

Curso Básico de Percepção de Risco Geológico
Vitória, 26 de Setembro de 2018



Obras de Contenção de Processos Erosivos e Medidas Mitigadoras

PABLO MERLO PRATA

Coordenação de Gestão Costeira e o Territorial - IEMA

Obras de Contenção de Processos Erosivos e Medidas Mitigadoras

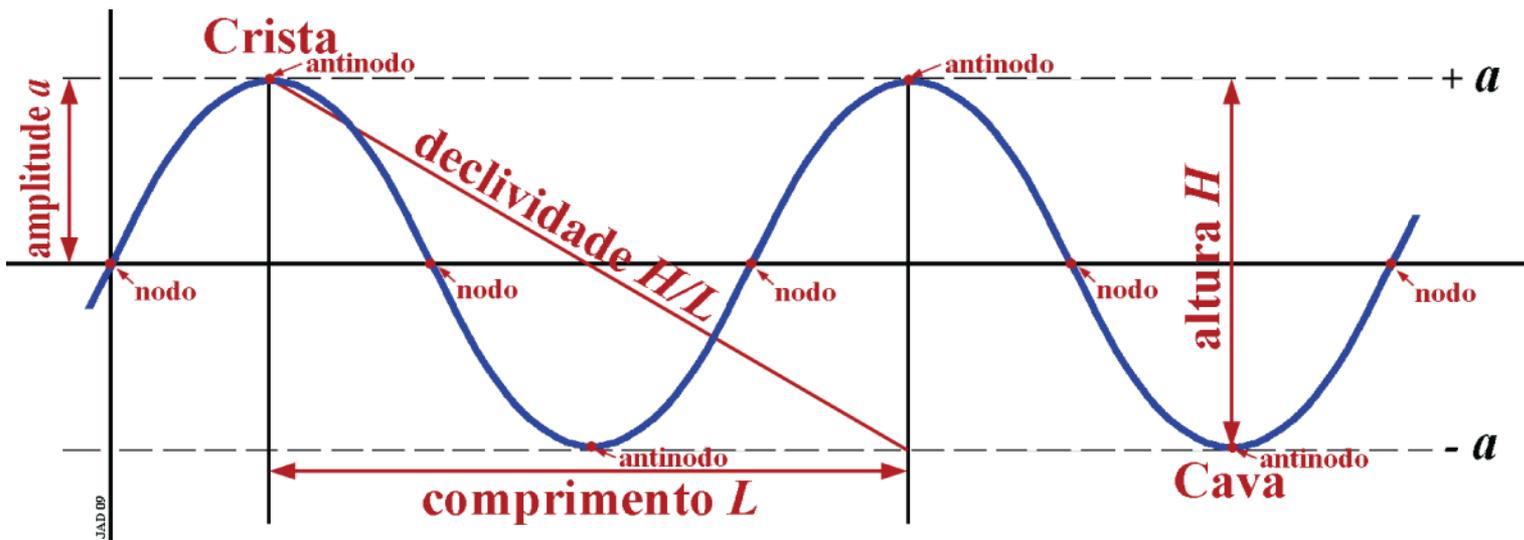
- 1) Ondas e dinâmica costeira
- 2) Tipos de obras de contenção de erosão
- 3) Medidas Mitigadoras

1) Ondas e Dinâmica Costeira

- 1.1) Parâmetros de ondas
- 1.2) Transformação de ondas em águas rasas
- 1.3) Quebra de onda
- 1.4) Correntes induzidas por ondas
- 1.5) Transporte de sedimentos

1.1) Parâmetros de ondas

Os principais parâmetros de uma onda são: período, comprimento, altura e amplitude.

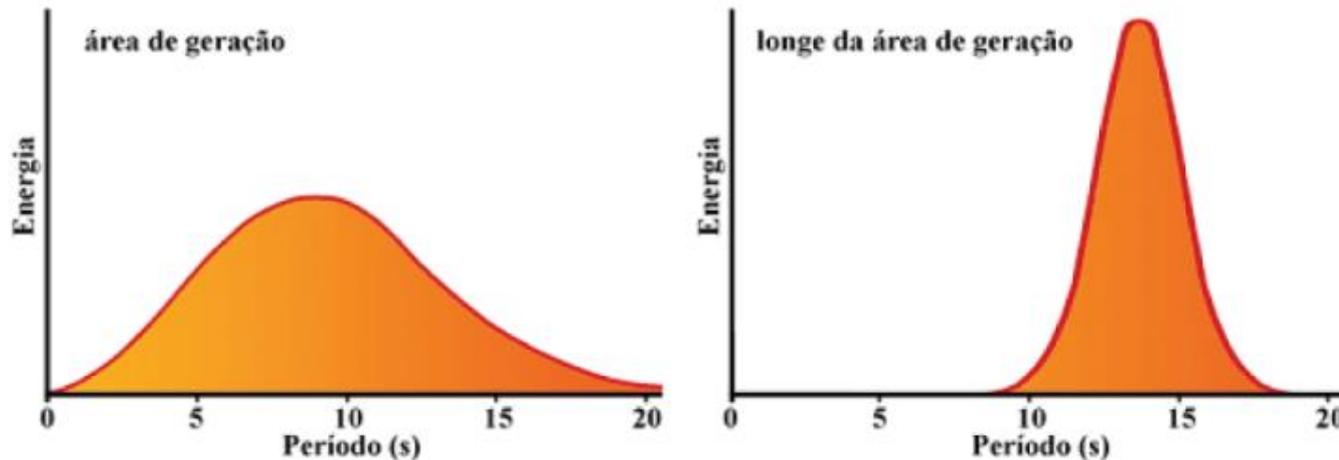


1.1) Parâmetros de ondas

Período (T):

Período é o intervalo de tempo entre duas ondas vizinhas passando no mesmo ponto. Podemos dizer que o período é proporcional a distância entre duas ondas vizinhas.

Quanto maior o período, maior o comprimento de onda e portanto maior a sua energia.



No mar, quanto maior o período da onda maior é a distância percorrida até o local de medição.

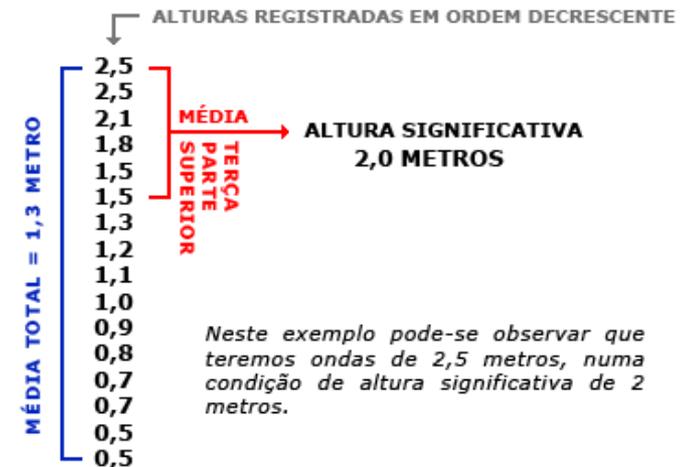
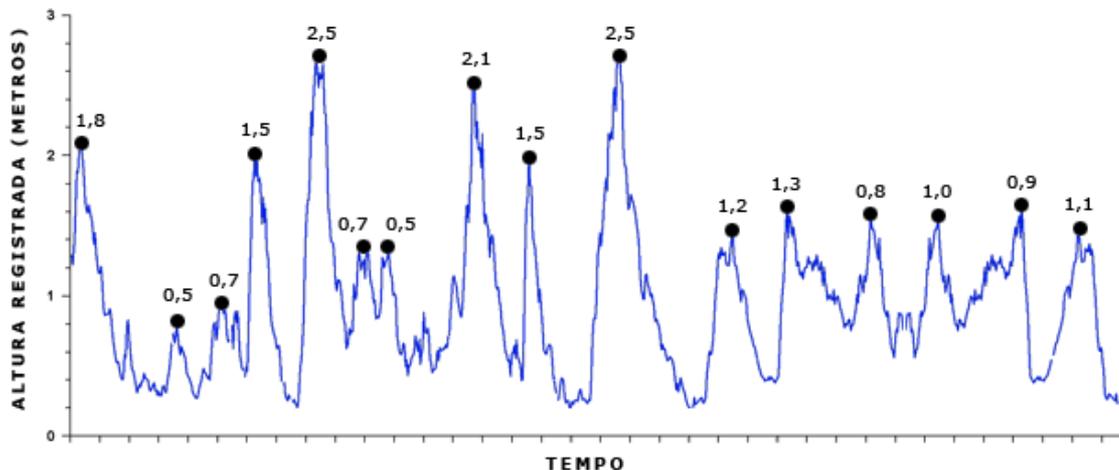
1.1) Parâmetros de ondas

Altura Significativa (H_s):

É a média da terça parte das ondas com maior altura registadas durante um determinado tempo.

Considerando que o tamanho das ondas varia bastante num período relativamente curto de tempo, a média de tamanho das ondas do grupo, seria uma aproximação.

EXEMPLO DE CÁLCULO DE ALTURA SIGNIFICATIVA

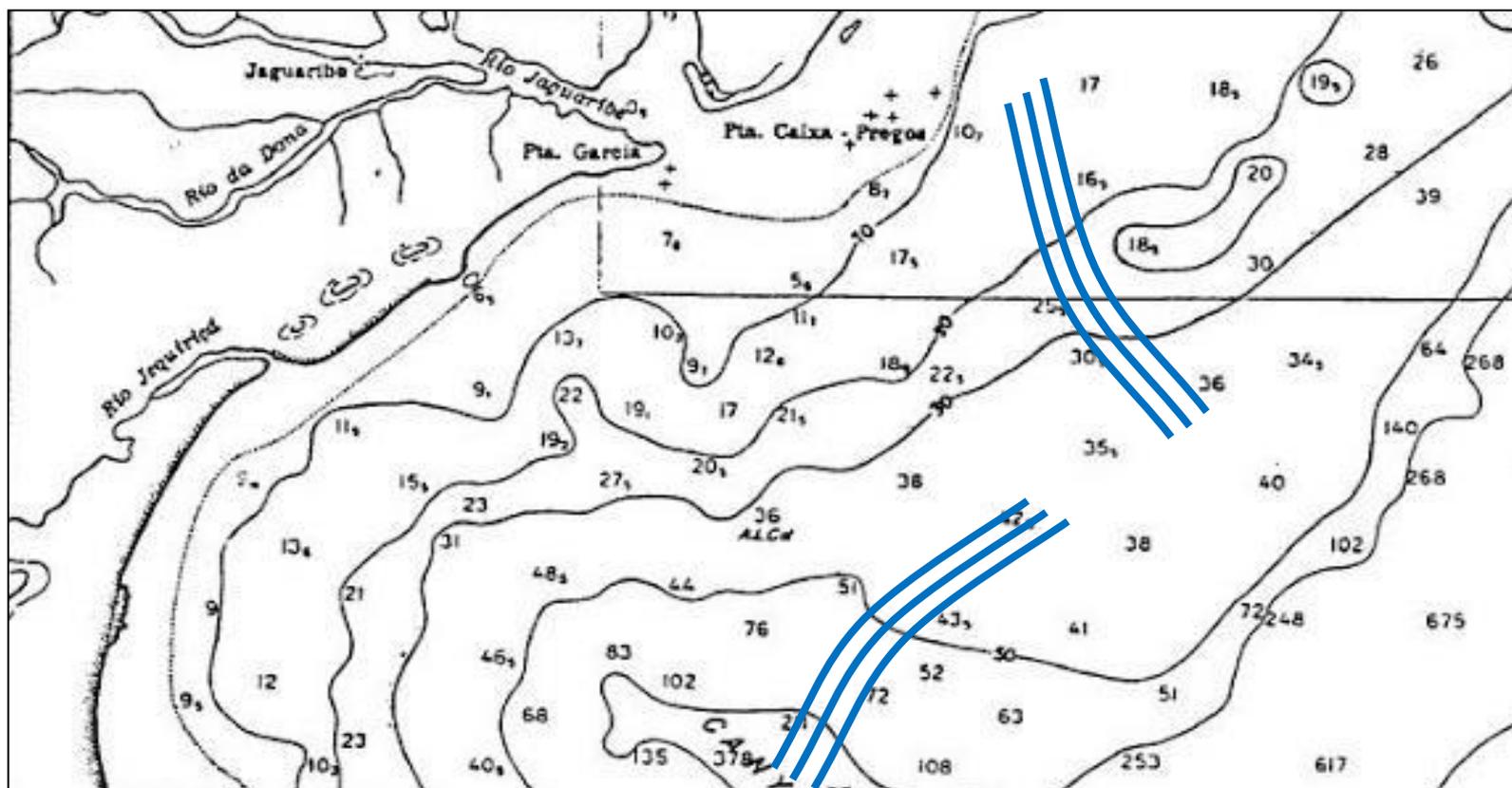


Neste exemplo pode-se observar que teremos ondas de 2,5 metros, numa condição de altura significativa de 2 metros.

