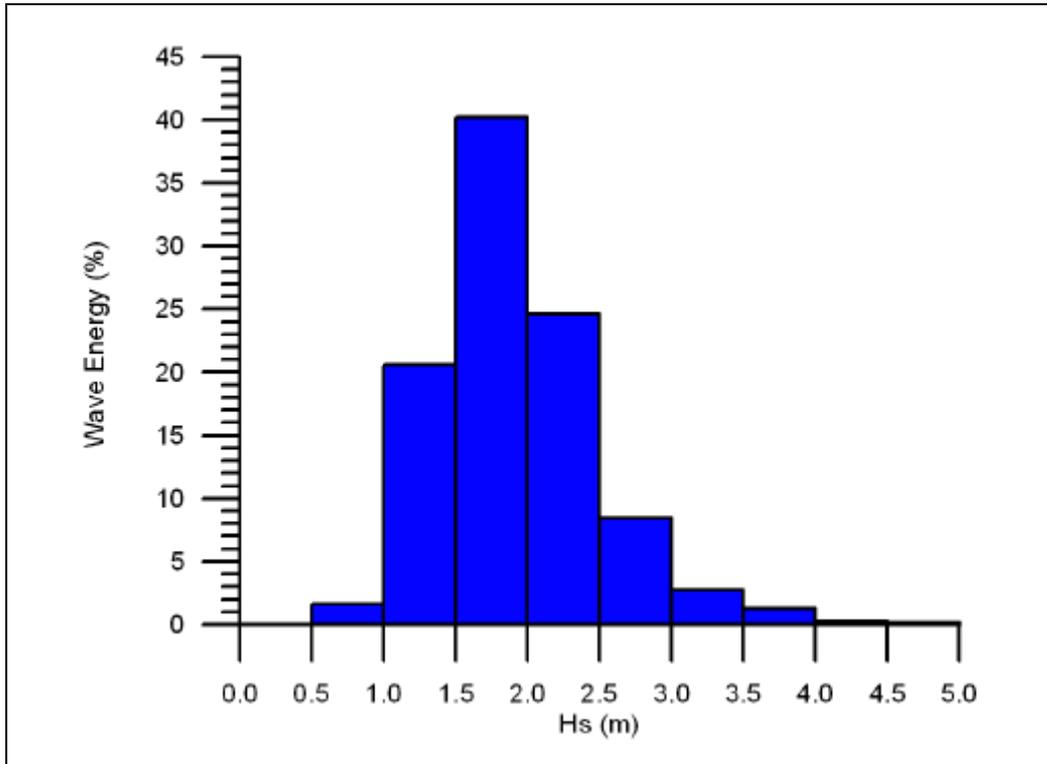


FIGURA 6.1.1- 2 – Distribuição da energia de ondas oceânicas por classe de altura de onda onde "Wave Energy %" representa o percentual da energia das ondas oceânicas e "Hs(m)" representa a altura das ondas em metros.

Similarmente as estatísticas para os períodos médios das ondas oceânicas (T_z) foram calculadas, como apresentado na **FIGURA 6.1.1.-3**. A energia total das ondas foi associada a intervalos que representam a duração, em segundos, dos períodos das ondas. Os dados mostraram que a maior parte da energia de ondas oceânicas na região em estudo está concentrada em ondas com períodos de 7 a 8 segundos. Apenas um pequeno percentual da energia anual das ondas oceânicas está associado a ondas com períodos superiores a 10 segundos.

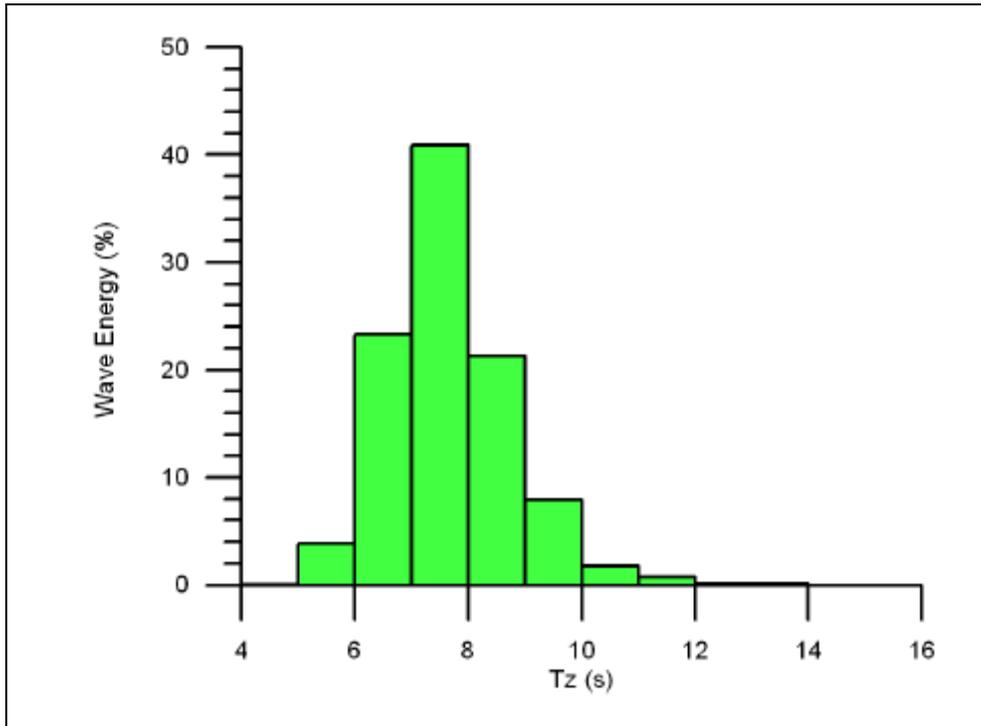


FIGURA 6.1.1- 3 – Distribuição média da energia de ondas oceânicas por intervalo de períodos de onda, onde “Wave Energy %” é o percentual da energia das ondas e “Tz(s)” refere-se ao período das ondas em segundos.

A distribuição da energia das ondas oceânicas por intervalo de direção é apresentada na **FIGURA 6.1.1-4**. Os dados indicam que a direção dominante de propagação de ondas na região é de Sul-Sudoeste (SSW). Um pequeno, porém significativo, máximo local foi observado para ondas de Nordeste e Leste Nordeste (NE – ENE).

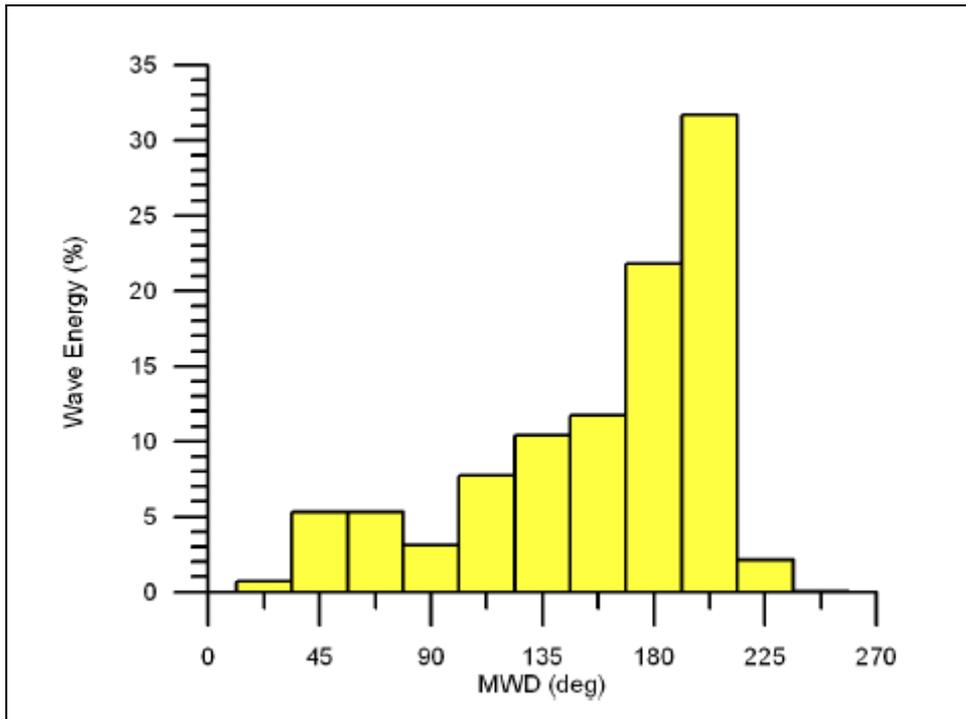


FIGURA 6.1.1- 4 - Distribuição média da energia de ondas oceânicas por intervalo de direção, onde "Wave Energy %" é o percentual de energia das ondas e "MWD (deg)" é a direção em graus.

O estudo realizado pelo DHI verificou as variações anuais nas características das ondas com base na altura média das ondas (H_r), período das ondas (T_r) e direção das ondas (α_R). A variação temporal calculada da altura de onda representativa é apresentada na **FIGURA 6.1.1-5**. De acordo com o DHI (2009), o período coberto pelos dados de ondas (16 anos) é muito curto para concluir sobre tendências de mudanças permanentes nas alturas das ondas. Contudo, algumas flutuações com intervalos de 5 a 7 anos puderam ser observadas. As flutuações observadas na altura das ondas oceânicas são da ordem de 0,3 metros. No período avaliado, observou-se um incremento gradual de cerca de 3 a 4 centímetros/ano na altura média das ondas oceânicas.

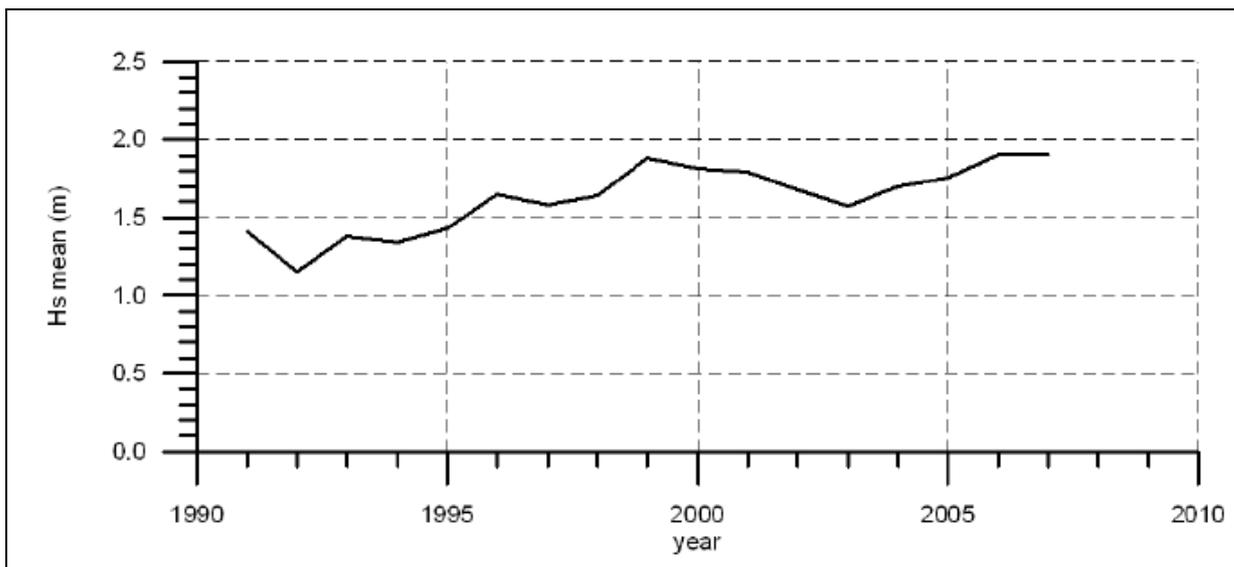


FIGURA 6.1.1- 5 – Altura média significativa das ondas durante o período 1991-2007, onde “Hs mean (m)” refere-se à altura média das ondas e “year” refere-se ao ano.

O período médio representativo das ondas oceânicas para a área do empreendimento é apresentado na **FIGURA 6.1.1-6**. De acordo com esses dados as variações temporais são pequenas, com amplitudes inferiores a 0,5 segundos, e não se espera que estas tenham nenhum impacto significativo na área do projeto. Na média, o período médio das ondas aumentou aproximadamente 1 segundo nos 16 anos avaliados.

A variação temporal na direção representativa das ondas é apresentada na **FIGURA 6.1.1-7**. A linha azul representa a regressão linear dos dados. A análise indicou flutuações significativas na direção das ondas oceânicas. Essas flutuações apresentaram amplitudes da ordem de +/- 5 a 10 graus. Além das flutuações registradas, a direção média das ondas oceânicas aparenta ter se modificado na direção dos ponteiros do relógio em cerca de 25 graus durante o período coberto pelos dados. Isto corresponde a uma mudança média de cerca de 1,5 grau/ano, que é uma mudança considerável, com impacto na linha de costa.

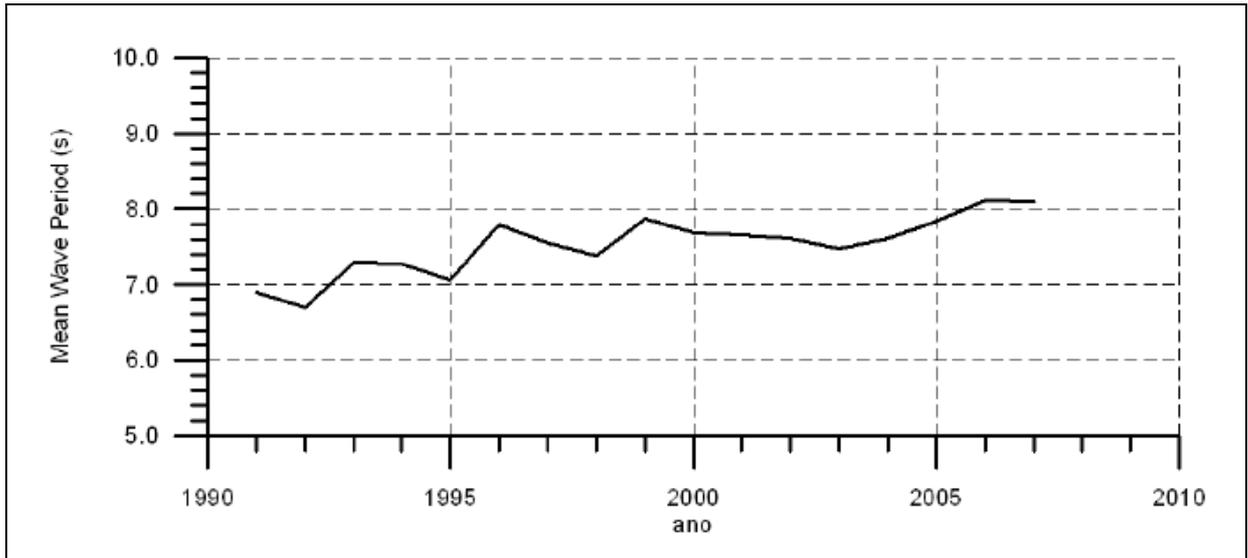


FIGURA 6.1.1- 6 – Período médio das ondas para o intervalo entre 1991 a 2007, onde “Mean Wave Period (s)” representa o período médio das ondas em segundos.

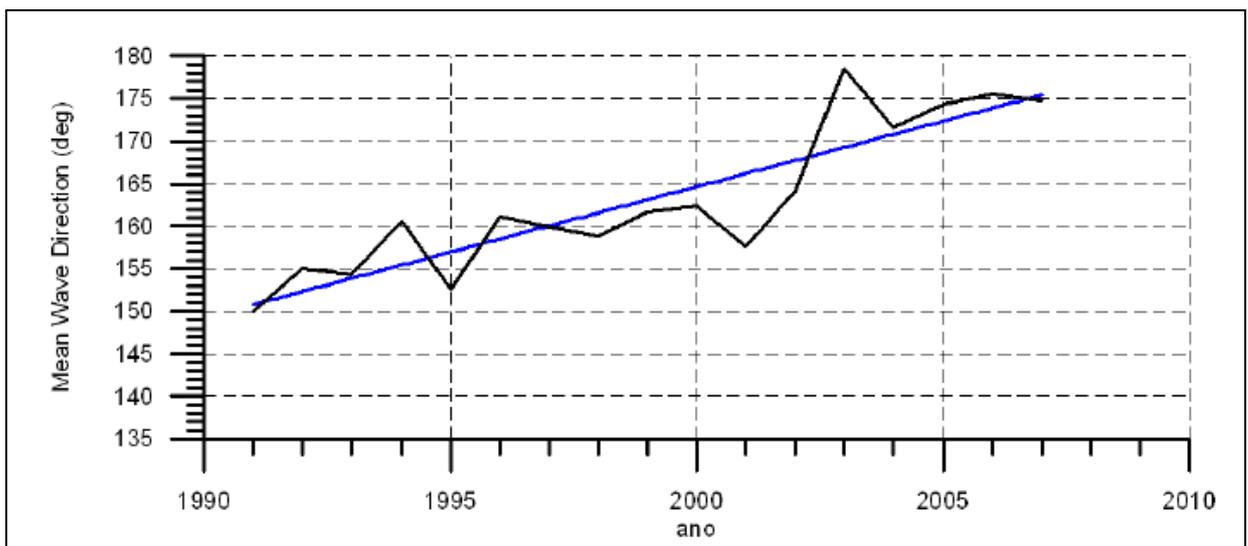


FIGURA 6.1.1- 7 – Direção média das ondas oceânicas para o período entre 1991 e 2007, onde “Mean Wave Direction (deg)” refere-se à direção média das ondas em graus.

Considerando os resultados de outros estudos realizados pelo DHI na costa do Brasil acredita-se que as mudanças observadas são, pelo menos em parte, associadas a variações periódicas nas condições das ondas. Estas variações aparecem em escalas temporais da ordem de anos a décadas, e estão associadas a fenômenos que ocasionam variações nas condições climáticas como El Niño e La Niña. O efeito das mudanças climáticas vinculadas ao aquecimento global não pode ser confirmado e nem excluído com base nesta análise. O efeito da mudança gradual na direção das ondas é importante principalmente para a estabilidade das praias adjacentes ao local do empreendimento.

Flutuações nas condições das ondas oceânicas também foram observadas em escalas de tempo menores. As **FIGURAS 6.1.1-8 a 6.1.1-10** apresentam as médias mensais das alturas, períodos e direção de ondas. De acordo com estes dados, as alturas médias das ondas oceânicas variam de cerca de 1,5 metro no período entre dezembro a fevereiro, a cerca de 1,8 metros no período entre maio e setembro. Da mesma forma, o período médio varia entre 7 e 8 segundos, nessas mesmas épocas do ano. Variações sazonais muito claras foram observadas na direção das ondas oceânicas entre os períodos do ano. Nos meses de verão, a direção média das ondas é de Sudeste (SE). No inverno, a direção se modifica para Sul – Sudeste (SSE) a Sul (S).

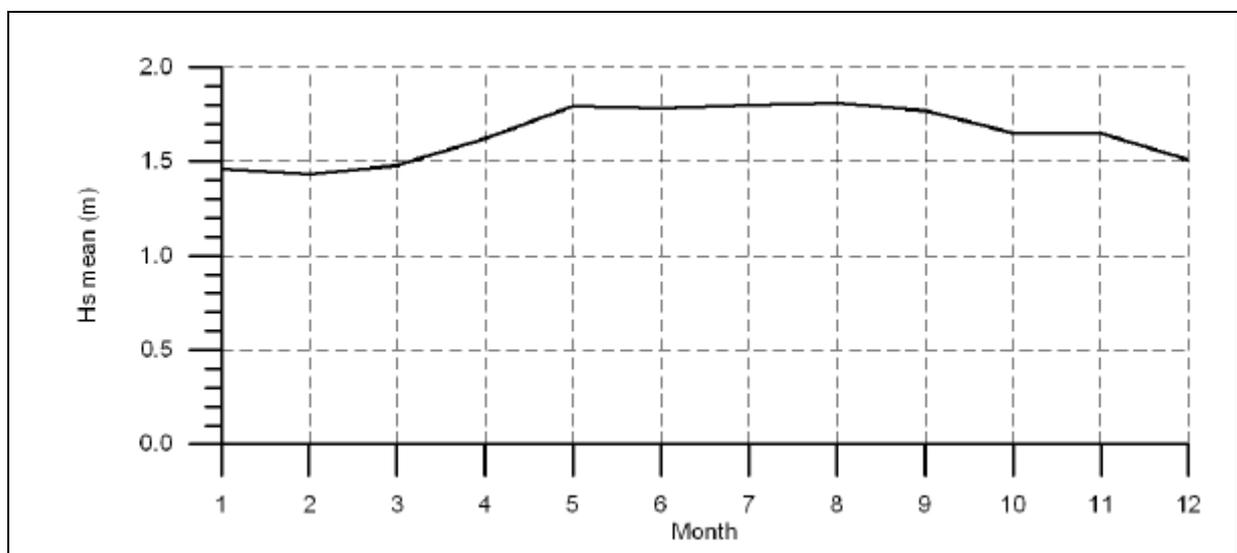


FIGURA 6.1.1- 8 – Médias mensais na altura das ondas oceânicas, onde “Hs mean (m)” refere-se à altura média das ondas em metros e “Month” refere-se ao mês.

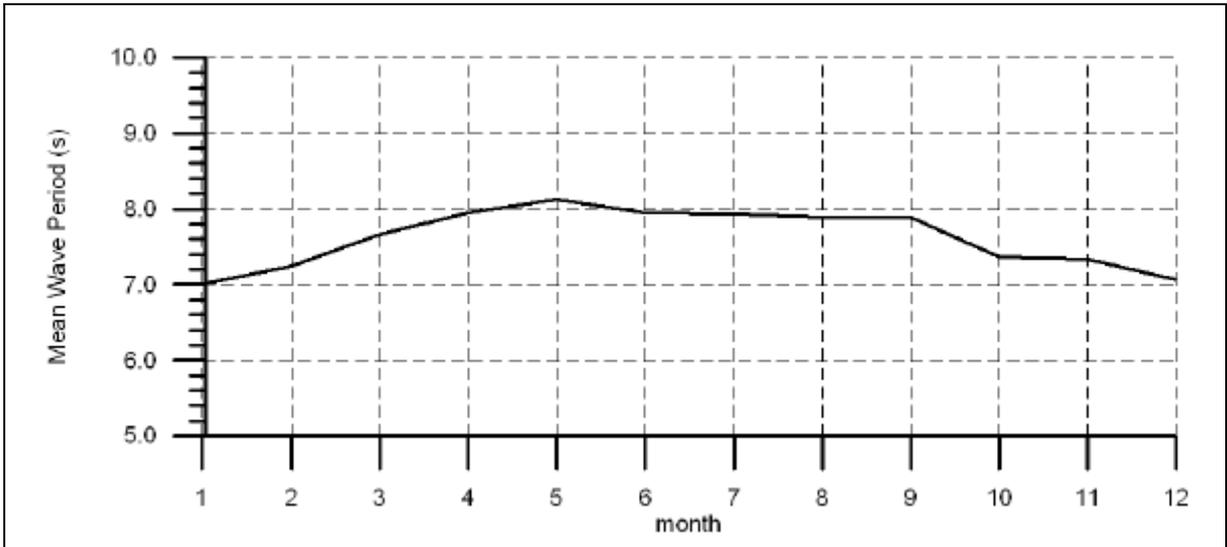


FIGURA 6.1.1- 9 – Períodos médios mensais, onde “Mean Wave Period (s)” refere-se ao período médio das ondas e “month” refere-se ao mês.

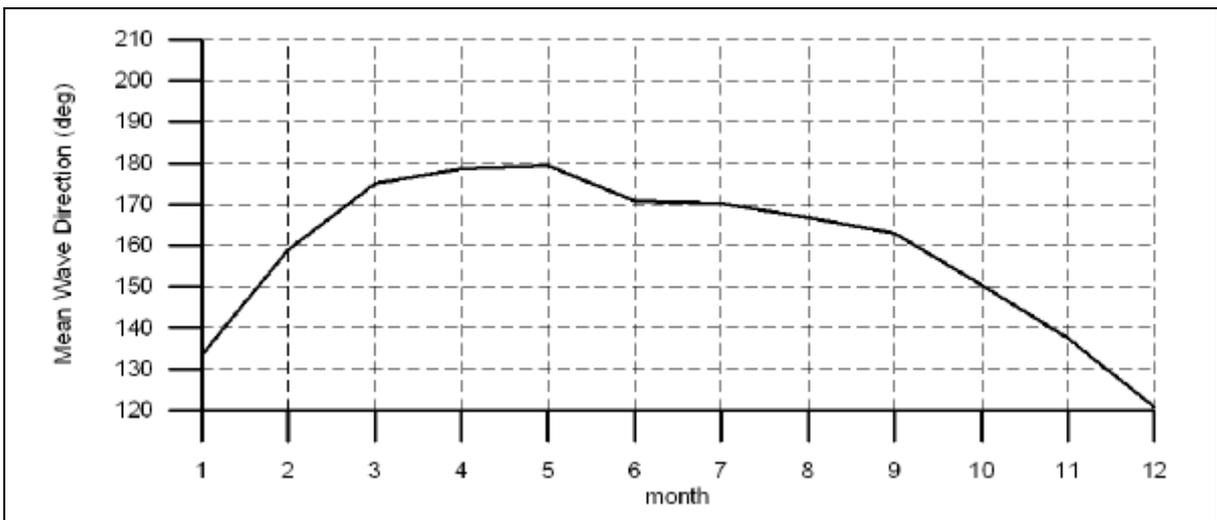


FIGURA 6.1.1- 10 – Direções médias mensais, onde “Mean Wave Direction (deg)” refere-se à direção em graus, e “month”, refere-se ao mês.

6.1.2. Estudo de transformação de ondas

Os dados do UKMO cobriram o período entre 1991 – 2008 e consistem em séries temporais contínuas de parâmetros de mar e swell (altura de ondas, período e direção média). A validade dos dados do UKMO limita-se às águas profundas. Para obter dados representativos das condições próximas à linha de costa na área do entorno do Hotel Transamérica realizou-se um estudo de transformação de ondas, utilizando o modelo matemático MIKE-21 SW, desenvolvido pelo DHI. Este é um modelo estado-da-arte para a modelagem matemática da propagação de ondas em áreas oceânicas e costeiras. O modelo de transformação de ondas inclui todos os mecanismos físicos relevantes como refração, empinamento da onda e dissipação de energia devida à fricção com o substrato e quebra, além do aumento do vento. Informações adicionais sobre o modelo podem ser obtidas no endereço eletrônico www.dhi.dk (DHI, 2008).

6.1.2.1. Preparação do Modelo

Os dados batimétricos foram obtidos a partir de cartas náuticas e complementados com batimetria específica realizada na área, além de medições de perfis de praia nos períodos seco (fevereiro) e chuvoso (agosto) do ano. A batimetria do modelo, apresentada na **FIGURA 6.1.2-1**, mostra que a linha de costa na frente do Hotel é quase perfeitamente reta e que as isolinhas estão orientadas paralelamente em relação à linha de costa, pelo menos até a isóbata dos 5 metros. O modelo cobriu uma área de cerca de 130 x 230 Km. Foram utilizadas cerca de 35.000 células computacionais. A **FIGURA 6.1.2-2** mostra um zoom da área do projeto.

Na altura da fronteira oceânica do modelo, as condições oceânicas derivadas dos dados do UKMO foram especificadas. O clima de ondas da região próxima à linha de costa foi estabelecido ao transformar a série temporal completa de dados de ondas oceânicas para dados de ondas da região costeira. Os componentes marítimo e ondulações (swell) foram transformados separadamente no modelo. Nas localidades que foram especificadas como locais de obtenção de dados (output locations), as ondas resultantes foram calculadas a partir da sobreposição dos componentes marítimo e ondulações transformados. Deste modo, a

altura resultante das ondas foi obtida a partir da soma das contribuições marítima (sea) e das ondulações (swell) para a energia total das ondas. O período resultante foi estimado como um valor médio dos componentes marítimo e ondulações, considerando proporcionalmente as suas respectivas contribuições para a energia total das ondas. Um procedimento semelhante foi utilizado para a estimativa da direção das ondas.

Observa-se que o ângulo de onda calculado tem uma importância física limitada em casos onde há ocorrência simultânea de influência marítima e ondulações, onde a energia associada a ambos os componentes é mais ou menos igual, e por outro lado, os ângulos entre os mesmos dois componentes são grandes. Nestes casos, a direção das ondas é tomada em função da direção do componente dominante. As simulações de transformação foram executadas incluindo a quebra das ondas. Os parâmetros de ondas costeiras foram derivados em uma localidade em frente ao hotel ao longo da isóbata de 15 metros.

