

### 3 Aspectos físicos da hidráulica marítima a considerar numa abordagem de gestão costeira

*Physical aspects of coastal engineering for management issues*

FRANCISCO TAVEIRA-PINTO

Universidade do Porto, Porto

**Resumo:** A zona costeira é a área de transição entre os domínios marítimo e continental, uma zona de interface entre a terra e o mar, que inclui igualmente as águas costeiras e as zonas de costa adjacentes, áreas que se influenciam mutuamente, nomeadamente oceanos abertos, terraços de maré, estuários, baías, cabos, zonas pantanosas, lagoas, praias, dunas, etc. Em suma, para este tipo de abordagens, essencialmente relacionadas com a gestão da zona costeira, a análise e o conhecimento dos aspectos físicos e dos fenómenos que ocorrem na zona costeira desempenham um papel importante. Sem este conhecimento é impossível efectuar uma boa gestão. Esta é a razão desta breve análise dos aspectos físicos e definições mais importantes relacionados com a Engenharia Costeira, a considerar numa abordagem multidisciplinar de gestão costeira.

**Palavras chave:** Hidráulica marítima. Gestão costeira. Aspectos físicos.

**Abstract:** *The coastal zone is the transition area between marine and continental domains, an interface zone where land meets sea, including both coastal waters and adjacent shorelands, areas that strongly influence each other, namely open oceans, tidal flats, estuaries, bays, inlets, wetlands, lagoons, beaches, dunes, etc. All in all for approaches mainly related with coastal zone management, the analysis and knowledge of physical aspects and processes of the coastal zone, plays an important role. Without this knowledge it will be impossible to have a good management. That's the reason of this brief review of the most important physical aspects and definitions related with coastal engineering, to be considered in a multidisciplinary coastal management approach.*

**Key words:** *Maritime hydraulics. Coastal management. Physical aspects.*

### 3.1. Introdução

A zona costeira é a área de transição entre os domínios marítimo e continental, uma zona de interface entre a terra e o mar, que inclui igualmente as águas costeiras e as zonas de costa adjacentes, que se influenciam mutuamente, nomeadamente oceanos abertos, terraços de maré, estuários, baías, cabos, zonas pantanosas, lagoas, praias, dunas, etc. As fronteiras costeiras são consideradas, para o interior, tanto quanto o necessário para incluir as zonas costeiras terrestres que tenham um impacto directo e significativo nas águas costeiras. A zona costeira é influenciada pelas várias actividades que ocorrem nessa relação terra-mar, determinando também a sua largura e extensão, causando a variação das suas características. As diferentes actividades na zona costeira podem resultar em diferentes tipos de impactos, que poderão, por sua vez, provocar, a curto e a longo prazo, alterações temporais e espaciais da sua qualidade ambiental. Estas alterações ambientais podem resultar em alterações sociais que estimulem acções de gestão, que dependem da estrutura institucional, cultura, sistema de valores e exigências face aos escassos recursos e outros bens e serviços da zona costeira. Aproximadamente cerca de metade da população mundial está já concentrada numa estreita faixa de terra à volta de mares e oceanos. No ano de 2025 prevê-se que dois terços da população mundial estejam concentrados em regiões costeiras, UNCED (1992). A zona costeira é relativamente pequena constituindo apenas 20% da superfície terrestre. Esta é uma zona dinâmica, que experimenta mudanças várias ao longo do tempo, como resposta a alterações diárias (marés), sazonais (alterações do clima), anuais e outras (mudanças climáticas e aumento do nível médio da água do mar).

A zona costeira está também frequentemente a mudar as suas características biológicas, químicas e geológicas. Estas zonas incluem ecossistemas altamente produtivos e biologicamente diversos. Algumas das mais importantes características das zonas costeiras são:

- Compreendem menos de 20% da superfície terrestre;
- Contêm mais de 50% da população mundial;
- Constituem a localização de 70% das cidades com 1,6 milhões de habitantes;
- Asseguram 90% da pesca mundial;
- Produzem cerca de 25% da produção biológica global;
- São a maior fonte de sedimentos;
- São um local de eleição para a ocorrência de processos biogeoquímicos vários;
- São domínios heterogéneos e dinâmicos no espaço e no tempo;
- Possuem elevadas inclinações, variabilidade física e diversidade.

As zonas costeiras são também ricas em recursos (água, florestas e madeira, terra arável, alimentação, minérios e depósitos geológicos, ecossistemas e biodiversidade), produtos (alimentação, pesca, habitação, bens e processos industriais, petróleo, gás e minerais) e serviços públicos (transportes e infra-estruturas, turismo, diversão e cultura, biodiversidade, serviços ecológicos) que são cruciais para as necessidades económicas e sociais da globalidade da população.

As diferentes actividades que ocorrem na zona costeira podem resultar em diferentes tipos de impactos, originando alterações espaciais a curto e a longo prazo na sua qualidade ambiental. Estas alterações poderão, por sua vez, resultar num determinado número de alterações de bem-estar social (benefícios e custos). As alterações referidas fornecem o estímulo para uma acção de gestão que depende da estrutura institucional, cultura/sistema de valores e necessidades para os recursos escassos e para outros bens e serviços na zona costeira. Um modelo de abordagem integrado terá de considerar, num quadro geral de análise, as variantes socioeconómicas e biofísicas que geram as actividades económicas e a relacionada qualidade ambiental, de modo a fornecer informação para futuros estados ambientais.

Assim sendo, uma gestão integrada das zonas costeiras (GIZC) deverá ser um processo contínuo e dinâmico, através do qual as decisões são tomadas para um uso sustentável, desenvolvimento e protecção das áreas costeiras e marítimas e dos seus recursos. A GIZC reconhece as relações existentes entre os usos costeiros e marítimos e os meios por estes afectados, e é concebida para ultrapassar a fragmentação inerente à estratégia de abordagem sectorial. A GIZC analisa e categoriza as implicações do desenvolvimento, das utilizações incompatíveis e das relações entre os processos físicos e as actividades humanas e promove ligações e a harmonização entre as actividades costeiras sectoriais e marítimas, Cicin-Sain e Knecht, 1998.