1.1) Parâmetros de ondas

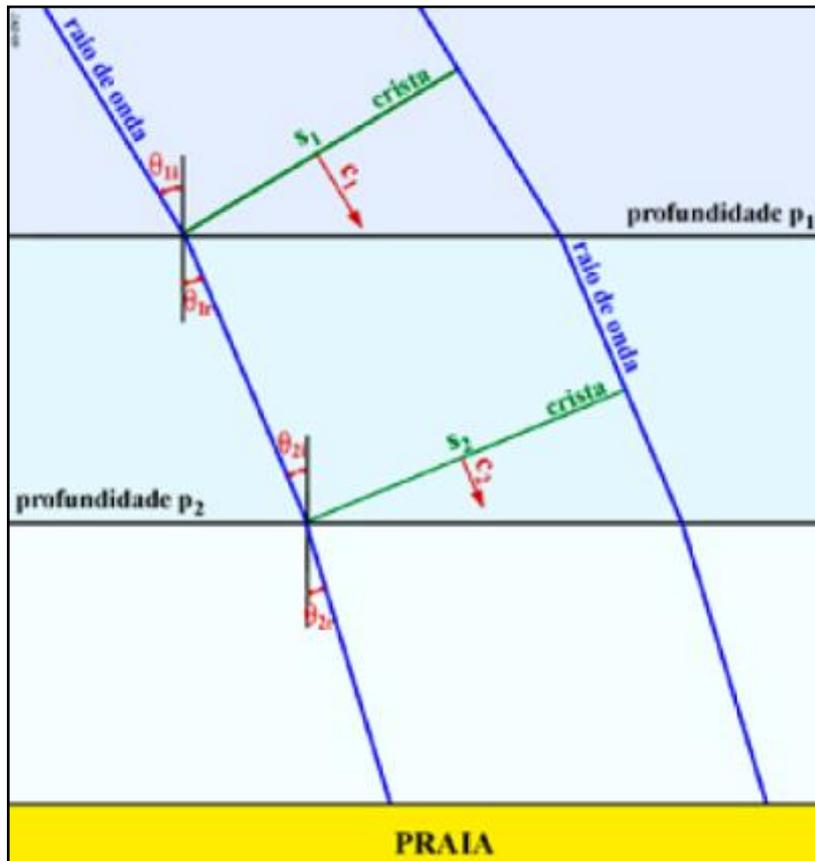
Ângulo de Incidência (T):

Tem como fundamento a refração de ondas.



1.1) Parâmetros de ondas

Ângulo de Incidência (T):

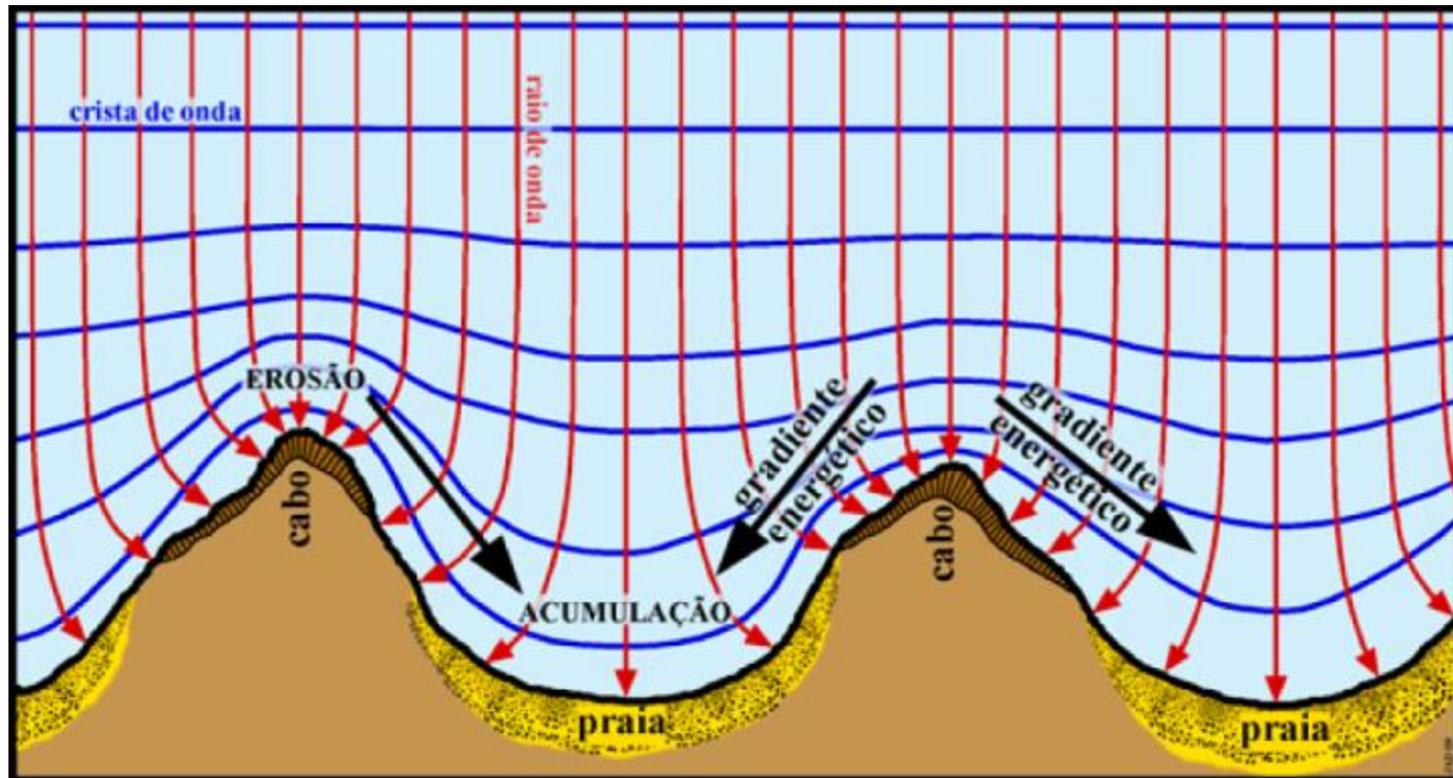


θ_1 e θ_2 são os ângulos de incidência quando o raio de onda atinge respectivamente as profundidades d_1 e d_2 , e c_1 e c_2 são as velocidades da onda nesses pontos.

1.1) Parâmetros de ondas

Ângulo de Incidência (T):

A partir do seu conhecimento determina-se qual porção da costa recebe maior energia de ondas.



1.1) Parâmetros de ondas

Energia de Onda (E):

A energia da onda entre raios de onda mantém-se constante, o que significa que se a distância entre os raios de onda diminui (comprimento de onda), há maior concentração de energia. Como a energia da onda é proporcional à sua altura:

$$E = 1/8 \rho g H^2$$

para acomodar essa maior energia a onda aumenta de altura; se a distância entre os raios de onda aumenta, há dispersão de energia (e consequente diminuição da altura da onda).

1.2) Transformação de ondas em água rasa

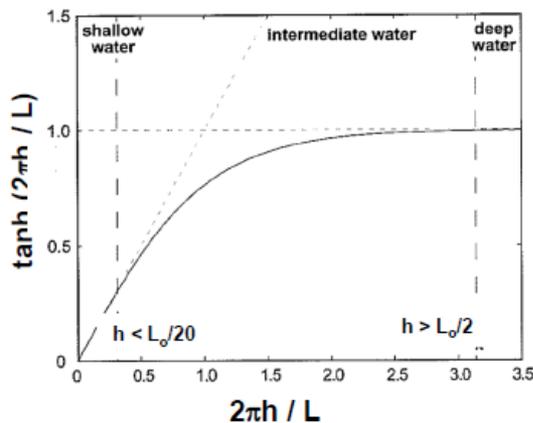
Teoria Linear de Ondas

$$L = \frac{g T^2}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi h}{L}\right)$$

$$C = \frac{L}{T} = \frac{g T}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi h}{L}\right)$$

Com a diminuição da profundidade $\tanh(2\pi h / L) \Rightarrow (2\pi h / L)$.