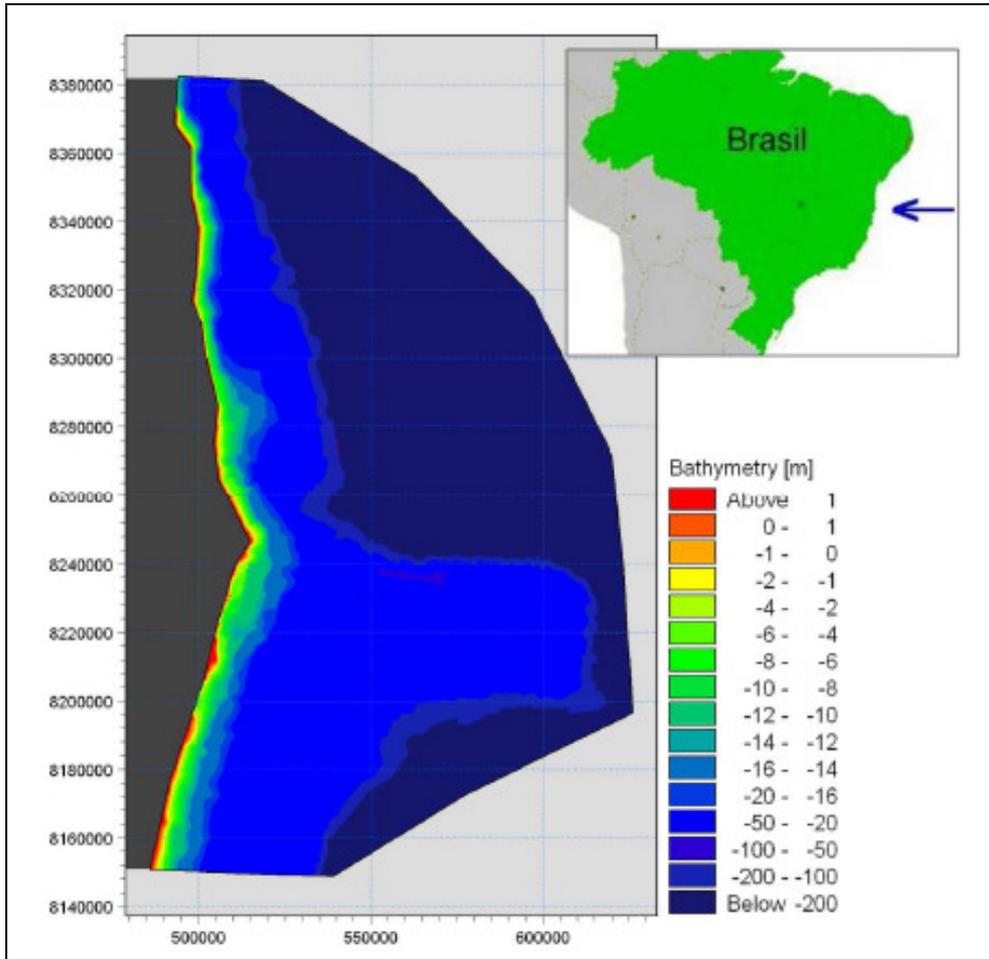


FIGURA 6.1.2- 1 – Área utilizada no modelo de ondas, mostrando a batimetria em intervalos de 1 metro.

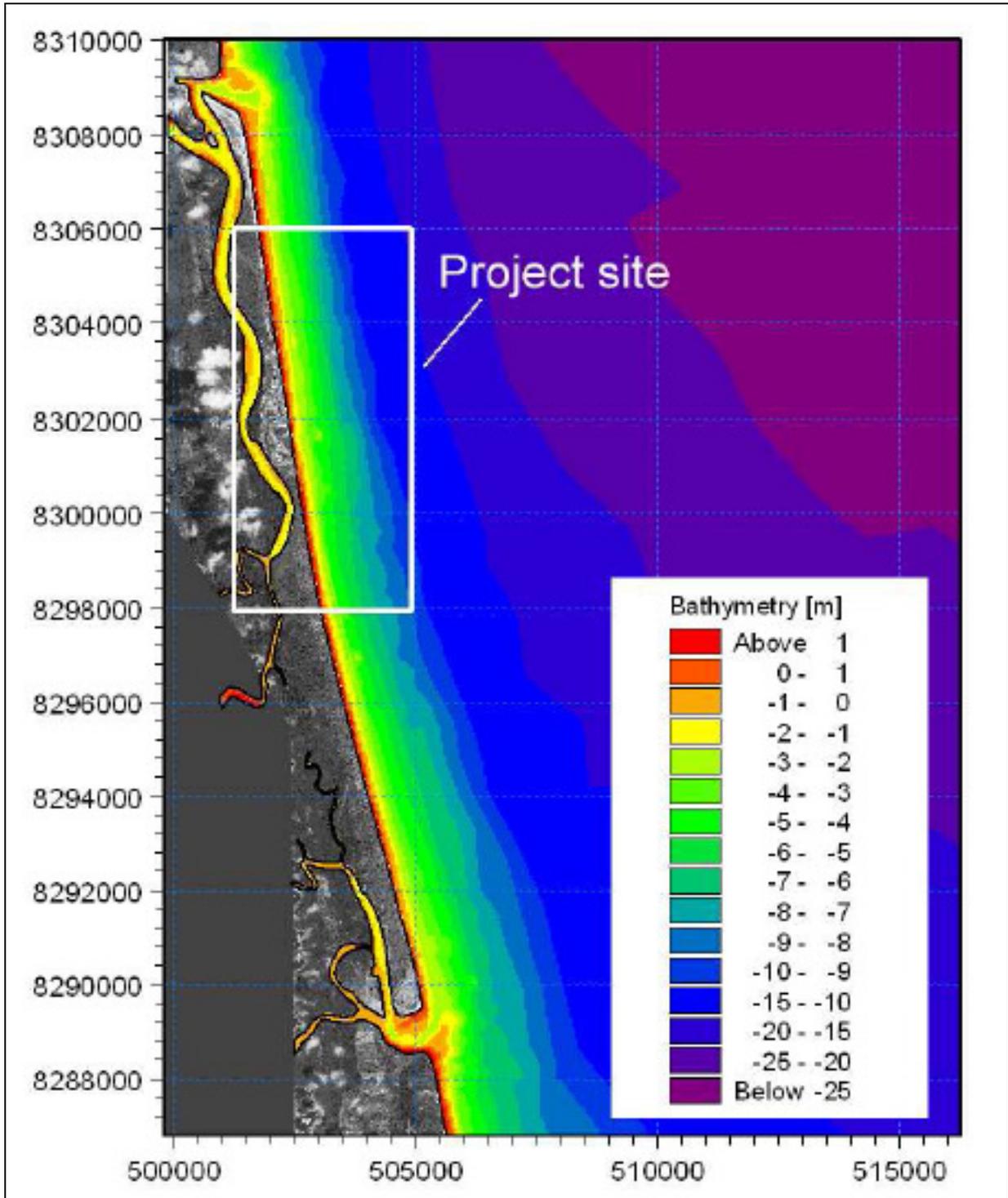


FIGURA 6.1.2- 2 - Zoom da área do projeto mostrando intervalos de profundidade com espaçamento de 1 metro, onde "Project Site" refere-se à área do projeto.

6.1.2.2 Calibração do Modelo

A calibração do modelo foi realizada com base em medição de ondas realizada ao sul da desembocadura do Rio Jequitinhonha entre os meses de julho e agosto de 2006. Os dados de ondas foram coletados a partir da utilização de um equipamento ADCP (acoustic doppler current profiler). Com base nesses dados coletados, foi feito o ajuste dos parâmetros do modelo, tendo sido obtido um grau de concordância adequado entre os dados medidos e os dados modelados. A **FIGURA 6.1.2- 3** apresenta a comparação entre os dados medidos e os simulados.

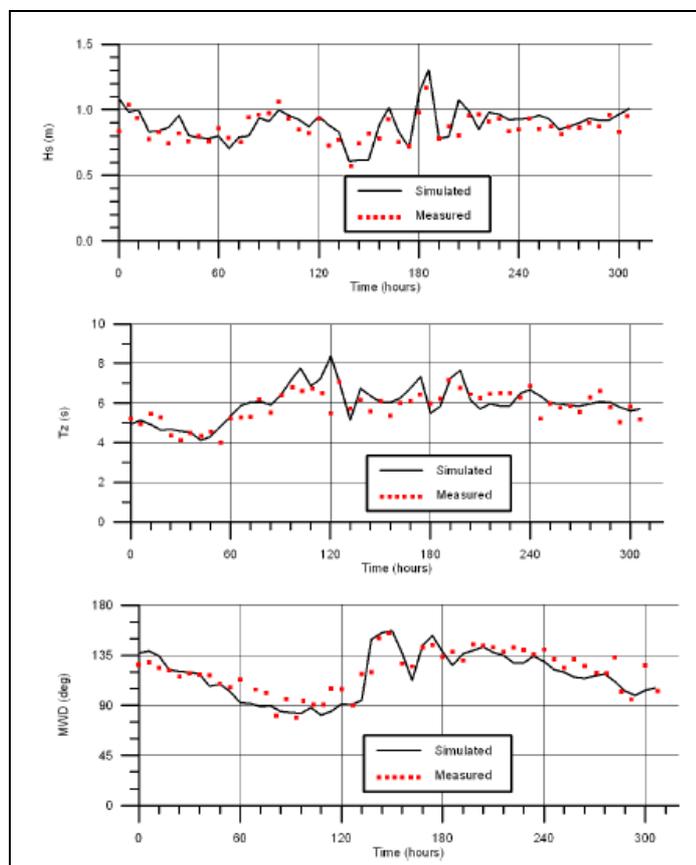


FIGURA 6.1.2- 3 – Comparação entre os resultados simulados pelo modelo e os resultados medidos em campo para o mês de julho de 2006. No topo está representada a altura significativa das ondas, no gráfico central está representado o período de pico das ondas e no gráfico inferior está representada a direção média das ondas. “Simulated” refere-se a dados simulados. “Measured”, refere-se a dados medidos.

As diferenças encontradas entre os dados medidos e os dados simulados foram consideradas “não sistemáticas”. Os desvios entre as medições e os resultados do modelo podem ter estado associadas a imprecisões em três fontes independentes, a saber:

- Os dados do UKMO especificados nos limites oceânicos do modelo;
- O modelo de transformação de ondas, e;
- As medições.

É importante notar que os dados informados ao longo da fronteira oceânica do modelo não são dados medidos, e sim dados gerados sinteticamente, derivados do modelo UKMO. Qualquer tipo de desacordo entre os dados da fronteira oceânica e os dados reais na natureza serão refletidos nos resultados do modelo. As condições das ondas foram assumidas uniformes ao longo de toda a fronteira oceânica do modelo. Apesar de algumas discrepâncias, o grau de semelhança entre os dados medidos e os dados simulados pelo modelo foi considerado satisfatório, para o propósito da modelagem.

6.1.2.3 Características das Ondas Costeiras

O modelo calibrado foi aplicado para transformar a série temporal dos parâmetros oriundos das ondas oceânicas fornecidos pelo UKMO para uma posição próxima à linha de costa, ao longo da isóbata de 15 metros em frente ao Hotel Transamérica.

Clima Anual de Ondas Costeiras

A **FIGURA 6.1.2-4** mostra as distribuições da altura significativa das ondas, período médio das ondas e direção média das ondas calculadas a partir da série temporal transformada. Ao longo do ano, a maior parte da energia das ondas alcança a linha de costa com alturas entre 1,00 e 1,25 metros. Ondas maiores que 2,50 metros são raras. Do mesmo modo, a maior parte da energia das ondas é carregada por ondas com períodos entre 6 e 7 segundos, sendo que períodos maiores que 10 segundos ocorrem raramente. A distribuição da energia das ondas por intervalo de direção mostrou um pico máximo para ondas vindas da direção Leste-Sudeste (ESE).

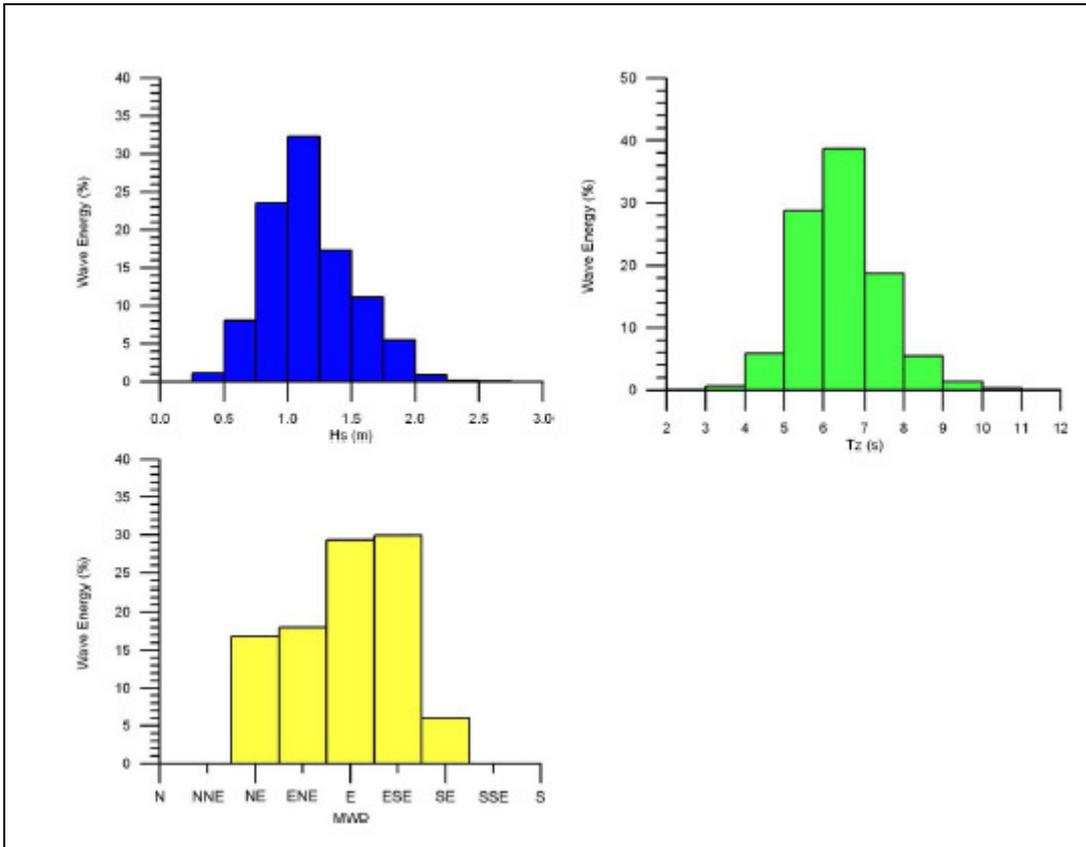


FIGURA 6.1.2- 4 – Distribuição média da energia das ondas por intervalo de altura (gráfico com barras azuis); intervalo de período (gráfico com barras verdes) e intervalo de direção (gráfico com barras amarelas).

Variação Anual nas Características das Ondas Costeiras

De modo a analisar possíveis flutuações nas condições das ondas ao longo do período coberto pelos dados, parâmetros representativos das ondas foram calculados para cada ano no período de 2001 a 2007 (a média anual dos dados de 2008 não foi incluída, já que os dados disponíveis alcançaram apenas até o mês de setembro de 2008). A **FIGURA 6.1.2-5** mostra a variação temporal da média anual para os parâmetros: altura de onda significativa; período médio das ondas e direção média das ondas.

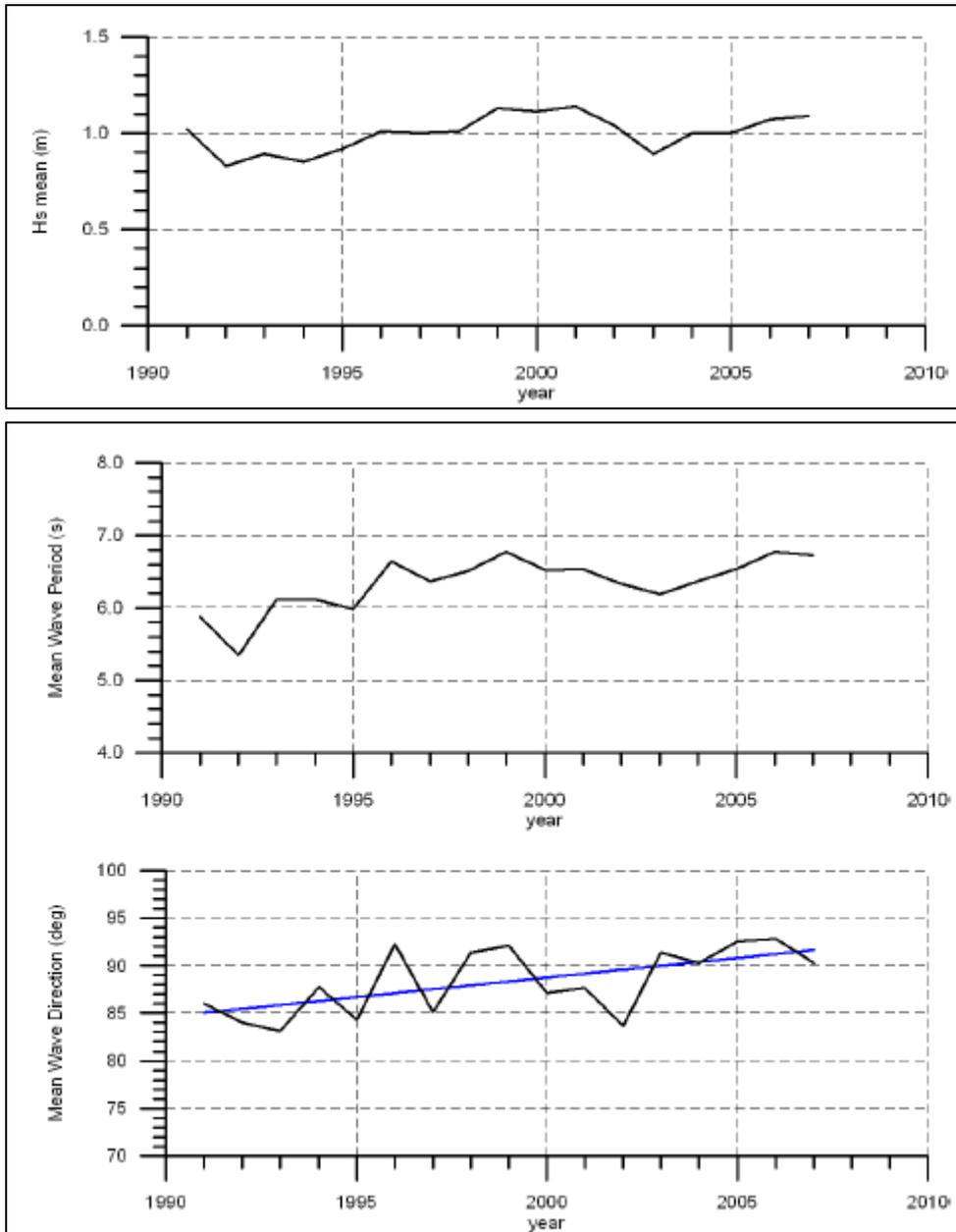


FIGURA 6.1.2- 5 – Parâmetros médios anuais de ondas costeiras no período entre 2001-2007. Gráfico superior representa a altura média significativa das ondas. Gráfico do meio representa o período médio e o gráfico inferior representa a direção média das ondas costeiras.

Os cálculos indicaram uma altura média de onda da ordem de 1,0 a 1,2 metros. Variações suaves da ordem de 0,2 metros foram observadas ao longo do período coberto pelos dados. Do mesmo modo, os períodos médios de onda calculados indicaram algumas flutuações neste parâmetro, com amplitudes de variação máximas da ordem de 0,5 segundos. Algumas alterações significativas foram observadas em relação à direção média das ondas. No início da década de 90 a direção média das ondas era de 85°. Na década seguinte, a direção média das ondas foi sendo alterada na direção dos ponteiros do relógio, e presentemente, está em cerca de 95°. Esta é uma mudança na direção das ondas de cerca de 10°, a qual é considerável e importante para a dinâmica costeira da área do projeto.

Variações Sazonais das Características das Ondas Costeiras

Considerando escalas temporais menores também foram observadas flutuações significativas nos parâmetros das ondas costeiras. A **FIGURA 6.1.2-6** apresenta as rosas de ondas para os quatro trimestres do ano. Uma dominância clara das ondas vindas de Sudeste (SE) foi observada no período entre os meses de abril a setembro. Durante os meses de verão um componente relativamente forte na direção Leste-Nordeste (ENE) foi observado. A variação sazonal na direção das ondas e o transporte de sedimentos litorâneos que está associado com essa flutuação é muito importante para o comportamento da linha de costa, bem como para mensurar os efeitos de intervenções humanas na linha de costa, como, por exemplo, espigões.

Análises adicionais mostraram que as maiores alturas médias das ondas ocorrem no período entre agosto e novembro, e as menores alturas médias das ondas ocorrem no período entre março e abril, como demonstrado pela **FIGURA 6.1.2-7**. O período das ondas também mostrou algumas variações ao longo do ano. Contudo, a variação mais importante refere-se à alteração na direção média das ondas. Nos meses de verão, a direção média das ondas oscila entre 70 e 90°, enquanto que nos meses de inverno varia entre 100 e 110°. Esta é uma diferença considerável, de grande importância para a escolha do tipo de intervenção humana na linha de costa.

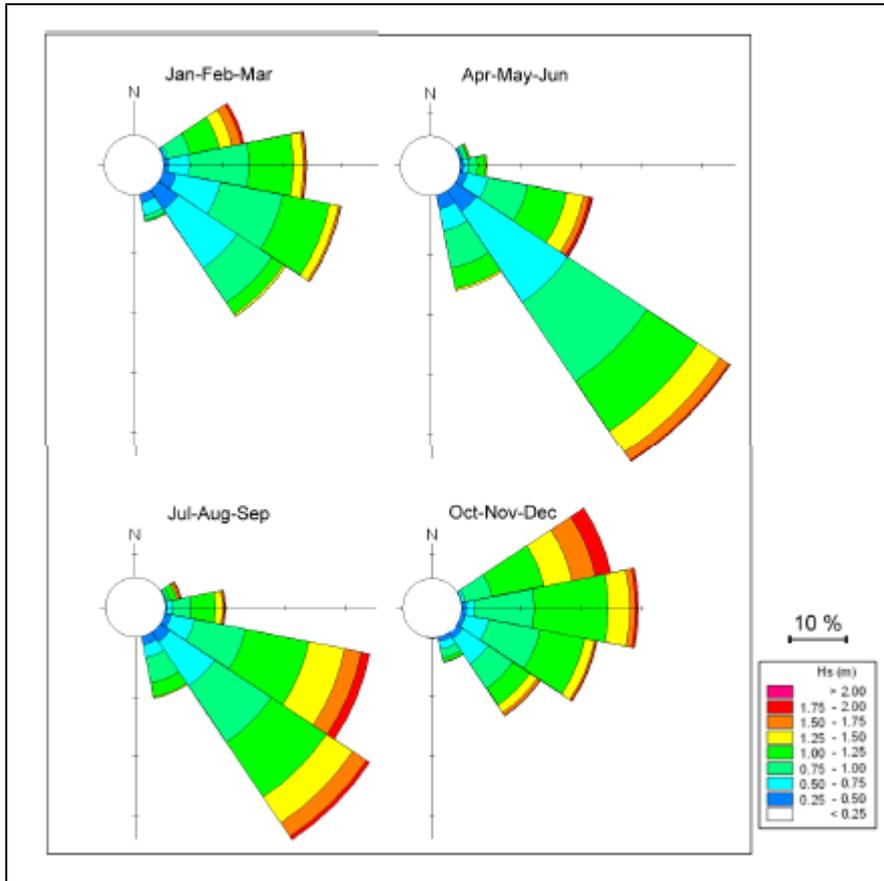


FIGURA 6.1.2- 6 – Rosas de ondas para as quatro estações ao longo da isóbata de 15m em frente ao Hotel Transamérica.

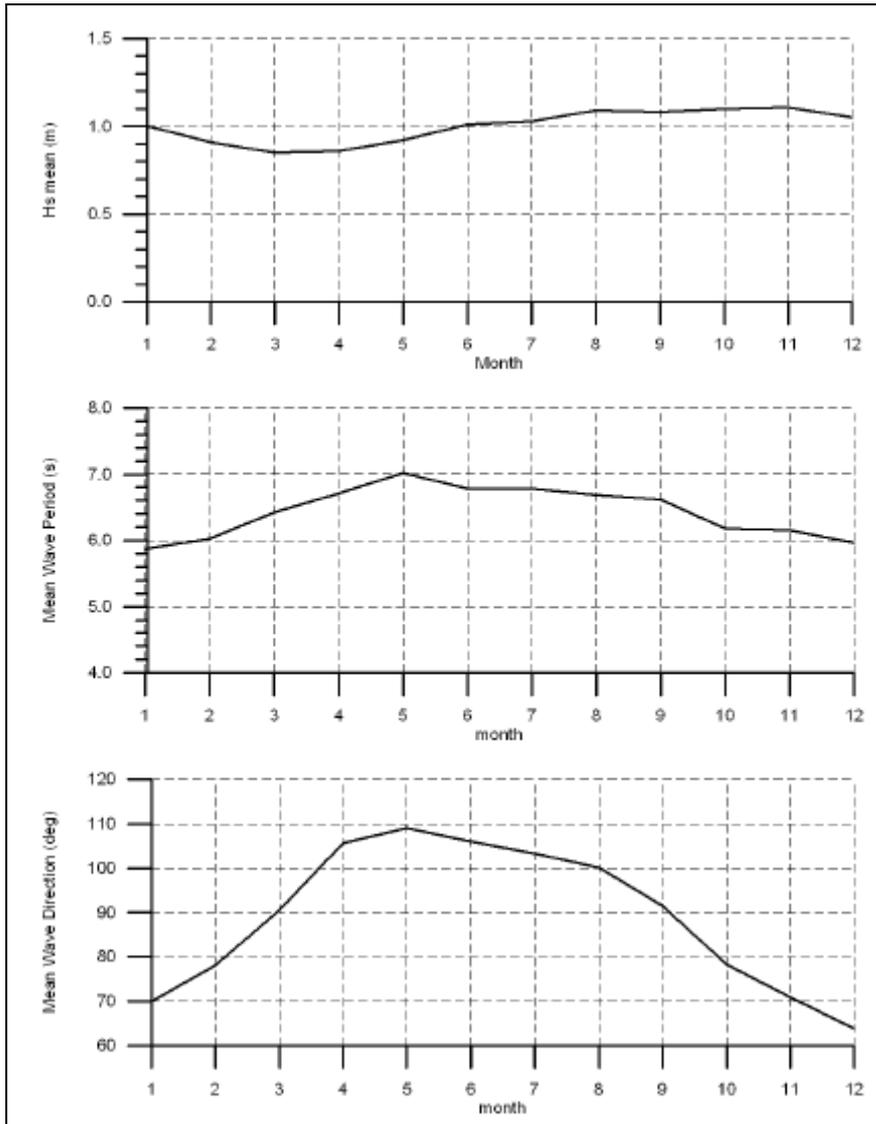


FIGURA 6.1.2- 7 – Variação mensal de parâmetros de ondas costeiras. No alto está representada a altura significativa das ondas. No centro está representado o período das ondas e embaixo está representada a direção média das ondas.

Alturas Extremas de Ondas

As alturas extremas das ondas são importantes para o projeto de estruturas costeiras. De modo a derivar estimativas de ondas de alturas extremas uma análise estatística foi realizada com base nos dados simulados. A probabilidade de excedência da altura das ondas (de todas as direções) é apresentada na **FIGURA 6.1.2-8**.