Em suma, para este tipo de abordagens, essencialmente relacionadas com a gestão da zona costeira, a análise e o conhecimento dos aspectos físicos e dos fenómenos que ocorrem na zona costeira desempenham um papel importante. Sem este conhecimento é impossível efectuar uma boa gestão, a considerar numa abordagem multidisciplinar.

## 3.2. Características das zonas costeiras

### 3.2.1. *O sistema costeiro*

Nas últimas décadas, a melhoria dos meios de transporte marítimos, o valor recreativo das praias como áreas de lazer, a produção de petróleo e gás através das plataformas continentais, foram alguns dos aspectos que causaram o crescente interesse pelas zonas costeiras. Para além disso, a expansão do comércio mundial exigiu a construção de um elevado número de portos e terminais. Os problemas associados a estas actividades estão todos directamente relacionados com as acções do mar e, em particular, com a agitação marítima.

O termo «região costeira» é usado para definir a área envolvente, em direcção ao oceano junto à plataforma continental e em direcção a terra junto ao limite superior da zona onde se faz sentir a acção directa do mar. A zona costeira é comumente referida como sendo o espaço de transição ou interface entre dois domínios ambientais, a terra e o mar. Diferentes formações geológicas e processos físicos geram diferentes ambientes costeiros. Destes ambientes destacam-se as praias, os estuários, os

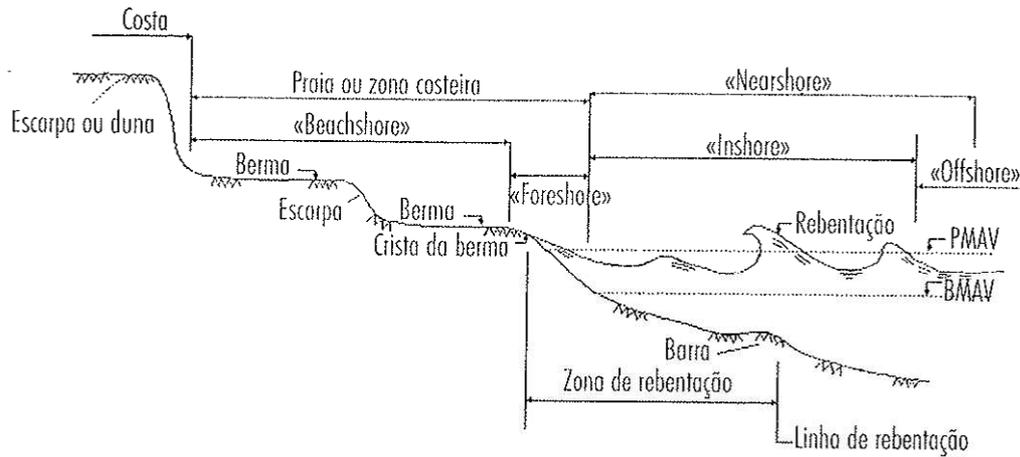


Figura 3.1: Definições relacionadas com a zona costeira (PMAV-Preia Mar; BMAV-Baixa Mar).

deltas, as ilhas-barreira e costas rochosas. A maioria das costas mundiais compreende uma combinação destes factores.

As condições oceanográficas em águas costeiras diferem, de várias formas, das registadas em alto mar. A zona costeira está representada esquematicamente na figura 3.1 e compreende um corte longitudinal da área marítima e uma faixa de terra junto à linha de costa.

A zona costeira é uma faixa de terra, que se estende desde a linha de costa em direcção a terra até que ocorra uma alteração significativa nas características do terreno. Essa zona poderá ter larguras distintas, dependendo das formações geológicas adjacentes.

A zona costeira, de acordo com o Climate Prediction Center (2001), engloba:

- As áreas visualmente ligadas à linha de costa e as que são parte integrante da paisagem costeira.
- A área de transição entre as águas costeiras e os sistemas terrestres na qual haja características físicas, ecológicas ou processos naturais que possam afectar a costa ou os recursos costeiros.
- As áreas utilizadas ou de possível utilização para as actividades humanas relacionadas com a costa.

A margem é uma faixa de terra que limita qualquer corpo aquático (mar, lago, etc.) que é, alternadamente, exposta ou coberta por marés ou ondas. Uma margem de material não consolidado (areia ou gravilha) é normalmente chamada de praia.

As ondas rebentam na zona de *inshore* e espriam-se pela margem. As secções mais profundas da zona de rebentação designam-se de *offshore*. *Foreshore* é a parte da margem situada entre a crista da berma e o nível médio da água do mar. A zona de *backshore* é a parte da margem compreendida entre a *foreshore* e a linha de costa sujeita à acção das ondas durante as tempestades mais violentas.

O sistema físico dentro da zona costeira —onde as forças do mar reagem de encontro à terra— é composto primariamente pelo movimento do mar, que fornece energia ao sistema, e pela linha da costa, que absorve essa energia. Devido ao facto da linha de costa ser uma intercepção de ar, terra e água, as interacções físicas que ocorrem nesta região são únicas, muito complexas e dificilmente compreendidas na sua totalidade.

As acções do mar que contribuem para a alteração das praias e dos sistemas físicos costeiros incluem as ondas, as marés, as correntes, as variações do nível médio da água do mar associadas às tempestades e aos tsunamis. As vagas devidas ao vento são, de longe, a maior contribuição de energia do mar para a praia e para o sistema físico costeiro. Assim sendo, será prudente iniciar os estudos examinando a natureza física das ondas.

### 3.2.2. *Classificação costeira e morfologia*

A visão do papel do homem como *modelador de paisagem* é importante para os gestores costeiros na medida em que avalia de que forma a sua intervenção poderá influenciar os processos a outros níveis e como poderão intervir tendo em vista um sistema *natural*.