Se a profundidade local é menor que $1/20^{\text{a}}$ de L_0 , então



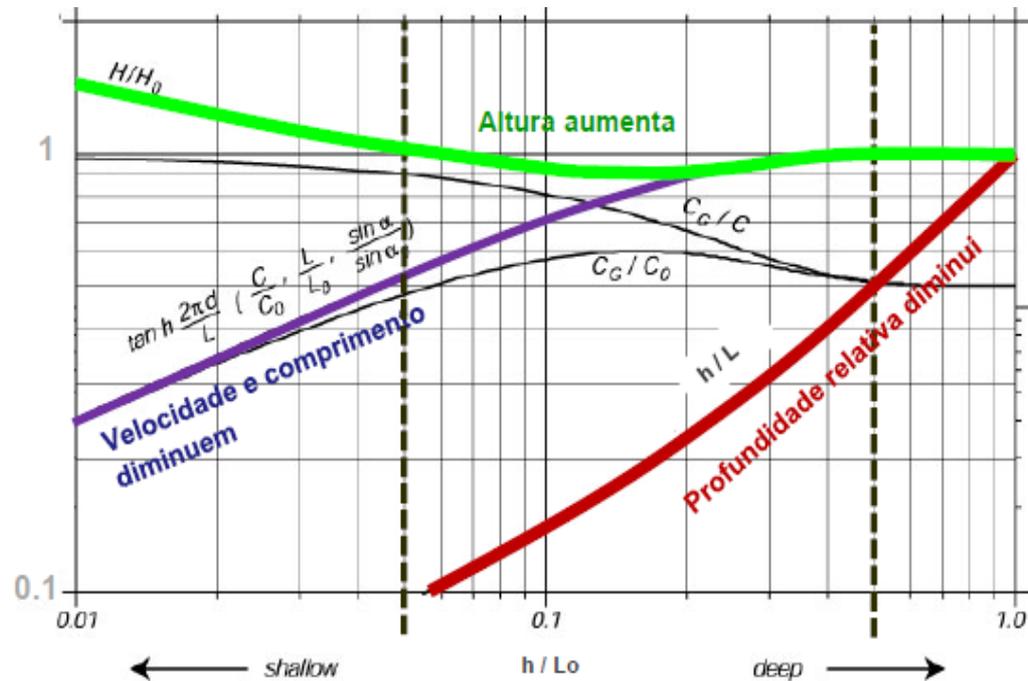
$$L_s = T (gh)^{0.5}$$

e

$$C_s = (gh)^{0.5}$$

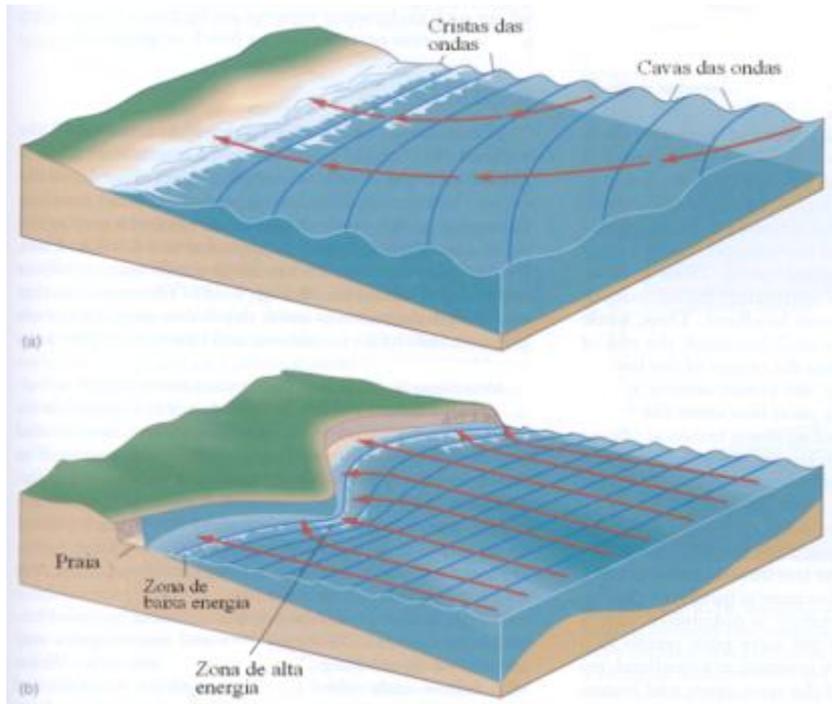
O comprimento e velocidade de propagação da onda tornam-se função da profundidade local

1.2) Transformação de ondas em água rasa



L = comprimento, C = velocidade, C_g = velocidade de grupo, H = altura. Subscrito $_0$ refere-se a águas profundas.

1.2) Transformação de ondas em água rasa



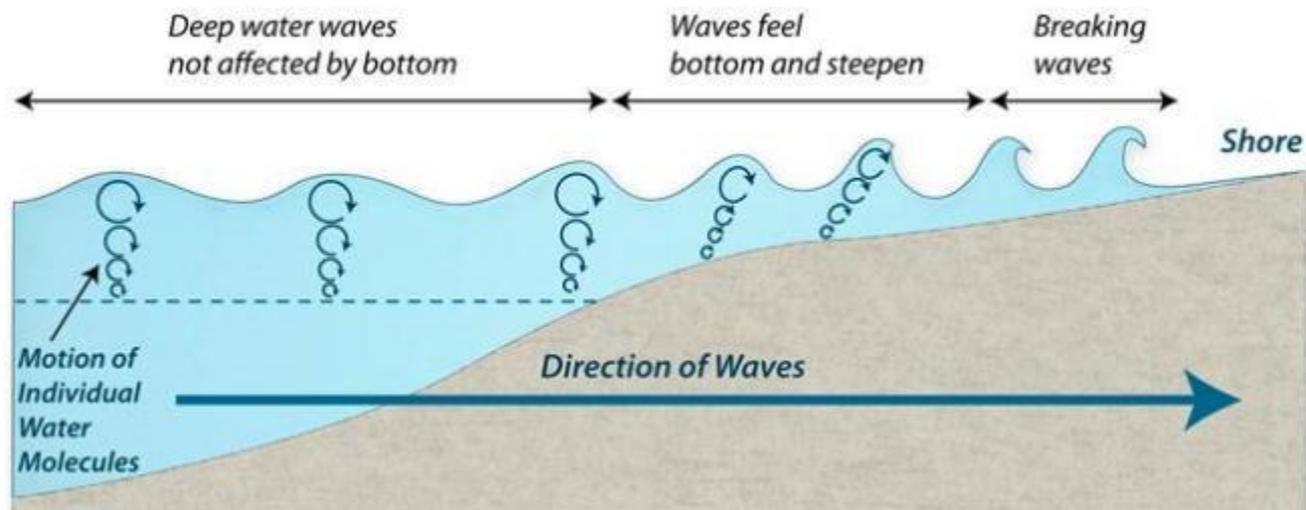
Estas transformações ocorrem porque a onda passa a interagir com o fundo. A orientação dos trens de onda dificilmente coincide com a orientação das isóbatas, e assim sessões do trem de ondas propagando-se em águas mais rasas sentirá o fundo primeiro, alterando sua velocidade. Velocidades de propagação diferentes ao longo de uma crista faz com que esta se curve (refração).

1.3) Quebra de onda

As ondas tendem a quebrar quando a profundidade da água é aproximadamente 20% maior que a altura da onda.

$$H_b = 0.78 h$$

A onda em quebra recebe um incremento de 1,2 vezes sua altura antes da quebra, ou seja, $H_b = 1,2H_s$.

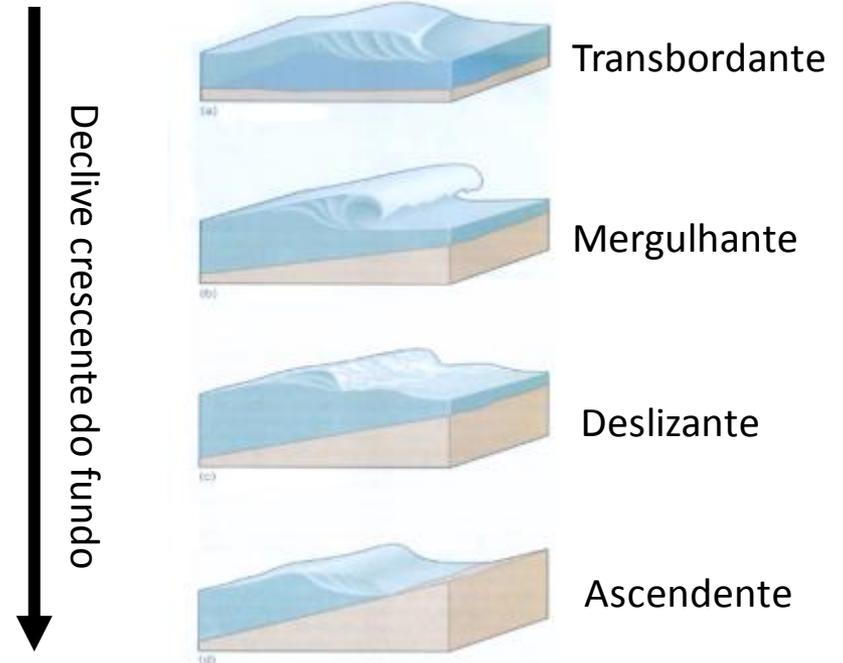


1.3) Quebra de onda

O tipo de quebra está relacionado com a inclinação do leito ($\tan\alpha$), e é obtido pelo cálculo do nº de Iribarren:

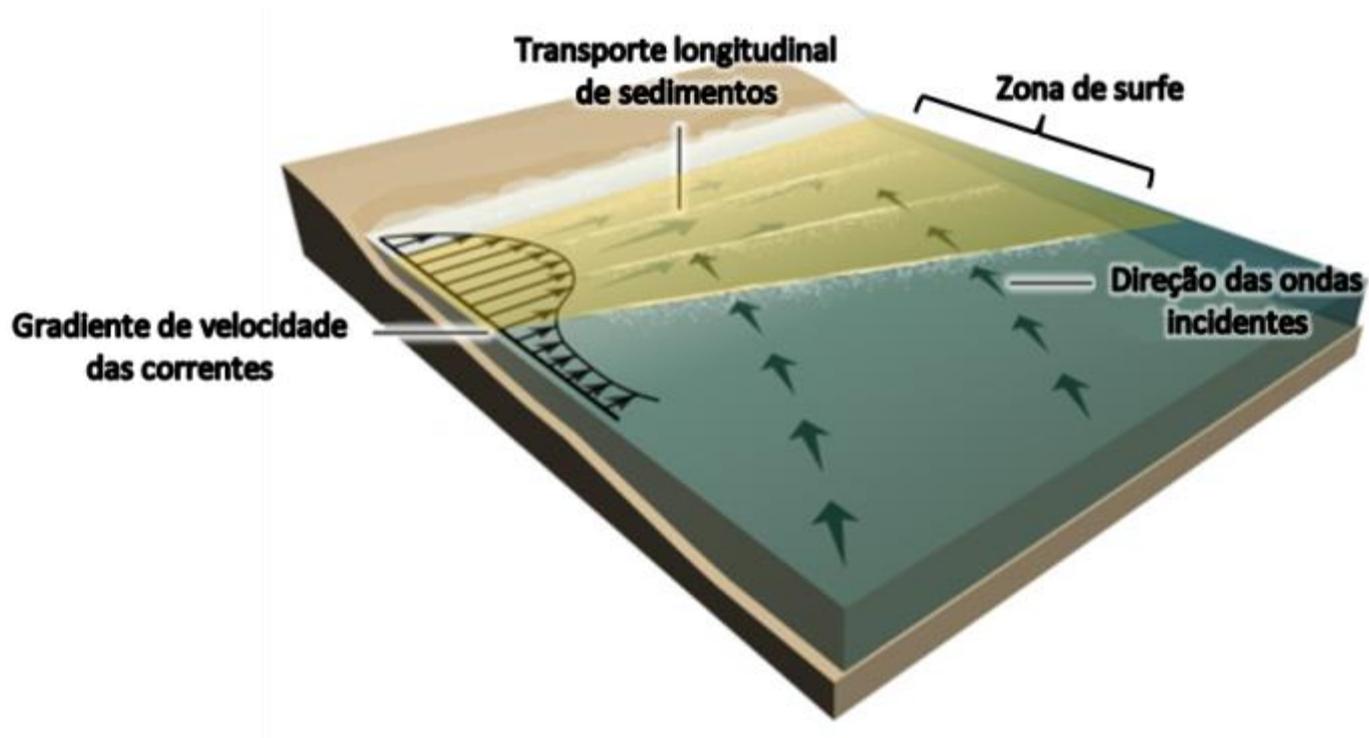
$$\xi_b = \frac{\tan\alpha}{\sqrt{H_b/L_0}},$$

Inclinação	Tipo de quebra	Nº de Iribarren
Suave	Deslizante e Ascendente	$\xi_b < 0,2$
Intermediária	Mergulhante	$0,4 < \xi_b < 0,2$
Acentuada	Transbordante	$\xi_b < 0,4$