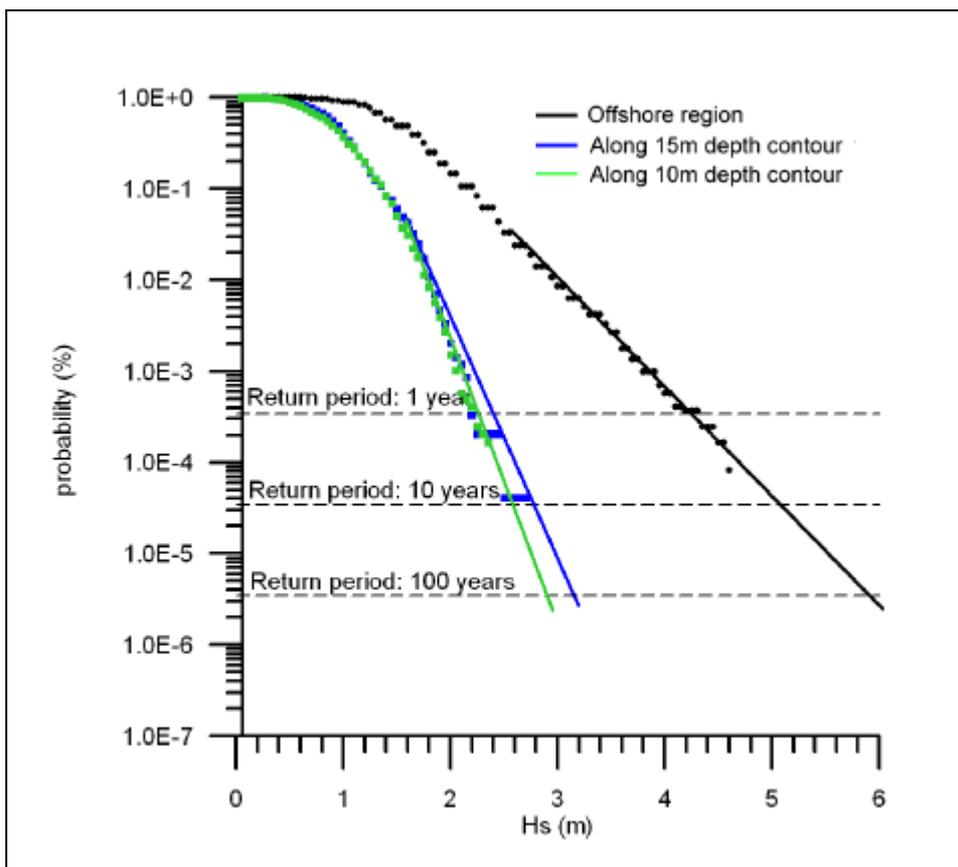


FIGURA 6.1.2- 8 – Probabilidade de exceder a altura de onda (Hs) na região oceânica (curva na cor preta), ao longo da isóbata de 15 metros (curva na cor azul) e ao longo da isóbata de 10 metros (curva na cor verde).

As alturas das ondas oceânicas com períodos de recorrência de 1 ano; 10 anos e 100 anos foram estimadas, respectivamente como sendo 4,2; 5,1 e 5,9 metros. Do mesmo modo, para a zona costeira (isóbata de 15 metros), alturas de ondas de 2,4; 2,8 e 3,2 metros foram calculadas, respectivamente, para os períodos de retorno de 1, 10 e 100 anos, respectivamente. Os alturas extremas de ondas são listadas no **QUADRO 6.1.2-1**.

QUADRO 6.1.2- 1 – Alturas extremas de ondas estimadas para várias profundidades e períodos de retorno.

PERÍODO DE RETORNO	PROFUNDIDADE		
	OCEÂNICA	15 m	10 m
1 ano	4,2	2,4	2,3
10 anos	5,1	2,8	2,6
100 anos	5,9	3,2	2,9

6.1.3. Dinâmica dos Perfis de Praia

O desenvolvimento de processos erosivos de curto prazo ocorre geralmente em momentos que combinam níveis de água elevados e ondas altas (ressaca). Durante esses eventos de curta duração, quantidades relativamente grandes de areia podem ser erodidos da praia, vindo a ser depositados nas porções mais profundas dos perfis de praia, levando ao retrocesso repentino da linha de costa. No período seguinte de tempo calmo, a areia é gradualmente transportada de volta para a costa e a linha de costa original tende a ser recomposta.

6.1.3.1. Estatísticas Locais do Nível da Água na Área do Projeto

O nível das águas desempenha um papel importante no processo de inundações costeiras e erosão de praias durante a ocorrência de tempestades. O efeito principal do nível de água elevado é que as maiores profundidades da coluna de água permitem a chegada de ondas maiores à linha de costa, onde estas quebram e ocasionam o desenvolvimento de processos erosivos. Para o presente projeto, as variações no nível das águas são causadas por efeitos de marés astronômicas e ventos em escala regional; e ondas na escala local.

Variações no nível das águas causadas por ondas incluem os processos chamados de “set up” e “run up” de ondas. O processo denominado de “set up” corresponde à variação do nível médio da água que está associado ao processo de quebra das ondas. O “run up de ondas” corresponde ao nível máximo que uma onda individual alcança enquanto corre praia acima após a quebra. As variações do nível das águas induzidas por ondas são bem conhecidas e várias expressões podem ser encontradas na literatura. Na atual análise as definições apresentadas nos critérios da Instituição FEMA Americana (American FEMA, 2004) foram aplicadas. Esses critérios são utilizados para avaliar o risco de erosão costeira ao longo da costa da Califórnia e são amplamente aceitos.

O modelo calcula o set up e o run up de ondas, e os dados derivados de ondas costeiras foram utilizados para calcular as estatísticas para as variações do nível d'água induzidas por ondas. Infelizmente, não existem dados disponíveis sobre variações no nível das águas no

local. Usualmente essas variações no nível das águas são pequenas quando comparadas com os níveis de água gerados por ondas, e foram desprezados nesta análise. As variações do nível das águas devido aos efeitos das marés astronômicas foram calculadas a partir de constantes harmônicas das marés.

A **FIGURA 6.1.3-1** apresenta a distribuição estatística dos níveis das águas. A curva azul indica os níveis das águas associados às marés astronômicas; a curva verde indica os níveis das águas induzidos por ondas e a curva vermelha mostra os níveis das águas associados aos efeitos combinados de marés e ondas. Os níveis mostrados aqui estão relacionados com o nível médio das águas de acordo com a estação maregráfica da FEMAR em Canavieiras.

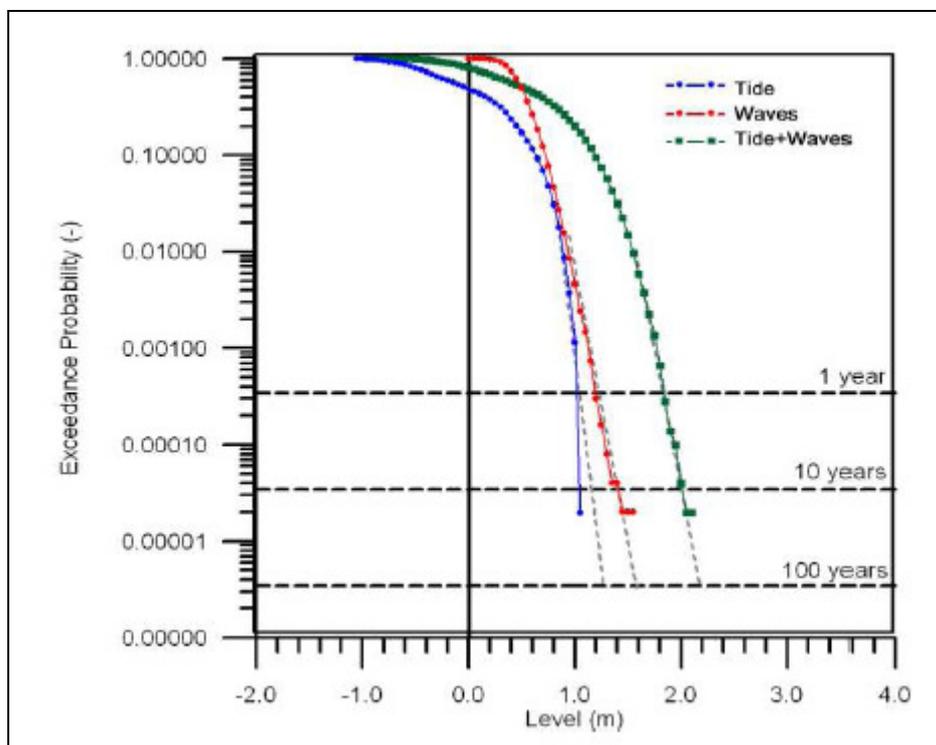


FIGURA 6.1.3- 1 – Distribuição estatística dos níveis das águas devido aos efeitos das marés astronômicas, ondas e níveis combinados de marés e ondas, associados ao nível médio da estação maregráfica da FEMAR em Canavieiras, Bahia.

A partir das análises, estatísticas para níveis de água extremos foram obtidas. Estas foram geradas a partir da extrapolação das distribuições derivadas manualmente, gerando os valores correspondentes aos períodos de retorno de 1 a 100 anos. Os níveis das águas para os diferentes períodos de retorno são apresentados no **QUADRO 6.1.3-1**.

QUADRO 6.1.3- 1 – Elevação máxima do nível da água acima do nível médio das águas.

PERÍODO DE RETORNO	MARÉS	ONDAS	COMBINADO
1 ano	1,05	1,20	1,80
5 anos	1,12	1,32	1,92
10 anos	1,15	1,40	2,00
50 anos	1,22	1,52	2,12
100 anos	1,25	1,60	2,20

6.1.3.2 Evolução dos Perfis a Médio e Longo Prazo

Ao longo dos últimos anos esforços consideráveis tem sido empenhados no desenvolvimento de modelos matemáticos que descrevem a dinâmica dos perfis de praia.

A análise atual se baseia no modelo apresentado por KRIEBEL & DEAN (1993)³. Esse modelo fornece soluções para a resposta dos perfis de praia a tempestades, dependentes do tempo, na forma de uma integral de convolução. Este modelo inclui uma função de tempo variável com forçante de erosão e uma função exponencial de resposta à erosão. A função da erosão inclui dados de ondas e níveis da água para o sítio do projeto. De modo a derivar soluções analíticas KRIEBEL e DEAN (1993) representaram uma tempestade como um hidrógrafo idealizado. No atual trabalho as equações que governam foram resolvidas numericamente, sem fazer simplificações sobre características dos níveis de ondas e da água.

A base para o método da convolução é a observação referente ao fato de que a resposta da praia às condições forçantes é aproximadamente exponencial com o tempo. Uma equação linear diferencial que governa a resposta do perfil às variações no nível das águas teria a seguinte forma:

$$\frac{dR(t)}{dt} + \alpha R(t) = \alpha R_{\infty} f(t) \quad (6.1)$$

³ KRIEBEL, D.; DEAN, R.G. 1993. Convolute Method for time-dependent Beach-Profile Response. *Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering*. Vol. 119. No. 2. ASCE.

Onde R é a posição da linha de costa e t é o tempo. R^∞ representa o máximo avanço ou recuo da linha de costa se a praia fosse deixada para alcançar um novo equilíbrio com relação ao nível das águas e condições de quebra de ondas. O fator α é o parâmetro indicador da taxa do sistema, definido como $\alpha = 1/T_s$. A expressão para a escala de tempo característica T_s foi derivada a partir de medições:

$$T_s = C_1 \frac{H_b^{3/2}}{g^{1/2} A^3} \left(1 + \frac{h_b}{B} + \frac{m x_b}{h_b} \right)^{-1} \quad (6.2)$$

Onde:

C_1 = constante, $C_1 = 320$, com base em resultados de laboratório (KRIEBEL & DEAN, 1993);

H_b = Altura de quebra da onda;

g = Aceleração da gravidade;

A = Constante do perfil;

h_b = Profundidade da zona de quebra da onda;

B = Altura da berma;

m = Declividade da praia na linha d'água;

x_b = Largura da zona de quebra.

A constante do perfil A , se baseia no pressuposto de que a forma do perfil longitudinal pode ser simplificado de acordo com a seguinte expressão:

$$h = AX^{2/3} \quad (6.3)$$

Aqui o termo h representa a profundidade da água, X é a distância longitudinal através da costa até a linha de água. DEAN (1987)⁴ desenvolveu uma expressão empírica para A , inteiramente determinada pelas propriedades dos sedimentos, com base em dados de campo:

$$A = 0,067W_s^{0,44} \quad (6.4)$$

⁴ DEAN, R.G. 1987. Coastal Sediment Processes: Towards Engineering Solutions. *Proc. Coastal Sediments, 1987*. ASCE. New York. N.Y. 1-24.

Onde W_s é a velocidade de queda dos sedimentos em centímetros por segundo. A velocidade de queda de sedimentos aumenta de acordo com o tamanho das partículas, de modo que para areia grossa um fator A mais elevado é calculado, o que resulta em um perfil mais íngreme. Para areia fina, o valor de A é pequeno, e a inclinação do perfil será menor. A **FIGURA 6.1.3-2** mostra o formato do perfil de praia para vários diâmetros de partículas de sedimentos.

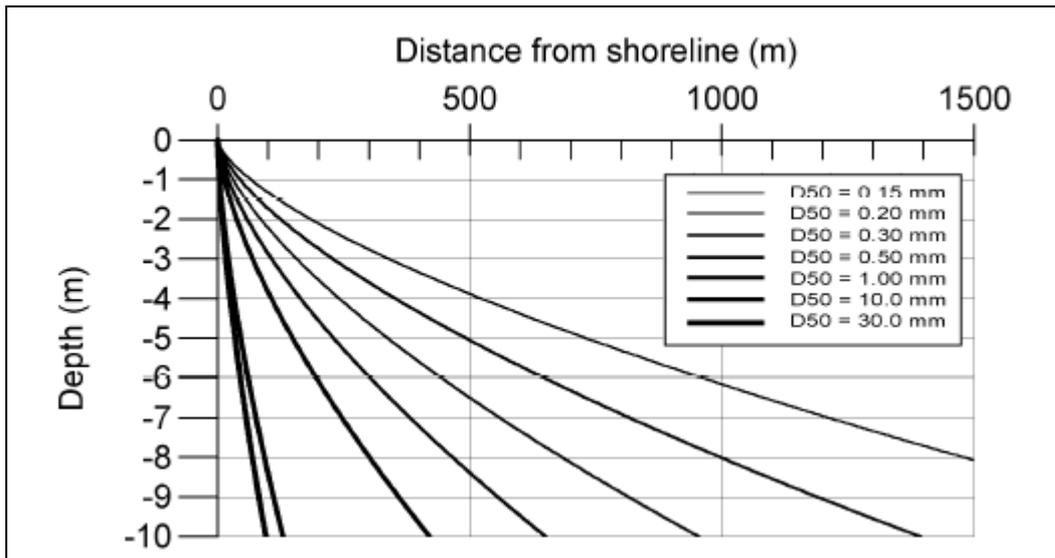


FIGURA 6.1.3- 2 – Perfis de equilíbrio para diferentes tamanhos de partículas (Fonte: MANGOR, 2004)⁵.

O parâmetro do perfil A é derivado a partir do perfil mensurado utilizando a equação 6.3 acima. A granulometria dos sedimentos não aparece explicitamente nas equações. O valor derivado para o parâmetro A corresponde a um tamanho de partícula de cerca de 0,2 mm. Este dado está de acordo com a granulometria observada na praia da área do projeto.

A altura de quebra H_b e a profundidade de quebra h_b foram calculadas no modelo usando um modelo simples de transformação de ondas que assumiu refração linear e interação das ondas com o fundo marinho. O índice de quebra foi assumido como 0,78 o que corresponde a um valor comumente utilizado. A altura da berma B e a declividade da praia foram derivadas diretamente da medição dos perfis de praia.

⁵ MANGOR, K. H. 2004. *Shoreline Management Guidelines*. DHI Water and Environment. ISBN 87991950-5-0.290pp.

A forma do perfil da praia é assumida como constante. Porém assume-se que a parte ativa do perfil se modifica em função das elevações do nível das águas. A velocidade desta mudança do perfil é determinada pelas características das ondas. Assume-se que não há perdas de sedimentos ao longo do perfil, mas que ocorre relocação destes em função das variações nas características das ondas e níveis d'água. O conceito descrito aqui é ilustrado pela **FIGURA 6.1.3-3**.

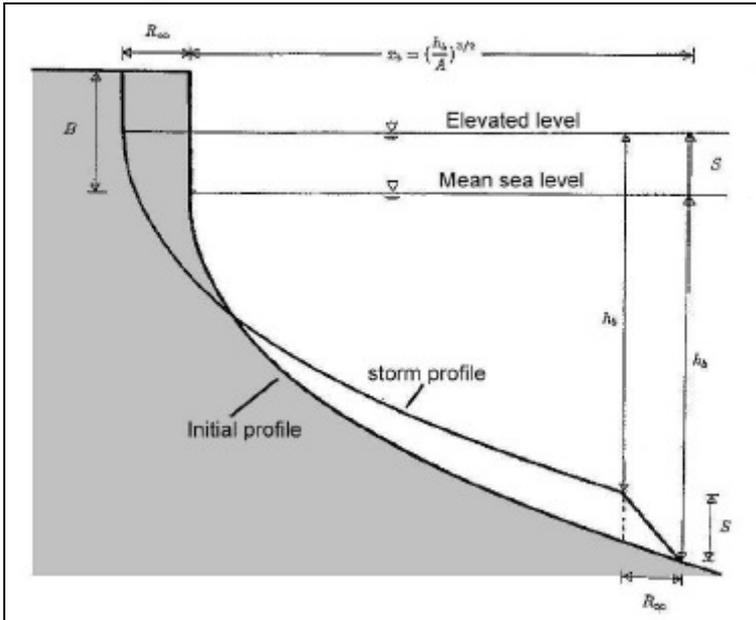


FIGURA 6.1.3- 3 – Ilustração do conceito do modelo do perfil de praia, onde “Elevated level” significa nível elevado; “Mean Sea Level” significa nível médio do mar; “Storm Profile” significa perfil de tempestade e “Initial Profile” significa perfil inicial.

Das definições acima, a posição de equilíbrio da linha de costa, que será alcançada se as condições atuais permanecessem constantes, pode ser derivada como:

$$R_{\infty} = \frac{S \left(x_b - \frac{h_b}{m} \right)}{B + h_b - S/2} \quad (6.5)$$

Onde S corresponde à elevação da água superficial (devido às marés, tempestades, set up e ran up de ondas).

Nas simulações, os parâmetros de ondas foram obtidos a partir das características das ondas costeiras, anteriormente descritas. A elevação total da água consiste em dois componentes: 1) a maré astronômica e 2) set up e run up de ondas, como apresentado na seção anterior deste texto. Os parâmetros de set up e run up de ondas foram estimados a partir de RUGGIERO *et. al.* (2001)⁶. A equação 6.1 (acima) foi resolvida numericamente para o período entre os anos de 1991 e 2007. O modelo simula o movimento contínuo da linha de costa. A **FIGURA 6.1.3-4** apresenta a dinâmica simulada da linha de costa durante todo o período coberto pelos dados. A **FIGURA 6.1.3-5** mostra os detalhes do movimento da linha de costa desde 2005 até setembro de 2008.

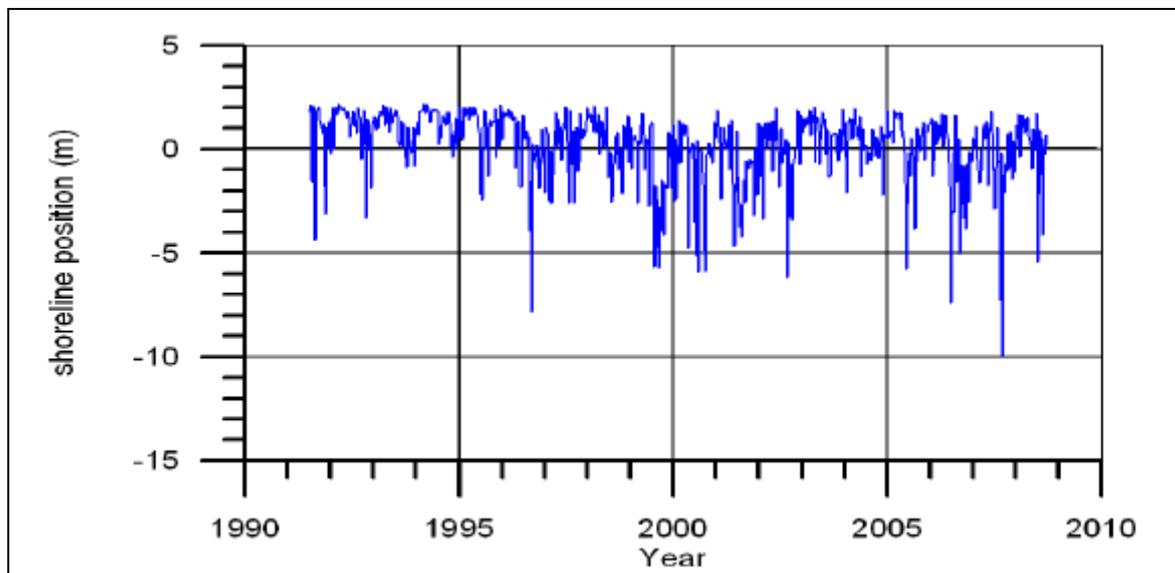


FIGURA 6.1.3- 4 – Série temporal da movimentação da linha de costa devido aos mecanismos de transporte longitudinal ao longo do perfil de praia no período de junho de 1991 a setembro de 2008, onde “shoreline position (m)” significa posição da linha de costa e “year” significa ano.

⁶ RUGGIERO, P.; KOMAR, P.D.; McDOUGAL, W. G.; MARRA, J. J.; BEACH, R. A. 2001. Wave run up, extreme water levels and the erosion of properties backing beaches. *Journal of Coastal Research*. Vol. 17. No. 2. pp. 407-419.

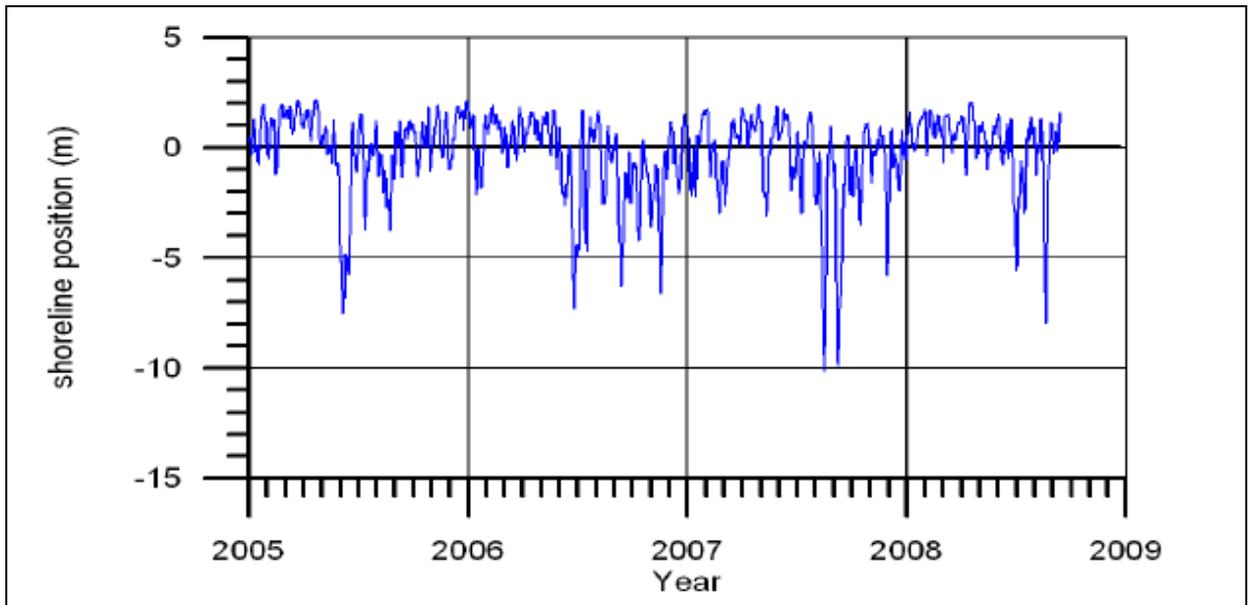


FIGURA 6.1.3- 5 – História temporal da movimentação da linha de costa devido aos mecanismos de transporte longitudinal ao longo do perfil de praia no período entre janeiro de 2005 e setembro de 2008, onde “shoreline position (m)” significa posição da linha de costa e “year” significa ano.

As simulações indicam que a amplitude dos movimentos da linha de costa é da ordem de uns poucos metros. A erosão da linha de costa raramente excede os 10 metros. Observa-se aqui que a dinâmica de linha de costa aqui apresentada representa apenas o movimento da linha d'água associado aos mecanismos de transporte de sedimentos ao através dos perfis de praia. A erosão da linha de costa também pode ocorrer associada a ocorrência de gradientes ao longo da costa no transporte litoral, tal como apresentado na próxima seção deste documento. É importante ressaltar que a maior erosão da linha de costa ocorre tipicamente entre os meses de julho e setembro. Durante o restante do ano, a praia é, em geral, mais larga.

Ressalta-se que essas simulações representam apenas o recuo da linha de costa devido aos mecanismos puros de transporte de sedimentos nos perfis de praia. Isto implica no fato de que nessas simulações, o volume total de areia é mantido constante. As simulações representam a dinâmica da linha de costa associada a relocação da areia ao longo dos perfis transversais de praia, associada à ação de ondas em conjunto com os níveis da água. As perdas de sedimentos que estão vinculadas com o transporte destes ao longo da linha de costa devem ser sobrepostas às variações simuladas da linha de costa associadas aos mecanismos de transporte ao longo de perfis de praia.

Estatísticas de excedência em relação às flutuações na linha de costa foram derivadas das simulações do modelo (**FIGURA 6.1.3-6**). Os pontos pretos representam resultados do modelo e a curva azul representa a linha de regressão destes dados (best fit). As taxas máximas de erosão costeira para vários períodos de retorno foram derivadas ao extrapolar as distribuições derivadas manualmente aos valores correspondentes aos períodos de retorno de 10 e 100 anos. Os resultados são apresentados no **QUADRO 6.1.3-2**.

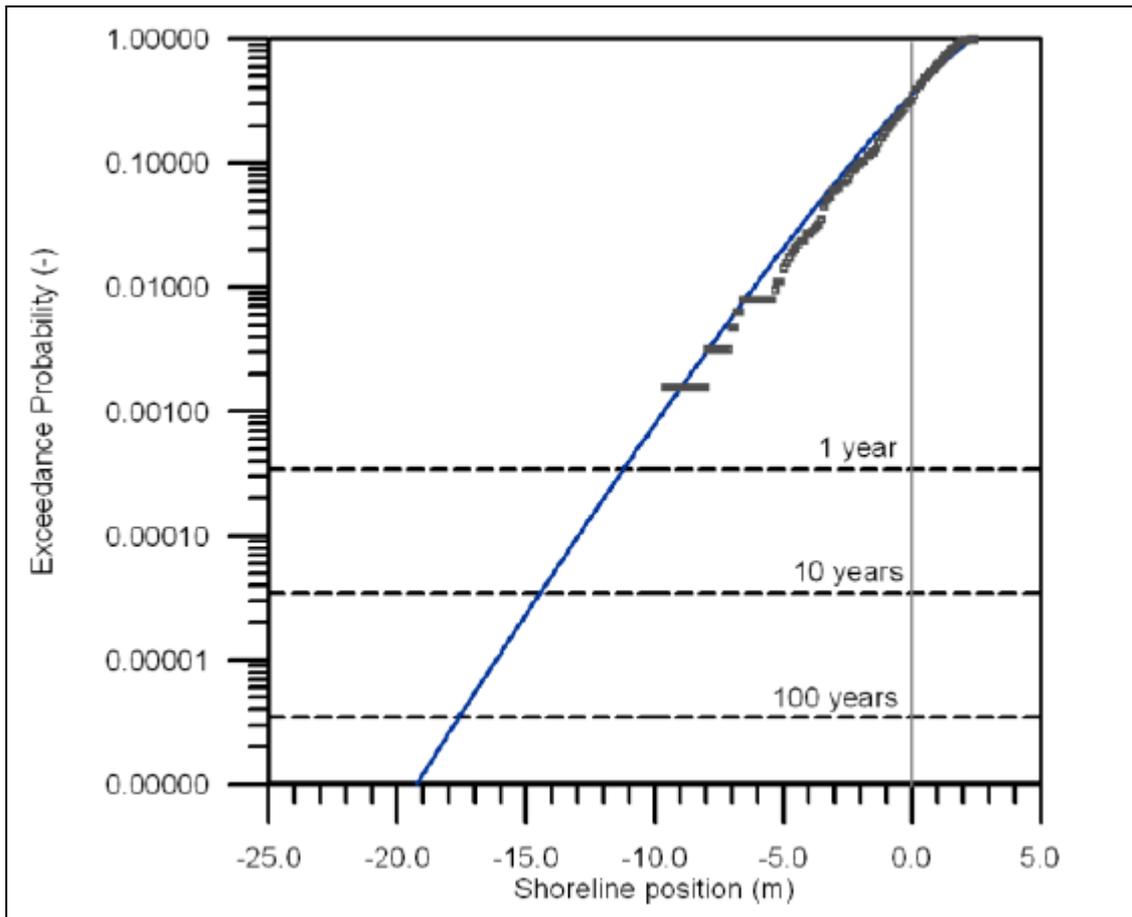


FIGURA 6.1.3- 6 – Estatísticas de excedência para a dinâmica da linha de costa associada ao desenvolvimento de perfis, onde “Exceedance Probability” significa probabilidade de excedência e “shoreline position” significa posição da linha de costa.