A zona costeira refere-se, como já foi referido, à área de transição entre dois domínios ambientais, a terra e o mar. Na natureza existe uma variedade significativa de tipologias de zonas costeiras. A diversidade de ocorrências simultâneas de todos os factores determinantes dos sistemas costeiros resulta num quase infinito número de combinações. Assim, não existe nenhum sistema de classificação verdadeiramente original, existindo, na literatura, uma enorme variedade de sistemas de classificação. As formações costeiras são o resultado da formação da paisagem, devido à acção dos vários agentes, podendo as suas características ser distinguidas pela acção «hidráulica» dominante (fig. 3.2):

- Sistemas dominados pelas marés: baías e lagoas de maré.
- Sistemas dominados pelas ondas: trechos costeiros ininterruptos como penhascos ou praias.
- Sistemas dominados pelos rios: deltas.

Contudo é também possível a combinação de várias forças hidráulicas dominantes:

- Sistemas dominados por rios e marés: deltas estuarinos e estuários.
- Sistemas dominados por marés e ondas: ilhas-barreira com embocaduras.
- Sistemas dominados por ondas e rios: embocaduras de rios triangulares.

Assim, diversos tipos de sistemas costeiros podem ser encontrados:

- Ilhas-Barreira: ilhas de areia alongadas formadas pela acção do mar que possuem lagoas ou baías estuarinas alongadas na rectaguarda.

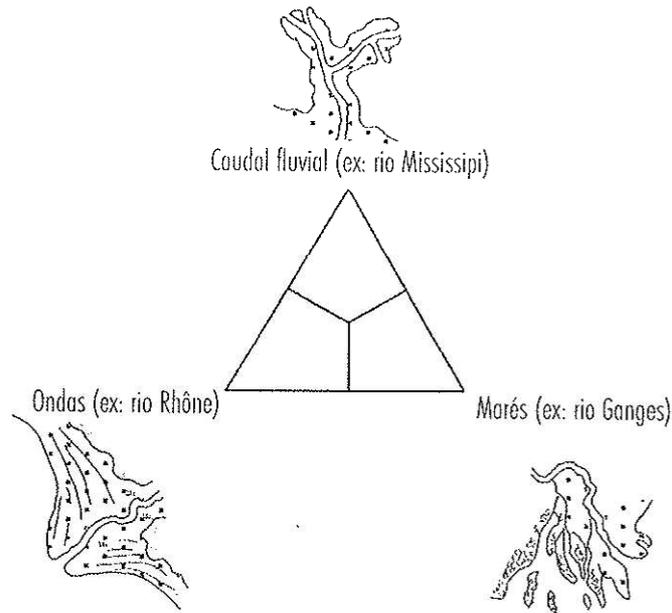


Figura 3.2: Esboços de sistemas costeiros, classificados segundo a acção hidráulica dominante (Carter 1988).

- Baía: um intervalo na linha costeira entre dois cabos ou promontórios. Praia: uma zona ou faixa de material inconstante ou não consolidado (gravilha ou areia) ao longo da linha de costa que é movido pelas ondas, vento e correntes de marés.
- Penhasco: parede de rocha quase vertical formada naturalmente.
- Delta: foz de um rio essencialmente constituída pela acumulação de sedimentos fluviais que se estendem em direcção ao mar.
- Estuário: bacia litoral costeira semi-fechada na qual a água doce de um rio se mistura com a água salgada do oceano, e onde ainda se verifica a acção das marés.
- Lagoa: bacia litoral costeira semi-fechada com entrada limitada de água doce, elevada salinidade e circulação restrita; encontram-se frequentemente protegidas por dunas, ilhas-barreira e outros elementos de protecção.

As zonas costeiras podem também ser distinguidas em falésias, praias de cascalho e areia e zonas pantanosas, com base na dimensão dos seus sedimentos, nomeada e respectivamente rocha, cascalho, areia ou silte.

### 3.3. Processos costeiros

#### 3.3.1. Introdução

Na zona costeira, ar, água e terra encontram-se, com comportamentos dinâmicos que actuam em diferentes escalas e a sua interacção origina processos físicos complexos. Em geral, o movimento global do mar produz energia, que é absorvida pela costa e a modela em diferentes morfologias. O movimento do mar está associado ao movimento das ondas e correntes.

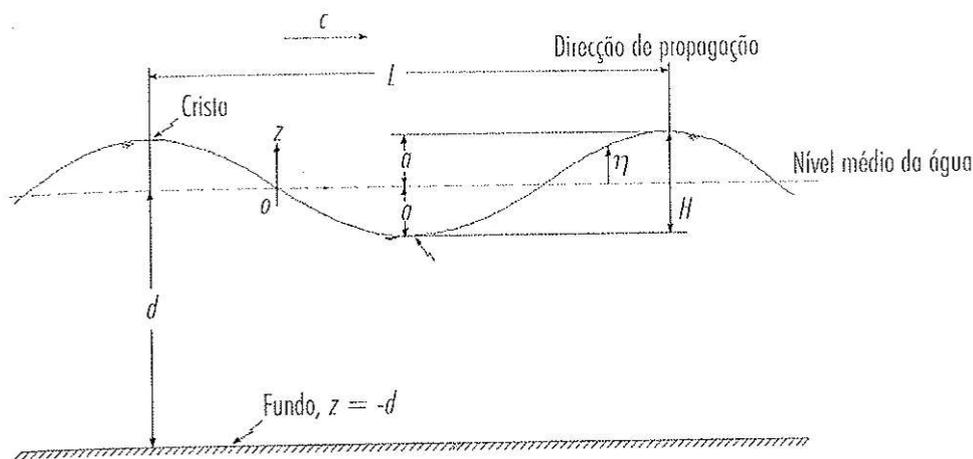


Figura 3.3: Esboço das características da onda, para uma onda progressiva e sinusoidal.

### 3.3.2. A mecânica das ondas

As ondas são perturbações da superfície livre da água, devidas, por exemplo, à interacção atmosfera-oceano, aumentando a energia da massa de água. Este input de energia faz com que as partículas de água comecem a movimentar-se. Estas perturbações, por ordem ascendente do comprimento de onda associado, podem ser causadas por: forças meteorológicas (vento, pressão do ar); terremotos (tsunamis); forças astronómicas (marés).

A fricção do vento na superfície da água gera ondas, cujos períodos habituais variam de 1 a 30 s. A extensão ao longo da qual a água é exposta ao vento, a duração da tempestade e a velocidade do vento determinam a altura final da onda. Se medirmos a superfície livre da água do mar em função do tempo, obtém-se uma variação bastante irregular. Os campos de onda são frequentemente esquematizados em ondas regulares, ou seja, em forma de onda sinusoidal (fig. 3.3).