1.4) Correntes induzidas por ondas

a) Corrente Longitudinal



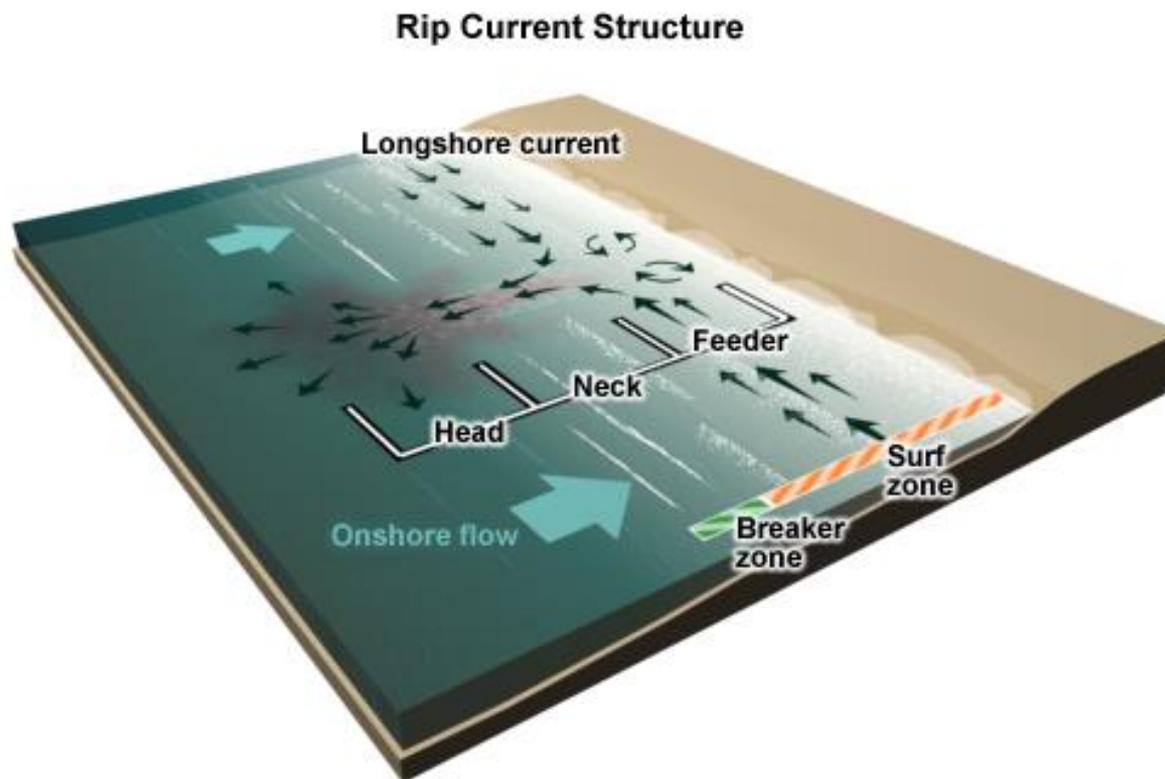
1.4) Correntes induzidas por ondas

Uma vez que a onda sente o fundo, a direção de propagação e velocidade alteram-se, com as cristas tendendo a ficar paralelas ao contorno topográfico.



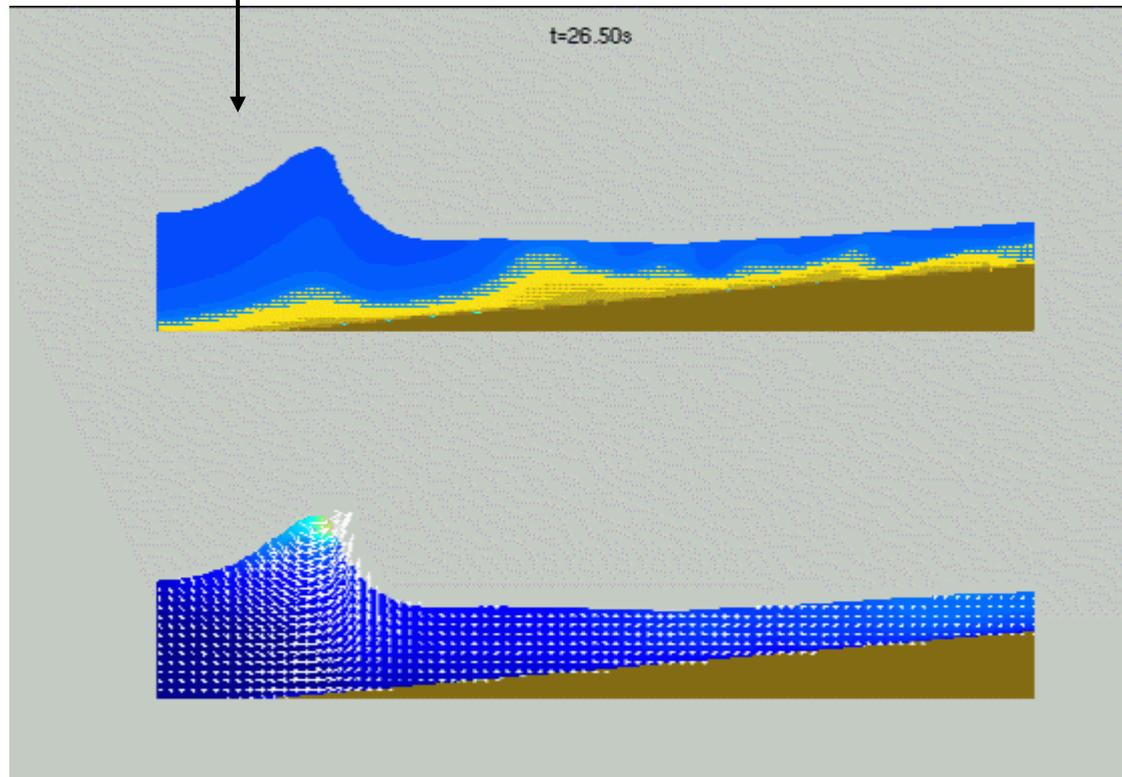
1.4) Correntes induzidas por ondas

b) Corrente de Retorno

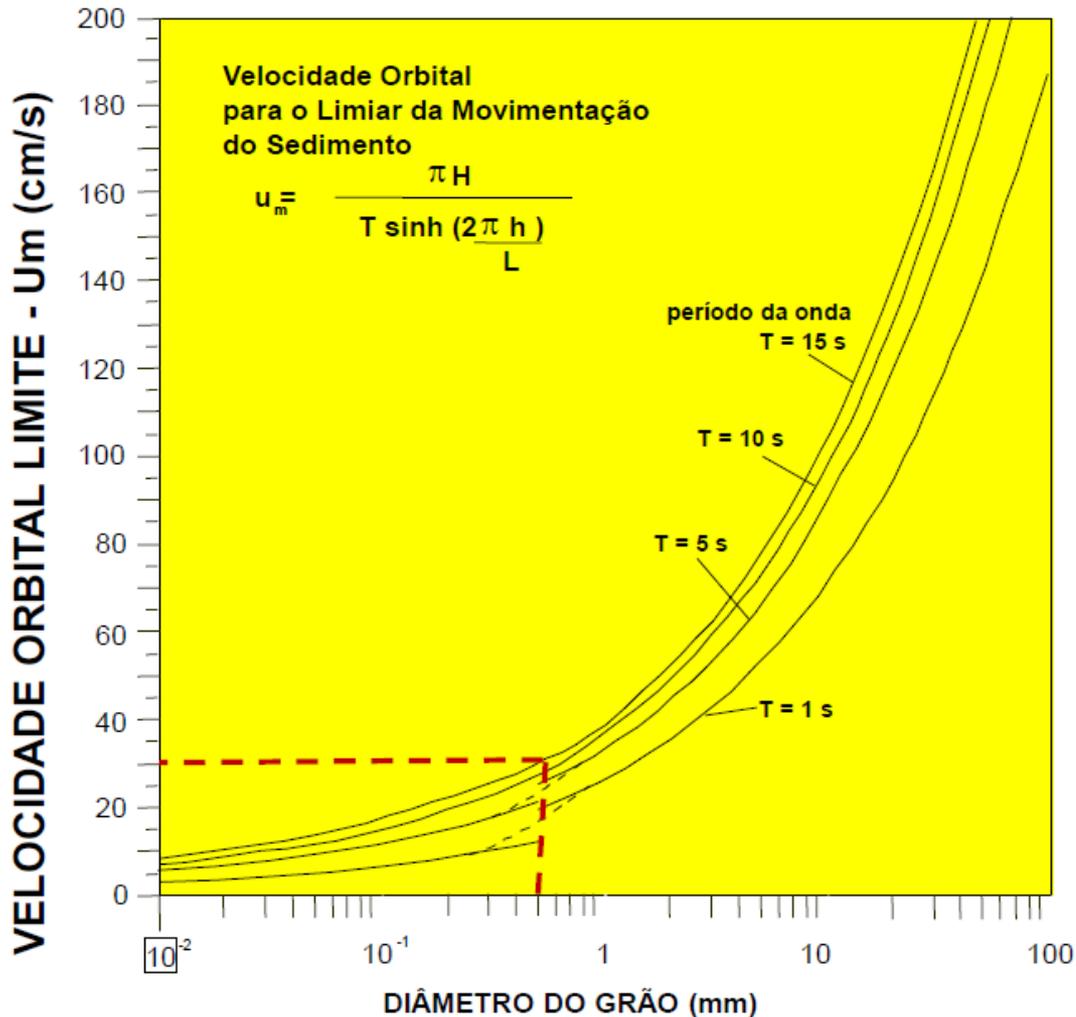


1.5) Transporte de sedimentos

Quando a onda se aproxima da costa ($h > L / 2$) seus orbitais interagem com o substrato. Este movimento dá início ao processo de transporte de sedimentos e ocorre com maior intensidade na denominada Zona de Surfe, localizada logo após a **profundidade de quebra de ondas**.



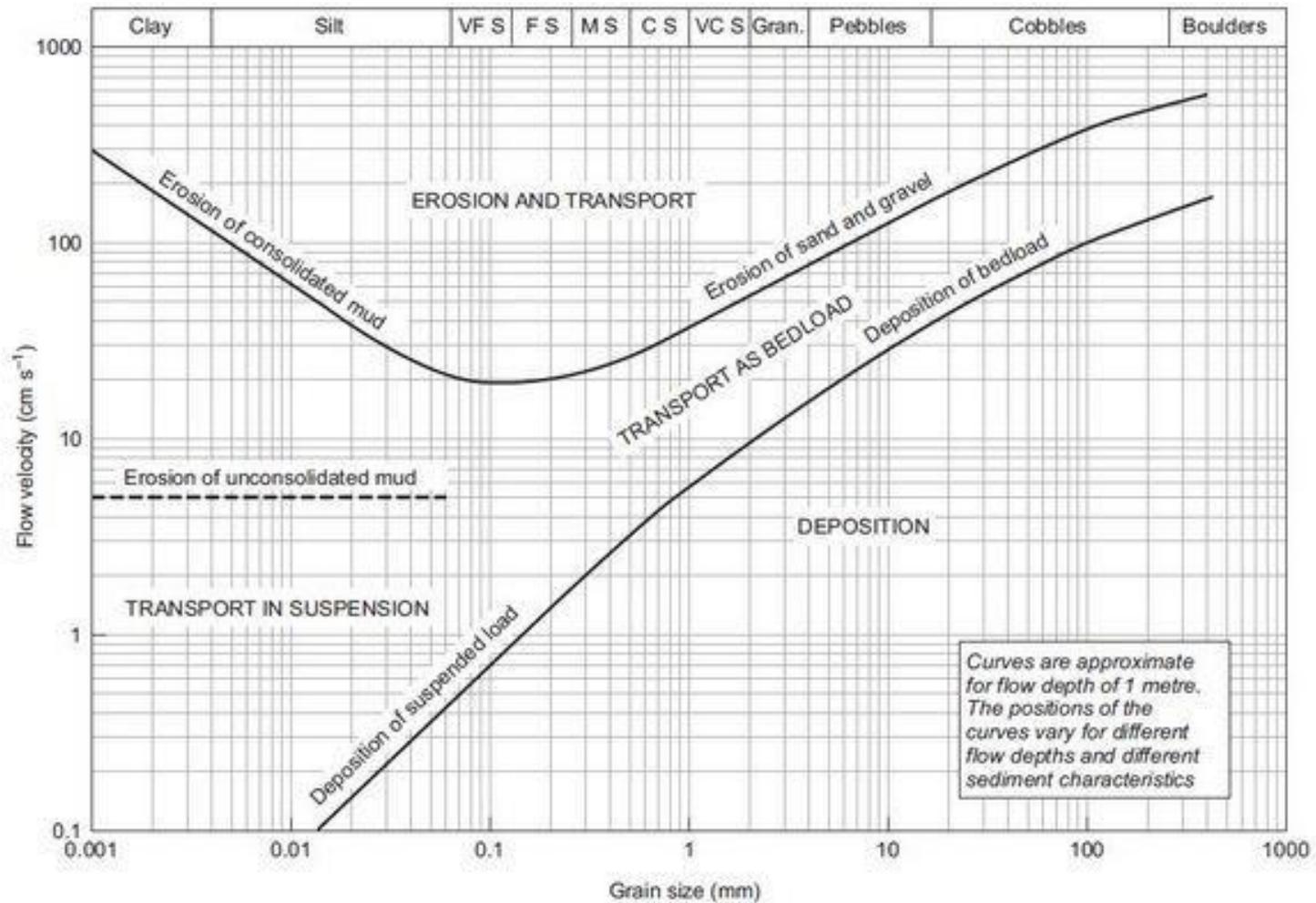
1.5) Transporte de sedimentos



Ex.: A velocidade crítica para um grão de 0,5 mm iniciar seu movimento é de 30cm/s para ondas de T=15 s.