QUADRO 6.1.3- 2 – Máximo recuo da linha de costa estimado (metros) para vários períodos de retorno.

PERÍODO DE RETORNO	RECUO DA LINHA DE COSTA
1 ano	11,90
5 anos	14,50
10 anos	15,60
50 anos	18,20
100 anos	19,30

O máximo recuo da linha de costa para o período de retorno de 50 anos foi de aproximadamente 18 metros. Isso mostra que não se espera que a linha de costa recue mais que 18 metros durante a vida do projeto, desde que os sedimentos não sejam perdidos da praia devido ao transporte longitudinal de sedimentos, e que as condições meteoceanográficas permaneçam as mesmas na região.

6.1.4. Transporte de Sedimentos ao Longo do Litoral

As estatísticas derivadas para ondas da região costeira foram utilizadas para calcular o transporte de sedimentos anual ao longo da costa. Os cálculos do transporte de sedimentos foram realizados mediante o software LITPACK. Os perfis de praia medidos e as características dos sedimentos (granulometria) foram utilizados como dados de entrada do modelo.

A **FIGURA 6.1.4-1** mostra a variação dos perfis de praia em função do transporte de sedimentos ao longo do litoral, na região em frente ao Hotel Transamérica. A figura mostra que o grosso do transporte de sedimentos ocorre dentro de uma faixa de 200 metros medida a partir da linha de costa. O transporte é praticamente nulo para profundidades da água maiores que 4,5 metros mais o nível médio da água. O transporte líquido foi calculado em cerca de $1 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{ano}$ para o norte.

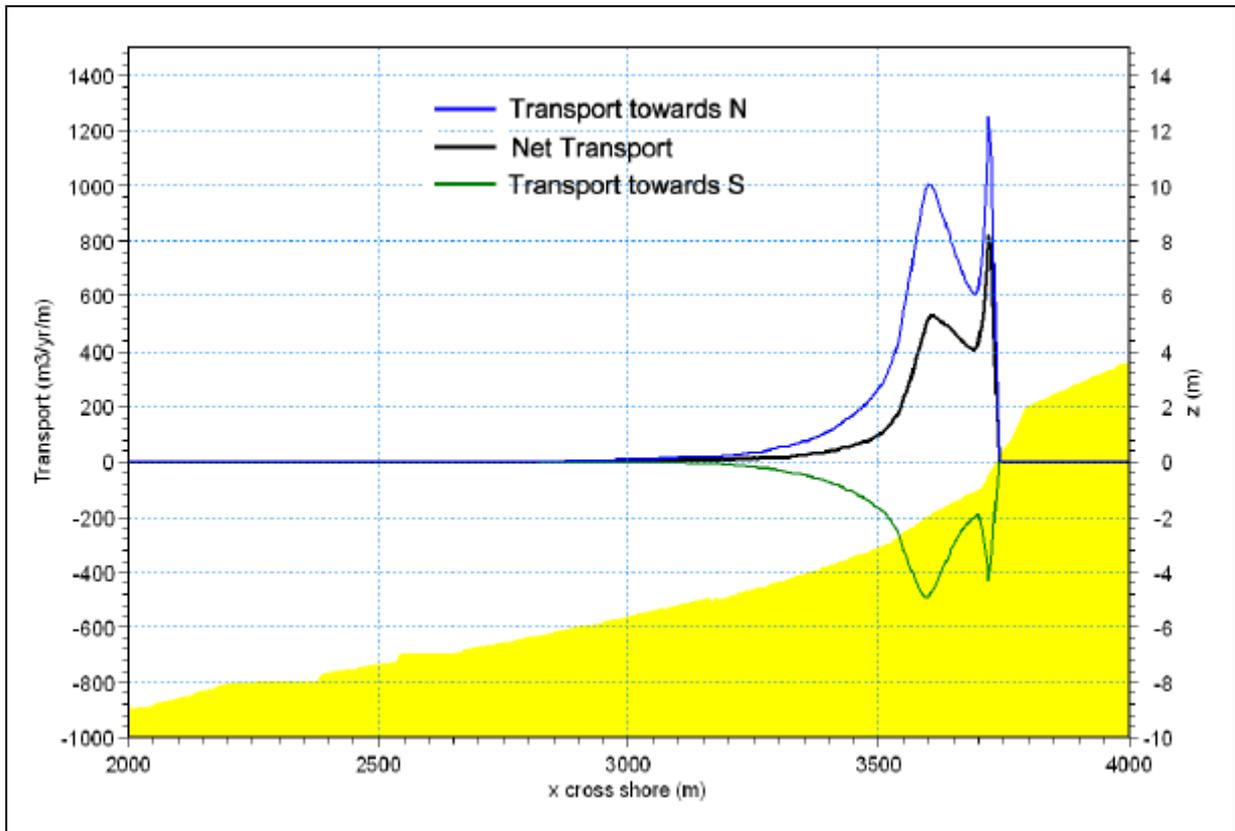


FIGURA 6.1.4- 1 – Distribuição dos perfis da deriva anual de sedimentos na zona litoral, onde “Transport ($m^3/yr/m$)” é o transporte em metros cúbicos por ano por metro; “x cross shore (m)” é a distância ao longo dos perfis e “z (m)” é a profundidade.

Um aspecto importante do transporte de sedimentos no litoral é a orientação da linha de costa quando comparada com aquela que é chamada de “orientação de equilíbrio”. Esta é definida como a orientação da linha de costa onde o volume de sedimentos transportados na direção sul iguala o volume de sedimentos transportados na direção norte. A orientação da linha de costa é definida como o ângulo formado entre uma linha perpendicular à linha de costa e o norte. A **FIGURA 6.1.4-2** apresenta a relação calculada entre o transporte litoral e a orientação da linha de costa. As simulações do modelo mostram uma orientação de equilíbrio para a linha de costa de cerca de 88° N. Contudo, a orientação da linha de costa em frente ao hotel é de cerca de 78° N, indicando assim uma diferença de 10° em relação à orientação de equilíbrio. Esta diferença tem grande importância para a resposta da linha de costa em relação à estruturas intrusivas como espigões, cais ou quebra-mares, como será demonstrado nas próximas seções deste documento.

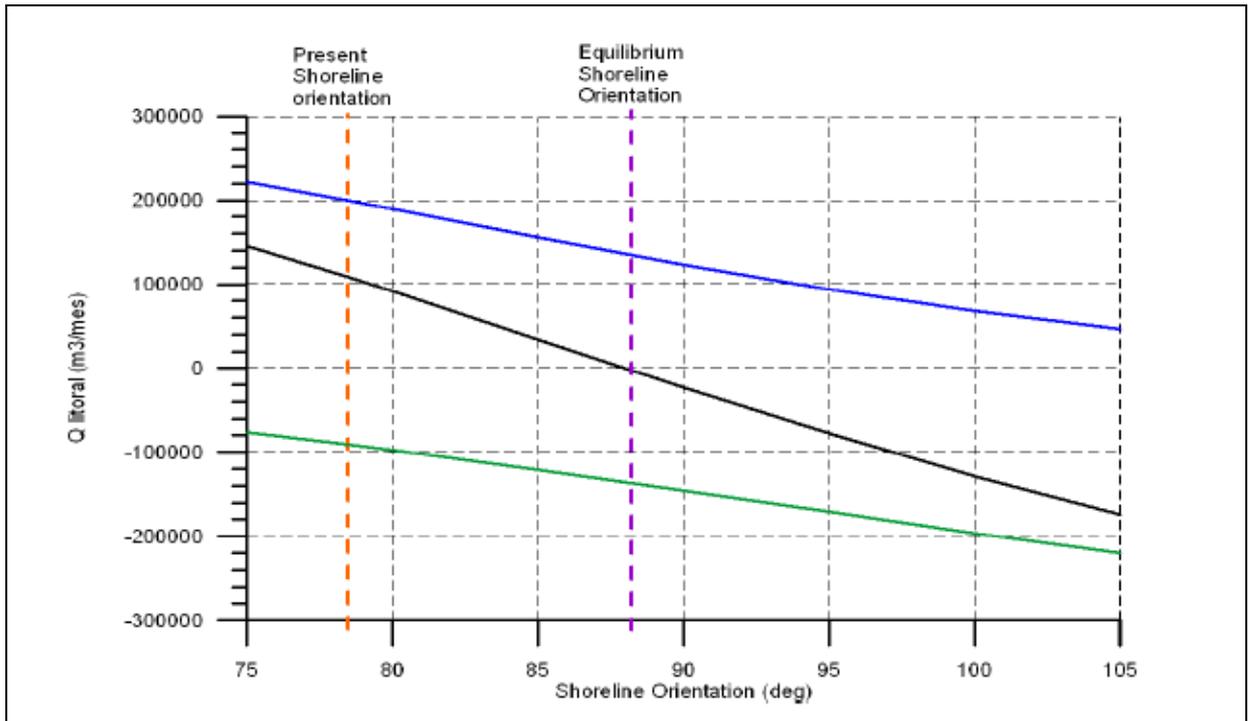


FIGURA 6.1.4- 2 – Variação da deriva anual litoral em relação à orientação da linha de costa, onde “Q litoral (m³/mês)” é o volume de sedimentos transportado; “Shoreline orientation (deg)” é a orientação da linha de costa em graus; “Present shoreline orientation” é a orientação atual da linha de costa e “equilibrium shoreline orientation” é a linha de costa na orientação de equilíbrio.

Visando analisar as possíveis variações temporais nops padrões de transporte de sedimentos, uma avaliação do transporte litoral foi feita para cada ano coberto pelos dados. Os resultados são apresentados na **FIGURA 6.1.4-3**. Os dados mostram que flutuações significativas ocorreram no transporte anual de sedimentos nas últimas décadas. No início da década de 90, o transporte líquido era praticamente nulo com componentes para norte e para sul da ordem de 100.000 m³/ano. Durante o período seguinte as magnitudes do transporte para o norte aumentaram significativamente. Também, uma mudança de sul para norte na direção do transporte líquido foi observada. As simulações do modelo indicam flutuações do transporte litoral em uma escala temporal de 5 a 10 anos.

O transporte litoral varia com a orientação da linha de costa e é uma função das características das ondas. Ao longo do trecho costeiro situado em frente ao hotel, a linha de costa é praticamente reta, apresentando isóbatas paralelas até a profundidade de fechamento. As características das ondas não variaram significativamente ao longo da praia. Tanto a erosão como a acreção da linha de costa relacionadas com o transporte de sedimentos pode ocorrer apenas devido aos gradientes longitudinais no transporte de

BIOMONITORAMENTO E MEIO AMBIENTE



sedimentos. As observações acima não indicam nenhuma razão clara e direta para a erosão costeira devido aos gradientes longitudinais no transporte de sedimentos. Gradientes no transporte litoral podem ocorrer localmente nas vizinhanças das duas desembocaduras nas bordas da Ilha de Comandatuba. Mudanças morfodinâmicas no delta de maré situados em frente à desembocadura do rio ocasionarão algumas modificações no transporte de sedimentos ao longo do delta. É possível que essas variações possam causar alterações na linha de costa ao longo do trecho de praia situado à montante do delta, considerando a direção de transporte de sedimentos, as quais poderiam trazer efeitos na dinâmica da linha de costa em frente ao hotel.

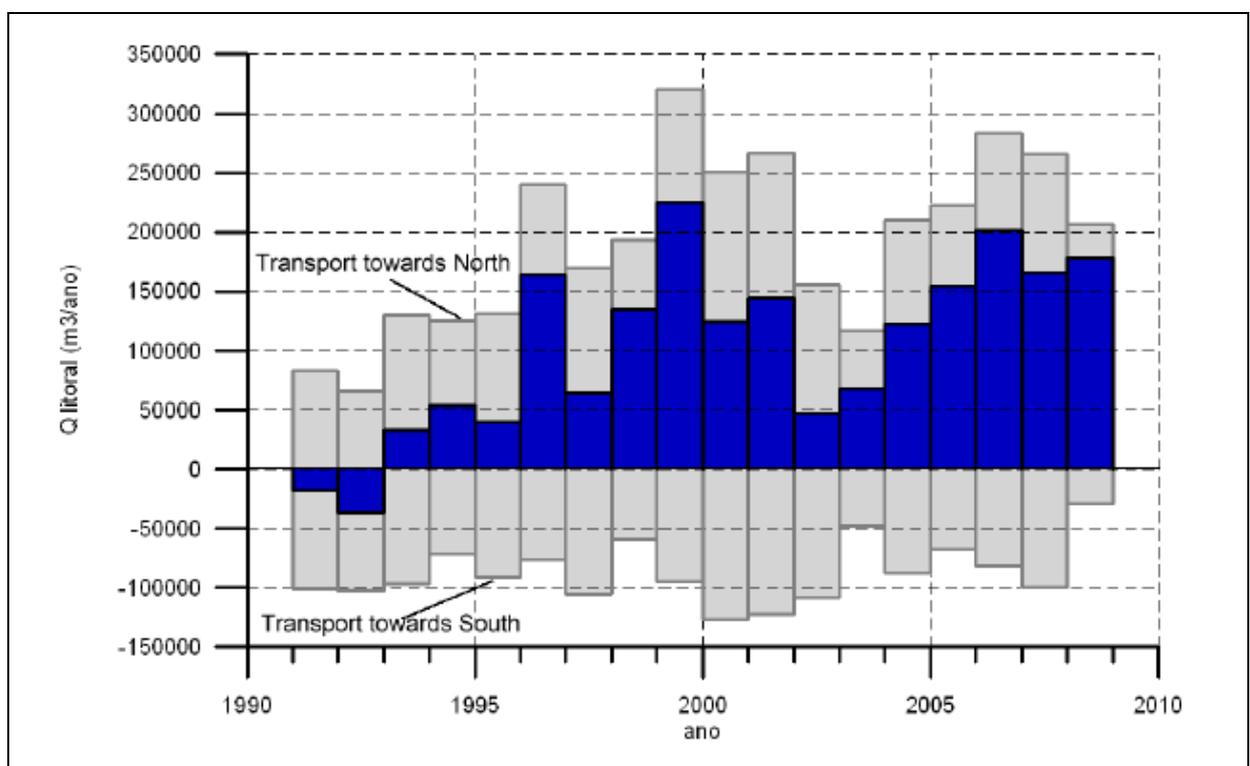


FIGURA 6.1.4- 3 – Histórico da deriva anual (1991 - 2008), onde "Q litoral (m³/ano)" é o volume de sedimentos transportados; "transport towards north" significa transporte para o norte e "transport towards south" significa transporte para o sul.

Com base nas observações no campo e nos resultados do modelo, espera-se que a erosão da praia observada está principalmente associada com a dinâmica de curto prazo nos perfis da praia, as quais atuam em escalas temporais que variam desde um simples evento de tempestade até uma estação.

A variação do transporte litoral ao longo do ano é apresentada na **FIGURA 6.1.4-4**. Valores positivos indicam transporte para o norte, e valores negativos indicam o transporte para o sul. As áreas na cor cinza indicam os componentes norte e sul do transporte litoral, e as barras verdes indicam o transporte anual líquido. Observou-se uma variação sazonal clara no transporte litoral de sedimentos. Durante o período entre os meses de março e setembro o transporte litoral líquido é direcionado para o norte. Durante o resto do ano é direcionado para o sul. As maiores magnitudes do transporte litoral ocorrem nos meses de junho e julho, quando taxas médias de transporte de cerca de 30.000 m³/mês foram observadas. A menor taxa de transporte foi observada no mês de fevereiro.

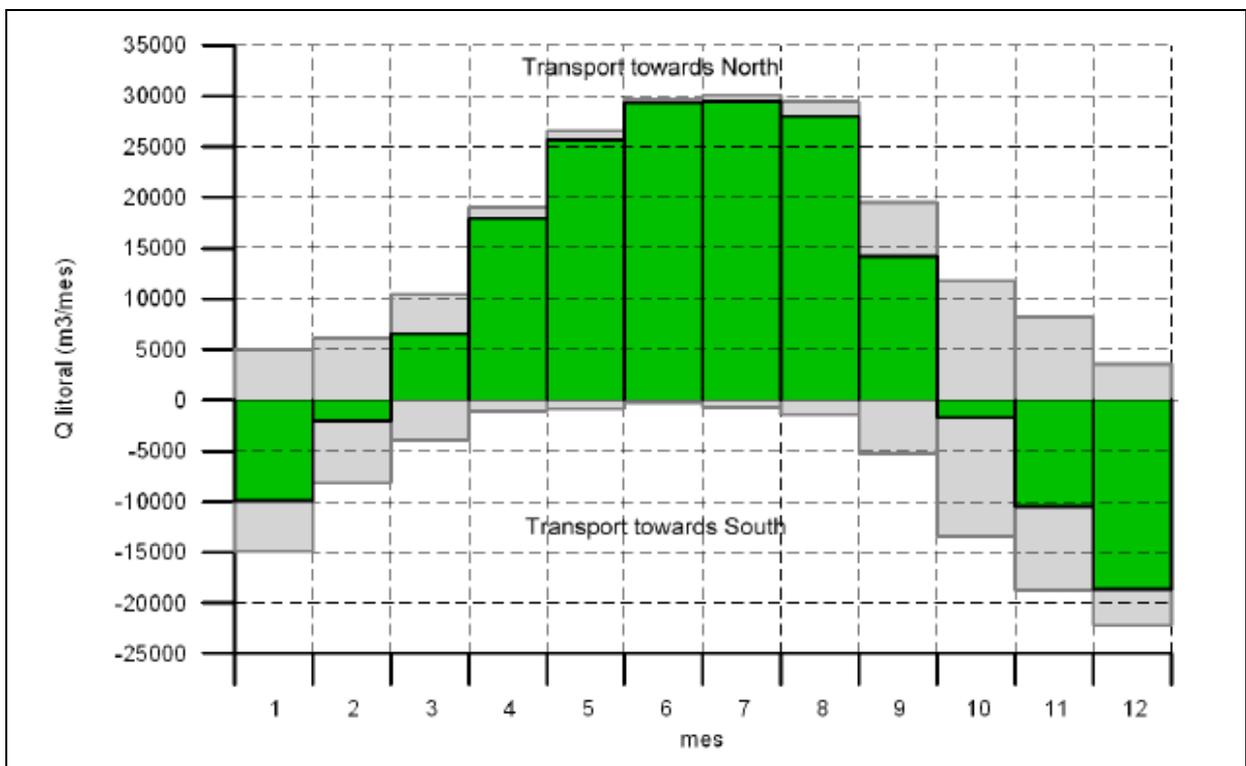


FIGURA 6.1.4- 4 – Variação mensal da deriva litoral, onde “Q litoral (m³/mês)” significa volume de sedimentos transportados por mês; “transport towards south” significa transporte para o sul e “transport towards north” significa transporte para o norte.

6.1.5. Conceitos de Intervenções Humanas

Muitos projetos de proteção costeira se baseiam na idéia de reduzir a quantidade de energia das ondas que chegam à linha de costa. Estes incluem quabramares emersos ou submersos, recifes artificiais e outros tipos de estruturas. As características das ondas na área do projeto não são extremas, sendo consideradas muito apropriadas para propósitos recreativos. De modo a assegurar uma praia de boa qualidade, a sua exposição à ação das ondas não deve ser reduzida em demasia, já que isto teria um impacto negativo para a praia (acúmulo de material fino e detritos, circulação pobre e redução na qualidade das águas). Por essa razão, não é necessário e nem desejável reduzir o nível de energia das ondas no atual projeto. Deste modo, esquemas de proteção costeira com base na redução da energia das ondas incidentes não são recomendáveis e não foram consideradas neste estudo.

De modo a estabelecer um esquema de proteção da linha de costa que preencha os requerimentos explicitados acima, alguns conceitos diferentes são possíveis. Com base na atual análise três tipos principais foram identificados:

- Estruturas intrusivas;
- Estruturas não intrusivas, e;
- Engordamento de praia.

O termo “intrusiva” indica que a estrutura costeira interfere com as correntes da zona litoral e, em algum grau, bloqueia o transporte de sedimentos. Cada tipo de intervenção é descrita nas seções seguintes deste documento.

6.1.5.1 Estruturas Costeiras Intrusivas

A idéia subjacente ao uso de estruturas costeiras intrusivas é o bloqueio (parcial) do transporte de sedimentos na zona litoral. Este bloqueio resulta no acúmulo de sedimentos no lado da estrutura situado à montante da direção preferencial de transporte de sedimentos (updrift), e também causa erosão no lado da estrutura situado à jusante da direção preferencial de transporte de sedimentos (downdrift).

É frequente que um certo número dessas estruturas seja construído na forma de uma grade regular, com espaços mais ou menos constantes entre as estruturas. A função das estruturas é a provisão de vários pontos fixos, não passíveis de erosão, ao longo da costa, o que permite que as praias situadas entre as estruturas alcancem as suas orientações de equilíbrio.

As praias entre as estruturas devem ser largas o suficiente para permitir variações sazonais na posição da linha de costa, com relação à forma plana da praia e também em relação às modificações nos perfis transversais associados aos mecanismos de transporte nos perfis.

No caso das variações sazonais nas condições das ondas, a orientação de equilíbrio da linha de costa varia ao longo do ano, levando, dessa forma, à variações correspondentes na linha de costa entre as estruturas. Quanto maiores forem as mudanças na orientação de equilíbrio da linha de costa, maiores serão as amplitudes de flutuação da linha de costa entre duas estruturas. Essa amplitude pode ser diminuída de modo eficiente ao reduzir o espaçamento entre as duas estruturas. Todavia, isso aumentará o custo do projeto consideravelmente, não é atraente do ponto de vista estético e pode comprometer a segurança de nadadores, devido à possibilidade de surgimento de correntes perigosas no entorno dessas estruturas.

Tradicionalmente, as estruturas de suporte em projetos de restauração costeira tem sido espigões e quebra-mares. Todavia, vários efeitos indesejados associados com essas estruturas ocorrem, como demonstrando na **FIGURA 6.1.5-1**. Recentemente, possíveis modificações no formato das estruturas tradicionais têm sido desenvolvidas para minimizar esses efeitos indesejáveis por MANGOR (1998, 2001 e 2004⁷). Uma característica básica destas melhorias é o uso de uma península artificial, de maior porte, em vez de várias estruturas costeiras menores como espigões e quebra-mares. A filosofia da península artificial se baseia nas seguintes premissas:

1. Melhorar a passagem de sedimentos (bypass), minorar as perdas para o mar profundo e reduzir a erosão no lado situado à jusante da estrutura;
2. Eliminar correntes de retorno perigosas (rip currents) além de áreas de “sombra” que possam funcionar como armadilhas de detritos, e;

⁷ MANGOR, K. H. 2004. *Shoreline Management Guidelines*. DHI Water and Environment. ISBN 87981950-5-0. 290pp.

3. Melhorar a aparência estética e ganhar terreno útil.

Uma península artificial atua mais ou menos como um quebra-mar conectado com a linha de costa. A única diferença é uma transição mais suave das correntes ao longo da costa (e do transporte litoral de sedimentos) no lado da estrutura situado à montante em relação à direção preferencial de transporte dos sedimentos. Isto é causado pela transição suave entre a linha de costa e a estrutura, no caso da península artificial. Esse é também o caso se o preenchimento com areia for incluído na simulação.

No lado da estrutura situado à jusante em relação à direção de transporte de sedimentos não são gerados redemoinhos de grande escala, o que ocorre com outros tipos de estruturas costeiras. Isto melhora a segurança para nadadores e reduz o aprisionamento de algas e detritos. Se a área aterrada for suficientemente elevada, pode ser utilizada para a implantação de estruturas recreacionais permanentes. A península também pode ter uma parte submersa, onde atuará como uma península ligada a um recife. Um projeto cuidadoso fará com que a península pareça quase como uma característica natural do terreno. As estruturas apresentam uma forma hidrodinâmica que melhora o transporte natural de sedimentos para praias adjacentes e minimiza os riscos de formação de correntes de retorno e redemoinhos perigosos no lado de sombra das estruturas. Entre as penínsulas praias encurvadas são construídas formando um ambiente seguro e atrativo para propósitos recreativos.

Algumas simulações com o modelo foram realizadas para estudar a resposta da linha de costa a uma ou mais estruturas intrusivas. Os aspectos seguintes foram alterados sistematicamente para comparar as possíveis formas de intervenção, a saber:

1. Número de estruturas;
2. Distância em relação à linha de costa (grau de bloqueio do transporte de sedimentos), e;
3. Espaçamento entre duas estruturas.

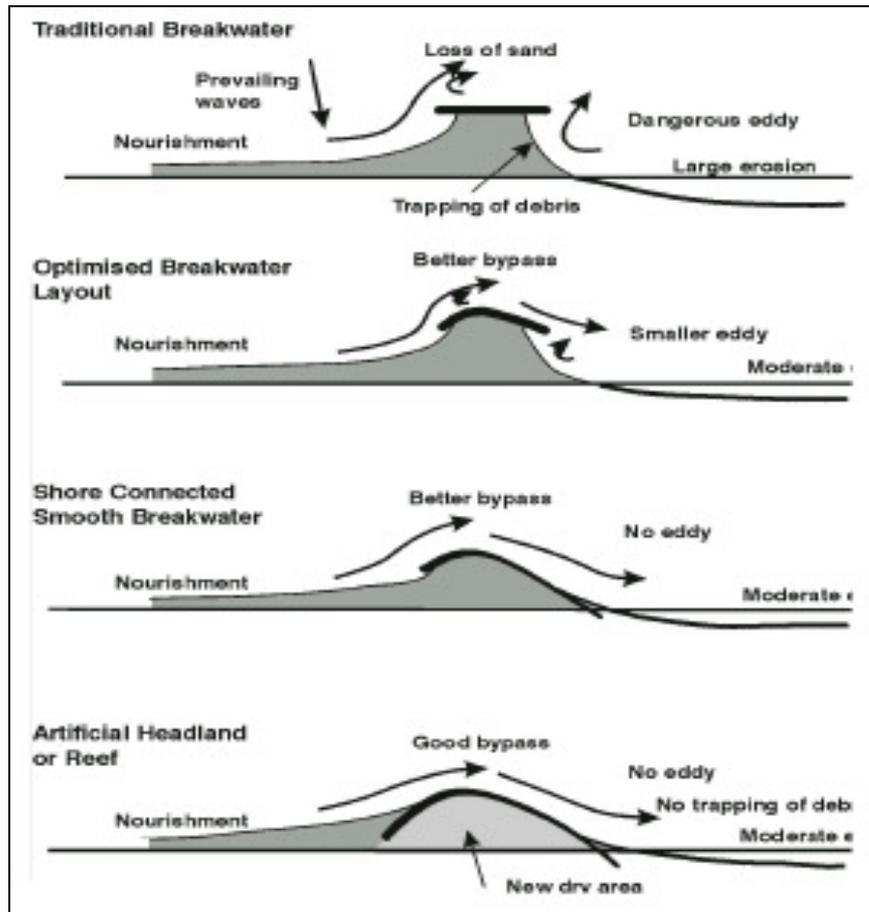


FIGURA 6.1.5- 1 – Características de diferentes estruturas para o gerenciamento costeiro, onde “Traditional breakwater” significa quebra-mar tradicional; “prevailing waves” significa ondas prevaescentes; “Nourishment” significa engordamento; “Loss od sand” significa perda de areia; “Dangerous eddy” significa redemoinho perigoso; “Trapping of debris” significa aprisionamento de detritos; “Large erosion” significa grande erosão; “Optimised Breakwater Layout” significa desenho otimizado do quebra-mar; “Better bypass” significa transporte melhorado de sedimentos; “Moderate” significa erosão moderada; “Smaller eddy” significa redemoinho menor; “Shore Connected Smooth Breakwater” significa quebra-mar suave conectado com a costa; “No eddy” significa sem redemoinho; “Artificial Headland or Reef” significa península ou recife artificial; “Good bypass” significa boa passagem de sedimentos; “No trapping of debris” significa sem aprisionamento de detritos; “New dry area” significa nova área seca. Fonte: Mangor (2001, 2004).