As características mais importantes de uma onda que se propaga numa profundidade de água ( $d$ ) são: comprimento de onda ( $L$ ), período da onda (ou frequência,  $f = 1/T$ , sendo  $T$  o período da onda), amplitude ou altura da onda ( $H$ ) e velocidade ou celeridade de propagação da onda ( $C$ ). A declividade da onda ( $H/L$ ) é definida pela razão entre a altura da onda e o seu comprimento. Sob a acção das ondas, as partículas de água descrevem órbitas ou movimentos oscilatórios, embora, em média, permaneçam na mesma posição. Em águas profundas o efeito das ondas não é extensível ao leito, enquanto que em águas menos profundas as partículas efectuam movimentos oscilantes em toda a sua profundidade (fig. 3.4). É este o motivo porque em águas profundas a velocidade de propagação não é influenciada pela fricção no fundo, enquanto que em águas menos profundas o é.

As expressões *crista da onda* e *cava da onda* são usadas para a parte mais alta e a parte mais baixa do perfil de onda. A altura da crista é a distância desde o nível médio da água e a crista, e é também chamada de amplitude de onda,  $a$  (fig. 3.3).

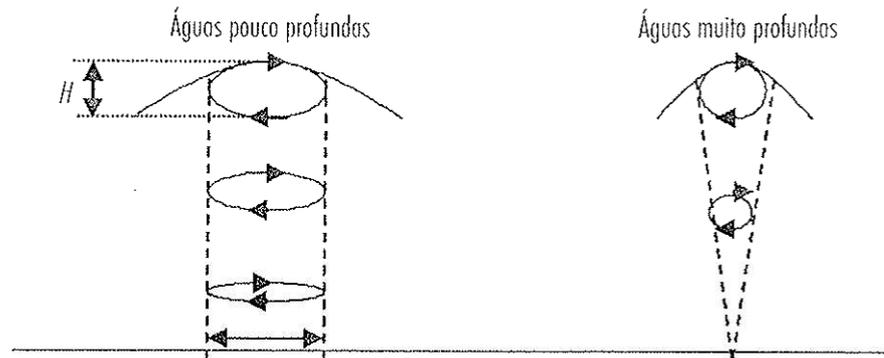


Figura 3.4: Movimento orbital em águas profundas e pouco profundas.

Se analisarmos o movimento da onda a duas dimensões horizontais, pode-se distinguir uma frente de onda que é uma curva de fase constante (fig. 3.5). A direcção da propagação da onda é descrita pelas ortogonais da onda, que são perpendiculares às frentes de onda. Uma onda progressiva é um conjunto de ondas sem ocorrência de reflexão unidireccional e sem qualquer interferência. É importante notar que a distinção entre ondas que se propagam em águas profundas e águas pouco profundas pouco tem a ver com a real profundidade da água, sendo antes determinada pela razão entre a profundidade da água e o comprimento de onda, ou seja:

- Águas profundas (teoria de ondas curtas): profundidade da água maior do que metade do seu comprimento de onda como é o caso das ondas de maré.
- Águas pouco profundas (teoria de ondas longas): profundidade da água menor do que  $1/20$  do comprimento de onda.

Na sua forma ideal, a ondulação da superfície do mar parecerá movimentar-se para a frente com uma certa velocidade, como se a superfície fosse desenvolvida por um movimento de translação de todo o corpo de água. No entanto o movimento da onda não é um movimento de translação que possa ser reconhecido através da observação do movimento de um corpo sólido a flutuar na água.

A Engenharia Costeira preocupa-se com as ondas que ocorrem em mares, baías e lagos. Estas ondas são causadas maioritariamente por forças naturais tais como ventos e marés, assim chamadas de ondas de vento e ondas de maré. As ondas de vento são causadas pela acção do vento sobre grandes corpos de água, enquanto que as ondas de maré são causadas pelas forças naturais de atracção da Lua, do Sol e da Terra. As ondas podem igualmente ser criadas por outros factores tais como terremotos que tenham lugar nos oceanos, chamadas de ondas de tsunami.

Na natureza, é difícil definir o movimento da onda através de formulações matemáticas puras, uma vez que é impossível definir todas as forças e a sua aplicação. Assim sendo, é necessário assumir que a onda com uma certa altura e período foi formada num determinado momento, sendo possível aplicar fórmulas hidrodinâmicas para estudar os movimentos dos elementos do fluído, a forma da superfície, a velocidade

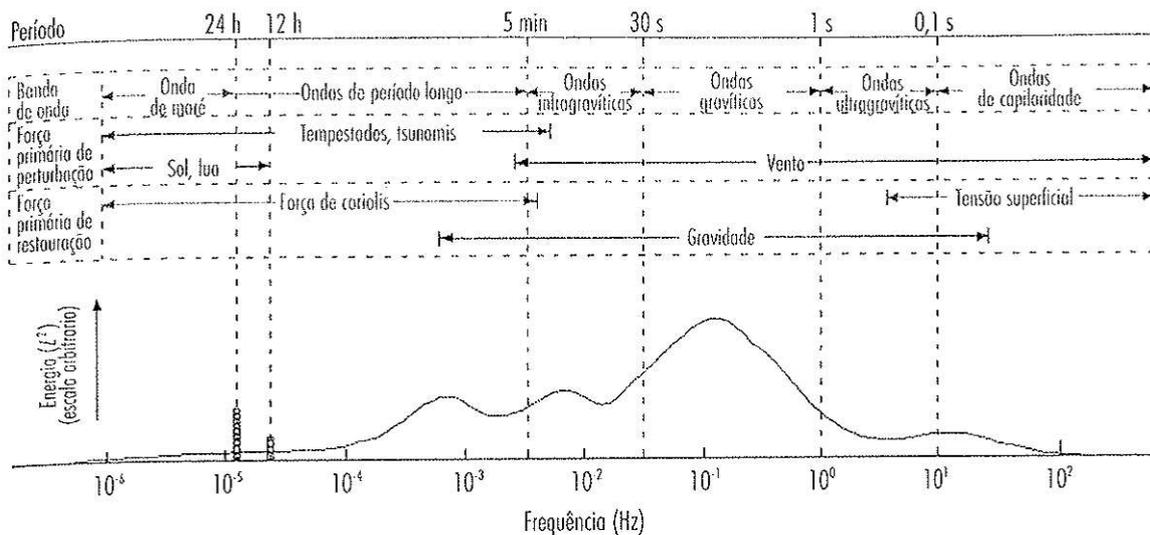


Figura 3.5: Distribuição aproximada da energia das ondas de superfície, ilustrando a sua classificação, através da banda de períodos de onda, força primária perturbadora e força primária restauradora.