1.5) Transporte de sedimentos

Diagrama de Hjulstrom



2) Obras de contenção de erosão

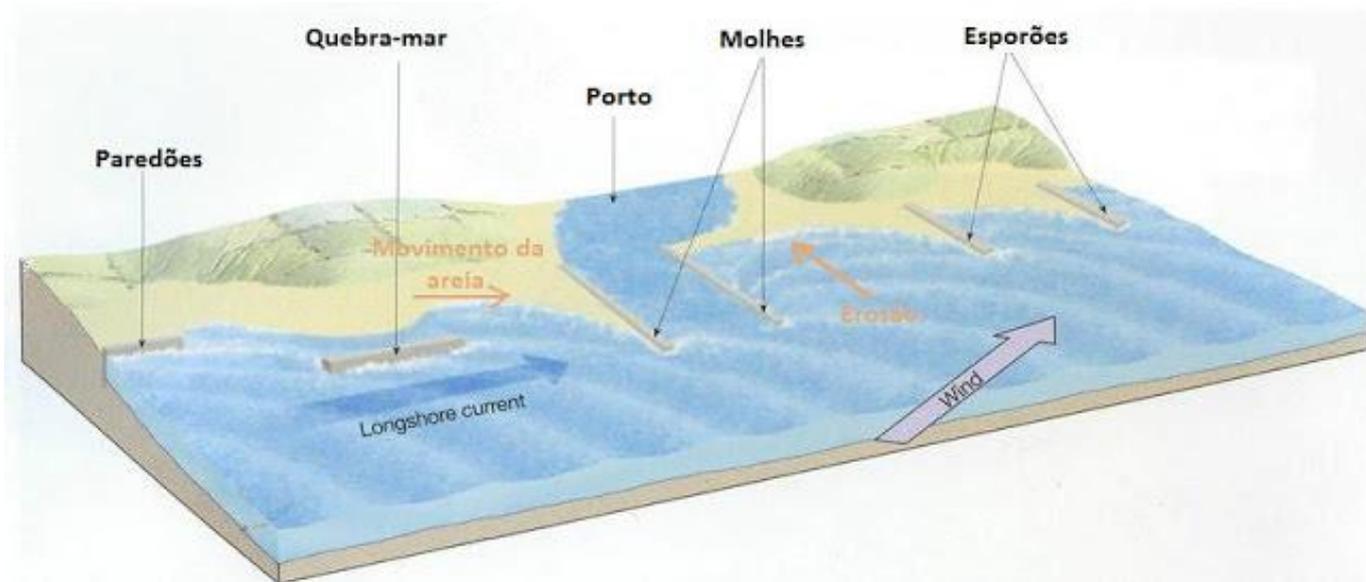
2.1) Estruturas Duras

2.2) Estruturas Macias

2.1) Estruturas Duras

São estruturas formadas por blocos de rocha ou concreto armado, que tem como função refletir, direcionar ou dissipar a energia das ondas. Devido estas características, geralmente há criação de zonas de erosão e deposição de sedimentos.

As estruturas duras podem ser aderidas à linha de costa (paralelamente ou perpendicularmente), ou serem dispostas ao largo no mar (de forma emersa ou submersa).

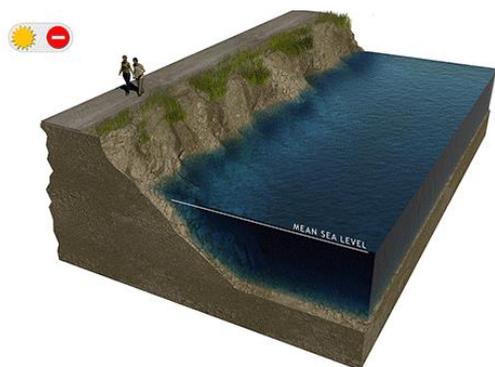


2.1) Estruturas Duras: Paralelamente aderidas à costa

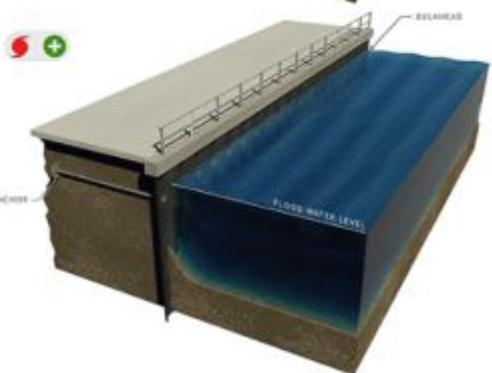
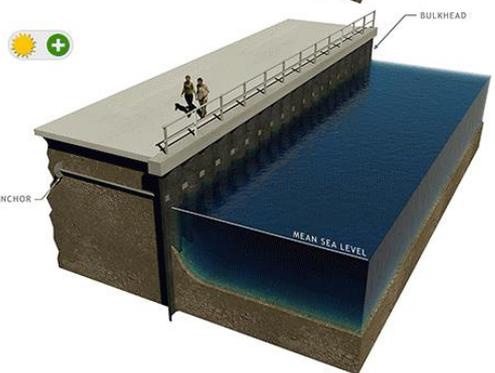
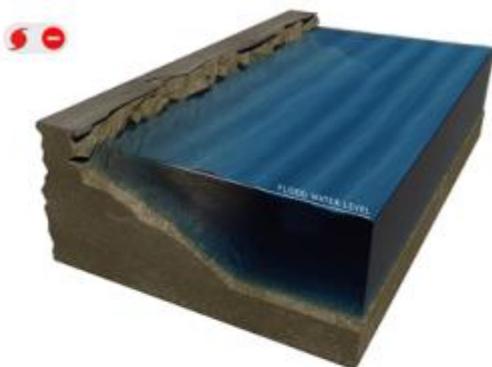
Muros de praia – *Seawall*

São estruturas de concreto armado empregadas em locais onde o depósito arenoso é pouco desenvolvido. Podem ser construídos como muros de gravidade ou atirantado. Cumpre a mesma função de gabiões .

Tempo bom



Tempestade



Vantagens:

- Materiais de construção disponíveis;
- Permitem associar sistemas de drenagem ao projeto;
- Técnica construtiva simples;
- Baixa manutenção.

Desvantagens:

- Causam reflexão de ondas (depende do nível do mar);
- Causam aplainamento do perfil da praia;
- Perde-se o valor paisagístico e recreacional da praia.

2.1) Estruturas Duras: Paralelamente aderidas à costa

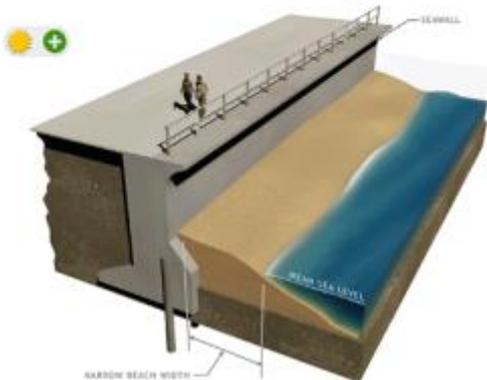
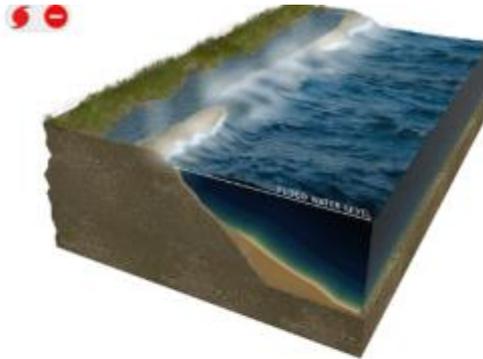
Muros de praia curvado – *Curved Seawall*

São estruturas de concreto armado empregadas em locais onde o depósito arenoso é pouco desenvolvido e sua fundação consegue atingir o depósito sedimentar mais antigo (mais consolidado). Dissipa energia de onda pela criação de vórtice.

Tempo bom



Tempestade



Vantagens:

- Materiais de construção disponíveis;
- Permitem associar sistemas de drenagem ao projeto;
- Baixa manutenção.

Desvantagens:

- Técnica construtiva complexa.
- Podem causar reflexão de ondas (depende do nível do mar);
- Perde-se o valor paisagístico e recreacional da praia.

2.1) Estruturas Duras: Paralelamente aderidas à costa

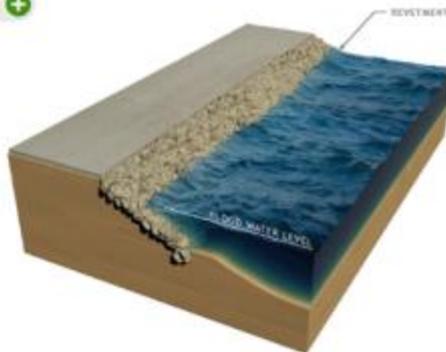
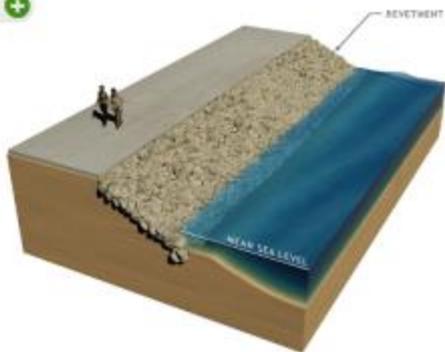
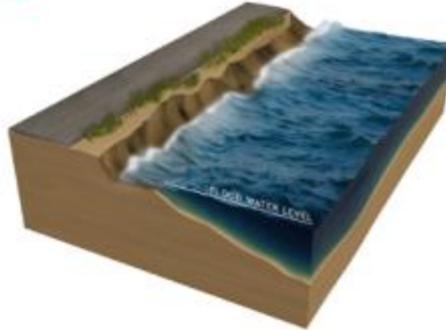
Enrocamento

São empregados em locais onde o depósito arenoso é mais desenvolvido, buscam estabelecer um talude para o galgamento das ondas.

Tempo bom



Tempestade



Vantagens:

- Baixa manutenção;
- Permitem a dissipação da energia de ondas.