A **FIGURA 6.1.5-2** mostra o resultado da simulação com uma estrutura que se estende por 80 metros no mar, medidos da linha d'água parada no nível médio da água (MWL). A simulação da evolução da linha de costa foi realizada para o período completo coberto pelos dados (1991 – 2008). As características instantâneas das ondas costeiras transformadas foram usadas como dados de entrada do modelo. A figura mostra as posições mínima, máxima e média da linha de costa observadas para o período coberto pelas simulações. A posição inicial da linha de costa é apresentada como referência. A simulação mostrou que a praia sofreu acreção ao sul da estrutura com uma largura aproximada de cerca de 15 metros. Ao norte da estrutura, a praia teve uma largura média de 10 metros erodida.

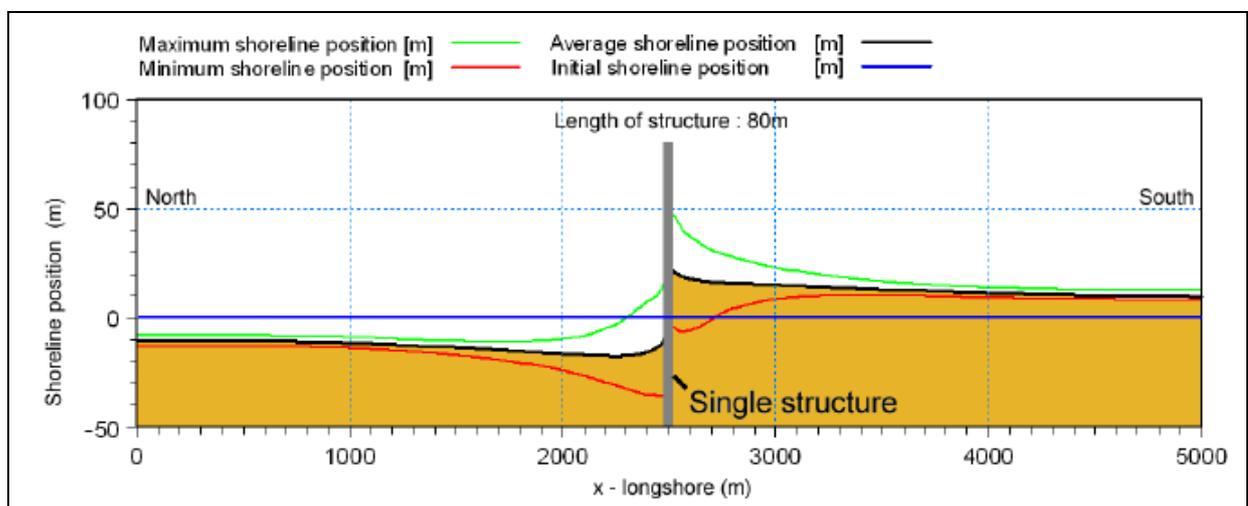


FIGURA 6.1.5- 2 – Evolução simulada da linha de costa (1991-2008) para o esquema com uma estrutura intrusiva (Obs: O eixo X foi distorcido), onde “Maximum shoreline position” significa posição máxima da linha de costa; “Minimum shoreline position” significa posição mínima da linha de costa. “Average shoreline position” significa posição média da linha de costa; “Initial shoreline position” significa posição inicial da linha de costa; “Shoreline position” significa posição da linha de costa; “x-longshore” significa distância em metros; “Length of structure” significa comprimento da estrutura; “North” significa norte; “South” significa sul; “Single structure” significa estrutura única.

Ao longo do ano, a linha de costa está oscilando entre suas posições máximas e mínimas em função das variações sazonais nas características das ondas. As amplitudes máximas dessas variações sazonais na linha de costa ocorrem ao longo dos dois lados da estrutura. Ao longo do lado sul da estrutura os resultados das simulações indicaram recuos de até 10 metros durante eventos com transporte para o sul e aproximadamente crescimento de 50 metros durante os períodos de transporte para o norte. As posições extremas da linha de costa ao

longo do lado norte da estrutura foram o recuo de 35 metros e crescimento de 20 metros, correspondendo a eventos com transporte para o norte e sul, respectivamente.

Um aspecto importante deste esquema é que a acreção máxima da praia ocorre durante o período entre os meses de julho e setembro. Este corresponde ao período onde a maior erosão ocorre devido aos mecanismos de transporte de sedimentos ao longo dos perfis de praia. Deste modo, o risco mais alto de recuo da linha de costa devido à dinâmica de transporte de sedimentos ao longo dos perfis de praia ocorreria quando a praia encontra-se mais larga devido à acumulação de sedimentos causada pelo transporte litoral de sedimentos. Do mesmo modo, o recuo mais pronunciado da linha de costa ocorre em fevereiro, momento em que o risco de erosão associada ao transporte de sedimentos ao longo dos perfis de praia é mínimo. Isto indica que o esquema auxilia a reduzir o risco de danos devidos à erosão da linha de costa.

Ao aumentar o comprimento transversal da estrutura a acumulação ao sul desta aumentará, assim como a erosão no seu lado norte. Os **QUADROS 6.1.5-1 a 6.1.5-4** apresentam as posições máximas, mínimas e médias da linha de costa ao longo dos dois lados da estrutura. Uma distinção foi feita entre a linha de costa nas vizinhanças da estrutura (0 – 100 metros) e a linha de costa situada a maiores distâncias da estrutura (a 1 e 2 quilômetros).

QUADRO 6.1.5- 1 – Avaliação de posições extremas e média da linha de costa (em metros) para uma estrutura única de 40 metros.

ESTRUTURA = 40 m DISTÂNCIA	NORTE DA ESTRUTURA			SUL DA ESTRUTURA		
	-2Km	-1Km	0-100m	0-100m	1Km	2Km
Linha de costa máxima	-2	-1	+10	+18	+2	+2
Linha de costa mínima	-3	-2	-13	-7	+1	+1
Linha de costa média	-2	-2	-1	+3	+2	+2

QUADRO 6.1.5- 2 – Avaliação de posições extremas e média da linha de costa (em metros) para uma estrutura única de 60 metros.

ESTRUTURA = 60 m DISTÂNCIA	NORTE DA ESTRUTURA			SUL DA ESTRUTURA		
	-2Km	-1Km	0-100m	0-100m	1Km	2Km
Linha de costa máxima	-3	-4	+17	+32	+8	+6
Linha de costa mínima	-5	-9	-26	-11	+4	+4
Linha de costa média	-4	-6	-6	+9	+6	+5

QUADRO 6.1.5- 3 - Avaliação de posições extremas e média da linha de costa (em metros) para uma estrutura única de 80 metros.

ESTRUTURA = 80 m DISTÂNCIA	NORTE DA ESTRUTURA			SUL DA ESTRUTURA		
	-2Km	-1Km	0-100m	0-100m	1Km	2Km
Linha de costa máxima	-8	-11	+20	+50	+17	+13
Linha de costa mínima	-13	-17	-36	-6	+10	+9
Linha de costa média	-10	-14	-10	+20	+13	+10

QUADRO 6.1.5- 4 - Avaliação de posições extremas e média da linha de costa (em metros) para uma estrutura única de 100 metros.

ESTRUTURA = 100 m DISTÂNCIA	NORTE DA ESTRUTURA			SUL DA ESTRUTURA		
	-2Km	-1Km	0-100m	0-100m	1Km	2Km
Linha de costa máxima	-15	-19	+18	+66	+28	+22
Linha de costa mínima	-23	-29	-48	+1	+18	+14
Linha de costa média	-18	-23	-16	+34	+23	+17

Esquemas com Estruturas Intrusivas Múltiplas

Algumas simulações do modelo foram realizadas para analisar a evolução da linha de costa no evento da utilização de duas ou mais estruturas intrusivas. A **FIGURA 6.1.5-3** mostra as posições máximas e mínimas da linha de costa para um esquema com estruturas duplas situadas a cerca de 450 metros uma da outra. Ambas as estruturas tem um comprimento de 80 metros, medidas a partir da linha da água no nível médio da água.

Os resultados do modelo mostram que a evolução da linha de costa ao longo do trecho à montante (ao sul) e à jusante (ao norte) das estruturas duplas é muito semelhante ao esquema com uma única estrutura. As duas estruturas parecem ter um efeito levemente aumentado em ambos os lados, ou seja, acreção levemente aumentada ao longo da praia situada ao sul das estruturas e erosão levemente aumentada ao longo da praia situada ao norte das estruturas.

Entre as duas estruturas as posições da linha de costa não são mais favoráveis em relação ao esquema com uma única estrutura. Ao longo do lado norte da estrutura situada mais ao sul (no esquema com estruturas duplas) a acreção máxima da praia é maior que em relação ao esquema com uma única estrutura. Todavia, esta praia mais larga ocorre em períodos com transporte de sedimentos para o sul, e por outro lado o maior risco de tempestades ocorre durante períodos com transporte de sedimentos na direção norte. Na mesma localidade, a máxima erosão da praia é maior em comparação com o esquema que contém uma única estrutura. Essa erosão da praia ocorre em períodos com transporte para o norte (ou seja, abril

a setembro). Nesse período, o risco de erosão da praia durante tempestades é o mais alto. Por essa razão, a praia tem que estar tão larga quanto possível nesse período visando reduzir os riscos de danos à infra-estrutura situada próxima a linha de costa.

Com base nos resultados das simulações do modelo concluiu-se que esquemas com estruturas múltiplas não melhorarão o grau de proteção da linha de costa fornecido por uma única estrutura e por essa razão não se recomenda a sua implantação.

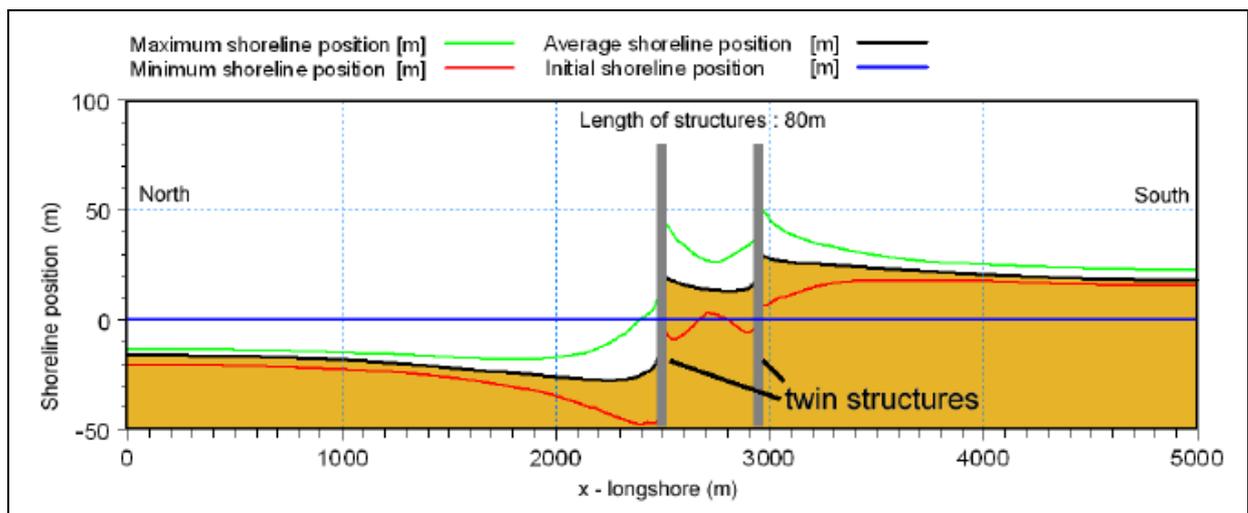


FIGURA 6.1.5- 3 – Evolução simulada da linha de costa (1991 – 2008) para um esquema com duas estruturas (Obs: o eixo X está distorcido) onde “Maximum shoreline position” significa posição máxima da linha de costa; “Minimum shoreline position” significa posição mínima da linha de costa. “Average shoreline position” significa posição média da linha de costa; “Initial shoreline position” significa posição inicial da linha de costa; “Shoreline position” significa posição da linha de costa; “x-longshore” significa distância em metros; “Length of structures” significa comprimento das estruturas; “North” significa norte; “South” significa sul; “Twin structures” significa estrutura dupla.

Evolução da Linha de Costa durante diferentes Condições Meteoceanográficas

Uma das questões importantes que deve ser considerada no caso de estruturas intrusivas é a sua resposta a mudanças nas características das ondas. Se as direções das ondas sofrerem desvios para o norte, então o transporte litoral de sedimentos na direção sul aumentaria, o que poderia levar a uma inversão no padrão de transporte de sedimentos. Se isto acontecesse (ou seja, uma mudança na deriva anual líquida do norte para o sul), então haveria o risco de impacto negativo na linha de costa em frente ao hotel. Para minimizar esse risco, uma solução que funcione adequadamente, mesmo com mudanças nas condições das

ondas, deve ser buscada. Em geral isto implicaria na construção de um esquema multi-estruturas que teria um efeito positivo para quaisquer direções no transporte de sedimentos. Todavia, esquemas de estruturas múltiplas não são recomendáveis neste caso, devido às marcadas flutuações sazonais na direção das ondas.

Para verificar a sensibilidade do esquema a mudanças nas direções das ondas, várias simulações foram realizadas assumindo que as direções das ondas oceânicas mudaram 10 graus para o norte. Ressalta-se que esta é uma hipótese extrema, especialmente se for levado em conta o fato de que observações recentes indicam uma mudança na direção oposta (isto é, para o sul).

As posições simuladas da linha de costa simulada são apresentadas na **FIGURA 6.1.5-4**. Os resultados indicaram que no caso de uma mudança de 10 graus para o norte na direção das ondas oceânicas a deriva anual líquida seria praticamente nula. Isto está refletido no fato de que nenhuma erosão ou acreção líquidas ocorreriam nas praias em ambos os lados da estrutura, neste caso. Nas proximidades da estrutura, a amplitude das variações na linha de costa seria similar à amplitude observada para a situação sem mudanças na direção das ondas. Durante o período com transporte para o norte (abril - setembro) a praia seria mais larga que a média em frente ao hotel. Durante o período restante com transporte para o sul a praia seria mais estreita. Como o risco mais alto de danos ocorre durante o inverno, as simulações indicam que mesmo no caso de uma mudança drástica na direção das ondas, o esquema teria um efeito benéfico.

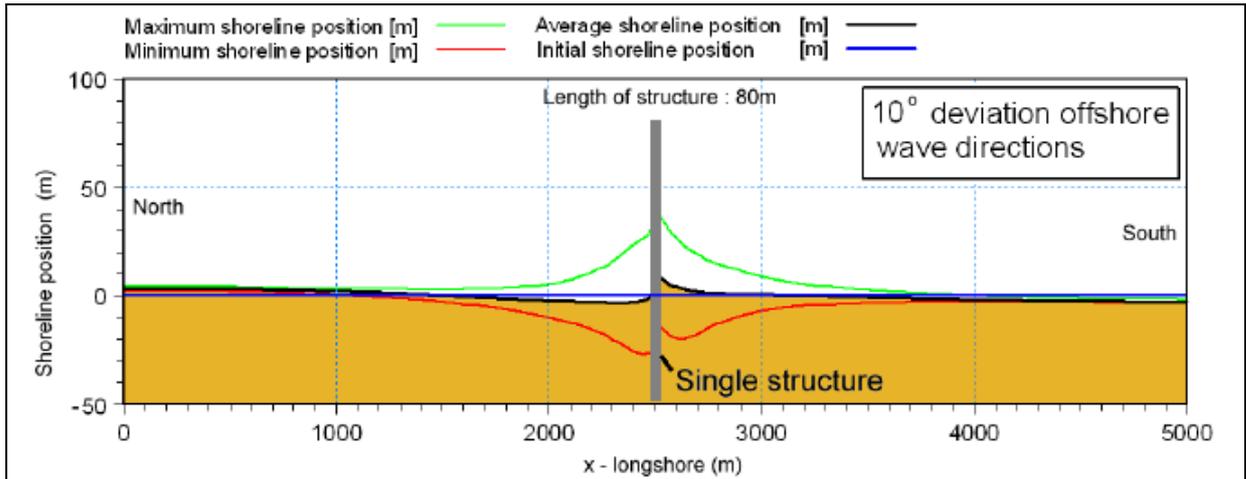


FIGURA 6.1.5- 4 – Evolução simulada da linha de costa (1991-2008) para o esquema com uma estrutura intrusiva, considerando uma rotação anti-horária na direção de ondas oceânicas de 10° (Obs: o eixo X está distorcido) onde “Maximum shoreline position” significa posição máxima da linha de costa; “Minimum shoreline position” significa posição mínima da linha de costa. “Average shoreline position” significa posição média da linha de costa; “Initial shoreline position” significa posição inicial da linha de costa; “Shoreline position” significa posição da linha de costa; “x-longshore” significa distância em metros; “Length of stuctures” significa comprimento das estruturas; “North” significa norte; “South” significa sul; “Single structure” significa estrutura única e “10° deviation offshore wave directions” significa desvio de 10 graus na direção das ondas oceânicas.

A mesma simulação foi realizada para um esquema com estruturas duplas. Os resultados são apresentados na **FIGURA 6.1.5-5**. Os resultados nas praias em ambos os lados do esquema são muito semelhantes aos encontrados para o esquema com estrutura única. Entre as duas estruturas a amplitude dos movimentos da linha de costa é levemente menor em relação ao esquema com estrutura única. Todavia, a máxima erosão ao longo do lado norte da estrutura situada mais ao sul poderia criar condições críticas, já que ocorreria durante o período de riscos mais altos de ocorrência de tempestades.

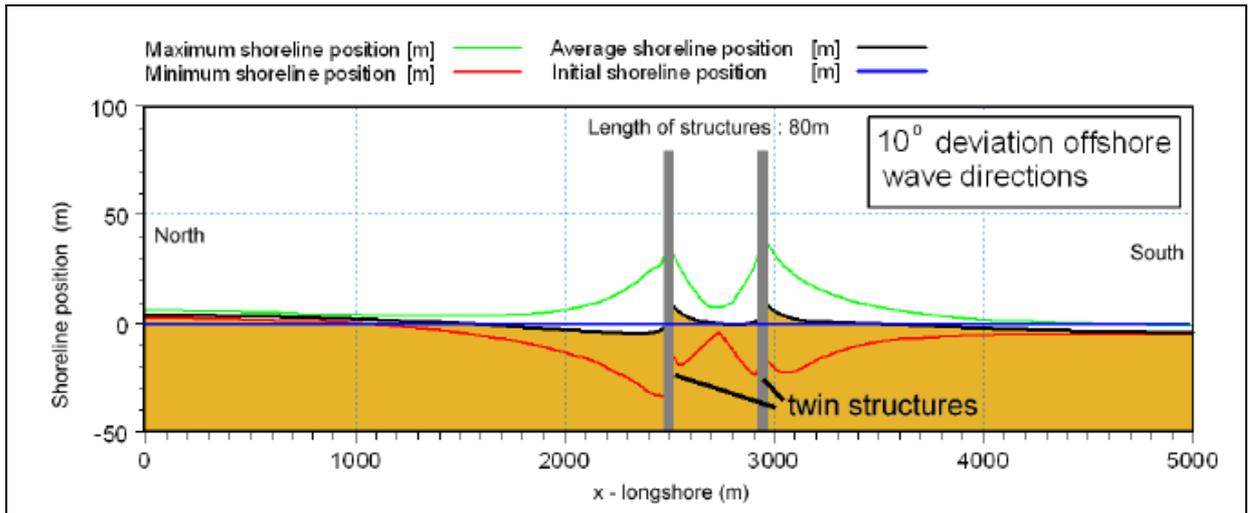


FIGURA 6.1.5- 5 - Evolução simulada da linha de costa (1991-2008) para o esquema com duas estruturas intrusivas, considerando uma rotação anti-horária na direção de ondas oceânicas de 10° (Obs: o eixo X está distorcido) onde "Maximum shoreline position" significa posição máxima da linha de costa; "Minimum shoreline position" significa posição mínima da linha de costa; "Average shoreline position" significa posição média da linha de costa; "Initial shoreline position" significa posição inicial da linha de costa; "Shoreline position" significa posição da linha de costa; "x-longshore" significa distância em metros; "Length of stuctures" significa comprimento das estruturas; "North" significa norte; "South" significa sul; "Twin structures" significa estruturas duplas e "10° deviation offshore wave directions" significa desvio de 10 graus na direção das ondas oceânicas.

Modelagem Avançada de Fluxo no Entorno das Estruturas

Várias simulações foram executadas visando estudar os detalhes do fluxo nas vizinhanças das estruturas costeiras. As simulações foram realizadas usando MIKE 21 HD FM, que é uma ferramenta de modelagem avançada estado-da-arte para águas costeiras. O modelo inclui os efeitos combinados do fluxo dirigido por marés, ventos e ondas.

As simulações foram realizadas para um espigão clássico e uma península artificial. Estas cobriram o ciclo de marés de 12 horas.

Durante as simulações foram assumidas condições constantes nas características das ondas (Altura significativa $H_s = 1,0$ metro; Período $T_z = 8$ segundos e Direção média das ondas $MWD = 120^\circ$ N). As condições de maré corresponderam à maré de sizígia. O objetivo da modelagem foi estudar os padrões de fluxo no entorno das pontas das estruturas para verificar se fluxos indesejáveis na direção de mar aberto (correntes de retorno) ocorreriam.

Estes fenômenos poderiam criar situações perigosas para nadadores. Correntes de retorno poderiam causar perdas de sedimentos já que as fortes correntes podem transportá-los e depositá-los em profundidades onde as ondas e as correntes não podem transportar os sedimentos de volta para a costa.

Os parâmetros específicos do modelo que determinam atrito com o substrato e a viscosidade dos redemoinhos foram adotados com base na experiência da DHI em outras aplicações semelhantes. Uma calibração formal do modelo não é necessária para esta análise, já que o seu objetivo é realizar uma avaliação qualitativa dos esquemas em condições hidrodinâmicas típicas.

Os campos de ondas simulados nas marés alta e baixa são apresentados na **FIGURA 6.1.5-6**. Os resultados do modelo mostram que as extremidades das estruturas estão situadas além da zona da arrebentação, definida como a área onde as ondas quebram e rapidamente perdem a sua altura e energia. Nessas circunstâncias, as estruturas irão bloquear significativamente a corrente de deriva litoral gerada pelas ondas, que tem a sua força máxima no interior da zona de arrebentação.

Na maré baixa a zona de arrebentação se estende para além das pontas das estruturas. Isto indica que nessas condições as estruturas terão um efeito limitado nas correntes litorais e no transporte de sedimentos. Nessas condições a maior parte dos sedimentos passará pelas estruturas em direção às praias situadas ao norte destas.

A **FIGURA 6.1.5-7** mostra os campos de fluxo de ambas as estruturas na maré alta. O fluxo no entorno do espigão se separa no entorno da ponta da estrutura. O fluxo no entorno da península artificial permanece ligado à linha de costa e não cria redemoinhos e nem correntes de retorno.

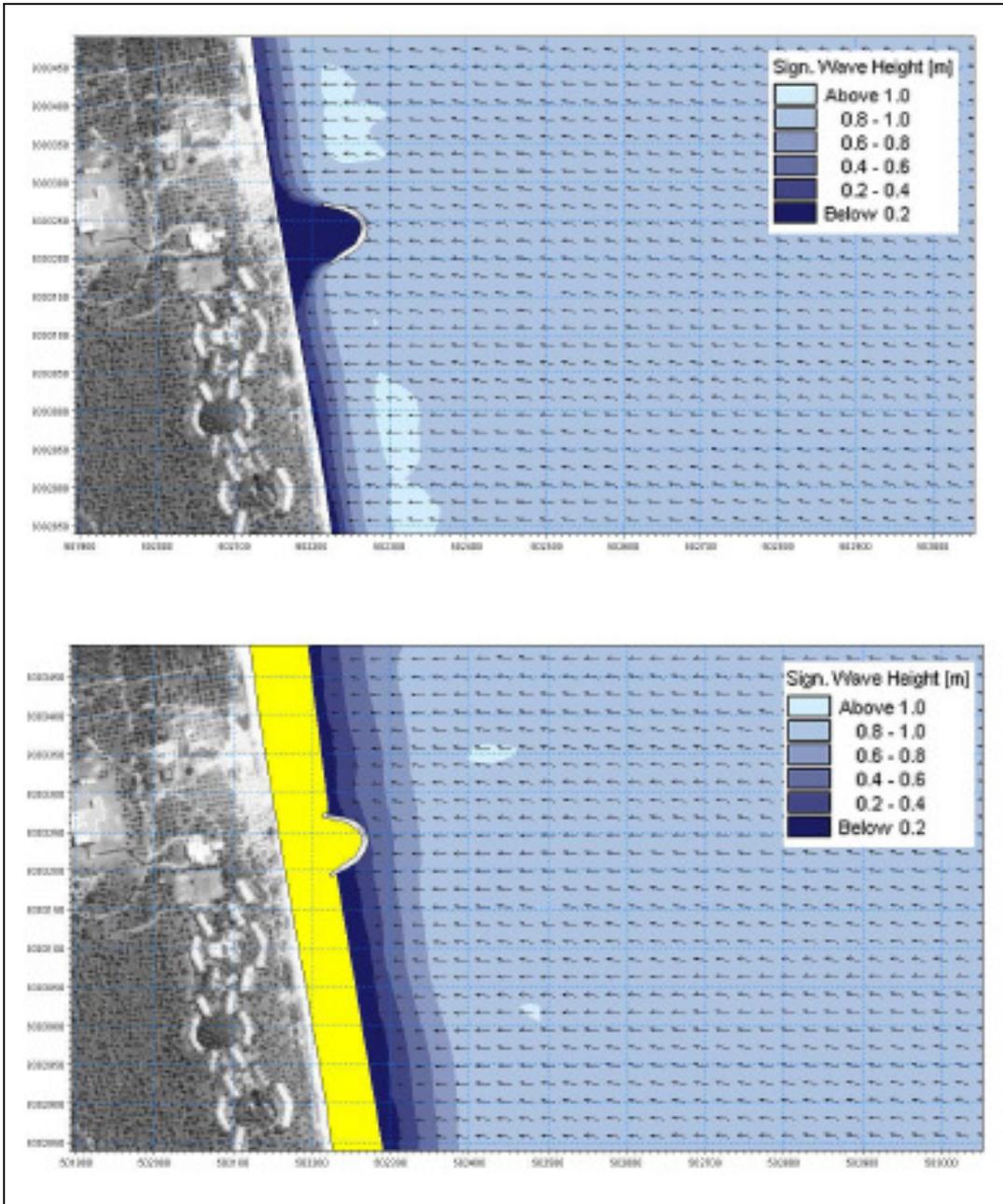


FIGURA 6.1.5 - 6 – Campos de ondas simulados no entorno de uma península artificial. Figura no topo: Maré alta média do período de sizígia. Figura abaixo: Maré baixa média do período de sizígia, onde “Sign. Wave height (m)” significa altura significativa da onda em metros e “Below 0.2” significa menor que 0,2 metros.