da onda e o comportamento desta quando sujeita ao campo gravitacional da Terra. Na realidade a superfície da água do mar apresenta uma imagem bastante irregular, em vez de uma onda sinusoidal. Um campo de ondas irregulares pode ser descrito como uma sobreposição de um número de ondas sinusoidais com diferentes amplitudes, frequências, fases e direcções.

### 3.3.3. Descrição das ondas

#### 3.3.3.1. Introdução

É importante distinguir entre os vários tipos de ondas que podem ser geradas e propagadas. A figura 3.5 mostra a energia relativa contida em diferentes tipos de ondas que possuem uma frequência particular.

As ondas mais importantes são as ondas de gravidade, que possuem períodos que variam de 1 a 30 s. Uma variedade mais restrita de períodos de onda, de 5 a 15 s, é normalmente mais importante para os problemas de engenharia costeira. As ondas deste tipo são referidas como ondas de gravidade uma vez que a gravidade é a principal força de restauração que procura restabelecer a posição de equilíbrio no fluido. A figura 3.5 mostra também que uma grande parcela da energia total está associada às ondas gravíticas; de salientar que as ondas gravíticas são extremamente importantes no que diz respeito à modelação da costa e às estruturas marítimas em geral.

As ondas reais, com a sua forma irregular, parecem confusas e com a superfície em constante mutação uma vez que são constantemente influenciadas por outras, oriundas de outras direcções. Esta constatação é particularmente verdadeira para ondas geradas pelo vento (ondas de vento).

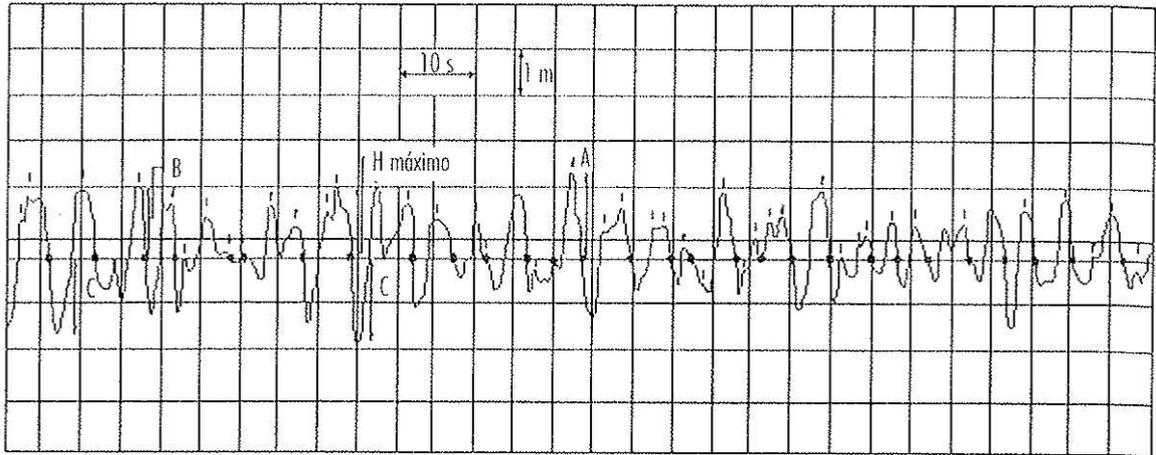


Figura 3.6: Amostra de um registro de agitação irregular.

O padrão irregular das ondas de vento pode, frequentemente, ser assumido como uma sobreposição de um número infinito de ondas sinusoidais (cada onda com altura, período, direcção e fase constantes) propagando-se independentemente umas das outras. O pressuposto da sobreposição das ondas sinusoidais resultará em ondas irregulares com uma variação de alturas e períodos como a ilustrada na figura 3.6.

### 3.3.3.2. Descrição estatística de um registro de agitação

O estado do mar pode ser medido num determinado local, podendo obter-se um registro de agitação (fig. 3.6, que poderá ser considerado um processo aleatório. Os detalhes de um registro de agitação não são particularmente interessantes para todas as aplicações práticas. Em vez disso, alguns parâmetros (estatísticos e/ou espectrais) poderão ser usados para descrever registros de agitação aleatórios (e assim, o estado do mar). As análises estatísticas de um registro de agitação podem ser realizadas usando o método dos zeros (ascendentes ou descendentes).

O período de onda  $T$  é o tempo de passagem de duas cristas ou duas cavas consecutivas, e a altura da onda  $H$  é a distância vertical entre o nível mais alto e o nível mais baixo registados entre dois zeros (ascendentes ou descendentes consecutivos). Os parâmetros usados para descrever o estado do mar através do registro de medidas das ondas são essencialmente estatísticos. São frequentemente usados os seguintes parâmetros:

- $\bar{H}$  Altura de onda média, obtida através da média de todas as alturas de onda registadas.
- $H_{max}$  Altura de onda máxima ocorrida num registro.
- $\bar{H}_{1/n}$  A altura média das  $1/n$  ondas mais altas (por exemplo, se todas as alturas das ondas medidas no registro forem colocadas por ordem decrescente, e considerarmos a  $1/n$  parte das ondas mais altas,  $\bar{H}_{1/n}$  corresponde à média das alturas de onda desta parte).
- $\bar{T}_{1/n}$  O período médio dos  $1/n$  períodos mais altos.

Os valores frequentemente usados são  $\bar{H}_{1/3}$  e  $\bar{T}_{1/3}$  que são designados de altura de onda e período de onda significativos.