Desvantagens:

- Técnica construtiva especializada;
- Podem causar reflexão de ondas (ondas oblíquas/de borda);
- Materiais de construção dependem da distância da jazida;
- Perde-se o valor paisagístico e recreacional da praia.

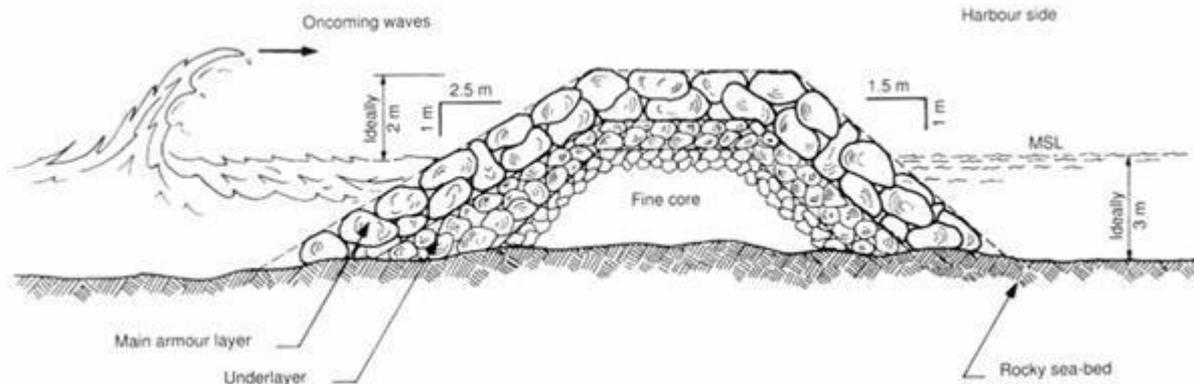
2.1) Estruturas Duras: Paralelamente aderidas à costa

Enrocamento

A fórmula de Hudson foi desenvolvida em 1959 e é largamente utilizada para a determinação da massa dos blocos do manto resistente de um enrocamento, quebramar ou espigão.

$$W_{50} = \frac{\rho_r g H^3}{K_D \Delta^3 \cot \alpha}$$

- W_{50} = Peso médio do enrocamento ($W_{50} = \rho_r g D_{n50}^3$);
- ρ_r = Massa volúmica dos blocos rochosos;
- H = Altura de onda característica no pé do talude;
- K_D = Coeficiente empírico de estabilidade;
- Δ = Densidade relativa ($\rho_r / \rho_w - 1$);
- α = Ângulo do talude com a horizontal.



2.1) Estruturas Duras: Paralelamente aderidas à costa

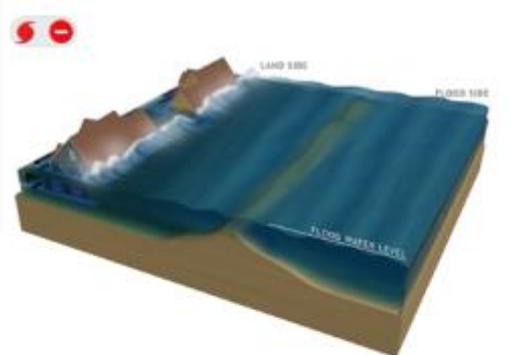
Diques revestidos

São empregados em baías abrigadas ou estuários onde as ocupações estão localizadas abaixo do nível do mar, sujeitas a sérias inundações por marés meteorológicas.

Tempo bom



Tempestade



Vantagens:

- Materiais de construção de fácil aquisição;
- Técnica construtiva pouco complexa.

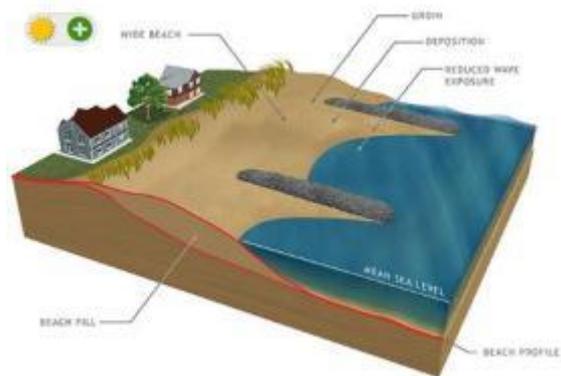
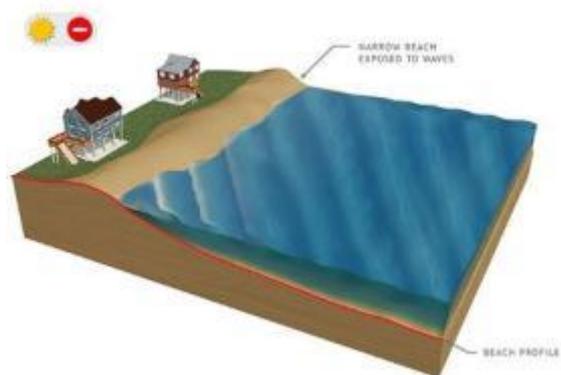
Desvantagens:

- A drenagem continental fica prejudicada;
- Necessária a implantação de estações de bombeamento;
- Manutenção periódica;
- Perde o valor paisagístico e recreacional da orla.

2.2) Estruturas Duras: Perpendicularmente aderidas à costa

Espigões

Possuem função de aprisionar uma porção de areia que é movimentada no sistema de transporte litorâneo. Uma pequena acumulação de areia desenvolverá a barlar em cada espigão, assim construindo uma irregular, mas ampla praia, na região do espigão receptora da corrente.



Vantagens:

- Criam áreas de recreação (pesca);
- Baixa manutenção;
- Utilizados para estabilizar engordamentos artificiais de praia;
- Permite o uso recreacional.

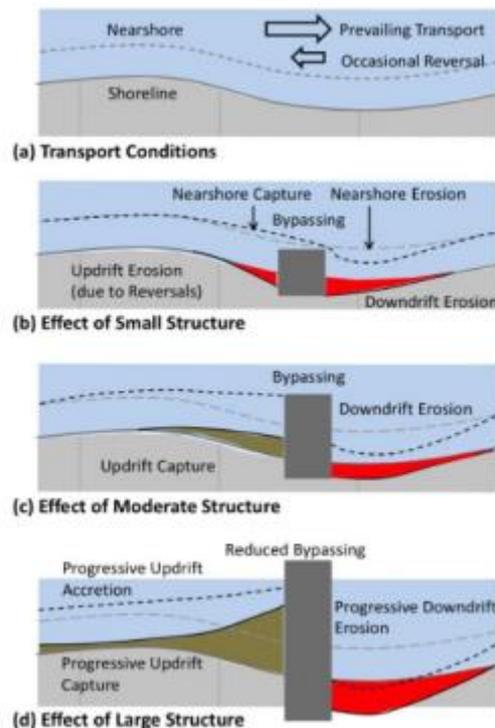
Desvantagens:

- Desenvolvem processo erosivo a barlar;
- Técnica construtiva complexa;
- Não recomendado para praias com predomínio de transporte transversal;
- Diminui o valor paisagístico;
- Depende de jazida.

2.1) Estruturas Duras: Perpendicularmente aderidas à costa

Espigões

Por interferirem na zona de surfe estão cada vez mais em desuso. Estudos recentes buscam otimizar seu comprimento, e torná-los mais eficientes e menos impactantes.

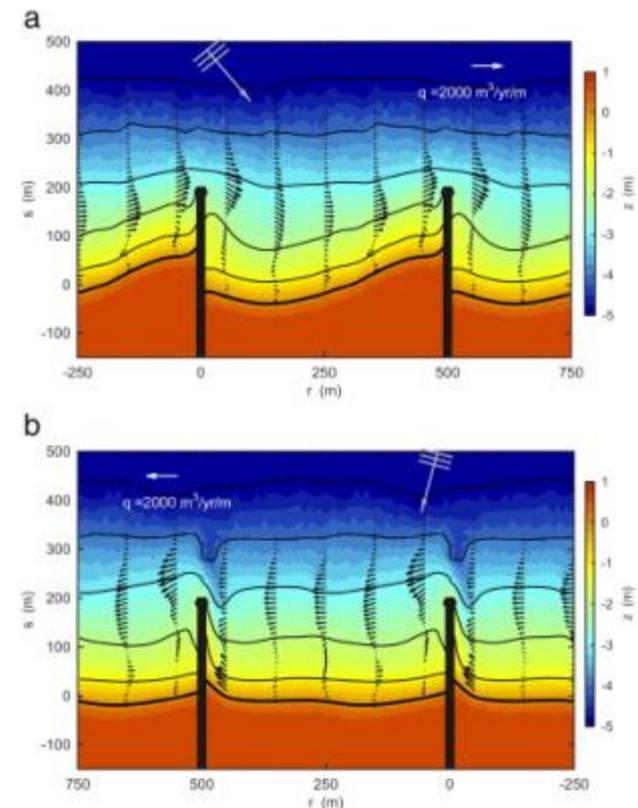


Coastal Engineering

Volume 111, May 2016, Pages 13-22

Impact of groyne fields on the littoral drift: A hybrid morphological modelling study

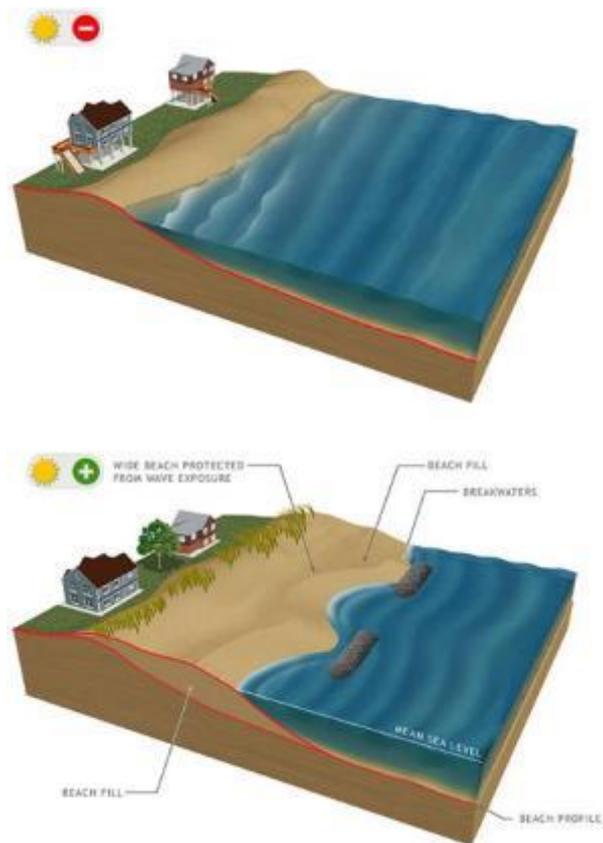
S.E. Kristensen ^a, N. Drønen ^a, R. Deigaard ^a, J. Fredsoe ^b



2.1) Estruturas Duras: Destacadas da costa

Quebra-mares

São estruturas submersas ou emersas, paralelamente à costa, que tem como função difratar ondas e/ou dissipar energia. Quando submersas são chamadas de recifes artificiais.



Vantagens:

- Baixa manutenção;
- Utilizados para estabilizar engordamentos artificiais de praia;
- Permite o uso recreacional.