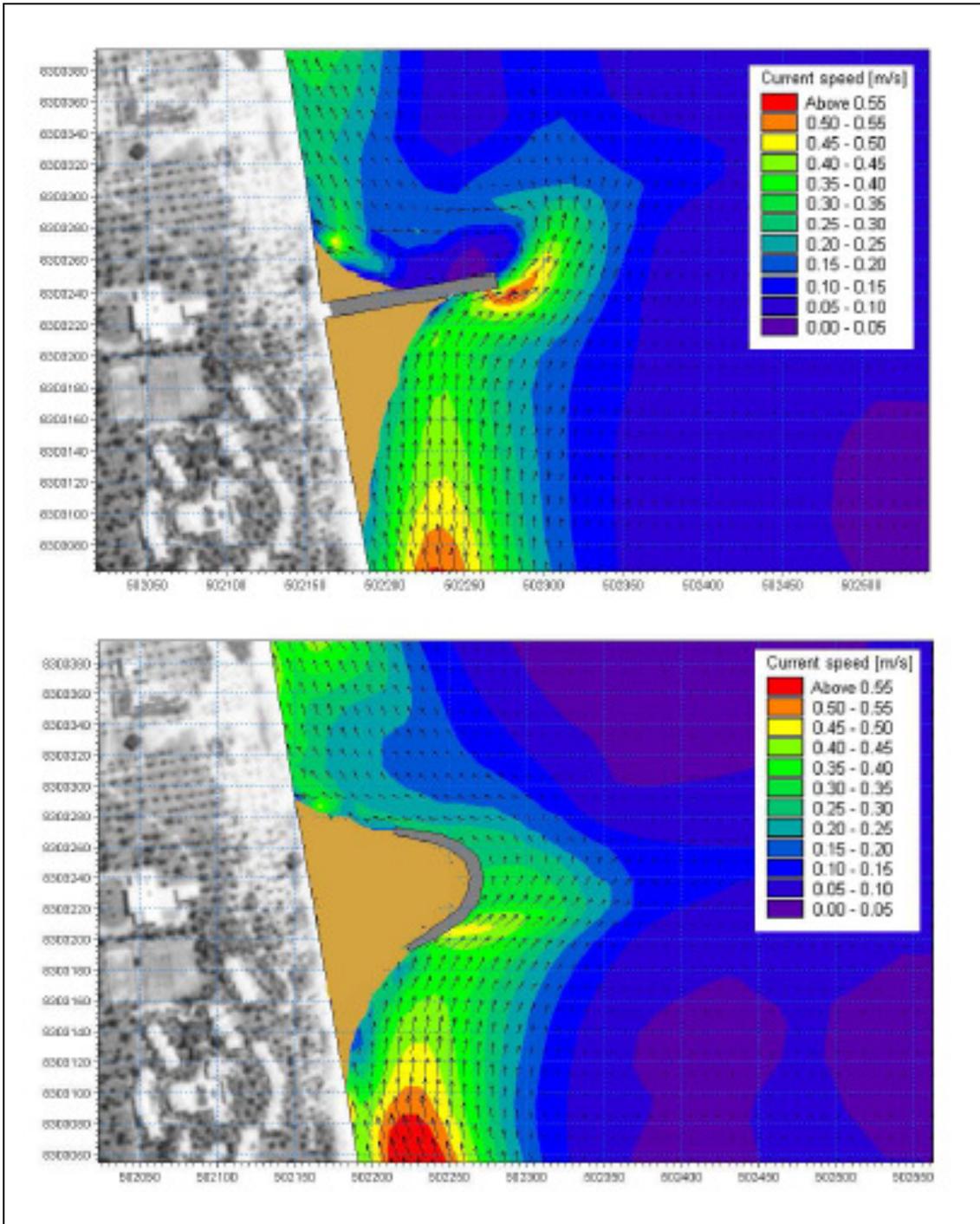


FIGURA 6.1.5- 7 – Fluxo simulado direcionado por ondas no entorno de duas estruturas costeiras na maré alta. Topo: Espigão clássico. Fundo: Península artificial, onde “Current speed (m/s)” significa velocidade das correntes em metros por segundo.

Na maré baixa as estruturas têm um efeito muito limitado no fluxo, o que indica que os sedimentos são transportados para o norte normalmente, despimpedidos pelas estruturas. Esta situação é apresentada na **FIGURA 6.1.5-8**.

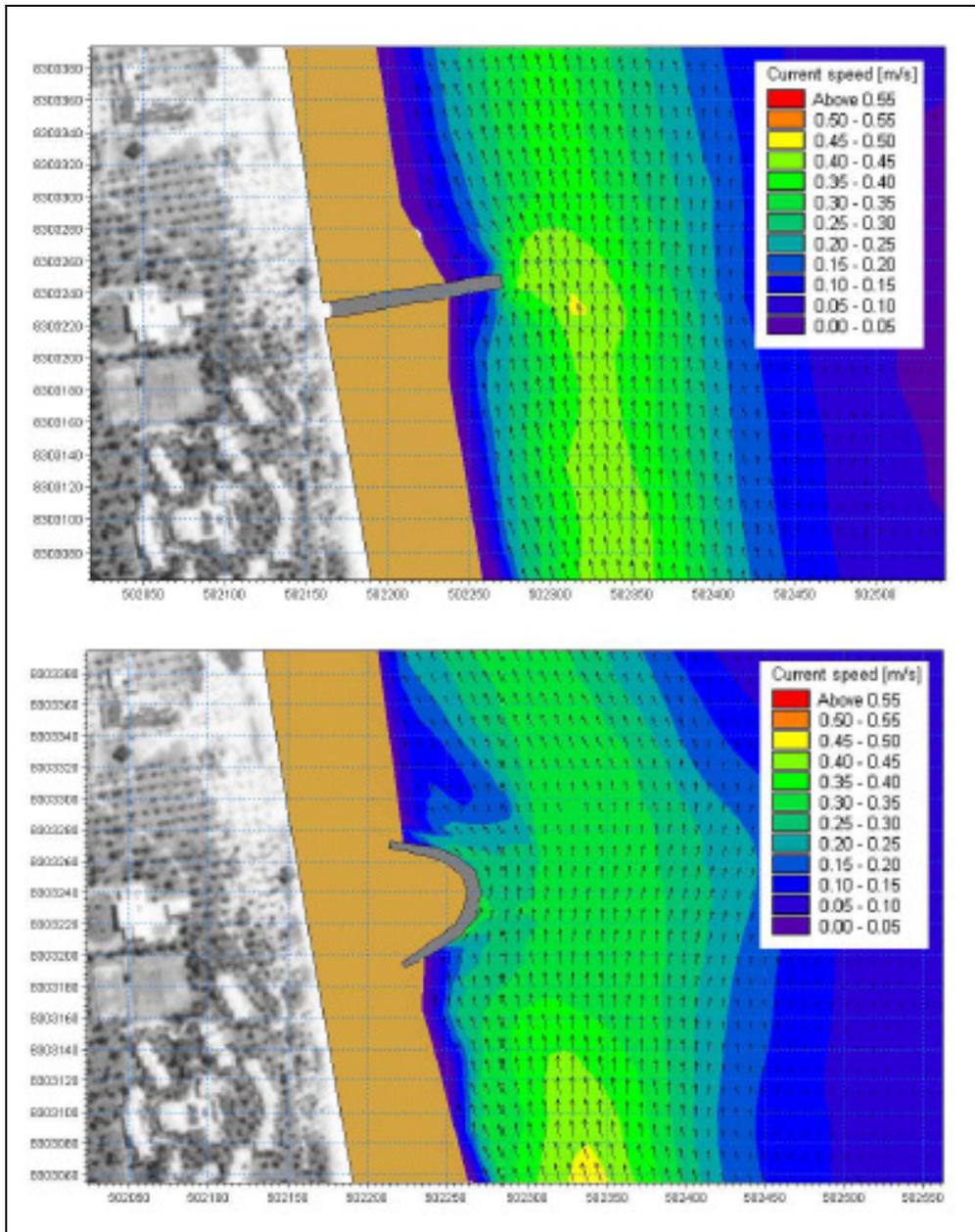


FIGURA 6.1.5- 8 – Campo de ondas simulado no entorno de duas estruturas costeiras na maré baixa. Topo: Espigão clássico. Fundo: Península artificial, onde “Current speed (m/s)” significa velocidade das correntes em metros por segundo.

As simulações mostraram que as estruturas realizam um bloqueio significativo na maré alta e são praticamente neutras para a corrente litoral na maré baixa. Isso indica que a acreção da praia ocorrerá, mas a acumulação de sedimentos estará praticamente confinada à porção mais alta dos perfis de praia. Nas partes mais baixas do perfil da praia o sedimento será transportado sem impedimentos gerados pelas estruturas. Esta passagem dos sedimentos é crucial para a estabilidade da praia no lado situado à jusante em relação à direção do transporte de sedimentos litorâneos.

As simulações também mostraram que a península artificial cria um padrão de fluxo mais suave no entorno da ponta da estrutura em comparação com o espigão. Isto pode estar associado a alguma perda de sedimentos no caso do espigão. Por outro lado, o fluxo se aproxima novamente da costa após uma distância relativamente pequena. Por essa razão, a despeito das diferenças em relação ao fluxo detalhado no entorno das extremidades, se espera que as estruturas tenham um desempenho similar.

6.1.5.2. Estruturas Costeiras Não Intrusivas

A idéia subjacente ao uso de estruturas não intrusivas é que estas normalmente não interferem com o transporte natural de sedimentos ao longo da costa, e somente são ativadas em condições extremas com forte avanço do mar. Deste modo estas atuam como sistemas de defesas dormentes, sendo ativadas apenas em situações extremas. Para a atual situação dois tipos de estruturas costeiras não intrusivas podem ser consideradas como meios efetivos de proteção em frente ao hotel: 1) enrocamento e 2) dunas artificiais.

Revestimentos

Um revestimento (enrocamento) é uma estrutura formada por pedras, unidades de concreto, etc., construído para prover proteção contra a erosão pela ação das ondas, tempestades e correntes. Um revestimento não protege contra inundações. Os revestimentos são usualmente usados em localidades levemente a moderadamente expostas, como é o caso para o hotel na ilha de Comandatuba. A estrutura deve ser construída na porção mais alta da praia e é geralmente coberta de areia.

Os revestimentos são sempre feitos como estruturas inclinadas (com declividade) e são usualmente construídos como estruturas permeáveis formadas por pedras naturais ou blocos de concreto, de forma a melhorar a absorção da energia das ondas, além de reduzir os efeitos de reflexão e corrida das ondas (run up).

Os revestimentos podem ser construídos com tipos diferentes de pranchas de concreto, algumas das quais podem ser permeáveis e se encaixar com placas vizinhas. Dessa forma a sua funcionalidade é aumentada em termos de sua capacidade de absorção e força. Colchões feitos de malha de aço com pedras, como Gabiões podem também ser usados. Todavia, este tipo de estrutura é recomendado apenas nos casos onde a localidade é protegida. Outro tipo de revestimento pode ser feito com areia no interior de sacos, tubos e colchões feitos com manta geotextil. Este tipo de estrutura deve ser protegido contra os raios ultravioleta (UV) para evitar o desgaste do tecido. O ensacamento de areia é geralmente utilizado como medida emergencial de proteção. As proteções feitas com areia ensacada em manta geotextil são frágeis e não resistem bem aos impactos mecânicos e vandalismo, e a sua aparência não é natural. A **FIGURA 6.1.5-9** apresenta alguns exemplos de revestimentos.

Revestimentos enterrados podem ser construídos como parte de proteções moles, por exemplo, como uma proteção emergencial dura construída no interior de uma duna reforçada que atua como proteção costeira ou defesa contra o mar, como apresentado na **FIGURA 6.1.5-10**.

Como o revestimento enterrado não interfere com o transporte natural de sedimentos não tem impacto na linha de costa. Este fica exposto à ação das ondas apenas em situações extremas, quando a maior parte da praia situada em frente ao revestimento for erodida. Se forem projetados com cuidado, revestimentos enterrados podem ser integrados na paisagem natural sem ocasionarem alterações notáveis no aspecto visual da praia.

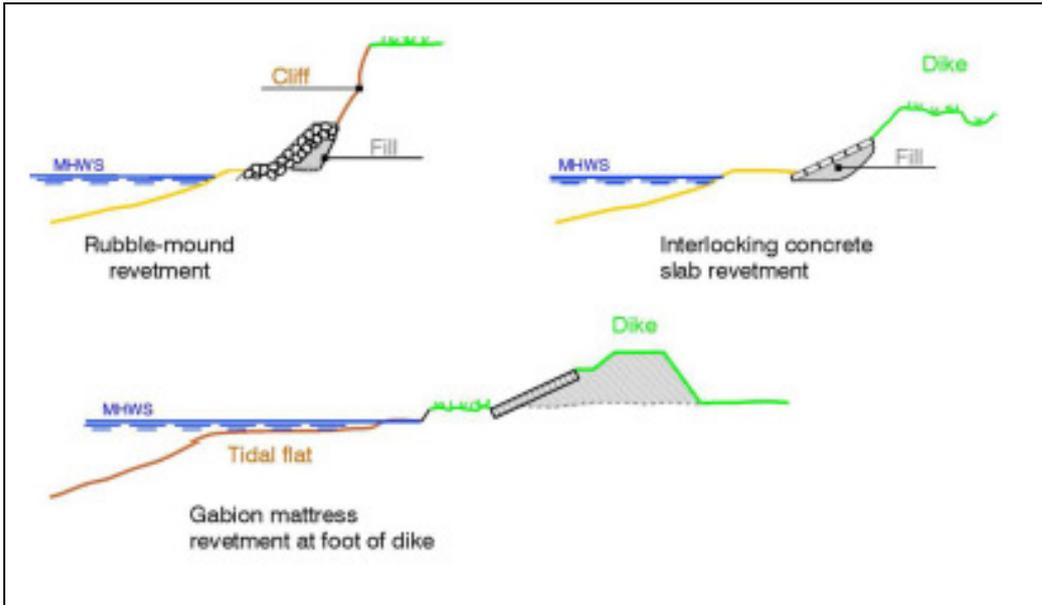


FIGURA 6.1.5- 9 – Exemplos de enrocamento, onde “MHWs” significa maré alta média do período de sizígia; “Cliff” significa barranco; “Dike” significa dique; “Fill” significa enchimento; “Rubble-mound revetment” significa revestimento feito de pedras; “Interlocking concrete slab revetment” significa revestimento feito de pranchas de concreto interconectadas; “Gabion mattress revetment at foot of dike” significa revestimento com gabiões no pé do dique.

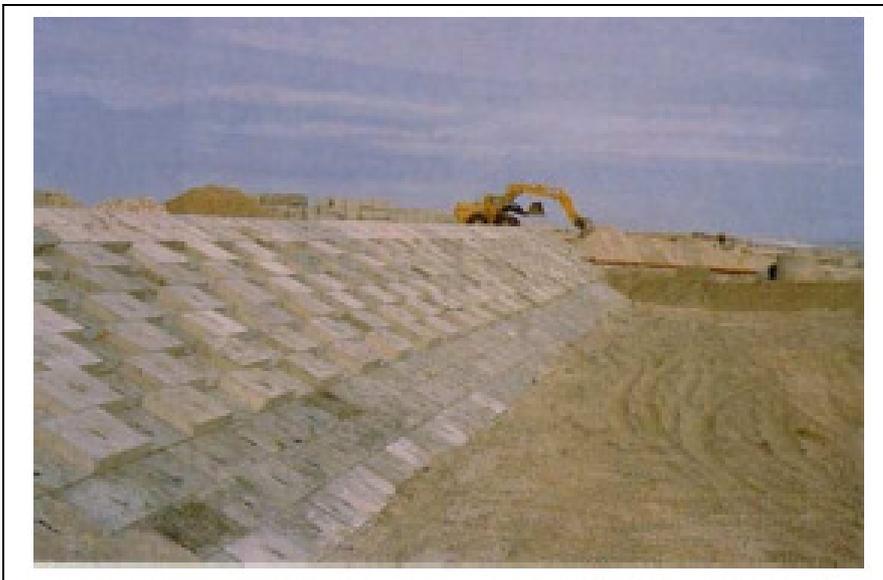


FIGURA 6.1.5- 10 – Exemplo de revestimento de emergência construído com blocos de concreto. O revestimento será posteriormente enterrado em uma duna artificial (fonte: Danish Coastal Authority).

Dunas Artificiais

Uma duna natural é a proteção flexível da natureza contra erosão costeira e inundações. Dunas artificiais são opções aplicáveis como medida de proteção combinada em áreas com dunas naturais que sofrem de erosão costeira e aquela causada por ventos, degradação de praias e inundações.

Uma duna artificial é construída pela importação de areia de fora da área do projeto. As dunas são normalmente construídas na porção mais alta da praia nas proximidades da linha de costa. Para proteger a duna e melhorar os processos naturais de construção de dunas, uma duna artificial é normalmente plantada com algum tipo de vegetação fixadora (como a salsa da praia) e protegida por cercas. As principais funções das dunas artificiais são:

1. Melhoram os processos naturais do crescimento de dunas, sendo consideradas como um método ambientalmente sólido e sustentável de proteção;
2. Fornece uma proteção flexível contra erosão costeira. Como a duna é erodida gradualmente, a areia é liberada para os processos litorais e o impacto em praias adjacentes é positivo. O volume e a qualidade da areia na duna determinam a durabilidade da proteção;
3. Auxilia na manutenção de praias arenosas largas;
4. Se esta for suficientemente elevada, uma duna artificial contínua protege contra a erosão.

Para que possam atuar como medidas confiáveis de proteção da linha de costa, as dunas artificiais devem ser mantidas e restauradas após eventos de erosão significativos que ocorrem em períodos com níveis de água elevados. A funcionalidade depende do volume, altura e extensão longitudinal (ao longo da costa) da duna, além da qualidade da própria areia utilizada. Os volumes e alturas mínimos da duna dependem do recuo máximo da linha de costa que pode ocorrer durante eventos de tempestades (ressacas). Este recuo máximo é determinado pelos níveis de água máximos, a duração e características das ondas durante as tempestades, além das características da própria areia. A **FIGURA 6.1.5-11** apresenta o aspecto de uma duna artificial.



FIGURA 6.1.5- 11 – Plantio de grama (Marram grass) e colocação de cercas de vegetação em dunas artificiais (fonte: Danish Coastal Authority).

Raspagem de Praias

Embora a raspagem de praias não seja considerada uma defesa costeira propriamente dita, foi incluída nesta seção do estudo porque pode ser funcional em combinação com a duna artificial e não inclui material de praia originado de fontes externas como engordamento de praia, o qual é apresentado na próxima seção deste informe.

A raspagem de praia é a recuperação de material da berma situada na porção frontal da linha de costa (próxima ao mar), colocando a mesma na porção do topo dos perfis de praia, aos pés das dunas ou barrancos. Uma berma que consiste em areia grossa ou cascalho pode ser formada algumas vezes durante períodos relativamente calmos de ondas, que tendem a transportar material do mar para a praia. A raspagem de praia é normalmente feita utilizando pás carregadeiras.

O propósito do processo de raspagem de praia é o fortalecimento da porção superior do perfil de praia, além das dunas ou barrancos costeiros. O material é colocado em uma posição tal

que melhora a capacidade de suportar erosão da praia que ocorre durante eventos de tempestades. Esse método pode ser utilizado em praias que estão sujeitas principalmente a erosão sazonal, embora não seja viável em localidades que estão expostas a processos erosivos de longo prazo. Uma das desvantagens do método é que o material utilizado para fortalecer a parte superior do perfil é tirado da parte inferior do mesmo perfil, o que significa que o método contribui de modo insignificante para a estabilidade geral do perfil de praia. Outra questão é que a operação pode interferir com atividades recreativas.

Engordamento de Praia

Engordamento pode ser considerado como uma forma natural de combater a erosão costeira, já que substitui artificialmente o déficit no orçamento de sedimentos em um certo trecho da costa com um volume de areia correspondente. Todavia, se a causa da erosão não tiver sido eliminada, a erosão irá continuar ao longo do trecho recuperado (engordado). Isto implica no fato de que o engordamento, como método independente de proteção costeira, requer um esforço de manutenção de longo prazo. Em geral, o engordamento é apenas adequado para seções maiores da linha de costa. De outra forma, a perda de areia para as seções vizinhas da linha de costa seria muito grande.

O sucesso de um esquema de engordamento de praia depende muito do tamanho do grão da areia usada no engordamento, também chamado de material de empréstimo, em relação ao tamanho de partícula da areia nativa (que recebe a areia do engordamento). As características da areia determinam a forma geral dos perfis costeiros expressos no conceito do perfil de equilíbrio. Além disso, na natureza os processos hidrodinâmicos tendem a separar os sedimentos nos perfis, de tal modo que o tamanho de partícula diminui com o aumento da profundidade.

Quando a areia de empréstimo é colocada em um perfil costeiro a natureza tentará estabelecer um novo perfil de equilíbrio, de tal modo que modificações sempre ocorrerão no perfil engordado. Imediatamente após a operação de engordamento, as ondas começam a retrabalhar a areia e o engordamento será gradualmente desfeito. Dessa forma, é necessário realizar o re-engordamento a intervalos regulares. Esse requerimento de manutenção regular é algumas vezes difícil de aceitar por parte de membros do público, as autoridades ambientais e os proprietários da praia. Por outro lado, como as preocupações ambientais e os

requisitos de sustentabilidade estão ganhando importância, o engordamento tem aumentado a sua participação nos esquemas de gerenciamento e proteção costeira nos últimos 20 anos. Atualmente, o engordamento é a medida mais comum de proteção costeira aplicada na Dinamarca e em muitas outras partes do planeta.

Se o material de engordamento for mais grosseiro em comparação com a areia nativa, este tenderá a formar um perfil mais inclinado que o perfil natural (original). Isso implica no fato de que nestas condições uma praia mais larga será formada, como explicitado na **FIGURA 6.1.5-12** (parte inferior da figura). Além disso, areia grossa será mais estável em termos das perdas pelo transporte litoral de sedimentos.

Se o material de engordamento for mais fino que a areia nativa, a praia tenderá a formar um perfil mais plano que o perfil natural (original). A reconfiguração da forma da areia de engordamento alcançará a profundidade de fechamento. Se o objetivo do engordamento é obter uma praia mais larga, isto requererá grandes volumes de areia, tal como ilustrado na parte superior da **FIGURA 6.1.5-12**.

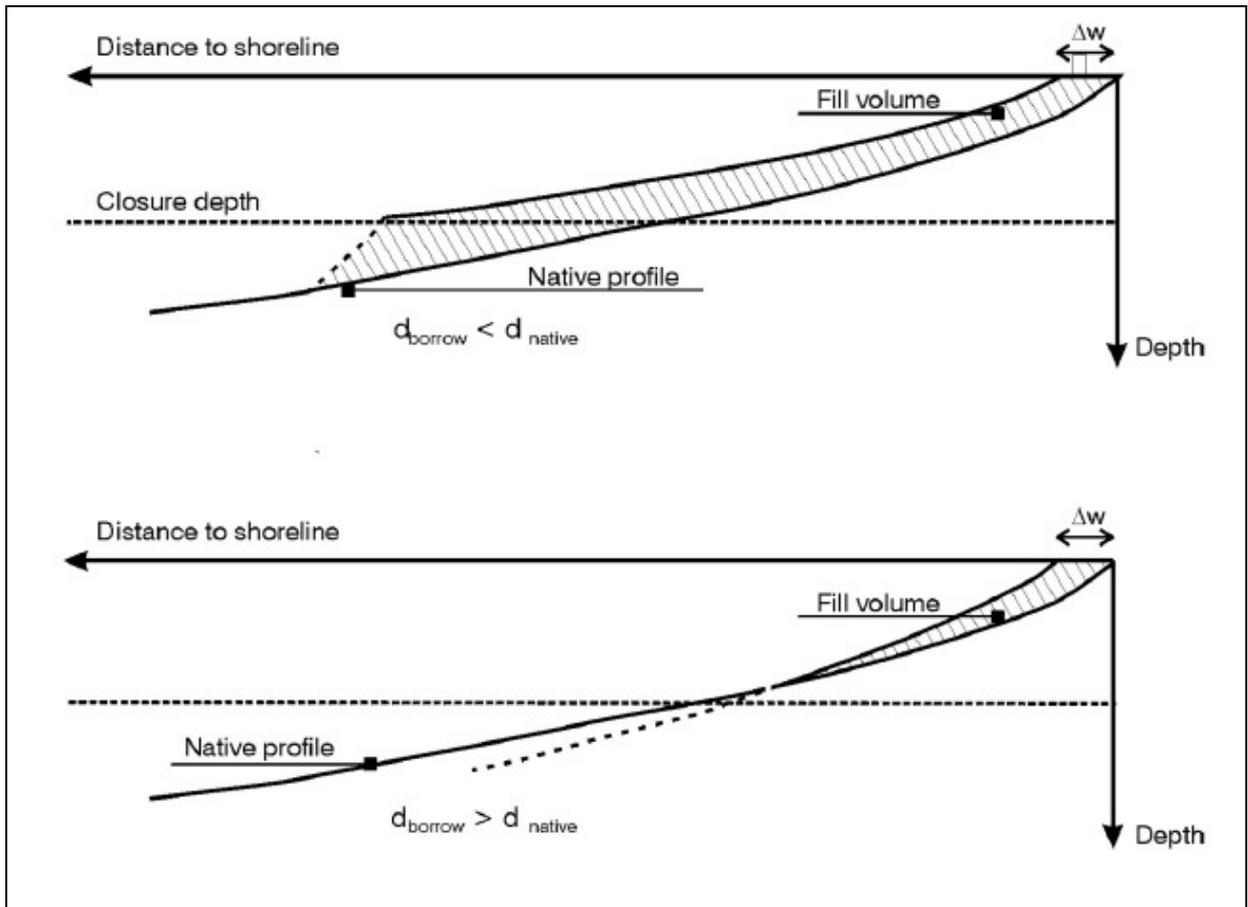


FIGURA 6.1.5- 12 – Condições de equilíbrio necessárias para praias engordadas visando obter largura adicional da praia de Δw com areia de empréstimo mais fina (parte superior da figura) e mais grossa (parte inferior da figura) em relação à areia nativa, onde "Distance to shoreline" significa distância em relação à linha de costa; "Closure depth" significa profundidade de fechamento; "Native profile" significa perfil nativo (ou original); " Δw " significa largura adicional de praia; "Fill volume" significa volume de preenchimento; "Depth" significa profundidade; " $d_{\text{borrow}} < d_{\text{native}}$ " significa tamanho de partícula do empréstimo menor que o tamanho de partícula da areia nativa; " $d_{\text{borrow}} > d_{\text{native}}$ " significa tamanho de partícula do empréstimo maior que tamanho da partícula nativa.

É evidente que o volume de areia requerido para obter certa largura da praia aumenta drasticamente com a redução do tamanho das partículas da areia a ser usada no engordamento. O engordamento pode ser classificado em três tipos: engordamento do topo do perfil de praia; engordamento da praia e engordamento da face de praia. Os três diferentes métodos de engordamento serão discutidos brevemente a seguir (vide **FIGURA 6.1.5-13**).

O engordamento do topo do perfil de praia (backshore nourishment) é o fortalecimento da parte superior da praia, ao colocar o material no topo do perfil da praia, ao longo da base das dunas. O principal objetivo do engordamento do topo do perfil de praia é fortalecer o topo da praia e as dunas contra erosão e abertura de brechas durante eventos extremos (tempestades). O material é acumulado em frente às dunas e atua como um “tampão”, a ser sacrificado durante eventos extremos. Este tipo de engordamento funciona mais em função de seu volume que como tentativa de reestabelecimento de uma praia larga natural. As perdas são normalmente grandes durante eventos extremos, de forma tal que escarpas tendem a ser formadas. O engordamento do topo do perfil de praia pode ser caracterizado como um tipo de medida de emergência contra recuo e abertura de brechas nas dunas. Deste modo, este método de engordamento não deve ser caracterizado como uma forma sustentável de realizar o engordamento e normalmente não apresenta uma aparência natural.

O engordamento do topo dos perfis de praia pode ser feito mediante o bombeamento hidráulico de areia, utilizando tubulações e descarregando o material ao longo do pé da duna, sendo o mesmo ajustado mediante uma escavadeira. A fonte de areia pode estar no ambiente oceânico conectada à área do engordamento através de tubulações flutuantes ou enterradas, ou pode ser fornecida a partir de outro ponto ao longo da costa, através de uma planta de bombeamento de areia. A areia pode ainda ser trazida por caçambas e despejadas na área do engordamento.

O engordamento da praia (outra metodologia de engordamento) tem como objetivo o fornecimento de areia à linha de costa para aumentar o valor recreativo da praia e/ou para proteger a praia contra erosão adicionando areia ao balanço de sedimentos. Não é uma medida de proteção costeira, já que a praia será normalmente inundada durante eventos extremos (tempestades), mas poderá atuar como suporte de possíveis medidas de proteção costeira. Ao executar o engordamento da praia, a areia do local de empréstimo deve ser semelhante à areia nativa, para que o engordamento se ajuste suavemente ao perfil de praia existente no local. Pode ser vantajoso o uso de areia levemente mais grosseira (tamanhos de partícula maiores) em relação à areia nativa, pois esta medida melhorará a estabilidade do perfil de praia resultante, que será levemente mais inclinado que o perfil original. Areia mais fina será rapidamente transportada para águas mais profundas e por essa razão não contribuirá diretamente para uma praia mais larga. Todavia, a areia fina auxiliará a reforçar e aumentar a parte externa do perfil de praia.

O engordamento da face de praia (outra metodologia de engordamento) consiste no suprimento de areia para a porção mais externa do perfil de praia, tipicamente no lado marinho da praia. Esta medida irá reforçar o perfil de praia e adicionar sedimentos ao balanço litoral em geral. Este tipo de engordamento é utilizado em praias onde as medidas de proteção costeiras ocasionaram um aumento na declividade do perfil de praia, ou em áreas que apresentam déficit de sedimentos de longo prazo. Algumas vezes o engordamento da face de praia é utilizado em conjunto com o engordamento da praia de modo a fortalecer o perfil costeiro de sedimentos. Esta medida é recomendada para se obter um perfil engordado próximo ao perfil de equilíbrio da linha de costa. O engordamento da face de praia como medida isolada atua apenas de forma indireta como medida de proteção costeira ao reduzir levemente a exposição às ondas, e como medida de restauração com atraso considerável e pequena eficiência.