### 3.3.4. Classificação das ondas

#### 3.3.4.1. Introdução

A classificação das ondas, no sentido lato, de acordo com o fenómeno e o período (escala temporal) é apresentado no quadro 3.1. Como se pode constatar, as ondas oceânicas podem ter períodos que variam de 0.01 s a 30 dias. As ondas com períodos inferiores a 30 s são chamadas de ondas de período curto e as superiores são chamadas de ondas de período longo.

#### 3.3.4.2. Ondas de período curto

As ondas de período inferior a cerca de 30 s são chamadas de ondas de vento e vagas, representando a grande maioria das ondas que ocorrem na natureza. As ondas de vento são geradas em mar alto sob a acção do vento. Quando o vento sopra durante um longo período de tempo numa determinada área de mar (*fetch*), estabelece-se um estado de pleno desenvolvimento da agitação, em que a altura, o comprimento, o período e a direcção da propagação da onda variam aleatoriamente.

Quando a onda sai da zona de geração ou o vento deixa de soprar forma-se uma vaga. Estas ondas deixam então de ser influenciadas pelo vento. As vagas viajam em diversas direcções e, como resultado, dispersam-se na direcção da propagação. Assume-se que o ângulo desta dispersão seja de 45°. Devido à dispersão, as vagas são mais regulares e possuem maior período do que as ondas de vento.

Quadro 3.1: Tipo de ondas, causas e períodos

Fenómeno	Causa	Período (escala temporal)
<b>Ondas de Período Curto</b>		
Onda de vento	Tensão tangencial devida ao vento	até 15 s
Vaga	Onda de vento	até 30 s
<b>Ondas de Período Longo</b>		
Batimentos	Grupo de ondas	1 a 5 min
Seichas	Varição do vento	2 a 40 min
Ressonância portuária	Tsunami, batimentos	2 a 40 min
Tsunamis	Terramoto	5 a 60 min
Marés	Acção gravitacional da lua e do sol	12 a 24 h
Vagas de tempestade	Tensão do vento e redução da pressão atmosférica	1 a 30 dias

### 3.3.4.3. *Ondas de período longo*

As ondas de período longo, como os tsunamis, são geradas por movimentos verticais do fundo do oceano, devido a actividades sísmicas, como os terremotos, deslizamento de terras ou erupções vulcânicas. Estas ondas podem apresentar períodos e comprimentos extremamente elevados e viajar através de toda a bacia do oceano com apenas pequenas perdas de energia. Em mar alto um tsunami mede pouco menos de uns metros de altura à superfície e frequentemente não são vistos ou sentidos pelos navios. No entanto, a energia das ondas de tsunami estende-se da superfície até ao fundo nas águas mais profundas.

À medida que o tsunami atinge a linha de costa, a energia da onda é comprimida numa distância muito mais curta e a sua altura aumenta rapidamente gerando ondas destrutivas. Os tsunamis são ondas geradas por actividade sísmica (por exemplo, movimentos das placas tectónicas no fundo do mar). Em particular no Oceano Pacífico, onde a actividade sísmica é intensa, tsunamis de mais de 10 m de altura atingem as costas do Japão e do Havai, etc., em média uma vez em cada dez anos.

### 3.3.4.4. *Marés*

À medida que a Lua circunda a Terra e, à medida que ambas circundam o Sol, as forças centrífugas e gravitacionais combinadas, provocam a subida e a descida do nível médio da água dos oceanos, uma a duas vezes por dia. Este processo é chamado de variação da maré ou movimento da maré. O efeito da Lua é muito maior do que o efeito do Sol, apesar deste possuir uma maior massa. Isto deve-se ao facto da distância que separa a Lua da Terra ser muito mais pequena. A força do movimento das marés depende da posição relativa dos planetas e, conseqüentemente, do local e da hora. A maioria dos locais possui dois ciclos de maré diários. As variações mensais na força do movimento das marés são chamadas de marés vivas e marés de quadratura.

Em corpos de água fechados ou confinados, como portos e baías, as ondas de pequena dimensão podem ser amplificadas por um mecanismo de ressonância. Este fenómeno é determinado pela combinação das características da onda e pela estrutura do porto, e pode causar ondas indesejáveis de grandes dimensões.

Se a Terra fosse completamente coberta por água, esta seria igualmente equilibrada por todos os lados pela força centrífuga gerada pelo movimento de rotação da Terra. Devido ao facto da lua possuir uma força de atracção gravitacional, ao realizar a sua órbita em volta da Terra a água é atraída em direcção à Lua. Devido ao movimento de rotação da Terra há igualmente esta atracção do lado oposto do planeta. Assim sendo, qualquer ponto na superfície terrestre experimentaria duas marés cheias e duas marés vazas por cada período de maré.

Na realidade, a terra não é completamente coberta por água e os continentes impedem o desenvolvimento das ondas de maré. Somente no Oceano Ártico é que é gerada uma onda sinusoidal de maré com um período de 12 h 25 min. Esta onda pro-

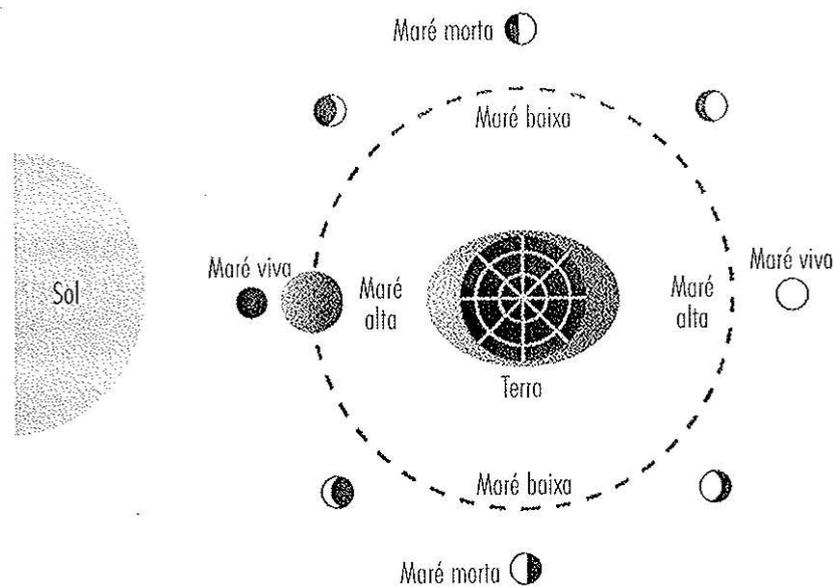


Figura 3.7: Influência do sol e da lua nas marés.

paga-se pelos restantes oceanos e mares, demorando vários dias a atingir o Hemisfério Norte. Durante o seu percurso a onda irá deformar-se devido à interacção com as profundidades não uniformes da costa. Esta deformação da onda provoca variações de maré específicas em cada local. A massa terrestre é também atraída pela força gravitacional da Lua, mas o efeito é menos visível.