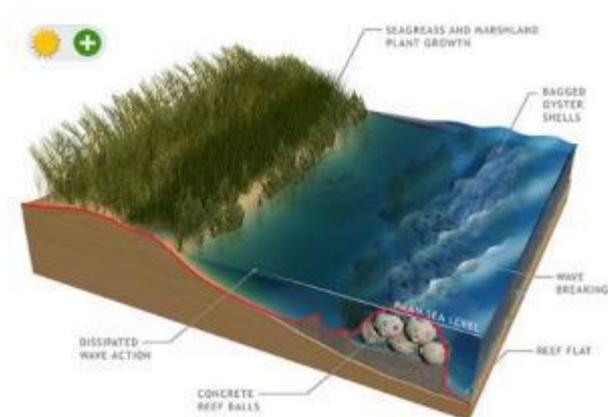
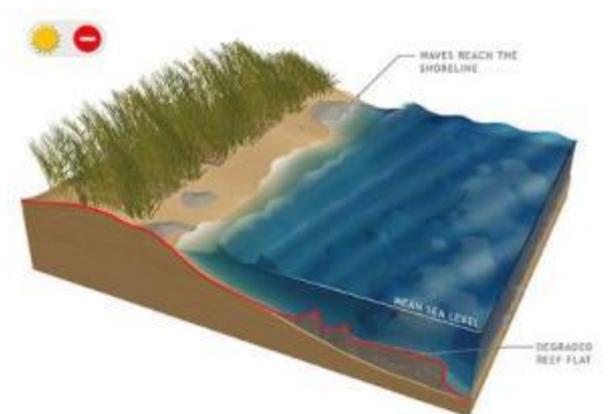
Desvantagens:

- Desenvolvem processo erosivo no intervalo das estruturas;
- Técnica construtiva complexa;
- Não recomendado para praias com predomínio de transporte longitudinal;
- Diminui o valor paisagístico;
- Depende de jazida.

2.1) Estruturas Duras: Destacadas da costa

Quebra-mares – *recifes artificiais*

São estruturas submersas ou emersas, paralelamente à costa, que tem como função difratar ondas e/ou dissipar energia.



Vantagens:

- Baixa manutenção;
- Utilizados para estabilizar engordamentos artificiais de praia;
- Permite o uso recreacional;
- Favorece a formação de novos habitats.

Desvantagens:

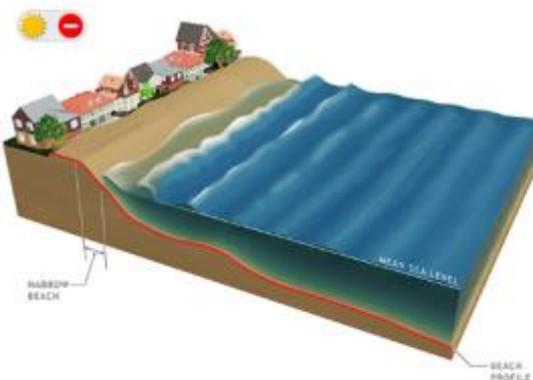
- Reduzem a circulação da água junto à praia podendo favorecer a concentração de poluentes;
- Técnica construtiva complexa;
- Não recomendado para praias com predomínio de transporte longitudinal;
- Diminui o valor paisagístico;
- Depende de jazida.

2.2) Estruturas Macias

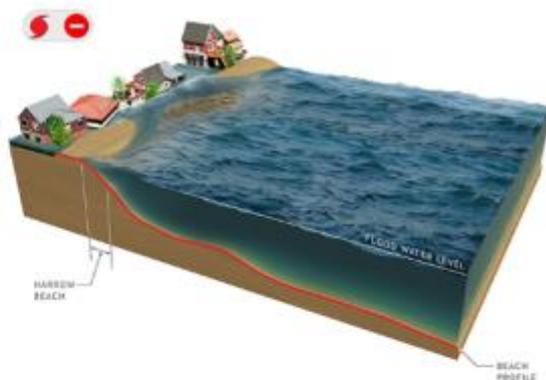
Engordamento Artificial

Envolve a colocação artificial de areia em praias com a expectativa da formação de um pacote de sedimento extra. A areia é obtida geralmente em jazidas marinhas nas proximidades. Pode ou não ser acompanhada de estruturas duras.

Tempo bom



Tempestade



Vantagens:

- Permite o uso recreacional;
- Amplia a faixa de praia;
- Restabelecimento de habitats para fauna e flora;
- Permite ampliação da faixa urbanizada.

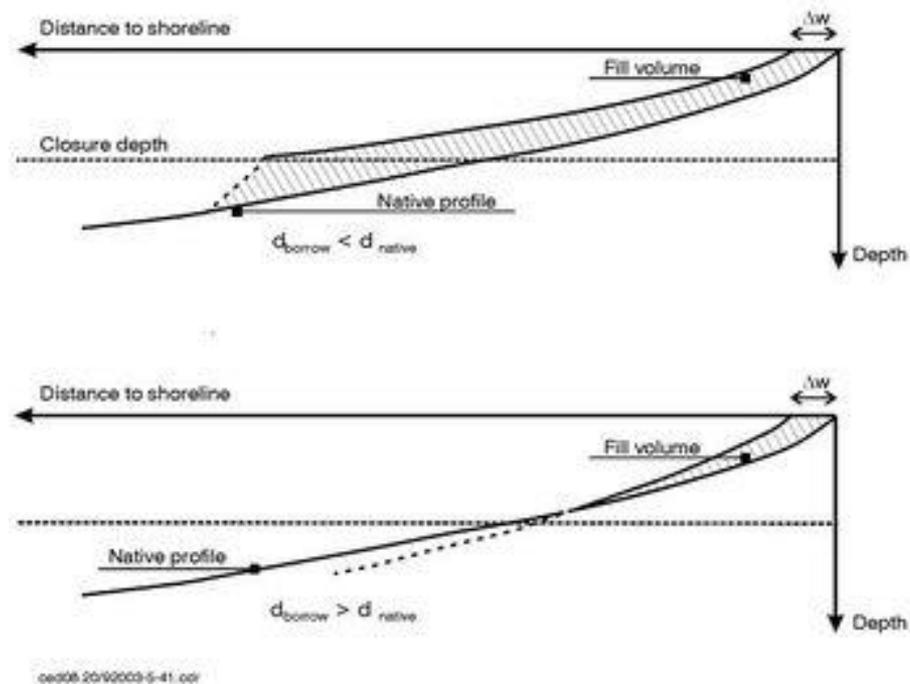
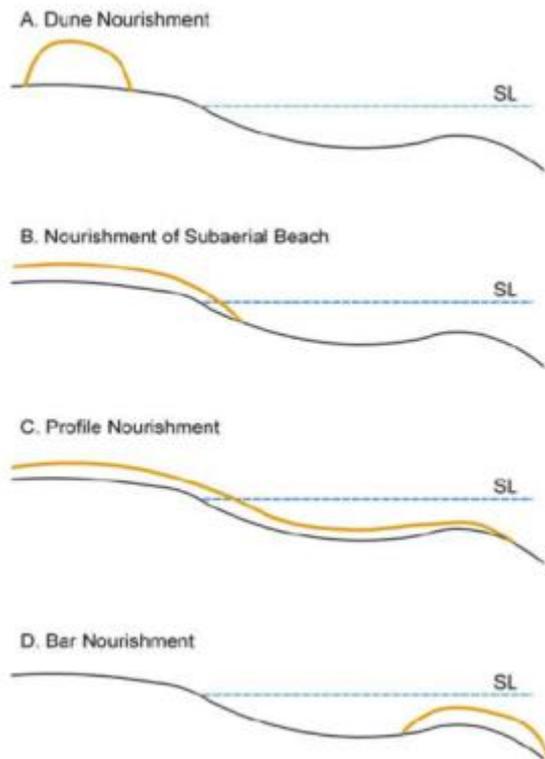
Desvantagens:

- Técnica construtiva complexa;
- Se a profundidade do local for pequena, dragas com maior poder de bombeamento deverão ser empregadas, aumentando em muito o custo da obra;
- Mudança do perfil natural da praia;
- Manutenção periódica;
- Deve vir acompanhada de projeto de drenagem;
- Depende de jazida;
- Degrada o fundo marinho.

2.2) Estruturas Macias

Engordamento Artificial

A engorda depende de qual parte do perfil praiar encontra-se em déficit sedimentar, podendo ser portanto total ou parcial. Caso a material da jazida tenha diâmetro médio menor que o da praia nativa, opta-se pela engorda da linha de preamar até a profundidade de fechamento de praia.



2.2) Estruturas Macias

Dunas artificiais



2.2) Estruturas Macias

Engordamento Artificial

Crítérios para projeto de engorda:

- Jazida deve ser prospectada além da profundidade de fechamento de praia;
- Diâmetro médio dos sedimentos da jazida maior que o nativo;
- Teor da classe lama (silte + argila) abaixo de 10%;
- Teor de carbonatos abaixo de 15%;
- Conhecer a batimetria ao largo para definir capacidade e tipo de draga;
- Priorizar menor distância entre a jazida e a praia.

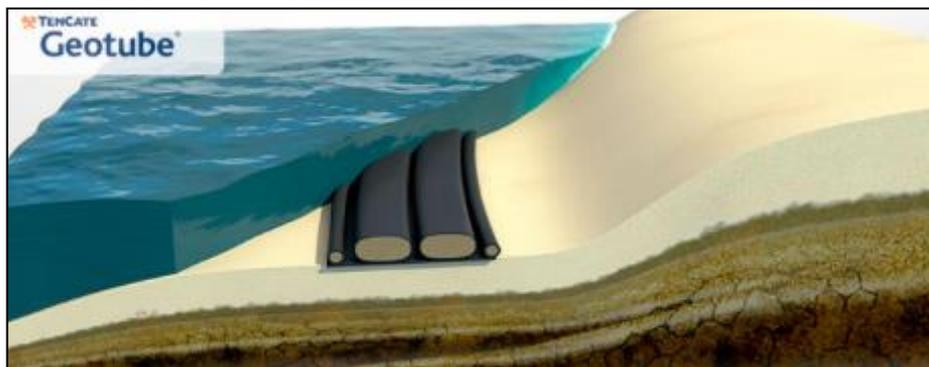
Manutenção da engorda:

- A distribuição granulométrica dos sedimentos da jazida, indicará as perdas das frações ao longo do tempo;
- Menor desvio-padrão, indica tamanhos de grãos mais próximos da média, indicando que a maioria dos grãos possuem diâmetro maior que a da praia nativa, mantendo-os na praia (relação velocidade orbital x tamanho do grão);
- Realizar programa de monitoramento de perfis de praia, para avaliar adaptação morfológica e estimativa de volume.

2.2) Estruturas Macias

Geosintéticos : *Geobags e Geotubes*

Possui funções de filtração, contenção ou reforço, são usadas como componentes integrados na concepção e construção de uma variedade de estruturas costeiras em substituição àquelas duras. Podem ser expostos ou enterrados.



2.2) Estruturas Macias

Geosintéticos : *Geobags e Geotubes*



Vantagens:

- Instalados sem a necessidade de equipamentos dispendiosos ou mão-de-obra qualificada;
- Podem ser usados para construir qualquer forma de estrutura;
- Instalação rápida;
- Baixo custo.

Desvantagens:

- Sujeito a vandalismo;
- Diminui o valor paisagístico;
- Mudança do perfil natural da praia;
- Funciona melhor em praias abrigadas e de menor hidrodinâmica;
- Não dissipam bem a energia de onda;
- Solução temporária quando sozinha (para uma aguardar uma solução definitiva).

2.2) Estruturas Macias

Building with Nature

Consiste em um engordamento artificial de grandes proporções, realizado em um único ponto da costa, deixando-o interagir com os processos naturais de erosão, transporte e deposição atuantes na costa. Experiências do tipos estão sendo testadas na Holanda e Inglaterra.