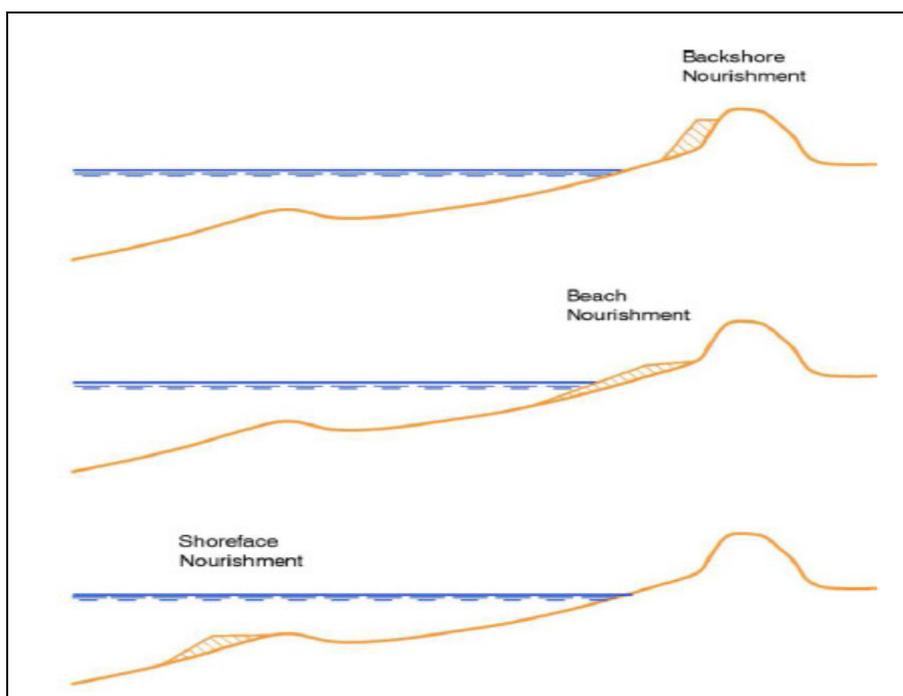


FIGURA 6.1.5- 13 – Princípios de engordamento no topo do perfil (topo), na praia (centro) e na face da praia (base), onde “Backshore nourishment” significa engordamento do topo do perfil de praia; “Beach nourishment” significa engordamento da praia e “Shoreface nourishment” significa engordamento da face de praia.

O engordamento da face de praia é frequentemente realizado através de barcaças divisíveis (FIGURA 6.1.5-14). A descarga é rápida e o preço unitário é baixo por essa razão. O engordamento da face de praia pode ser utilizado de modo lucrativo em associação com esquemas de engordamento de praia onde material de empréstimo que não atende os requerimentos para o engordamento de praia pode ser usado na parte externa do perfil, onde corresponderia a sua ocorrência naturalmente.



FIGURA 6.1.5- 14 – Métodos de engordamento praticados pela Autoridade Costeira Dinamarquesa. Observa-se o engordamento de praia mediante descarga de tubulação diretamente na praia e mediante bombeamento pela proa de navios. Observa-se também o engordamento da face de praia utilizando barcaças divisíveis.

No presente estudo, foram realizadas algumas simulações para estudar a resposta da linha de costa após a conclusão do engordamento de praia. As simulações foram realizadas mediante o modelo de evolução da linha de costa da DHI denominado LITLINE, e cobriram todo o período coberto pelos dados. Os seguintes parâmetros-chave foram modificados

sistematicamente visando comparar os diferentes esquemas de engordamento um com o outro, a saber:

1. Volume total do engordamento da praia, e;
2. Localização inicial do engordamento.

As características sedimentares do material de engordamento foram assumidas como equivalentes em relação aquelas que são encontradas atualmente na praia seca (com um tamanho médio de grão de 0,18 mm). A **FIGURA 6.1.5-15** mostra a configuração da linha de costa ao final das simulações do modelo. A localização inicial do engordamento é apresentada, e os esquemas simulados do engordamento são apresentados no **QUADRO 6.1.5-5**.

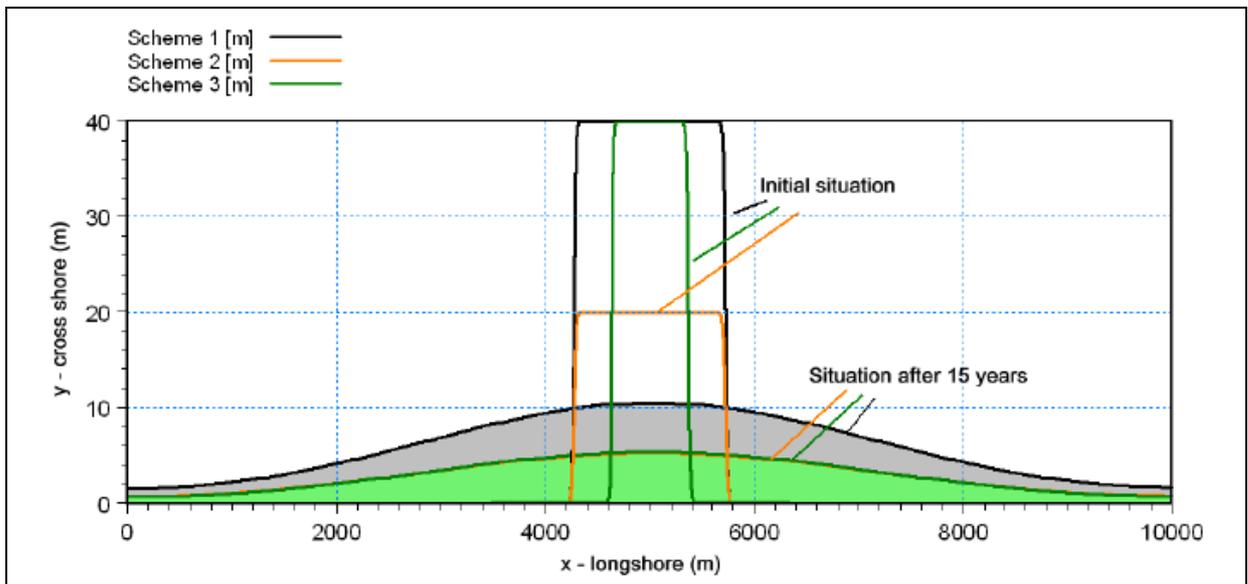


FIGURA 6.1.5- 15 – Resposta simulada da linha de costa a esquemas de engordamento (Obs: Eixo X distorcido), onde “Scheme 1” significa o engordamento com 400.000m³ de areia ao longo de 1.600m de praia; “Scheme 2” significa o engordamento com 200.000 m³ de areia ao longo de 1.600 m de praia; “Scheme 3” significa o engordamento com 200.000 m³ de areia ao longo de 800 m de praia; “y – cross shore (m)” significa distância do perfil transversal da praia; “x – longshore (m)” significa distância da linha de costa; “Initial situation” significa situação inicial e “Situation after 15 years” significa situação após 15 anos.

QUADRO 6.1.5- 5 – Esquemas simulados de engordamento de praia.

ESQUEMA	VOLUME TOTAL (m ³)	COMPRIMENTO DO ENGORDAMENTO (m)	LARGURA DO ENGORDAMENTO (m)
Esquema 1	400.000	1.600	40
Esquema 2	200.000	1.600	20
Esquema 3	200.000	800	40

As simulações do modelo indicam um recuo gradual do engordamento inicial. Ao fim da simulação (17 anos) a largura do engordamento foi reduzida para cerca de 10 metros para o Esquema 1 e para 5 metros para os esquemas 2 e 3. Observou-se que a forma inicial do engordamento não teve nenhum efeito significativo na evolução futura da linha de costa (por exemplo, a comparação entre os Esquemas 2 e 3 que têm um volume de engordamento igual).

6.1.6. Proteção Costeira Recomendada

Nesta seção os resultados das análises foram integrados em recomendações para um esquema de gerenciamento de linha de costa sustentável para o Hotel Transamérica. Tal esquema deve atender aos seguintes requerimentos:

1. Deve prover proteção contra danos à infra-estrutura costeira na propriedade do hotel;
2. Deve ser viável técnica e economicamente;
3. Deve ser esteticamente atraente;
4. Deve prover uma praia segura e de boa qualidade na frente do hotel.

Uma revisão das vantagens e desvantagens dos conceitos e soluções analisadas é apresentada a seguir visando definir as recomendações para o esquema de gerenciamento da linha de costa ótimo.

6.1.6.1. Revisão das Vantagens e Desvantagens dos Conceitos

Apresentados

Estruturas Costeiras Intrusivas

VANTAGENS	DESVANTAGENS
1. Solução “permanente” que requer manutenção apenas após vários anos.	1. Cria mudanças na posição da linha de costa ao longo do ano e erosão permanente da praia à jusante (lado norte) da estrutura.
2. Ao escolher uma estrutura com desenho hidrodinâmico, destacada da praia, não serão criadas situações perigosas para nadadores.	2. É sensível a modificações nas características das ondas. Se a direção do transporte de sedimentos mudar de direção de origem de sul para norte a estrutura teria um impacto negativo na praia em frente ao hotel.
3. A estrutura pode ser integrada à paisagem, e, se desenhada adequadamente, pode contribuir positivamente ao cenário natural.	3. A estrutura criará uma praia mais larga mas não melhorará necessariamente o seu perfil. Se a erosão da praia estiver associada com eventos de curta duração com altos níveis das águas (tempestades), então uma estrutura intrusiva como solução única não será suficiente para prevenir danos à infra-estrutura costeira.

Estruturas Costeiras Não Intrusivas

VANTAGENS	DESVANTAGENS
1. Não interferem com a dinâmica da linha de costa, e somente se tornam ativas durante eventos de erosão extrema da linha de costa.	1. Se a praia apresenta erosão, a estrutura não a impedirá até que a mesma seja exposta.
2. Se estruturas enterradas forem usadas podem ser integradas à paisagem natural (construção de duna artificial)	2. No caso da estrutura ser exposta, o recuo da linha de costa será interrompido, porém a praia em frente ao hotel será perdida.
3. Pode ser construída inteiramente em terra.	-

Engordamento de Praia

VANTAGENS	DESVANTAGENS
1. Se areia de qualidade apropriada for usada, o engordamento da praia não compromete a qualidade da praia e não é esteticamente questionável.	1. Requer manutenção regular (re-engordamento). O tempo entre engordamentos depende dos volumes de engordamento.
2. O engordamento de praia sempre terá um efeito positivo, mesmo quando as características das ondas sofrerem mudanças drásticas.	2. Se não for gerenciado adequadamente, o material do engordamento pode ser erodido da praia e vir a criar problemas de acumulação em outras áreas, por exemplo em canais de acessos portuários dragados ou canais de maré.
-	3. Se não houver disponibilidade de areia de boa qualidade, então o engordamento pode causar efeitos negativos na qualidade da praia. No evento do uso de material muito grosseiro, altas declividades e escarpas na praia serão criadas, as quais farão a praia menos apropriada para nadadores, especialmente crianças. No evento do uso de material muito fino, o vento pode vir a causar transporte indesejado, acumulando a areia mais fina em outras áreas do hotel.

6.1.6.2. Solução Recomendada para o Hotel

As análises realizadas neste trabalho indicam que a linha de costa está exposta a erosão leve, a qual ocorre em eventos com níveis de água elevados e ondas relativamente altas. Possivelmente, as variações na posição da linha de costa ao longo da costa do hotel estão parcialmente relacionadas com a morfodinâmica do banco de areia situado na frente da barra norte do Rio Comandatuba, na extremidade norte da Ilha de Comandatuba. Nenhuma indicação da ocorrência de processos de erosão de longo prazo foi observada nas análises dos dados e nos estudos de modelagem.

Dadas essas circunstâncias, acredita-se que, do ponto de vista da engenharia costeira, o engordamento de praia seria uma solução recomendável. Este método é considerado ambientalmente amigável, atraente do ponto de vista estético e não tem efeitos negativos, desde que material de engordamento adequado seja utilizado. As simulações do modelo

indicaram que o engordamento da praia pode fornecer uma solução durável, porém, manutenção regular na forma de re-engordamentos periódicos seria necessária.

Todavia, dos pontos de vista práticos e econômicos o engordamento de praia pode não ser a solução ótima devido à ausência de areia de boa qualidade para o engordamento na área em frente ao hotel. O fundo do mar na zona oceânica é composto principalmente de lama ou outros materiais, que são inapropriados como material para engordamento. Materiais para o engordamento de praia teriam que ser transportados de distâncias relativamente grandes, o que torna esta opção menos atrativa do ponto de vista econômico.

A área situada no interior e no entorno da foz do Rio Comandatuba (barra norte) foi considerada como uma possível fonte de material para engordamento. Todavia, a remoção de areia desta localidade e a sua colocação na praia em frente ao Hotel não se constitui em uma solução sustentável, já que criaria erosão da linha de costa em uma forma semelhante a que seria causada por uma estrutura intrusiva. A extração de areia do (ou das proximidades) delta de marés, poderia até provocar a abertura de brechas e migração repentina da foz do rio, o que por sua vez poderia criar uma resposta morfológica de difícil previsão. Em seu trabalho, DOMINGUEZ (2008) observou uma relação entre a morfodinâmica nas proximidades da foz do rio e a erosão costeira no trecho à montante do delta de marés.

Além disso, a remoção de areia do delta de marés em frente à barra norte do Rio Comandatuba teria que ser feita usando dragas e transportada por uma longa distância para alcançar a área alvo. No caso de uma única estrutura intrusiva a areia pode ser removida via terrestre (usando retroescavadeiras) muito próximo à localidade onde a mesma é necessária para a implantação de dunas artificiais.

Com base nessas considerações, concluiu-se que o engordamento de praia seria uma boa solução se o material de engordamento se originasse de uma área externa em relação à célula de sedimentos do local do projeto. A extração de areia da foz do rio criará problemas de erosão semelhantes aos que seriam causados por uma estrutura intrusiva e seria consideravelmente mais cara.

Considerando que as características das ondas na região são relativamente calmas, o estabelecimento de revestimento enterrado como forma de defesa dormente ao longo de toda

a propriedade do hotel não é considerada necessária. A montagem dessa estrutura seria cara e não garantiria a presença de uma praia segura e atraente na frente do hotel. Em uma escala menor, a criação de um revestimento enterrado em frente aos edifícios e outras propriedades valiosas poderia ser considerado. Em princípio um grau suficiente de proteção pode ser obtido com a implantação de dunas artificiais, mas essas dunas requerem manutenção regular (após cada evento de erosão das dunas). Se essa manutenção for problemática ou se não houver espaço suficiente para construir dunas que sejam largas o suficiente para prover proteção, a implantação de revestimentos enterrados poderia ser considerada como uma medida de segurança adicional.

A implantação de uma estrutura intrusiva relativamente pequena melhorará a praia em frente ao hotel durante o período de maior risco de erosão da linha de costa. Por esta razão, este tipo de solução é considerado viável no presente caso. Devido às fortes oscilações sazonais nas características das ondas, a implantação de estruturas intrusivas ocasionará variações relativamente intensas na posição da linha de costa, especialmente nas vizinhanças da própria estrutura. A acreção da praia ocorrerá no lado situado à montante da estrutura (ou seja, ao sul da mesma) e erosão da praia ocorrerá no lado situado à jusante da mesma (ou seja, ao norte da mesma). No caso em estudo, recomenda-se a implantação de uma única estrutura no limite norte da área a ser protegida. A análise atual mostrou que o uso de mais estruturas iria causar efeitos negativos na forma de erosão à jusante das estruturas, na frente do hotel. Por essa razão o uso de esquemas com estruturas múltiplas não é recomendado.

O comprimento recomendado para a estrutura é de 80 metros, medido a partir da posição da linha de água parada no nível médio da água (MWL). Uma estrutura com esse comprimento criará uma praia suficientemente larga durante o período onde o transporte de sedimentos se direciona para o norte. Por outro lado, devido ao seu pequeno comprimento, a estrutura não bloqueará o transporte de sedimentos litorais completamente. Esta será efetiva principalmente para níveis de água mais altos que o MWL. Durante os períodos de níveis baixos da água, a corrente litoral e o transporte de sedimentos irão passar pela estrutura praticamente desimpedidos.

A estrutura pode ser construída na forma de um espigão clássico ou como uma península artificial, mais sofisticada. Já que a praia não é utilizada por nadadores intensivamente, o uso de uma península artificial pode ser considerado como menos atraente, devido ao seu custo

mais elevado. Todavia, do ponto de vista estético a península artificial é preferível, pois a mesma pode ser facilmente integrada na paisagem costeira, e não seria um obstáculo tão expressivo para a passagem ao longo da praia, o que ocorreria com a implantação de um espigão clássico. O espigão deve se estender na praia seca até a altura da maré alta. A península artificial poderia ser construída e iniciada mais na direção do mar, deixando, desse modo, uma passagem mais larga na praia. Em termos da proteção à linha de costa, as duas estruturas terão efeitos muito semelhantes. A localização da península e do espigão são apresentados na **FIGURA 6.1.6-1**.

A implantação da estrutura levará ao aumento gradual da largura da praia em frente ao hotel e um recuo gradual da linha de costa ao norte da estrutura. Estima-se que a acreção de longo prazo em frente ao hotel alcance a faixa entre 20 e 50 metros, a depender do período do ano. Estima-se que o recuo da linha de costa ao norte da estrutura não deverá exceder os 15 metros.

A implantação de uma estrutura intrusiva melhorará a largura da praia, porém não aumentará automaticamente a altura do topo da praia para um nível seguro. O alargamento da praia em frente ao hotel como solução exclusiva não será suficiente para evitar os riscos de danos à infra-estrutura costeira que ocorre durante eventos com níveis de água extraordinariamente elevados. Por essa razão, a implantação da estrutura deverá ser combinada com a implantação – e manutenção – de uma duna artificial no topo da praia no trecho em frente à propriedade.

O material para essa duna pode ser obtido da própria praia utilizando a técnica da raspagem da praia nos meses onde ela está sofrendo acreção. A altura da duna deve ser de pelo menos 2,20 metros acima do nível médio da água (MWL), o que corresponde a um nível extremo da água com um período de retorno de 100 anos. A largura da duna deverá ser da ordem de 10 a 20 metros, o que corresponde a um evento extremo de erosão costeira com um período de retorno de 50 anos. O dimensionamento do esquema é apresentado na **FIGURA 6.1.6-2**.

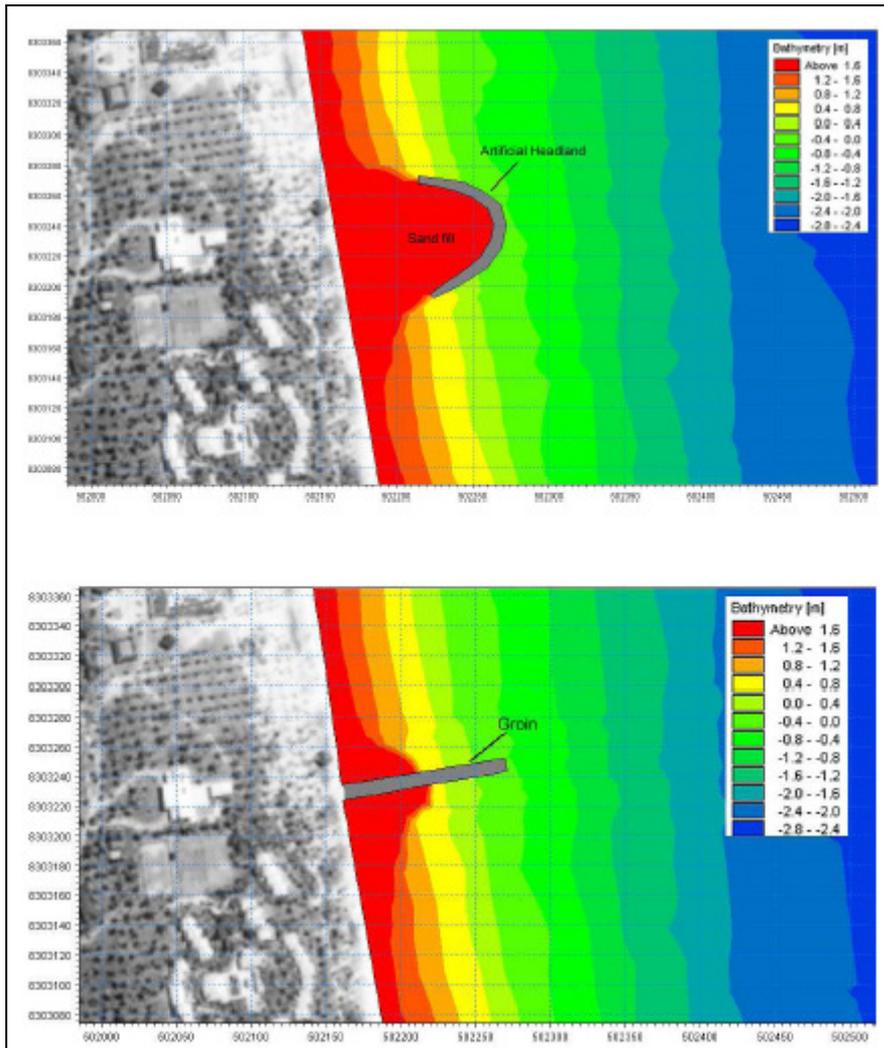


FIGURA 6.1.6- 1- Localização das estruturas intrusivas. No topo a península artificial. Embaixo, o espigão, onde "Sand fill" significa preenchimento com areia; "Artificial headland" significa península artificial; "Groin" significa espigão e "Bathymetry (m)" significa batimetria.

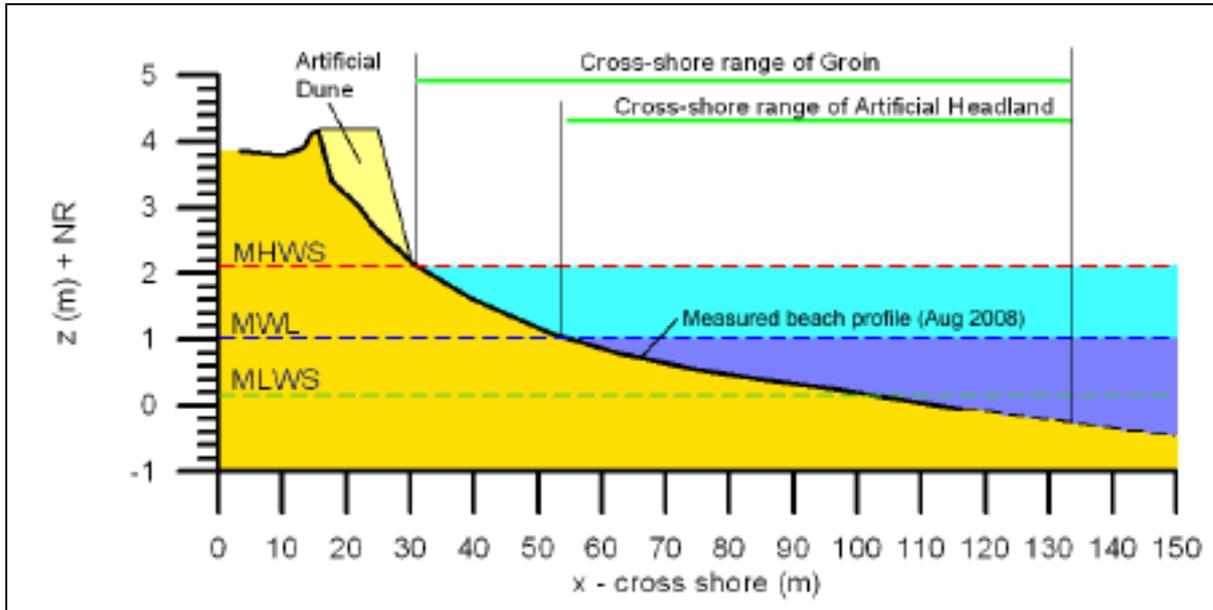


FIGURA 6.1.6- 2 – Localização e propriedades da estrutura intrusiva e duna artificial, onde “z(m) + NR” significa altura em relação ao nível de referência em metros (datum da marinha do Brasil); “X-cross shore (m)” significa distância transversal da costa em metros; “Artificial dune” significa duna artificial; “Cross-shore range of Groin” significa alcance transversal do espigão; “Cross-shore range of Artificial Headland” significa alcance transversal da península artificial; “MHWS” significa nível médio da água na maré alta de sizígia; “MWL” significa nível médio das águas; “MLWS” significa nível médio da água na maré baixa de sizígia e “Measured beach profile (Aug 2008)” significa perfil de praia medido em agosto de 2008.

Após a implantação da estrutura, uma parte da areia acumulada ao longo do seu lado sul pode ser removida nos meses entre Junho e Outubro. Esta deve ser removida gradualmente de maneira a evitar o comprometimento da segurança na praia. O volume (de areia) acumulado durante uma única estação não será suficiente para construir dunas artificiais ao longo de toda a propriedade de uma vez só. Por essa razão, a remoção de areia deve ser feita gradualmente, como atividade espalhada ao longo de dois anos. Recomenda-se a implantação inicial da duna artificial na frente dos edifícios e continuar a sua construção ao longo do restante da propriedade mais tarde.

De certo modo, a criação e manutenção da duna artificial está atualmente sendo praticada em certos trechos do resort. A condição, altura e largura das dunas existentes deve ser avaliada. Se necessário, as dunas devem ser reforçadas de acordo com o esquema apresentado abaixo. Recomenda-se a fixação da duna tanto quanto possível mediante o plantio de

vegetação apropriada. Pode ser necessário aumentar a altura da duna de acordo com os requerimentos de tolerância de água salgada da vegetação escolhida. Recomenda-se a obtenção de critérios para o plantio de vegetação de dunas por parte de especialistas em botânica. As características do esquema proposto são listadas nos **QUADROS 6.1.6-1** (estruturas intrusivas) e **6.1.6-2** (duna artificial).

QUADRO 6.1.6- 1 – Formato e características das estruturas intrusivas recomendadas.

CARACTERÍSTICA	TIPO DE ESTRUTURA	
	ESPIGÃO	PENÍNSULA ARTIFICIAL
Extensão para o mar	80 m da linha d'água no nível médio do mar (MWL).	80 m da linha d'água no nível médio do mar (MWL).
Extensão para a terra	Linha de água da maré alta (Nível de Referência - NR + 1,88 m).	Linha de água média (Nível de Referência - NR + 1,02 m).
Extensão ao longo da costa	Não se aplica (<10 m).	100 m.
Altura	3,25 m (+ NR).	3,25 (+ NR).
Período de construção	Abril – Maio.	Abril – Maio.

QUADRO 6.1.6- 2 – Formato e características da duna artificial.

CARACTERÍSTICA	DUNA ARTIFICIAL
Nível da base	+ 1,88 m (+NR), ou seja, nível médio da maré alta do período de sizígia.
Nível do topo	+ 3,24 m (+NR) ou mais alta.
Extensão ao longo da costa	Ao longo dos edifícios e outros equipamentos valiosos ao longo da costa.
Período recomendado para construção e manutenção.	Junho – Outubro (pelo menos 1 ano após o estabelecimento da estrutura intrusiva).

6.1.7. Conclusões

6.1.7.1. Características das ondas

1. Uma série temporal de dados de ondas oceânicas foi analisada. Os dados cobriram o período entre 1996-2007. Um modelo matemático de transformação de ondas (MIKE 21 SW) foi preparado e calibrado com dados de campo. O modelo foi aplicado para transformar as séries temporais de ondas oceânicas para um certo número de localidades selecionadas próximas à costa;
2. Na zona próxima à costa (profundidade de 15 m) as ondas típicas têm alturas variando entre 1,0 e 1,5 m. A altura das ondas raramente ultrapassa os 3,0m;

3. Na média, as direções dominantes das ondas são Leste e Leste-Sudeste;
4. Durante os últimos 16 anos, a direção média das ondas sofreu uma rotação gradual no sentido horário de cerca de 15°;
5. Variações sazonais marcadas na direção média das ondas foram observadas, com ondas predominantemente provenientes de Leste-Nordeste no verão e Leste-Sudeste no inverno.