As marés variam também no dia-a-dia enquanto a Terra, Lua e Sol alternam as suas posições constantemente, causando assim, efeitos gravitacionais ligeiramente diferentes. Quando o Sol e a Lua estão alinhados (lua cheia e lua nova) desenvolvem-se forças gravitacionais excepcionalmente fortes, causando marés muito cheias ou marés muito vazas.

Quando a Lua e o Sol não estão alinhados (quarto minguante e quarto crescente) as forças gravitacionais anulam-se mutuamente e as marés não são tão dramaticamente vazas ou cheias (fig. 3.7).

As marés são, por vezes, referidas como astronómicas, devido ao movimento causado pelas forças de atracção universais entre Terra, Lua e Sol (forças actuantes) e pelas forças centrífugas resultantes do movimento relativo da Terra, Lua e Sol (forças restauradoras).

Assim, a força geradora da maré é a diferença entre as forças actuantes e as forças centrífugas em cada ponto da Terra. As forças resultantes da presença de outros planetas são insignificantes.

A força do movimento de maré depende da posição relativa da Terra, Lua e Sol e depende também do tamanho do corpo de água em questão. Devido ao efeito de amplificação da formação costeira e da topografia do fundo do mar, a amplitude da maré pode ser superior a 10 m. Em mares pequenos e fechados como é o caso do mar

Negro e até do mar Mediterrâneo, as marés são pequenas, devido ao facto de quase nenhum movimento de maré dos grandes oceanos lá penetrar e o gerado localmente ser de pouco significado.

A subida e descida vertical do nível médio da água do mar está associada a correntes periódicas chamadas de correntes de maré, que são significativamente influenciadas pelo fundo do mar e pela topografia costeira. Assim sendo é bastante difícil estabelecer uma relação genérica entre marés e correntes de maré.

### 3.3.4.5. Ondas de tempestade

As ondas de tempestade devem-se essencialmente à acção dos ventos e à redução da pressão atmosférica durante tempestades violentas. Quando uma baixa pressão passa sobre a superfície do mar, a água é sugada devido à diminuição de pressão e empurrada pelo vento em direcção à costa o que provoca o aumento do nível da água.

Esse aumento é inversamente proporcional à profundidade da água; assim, as ondas de tempestade têm tendência a ser maiores em zonas pouco profundas. As ondas de tempestade mais extremas duram, normalmente, apenas algumas horas mas, quando coincidem com a maré-cheia, podem causar um aumento desastroso do nível da água na zona costeira.

### 3.3.5. Transformação das ondas

#### 3.3.5.1. Introdução

As teorias da hidráulica marítima são bastante complexas. Os pressupostos de base para o desenvolvimento de uma teoria simples devem ser bem compreendidos, porque nem todos são válidos em todos os casos. O pressuposto base é que a altura da onda comparada com o seu comprimento ( $H/L$ ) e com a profundidade da água ( $H/d$ ) é pequena. Isto leva-nos a uma teoria das ondas chamada de teoria linear das ondas de pequena amplitude, de Airy ou teoria de primeira ordem. De facto, em geral a declividade das ondas,  $H/L$ , situa-se, normalmente, no máximo entre 0,05 e 0,08, e devido a este pequeno valor, a linearização representa uma boa aproximação para todos os fins práticos. Assim todos os termos de segunda ordem ( $H^2/L^2$ ) podem ser desprezados em comparação com os termos de primeira ordem ( $H/L$ ). A teoria de onda de pequena amplitude dá uma boa perspectiva de todos os comportamentos periódicos da onda e é correctamente usada para a maioria dos problemas da engenharia costeira. É também utilizada para explicar os princípios da transformação das ondas.

Quando as ondas se aproximam de águas costeiras menos profundas ocorrem diferentes fenómenos. Ao tornar-se gradualmente numa onda de água pouco profunda a velocidade e, conseqüentemente, o comprimento da onda diminui. Isto resulta num acréscimo de energia por unidade de área da onda e um aumento da altura da mesma.

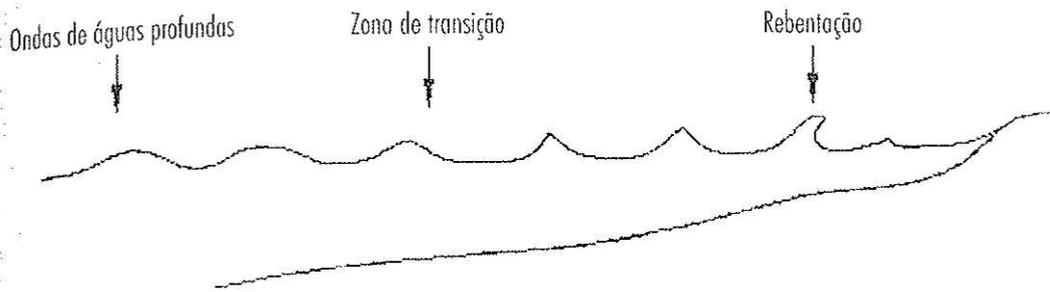


Figura 3.8: Deformação das ondas em águas costeiras.