3) Medidas Mitigadoras

- 3.1) Realocação/ retirada de estruturas
- 3.2) Retirada de pontos de drenagem da praia
- 3.3) Recuperação da vegetação de pós-praia
- 3.4) Permacultura aplicada a linha de costa - *living shoreline techniques*

3) Medidas Mitigadoras

3.1) Realocação/retirada de estruturas

Quando o valor de uma obra de contenção for maior que o retorno econômico, da zona urbanizada, opta-se pela retirada de uma largura de faixa urbanizada.

Manguinhos, Serra/ES:

Momento I

2008



Retirada das estruturas



Momento II

2010



Retirada da vegetação
exótica/invasora



Momento III

2016

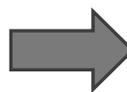
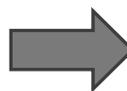


Restabelecimento da
configuração natural



3) Medidas Mitigadoras

3.1) Realocação/retirada de estruturas (Três Praias – Guarapari/ES)



3) Medidas Mitigadoras

3.1) Realocação/retirada de estruturas (Três Praias – Guarapari/ES)

2008



2017



3) Medidas Mitigadoras

3.1) Realocação/retirada de estruturas

Vantagens:

- Permite a adaptação morfológica da praia.
- Não requer intervenções na costa;
- Não necessita de mão-de-obra especializada;
- Função pedagógica;
- Permite a restauração do uso recreacional;
- Recuperação ambiental (retorno da fauna e flora).

Desvantagens:

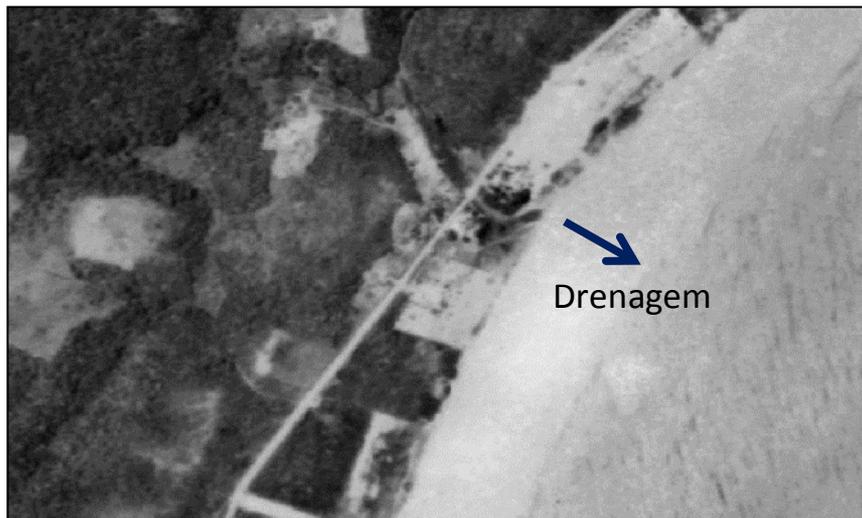
- Não aplicável à todos os casos;
- Ocupações podem possuir aspectos históricos e culturais;
- Desgaste do poder público;
- Demora no processo de valoração, indenização e desapropriação.

3) Medidas Mitigadoras

3.2) Retirada de pontos de drenagem das praias

Consiste na retirada ou desvio de pontos terminais da drenagem urbana das praias, com finalidade de evitar a escavação do perfil praial, permitindo maior penetração das ondas. Alternativamente, pode ser implantados dispositivos de dissipação de energia hidráulica.

Ponta da Fruta, Vila Velha/ES:



1970



2012

3) Medidas Mitigadoras

3.2) Retirada de pontos de drenagem das praias



3) Medidas Mitigadoras

3.2) Retirada de pontos de drenagem das praias

Ponta da Fruta, Vila Velha/ES

31/08/2017



3) Medidas Mitigadoras

3.2) Retirada dos pontos de drenagem das praias

Vantagens:

- Permite a adaptação morfológica da praia.
- Não requer intervenções na praia;
- Não necessita de mão-de-obra especializada;
- Menor desgaste do poder público;
- Melhoria nos indicadores de balneabilidade.

Desvantagens:

- Não aplicável em todos os casos;
- O desvio da rede de drenagem por recalque é custoso;
- Demanda obras na faixa urbanizada da orla.

3) Medidas Mitigadoras

3.3) Recuperação da vegetação de pós-praia

Consiste em cercar, manter, recuperar ou introduzir a vegetação nativa da faixa de pós-praia com a finalidade de manter um estoque sedimentar para enfrentar situação de maior energia de onda.

O custo de cercamento é baixo, R\$ 20,00/m (sem mão-de-obra de execução).



Vantagens:

- Permite a adaptação morfológica da praia.
- Mantém/recupera o estoque sedimentar;
- Não necessita de mão-de-obra especializada;
- Organiza os espaços da orla;
- Ação pedagógica;
- Limita acessos ao mar;
- Evita o transporte de areia para via litorânea;
- Atrai fauna e flora.

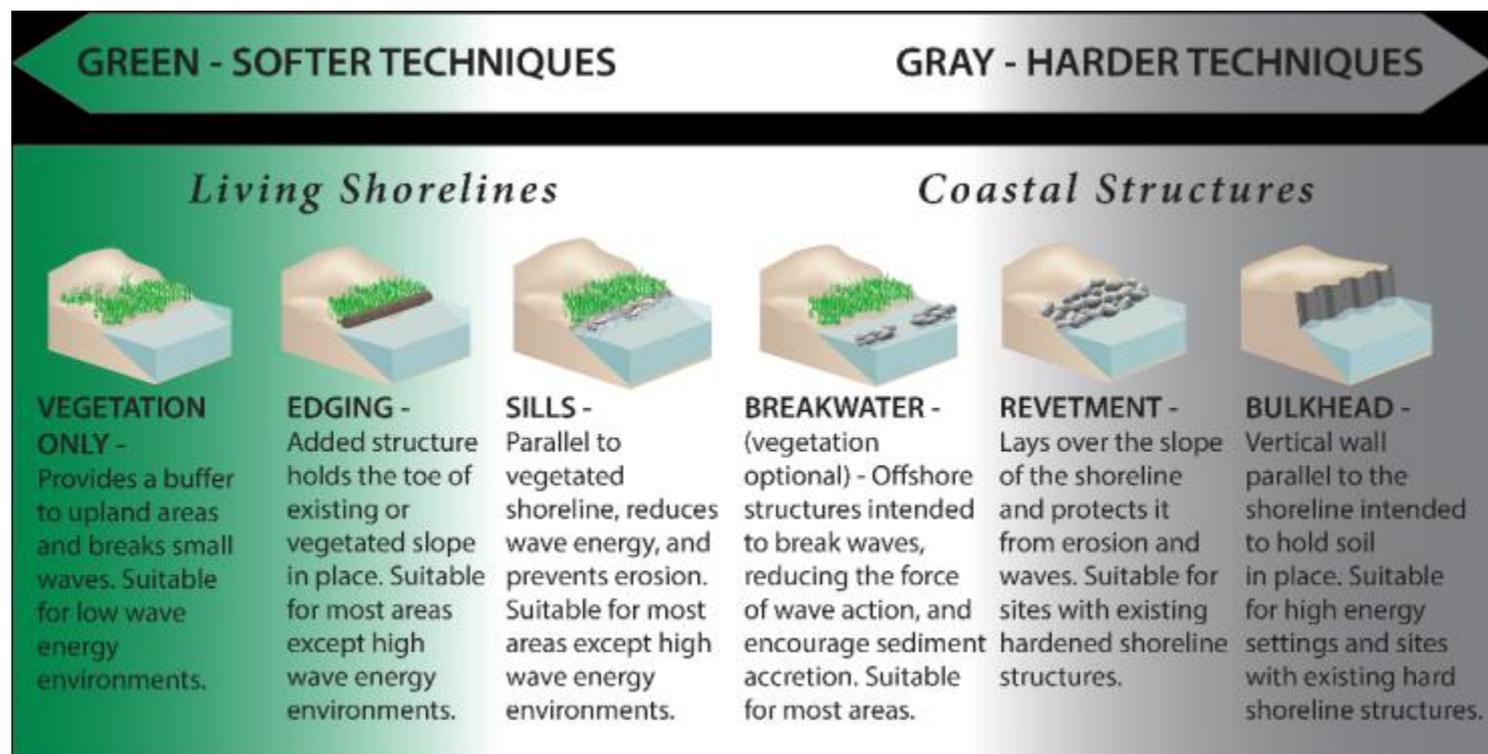
Desvantagens:

- Não aplicável à todos os casos.

3) Medidas Mitigadoras

3.4) Permacultura aplicada a linha de costa - *living shoreline techniques*

Essa abordagem busca empregar plantas, areia, conchas e outros materiais orgânicos para fornecer proteção da costa e, se devidamente construída, melhoram o perfil da praia. Normalmente, funcionam melhor em praias de baixa energia e dunas.



3) Medidas Mitigadoras

Exemplos:



Defensa com lateritos (Cidade do Pananá)



Engorda com conchas de cultivo (Armação de Itapocoroí, Penha/SC)



Casca de coco para fixação de mudas (Itaúnas, C. da Barra/ES)

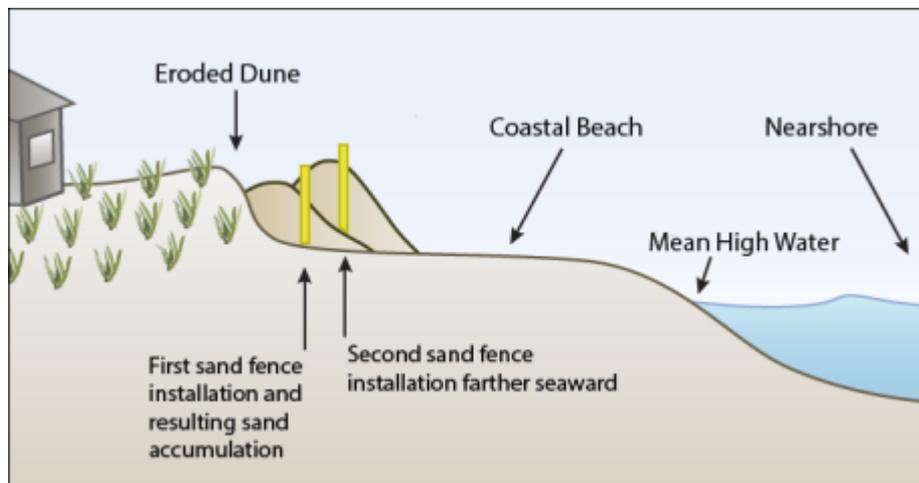


Paliçada com palhas de coqueiro (Itaúnas, C. da Barra/ES)

3) Medidas Mitigadoras

Exemplo:

Cercamento de Dunas – Itaúnas, Conceição da Barra/ES

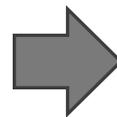


Cerca e fibra de coco (Itaúnas, Conceição da Barra/ES)

3) Medidas Mitigadoras

Exemplos:

Cercamento de Dunas – Itaúnas, Conceição da Barra/ES



3) Medidas Mitigadoras

3.4) Permacultura aplicada a linha de costa - *living shoreline techniques*

Vantagens:

- Baixo custo de implantação;
- Aproveitamento de resíduos;
- Busca manter a condição natural da costa;
- Ação pedagógica;
- Técnicas de fácil aplicação.

Desvantagens:

- Aplicável apenas em praias de baixa energia de onda e dunas;
- Deve ser realizada em áreas em “erosão inicial”.

Obrigado!

Coordenação de Gestão Costeira e Territorial

cogest@iema.es.gov.br

(27) 3636 2572