6.1.7.2. Resposta dos Perfis de Praia

1. A elevação máxima do nível da água (acima do nível médio do mar) está estimada em 2,20 m sobre o nível médio do mar (período de retorno de 100 anos);
2. O recuo máximo da linha de costa devido ao transporte de sedimentos no perfil transversal da praia é de cerca de 20 m (período de retorno de 100 anos);
3. Uma forte variação sazonal na dinâmica da linha de costa foi observada. A maior erosão da linha de costa ocorre no período entre junho e setembro.

6.1.7.3. Transporte de Sedimentos no Litoral

1. O transporte anual líquido é de cerca de $1,0 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{ano}$, e é direcionado para o norte. Os componentes vindos do norte e do sul do transporte litoral são da ordem de $2,0 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{ano}$ e $1,0 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{ano}$, respectivamente;
2. A maior parte do transporte de sedimentos ocorre na distância de 200 m. A profundidade de fechamento foi estimada em 3,5 m + NR;
3. A orientação de equilíbrio da linha de costa foi calculada em 87° N, que está cerca de 10° distante da orientação atual da linha de costa;
4. A magnitude do transporte direcionado para o norte aumentou significativamente durante as últimas duas décadas. Isto resultou em uma mudança na direção líquida de transporte do sul (início dos anos 90) para o norte (situação atual);
5. Fortes variações sazonais na deriva litoral foram observadas. Durante os meses entre março e setembro o transporte é direcionado para o norte e durante o restante do ano o mesmo é direcionado para o sul.

6.1.7.4. Conceitos de Intervenções

Estruturas Costeiras Intrusivas

A partir das simulações do modelo realizadas com estruturas intrusivas, as seguintes conclusões foram obtidas:

1. Devido às fortes variações sazonais nas características das ondas, estruturas costeiras intrusivas têm um impacto relativamente grande na linha de costa e causarão variações significativas nas posições da linha de costa ao longo do ano;
2. Esquemas com estruturas múltiplas não são recomendados porque causam erosão à jusante das estruturas nos períodos em que o transporte ocorre para o norte;
3. No caso de uma única estrutura fortes variações sazonais ocorrem apenas nas imediações da mesma. A estrutura deve ser implantada a aproximadamente 200 m ao norte da área de interesse principal, onde a erosão natural à jusante da estrutura não causará nenhum dano;
4. Uma única estrutura intrusiva situada ao norte do hotel promoverá a acreção da praia no período entre julho e setembro. Este coincide com o período de maior risco de erosão costeira devido aos mecanismos de transporte transversal nos perfis de praia;
5. As simulações do modelo indicam que uma única estrutura pode ser implantada de tal modo que apresente um efeito de bloqueio significativo durante a ocorrência dos níveis de água mais elevados e permita a passagem de sedimentos pelas estruturas sem impedimentos, durante a ocorrência dos níveis de água mais baixos;

Estruturas Costeiras Não-Intrusivas

1. Revestimentos enterrados podem atuar como defesas dormentes, as quais promovem proteção efetiva contra inundações e danos devido ao avanço da linha de costa;
2. A implantação de um revestimento como solução isolada não garantirá uma praia estável na frente do hotel;
3. Dunas artificiais consistem em uma forma efetiva e ecologicamente sustentável de prover proteção contra inundações e danos à infra-estrutura costeira durante eventos de erosão da praia de curta duração, com níveis de água elevados, como em tempestades;
4. Dunas artificiais como solução única não impedem a erosão devido aos gradientes de transporte litoral de sedimentos na linha de costa;
5. A raspagem da praia pode representar um método eficiente e sustentável para aumentar o armazenamento natural de areia no topo dos perfis de praia, o que auxilia na redução de riscos de danos devido à erosão da praia durante tempestades;
6. A raspagem da praia não deve ser usada para extrair areia da praia (mineração de areia), e sim apenas para relocar areia no interior da célula costeira de sedimentos.

Engordamento da Praia

1. O material da praia colocado inicialmente na praia em frente ao hotel será transportado gradualmente, principalmente para o norte e em parte para o sul;
2. O engordamento da praia tem uma vida útil relativamente longa (o efeito pode ser notado mesmo após 15 anos após a operação);
3. Se uma fonte de areia com qualidade adequada for utilizada, o engordamento da praia não compromete a sua qualidade e nem é esteticamente desagradável;
4. O engordamento de praia terá um efeito positivo mesmo se as características das ondas mudarem drasticamente;
5. Não há fontes de areia adequada para o engordamento da praia mas vizinhanças do sítio do projeto.

6.1.7.5. Solução Recomendada para o Resort

1. A solução recomendada existe para uma única estrutura intrusiva, combinada com a implantação de uma duna artificial. A estrutura pode ser implantada como um espigão clássico ou uma península artificial mais sofisticada. A estrutura deve ser localizada na porção norte da área a ser protegida;
2. Um aspecto importante deste esquema incluindo uma única estrutura intrusiva é que a acreção máxima da praia ocorre entre os meses de julho e setembro. Este período corresponde ao momento onde a maior erosão da linha de costa ocorre devido aos mecanismos transversais de transporte de sedimentos. Correspondentemente, o maior recuo da linha de costa ocorre em fevereiro, quando o risco de erosão devido aos mecanismos transversais de transporte de sedimentos é mínimo. Isto indica que o esquema auxilia na redução do risco de dano devido à erosão da linha de costa;
3. A vantagem do espigão é o seu formato simples e custo baixo. As desvantagens são: 1) O risco de separação do fluxo e perda de sedimentos na sua extremidade; 2) o bloqueio da passagem ao longo da praia, já que a estrutura deve se estender na praia até a linha da maré alta e 3) aparência não atraente;
4. As vantagens da península artificial são: 1) Um padrão de fluxo hidrodinâmico na sua extremidade; 2) condições mais seguras para nadadores e 3) melhor passagem na praia, já que a península não precisa ser estendida sobre a praia seca como ocorre com o espigão. A sua desvantagem é o seu custo mais alto;
5. A estrutura deverá ser estender por 80 m na direção do mar, a partir da posição média da linha de costa definida a partir do nível médio da água;
6. A duna artificial deve ser implantada no topo da praia, com uma altura mínima de 3,25 m + NR e uma largura entre 10 e 20 m. A duna deverá ser mantida mediante o suprimento de areia após eventos de erosão da duna. A areia pode ser obtida da própria praia (raspagem de praia) em frente à duna durante períodos de acreção da praia;
7. O período recomendado para a construção do espigão ou península artificial é entre os meses de Abril e Maio. O período recomendado para a construção da duna artificial é entre os meses de Junho e Outubro.

6.2 Avaliação de Alternativas

Os estudos de modelagem matemática contemplaram uma série de alternativas de intervenção na linha de costa, cuja localização se deu em função das necessidades de prover condições adequadas a praia na zona confrontante com o hotel. Deste modo a localização da intervenção foi ditada pela necessidade de contenção e alargamento da praia em frente ao Hotel. Como a razão de ser do esquema de proteção costeira é resguardar a propriedade do empreendimento, qualquer tipo de intervenção programada deve estar situada na costa confrontante com este, limitando assim as alternativas locacionais do empreendimento. Por esta razão os focos da análise foram as alternativas tecnológicas, como apresentado no item 6.1 acima. Inicialmente foram considerados vários tipos de intervenções como:

- Engordamento de praia;
- Defesas dormentes (enterradas);
- Defesas intrusivas duplas;
- Defesas intrusivas simples (espigão e península artificial ou ferradura);
- Reforço da duna;
- Raspagem de praia.

O estudo concluiu com duas alternativas tecnológicas que apresentam as propriedades de proteção da costa na praia em frente ao hotel, e que ao mesmo tempo, têm impacto local, restrito à própria propriedade do Hotel. Estas foram:

1. A construção de um espigão reto, com distância de 80 metros, situado à montante das propriedades do hotel, conjugado com ações de reforço da duna, ou;
2. A construção de uma península artificial, com distância de 80 metros a partir do nível médio de água, situado à montante das propriedades do hotel, conjugado com ações de reforço da duna.

Estas duas alternativas tecnológicas recomendadas ao final do estudo de modelagem matemática de transporte de sedimentos e alternativas de contenção de processos erosivos na costa confrontante com o hotel (Item 6.1) são o objeto da análise neste capítulo do estudo. A opção referente ao engordamento de praia foi descartada devido à ausência de depósitos de material compatível com a praia na zona sublitoral em frente ao hotel. Da mesma forma, o uso de estruturas intrusivas múltiplas também foi descartado devido à ocorrência de erosão no lado da praia situado à jusante da direção principal de transporte de sedimentos (norte).

6.2.1. Forma de Operação das Estruturas

Como já explicitado no Item 6.1 acima, as duas alternativas de intervenção previstas operam de modo a:

- a) Propiciar o alargamento da praia em frente ao Hotel no período mais crítico do ano (de março a setembro), quando a incidência das ondas gera transporte para o norte, expondo a praia à erosão em períodos de elevação do nível da água durante a conjugação de frentes frias com maré alta de sizígia;
- b) Ambas as alternativas funcionam de modo a permitir a passagem de sedimentos transportados pelas correntes litorais durante os momentos de maré baixa. Esta medida reduz o potencial de erosão das estruturas intrusivas, na medida em que estas retêm sedimentos apenas durante a maré alta;
- c) Parte da areia acumulada no inverno (março a setembro) na praia em frente ao hotel pode ser transferida para a porção superior do perfil, visando o alargamento e o reforço das dunas, aumentando a proteção e provendo uma fonte permanente e sustentável de areia para reforço da duna;
- d) Ambas as opções de intervenção geram pequena erosão no trecho situado imediatamente ao norte das estruturas (no interior da propriedade do hotel), de forma que não afetam propriedades situadas ao norte do hotel;
- e) As duas opções de intervenção toleram uma mudança de até 10º na direção média das ondas para o norte, sem que ocorram reversões nos padrões de acreção e erosão de areia.

Um comparativo entre as duas estruturas é apresentado na **FIGURA 6.2.1-1** e no **QUADRO 6.2.1-1**.

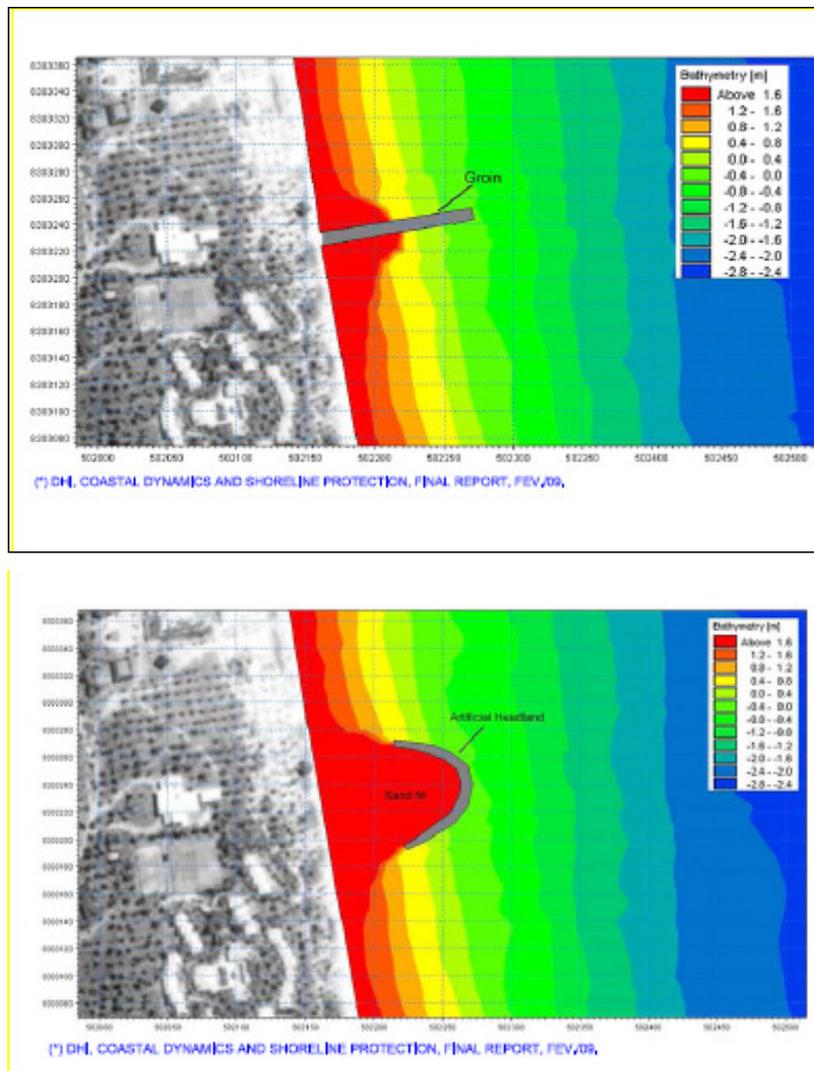


FIGURA 6.2.1- 1 – Imagens das alternativas tecnológicas. Na figura superior, o espigão reto. Na figura inferior, a península artificial.

QUADRO 6.2.1- 1 – Comparativo entre as características básicas das alternativas tecnológicas para implantação.

CARACTERÍSTICA	ESPIGÃO RETO	PENÍNSULA ARTIFICIAL
Extensão (m)*	80	80
Altura (m)**	3,25	3,25
Volume de pedras (m ³)	4.830,0	8.090,0
Largura (m)	< 10	100

(*) – Extensão a partir do nível médio do mar.

(**) – Altura em relação ao nível de redução da marinha.

Além das estruturas intrusivas propriamente ditas, faz-se necessário considerar uma intervenção adicional, que vale para as duas em análise, a saber: o reforço da duna. Esta obra complementar é necessária porque a granulometria da areia da praia na Ilha de Comandatuba é muito fina. Esta condição determina a existência de perfis de praia com baixa inclinação. Deste modo, mesmo com o alargamento da praia, a sobrelevação do nível de água durante marés meteorológicas (isto é, conjunção de maré alta de sizígia com frentes frias) poderia, em tese alcançar a duna. Assim faz-se necessário o reforço periódico da duna com areia acumulada pela estrutura intrusiva. Desta forma, a propriedade do hotel estaria salvaguardada mesmo durante a ocorrência das marés meteorológicas sem utilizar fontes de areia exógenas à área da propriedade do hotel. A **FIGURA 6.2.1-2** e o **QUADRO 6.2.1-2** apresentam as características básicas desta intervenção.



FIGURA 6.2.1- 2 – Imagem de duna recoberta por vegetação fixadora.

QUADRO 6.2.1- 2 – Características básicas do reforço da duna.

CARACTERÍSTICA	DUNA REFORÇADA
Nível da base (m)*	1,88
Nível do topo (m)*	3,25
Modo de fixação	Vegetação
Largura (m)	10 – 20
Período**	Junho – Outubro

(*) – Acima do nível de redução da Marinha do Brasil

(**) – Deve ser iniciado 1 ano após a implantação da estrutura.

6.2.2. Comparação entre Alternativas

A colocação das estruturas será feita entre a zona média da praia e a zona de arrebentação. Desta forma, não se esperam interferências com ambientes terrestres. Devido à pequena dimensão da obra, não será necessária a implantação de canteiro e almoxarifado (depósito) estando previsto o aproveitamento da infra-estrutura de apoio já existente nas instalações do Hotel Transamérica Ilha de Comandatuba, bem como de estradas de serviço existentes na propriedade do hotel. O material para construção, a ser formado por pedras graníticas de dimensões variadas (entre 0,5 a 2 toneladas), será obtido de pedreiras devidamente licenciadas, situadas em Ilhéus ou Itabuna. Pelas razões citadas, o foco principal da comparação das alternativas tecnológicas recaiu sobre a própria praia e o ambiente marinho adjacente. O **QUADRO 6.2.2-1** apresenta a comparação entre as alternativas e os aspectos ambientais avaliados.

QUADRO 6.2.2- 1 – Comparação entre as alternativas tecnológicas para controle de processos erosivos em frente ao Hotel Transamérica na Ilha de Comandatuba.

MEIO AVALIADO	ASPECTO AVALIADO	NÃO EXECUÇÃO DO EMPREENDIMENTO	ESPIGÃO RETO	PENÍNSULA ARTIFICIAL
FÍSICO	Interferência com a inclinação dos perfis de praia	Os perfis de praia na praia da Ilha de Comandatuba são pouco inclinados, devido à composição granulométrica da areia (fina). Eles sofrem recuo nos meses de inverno, devido ao transporte de sedimentos para o norte.	A implantação da estrutura não alterará a inclinação os perfis de praia. Estes deverão se manter estáveis devido à composição da areia da praia.	A implantação da estrutura não alterará a inclinação os perfis de praia. Estes deverão se manter estáveis devido à composição da areia da praia.
	Interferência com o transporte de sedimentos	Atualmente, a direção preferencial de transporte de sedimentos é para o norte. O transporte para o sul ocorre nos meses de outubro a março, em pequenos volumes e está associado à incidência de ventos oriundos de ENE. O maior volume de transporte ocorre na direção norte, associado à incidência de ventos de ESE, nos meses de março a setembro	A estrutura interceptará sedimentos transportados na maré cheia. No verão (out – mar) interceptará sedimentos que derivam para o sul. No inverno (período de maior transporte) interceptará sedimentos que derivam para o norte, alargando a praia ao sul da estrutura. A resultante deste processo será a acreção da praia ao sul da estrutura e uma pequena erosão ao norte da mesma.	A estrutura interceptará sedimentos transportados na maré cheia. No verão (out – mar) interceptará sedimentos que derivam para o sul. No inverno (período de maior transporte) interceptará sedimentos que derivam para o norte, alargando a praia ao sul da estrutura. A resultante deste processo será a acreção da praia ao sul da estrutura e uma pequena erosão ao norte da mesma.
	Interferência com a largura de praia	Atualmente a largura de praia é afetada por eventos naturais sazonais, com destaque para os ventos e as ondas. A praia no trecho norte da Ilha de Comandatuba está sofrendo alargamento por conta da dinâmica de acúmulo de areia no delta de maré na barra norte do Rio Comandatuba. Contudo, essa largura sofre decréscimo	A estrutura gerará o alargamento da praia no seu lado sul, mediante a captura de sedimentos transportados para o norte entre os meses de março a setembro. No trecho de praia situado imediatamente ao norte da estrutura haverá leve erosão, com recuo máximo de 15m m na linha de praia. Contudo, essa erosão será	A estrutura gerará o alargamento da praia no seu lado sul, mediante a captura de sedimentos transportados para o norte entre os meses de março a setembro. No trecho de praia situado imediatamente ao norte da estrutura haverá leve erosão, com recuo máximo de 15m m na linha de praia. Contudo, essa erosão será

BIOMONITORAMENTO E MEIO AMBIENTE



Coordenador da Equipe Técnica

Responsável Técnico

Revisão 00
03/2010

MEIO AVALIADO	ASPECTO AVALIADO	NÃO EXECUÇÃO DO EMPREENDIMENTO	ESPIGÃO RETO	PENÍNSULA ARTIFICIAL
		gradual no sentido sul, chegando a um limite mínimo no trecho em frente ao hotel.	inteiramente contida na propriedade do hotel e será contrabalançada pelo alargamento da praia que está relacionado com a recuperação do delta de maré na Barra Norte do Rio Comandatuba.	inteiramente contida na propriedade do hotel e será contrabalançada pelo alargamento da praia que está relacionado com a recuperação do delta de maré na Barra Norte do Rio Comandatuba.
	Interferência com as dunas	Atualmente, o sistema de dunas existente no trecho da ilha ao longo da propriedade do hotel é frágil. São dunas estreitas e baixas, recoberta por alguns tipos de vegetação rasteira, que fixa a areia. Essas dunas fornecem a última barreira de proteção à propriedade em situações de marés meteorológicas.	Como ação complementar, está previsto o reforço da duna, com o seu alargamento, aumento da altura e fixação com vegetação nativa. Este alargamento será feito com areia capturada pela estrutura intrusiva. O aspecto da duna reforçada será completamente natural.	Como ação complementar, está previsto o reforço da duna, com o seu alargamento, aumento da altura e fixação com vegetação nativa. Este alargamento será feito com areia capturada pela estrutura intrusiva. O aspecto da duna reforçada será completamente natural.
BIÓTICO	Interferência com a biota aquática	A biota aquática da área diretamente afetada pelas obras consiste nos invertebrados que compõem o bentos, aves marinhas que utilizam a área para alimentação e tartarugas que utilizam a praia para desova no período reprodutivo.	A implantação da estrutura causará sepultamento das comunidades bentônicas no trecho ocupado pelas pedras. As aves e nidificação de tartarugas marinhas não serão afetadas. Haverá implantação de uma área de substrato consolidado (rochoso) onde antes havia areia, levando ao aumento de biodiversidade local, já que o substrato consolidado será colonizado por larvas de organismos e algas sésseis, que toleram a exposição periódica à luz solar.	A implantação da estrutura causará sepultamento das comunidades bentônicas no trecho ocupado pelas pedras. As aves e nidificação de tartarugas marinhas não serão afetadas. Haverá implantação de uma área de substrato consolidado (rochoso) onde antes havia areia, levando ao aumento de biodiversidade local, já que o substrato consolidado será colonizado por larvas de organismos e algas sésseis, que toleram a exposição periódica ao ar.
	Interferência com a biota terrestre.	A biota terrestre apresenta representantes de aves,	Não se espera nenhum tipo de interferência com ecossistemas	Não se espera nenhum tipo de interferência com ecossistemas

BIOMONITORAMENTO E MEIO AMBIENTE



Coordenador da Equipe Técnica

Responsável Técnico

Revisão 00
03/2010

MEIO AVALIADO	ASPECTO AVALIADO	NÃO EXECUÇÃO DO EMPREENDIMENTO	ESPIGÃO RETO	PENÍNSULA ARTIFICIAL
		mamíferos, répteis, dentre outros	terrestres, já que toda a obra será desenvolvida na praia, e as instalações de apoio as obras serão aquelas já existentes no interior do hotel. Não haverá remoção de cobertura vegetal.	terrestres, já que toda a obra será desenvolvida na praia, e as instalações de apoio as obras serão aquelas já existentes no interior do hotel. Não haverá remoção de cobertura vegetal.
SÓCIOECONOMICO	Interferência com o uso da praia	Atualmente a praia é frequentada apenas por visitantes do hotel devido às dificuldades naturais de acesso. Esta condição deve se manter inalterada no futuro.	Gera corte da praia e impede a passagem.	O preenchimento é feito com areia. Gera uma elevação na praia, mas não impede a passagem.
	Interferência com tráfego terrestre	A rodovia de acesso ao Hotel é a BA-001. Esta rodovia pavimentada encontra-se em boas condições de uso e está capacitada para o tráfego de caminhões. Estas mesmas características devem se manter.	Considerando uma média de 6 m ³ por caçamba, estão previstas 805 viagens de caçambas pelo período de 3 meses, o que representa o tráfego de 9 caçambas/dia durante a obra. Como a estrada apresenta tráfego pouco intenso a interferência trazida por este volume de tráfego é baixa.	Neste caso, adotando os mesmos 6 m ³ por caçamba estão previstas cerca de 15 caçambas/dia durante a obra. Embora maior que o tráfego gerado pela outra alternativa, em função da baixa intensidade de tráfego na BA-001 a interferência continua sendo considerada baixa.
	Interferência com o tráfego no Canal do Rio Comandatuba	O Canal do Rio Comandatuba é utilizado para navegação por pescadores e pelo próprio hotel, que apresenta embarcações adequadas para o transporte de pessoal/passageiros (a partir de um terminal na vila de Comandatuba) e carga (a partir de um terminal em separado). O curto trecho de acesso ao hotel, com cerca de 600 metros de extensão, é o mais movimentado.	Haverá um tráfego adicional de chata (balsa) para o transporte das caçambas, à razão de 9 caçambas/dia durante 3 meses. O aumento do tráfego será diluído ao longo do dia, misturando-se com as operações normais do Hotel.	Haverá um tráfego adicional de chata (balsa) para o transporte das caçambas, à razão de 15 caçambas/dia durante 3 meses. O aumento do tráfego será diluído ao longo do dia, misturando-se com as operações normais do Hotel.
	Interferência com banhistas	Atualmente, os banhistas que	Pode gerar correntes de retorno	Devido ao seu formato

BIOMONITORAMENTO E MEIO AMBIENTE



Coordenador da Equipe Técnica

Responsável Técnico

Revisão 00
03/2010

MEIO AVALIADO	ASPECTO AVALIADO	NÃO EXECUÇÃO DO EMPREENDIMENTO	ESPIGÃO RETO	PENÍNSULA ARTIFICIAL
		freqüentam a praia em frente do hotel estão praticamente restritos a hóspedes e funcionários do hotel. Esta utilização de baixa densidade deve se manter devido às dificuldades de acesso à praia.	perigosas para banhistas, puxando-os para o alto-mar, em função da interação entre as correntes litorâneas e a estrutura.	hidrodinâmico, evita o desenvolvimento de correntes de retorno, mantendo a praia segura para banhistas.
	Interferência com a paisagem	Atualmente, a paisagem no local de implantação das obras é formada pelo mar, com uma faixa branca formada pela arrebentação das ondas, seguida por uma faixa de areia de cor creme clara, de baixa declividade, seguida, por sua vez, por uma duna baixa, recoberta por vegetação rasteira.	A implantação do espigão seccionará a praia, com um obstáculo escuro (pedras graníticas) e impedirá a visualização da linha de costa ao norte da estrutura.	A implantação da península artificial gerará uma estrutura com formato aproximadamente semi-circular situada na zona de arrebentação, a qual estará unida à praia por areia. Terá uma aparência mais natural que a outra alternativa, assemelhando-se a um afloramento rochoso natural.
	Interferência com a pesca	A pesca praticada na região confrontante com o hotel envolve arrasto de camarão, pesca com linha e rede, espinhel e rede de lagosta. Sem o empreendimento permanecerá no mesmo padrão.	Devido à localização e as pequenas dimensões da estrutura, situada na zona de arrebentação durante a maré cheia (na maré vazia a estrutura estará inteiramente na praia), não interferirá com nenhuma das atividades de pesca artesanal desenvolvidas.	Devido à localização e as pequenas dimensões da estrutura, situada na zona de arrebentação durante a maré cheia (na maré vazia a estrutura estará inteiramente na praia), não interferirá com nenhuma das atividades de pesca artesanal desenvolvidas.

6.2.3. Conclusões da Análise

A partir da análise do **QUADRO 6.2.2-1** é possível verificar que as duas alternativas são equivalentes em termos dos aspectos referentes ao meio físico. Deste modo, ambas ocasionam retenção de areia na praia em frente ao Hotel Transamérica no período mais crítico do ano (março a setembro) e geram pequena erosão de longo prazo (recuo da ordem de 10 m) logo ao norte da estrutura, sendo que essa erosão será inteiramente absorvida no interior da propriedade do hotel. O acúmulo de areia ao sul da estrutura será essencial para o fortalecimento das dunas ao longo da propriedade do hotel, o que assegurará a proteção da propriedade. Portanto, em termos do meio físico as duas alternativas foram consideradas equivalentes.

No meio biótico, as interferências das duas alternativas estão praticamente restritas aos ecossistemas aquáticos. Ambas as alternativas ocasionarão mortandade de bentos de fundo inconsolidado, o qual, segundo os dados colhidos na etapa de diagnóstico, é formado por algumas espécies de invertebrados em baixas densidades. Por outro lado, esse efeito negativo será contrabalançado, nos dois casos, pela criação de novo habitat de fundo consolidado, que permitirá a colonização das pedras situadas na faixa de variação da maré por fauna e flora bentônica sésil e/ou móvel, característica de fundos consolidados. Este tipo de fauna não apresenta atualmente, condições de ocorrência no local devido à ausência de fundos consolidados na área. Considera-se que as duas alternativas são mais ou menos equivalentes em relação ao meio biótico, e os seus impactos serão de pequena expressão. Tanto a nidificação de tartarugas marinhas como as atividades de alimentação de aves marinhas continuarão a ocorrer normalmente na área.

No meio socioeconômico nenhuma das alternativas de intervenção apresentadas apresenta o potencial de impactar a atividade pesqueira. Contudo, a opção do espigão reto é desfavorável em relação à interferência com a paisagem, ao uso da praia por banhistas e à interrupção da passagem ao longo da praia. A opção da península artificial é levemente mais desfavorável em relação ao tráfego terrestre e marítimo devido ao maior volume de pedras a ser utilizado nesta opção.

Como os aspectos desfavoráveis da opção do espigão reto são de longo prazo e os aspectos desfavoráveis da península artificial são de curto prazo (ocorrem por 3 meses – período estimado para as obras), recomenda-se pela implantação da alternativa da península artificial, sendo esta a alternativa escolhida.