Quando a crista da onda se torna demasiado acentuada, torna-se instável, enrolando para a frente e, finalmente, a onda rebenta (fig. 3.8), dissipando a sua energia. Isto geralmente acontece dentro da zona de *foreshore*, quando a altura da onda se aproxima do valor da profundidade de água do local (zona de rebentação). As ondas rebentam de formas diferentes, dependendo da inclinação da praia e da declividade da onda.

Quando as ondas se aproximam de águas menos profundas, com as suas cristas fazendo um ângulo com o contorno do fundo, as cristas das ondas parecem rodar de forma a diminuir este ângulo (refracção). A refracção corresponde a uma rotação da frente da onda e ocorre se uma secção de uma crista de onda for mais célere que as vizinhas. Isto deve-se ao facto da celeridade das ondas diminuir à medida que a profundidade da água diminui também. As cristas das ondas tendem a tornar-se paralelas à costa quando se aproximam de águas menos profundas.

Se uma sequência de ondas está a passar por um obstáculo é criada uma variação da energia da onda ao longo da crista, parecendo que no lado abrigado do obstáculo, a água estaria perfeitamente calma mas, no entanto, não está. A energia é transportada ao longo da crista da onda para o lado abrigado desenvolvendo-se ondas de frente curvilínea nesta área (difracção). A rotação das ondas para a região protegida provoca alterações na altura da onda (ao longo da crista) na mesma onda. O grau de difracção que ocorre depende da razão entre o comprimento do obstáculo e o comprimento da onda.

### 3.3.5.2. Refracção da agitação

A refracção ocorre quando as ondas começam a ser influenciadas pelo fundo. Quando as ondas entram em águas de profundidade transitória, a parte da frente da onda situada em águas mais profundas move-se mais rapidamente que a parte em águas menos profundas, fazendo com que a crista fique paralela aos contornos do fundo. Este fenómeno é muito semelhante ao que acontece na óptica, em que a Lei de Snell descreve o comportamento dos raios de luz que passam de um meio para o outro, apresentando uma diferente velocidade de transmissão. No presente caso há uma alteração gradual na velocidade da onda ao invés duma variação abrupta que ocorre na óptica. Esta alteração gradual conduz a cristas de onda curvas.

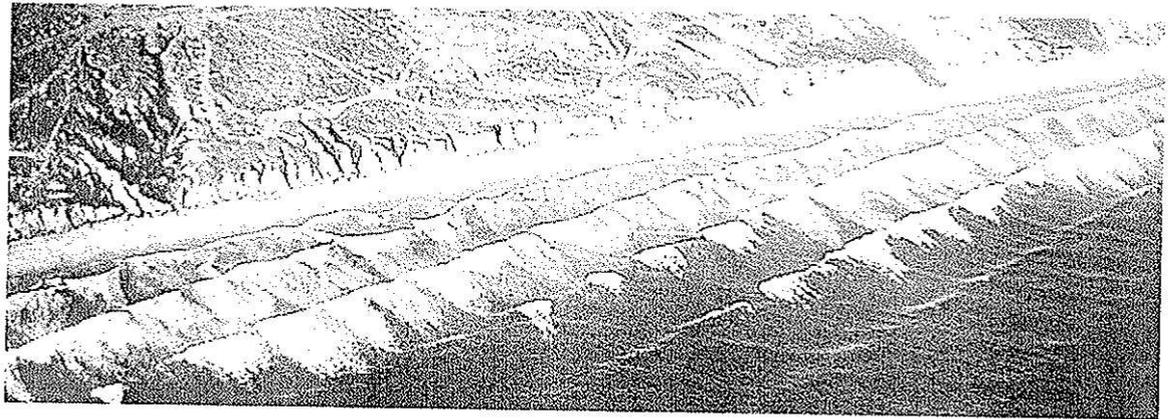
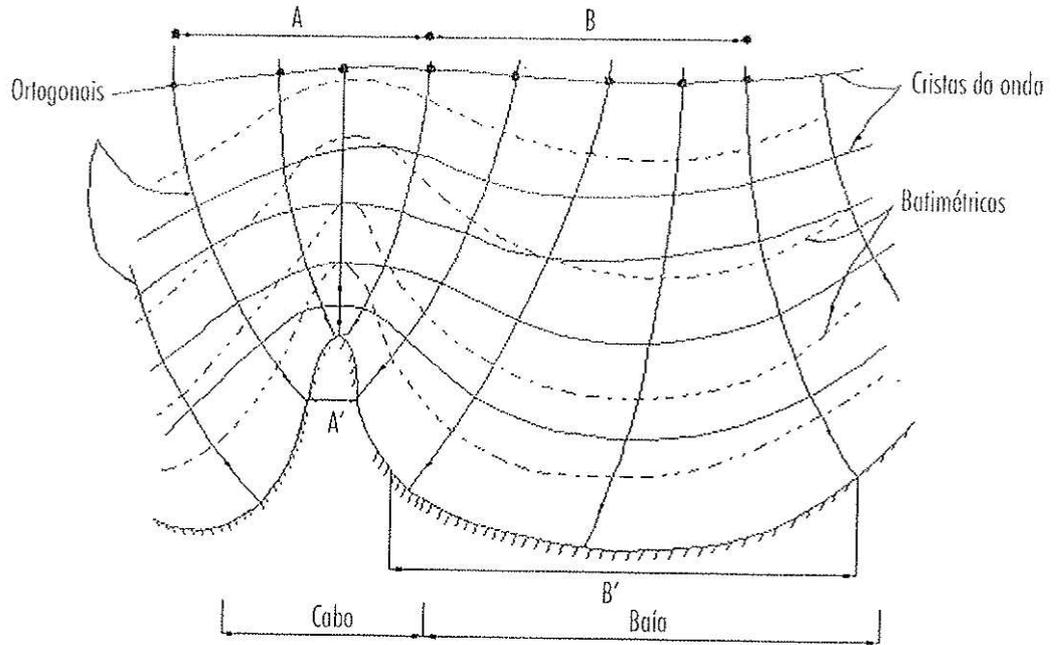


Figura 3.9: Ortogonais convergentes e divergentes devido à refração da agitação e exemplo.

A refração da onda é importante devido, pelo menos, a duas razões: 1) causa o aumento ou o decréscimo da altura da onda; 2) controla o ângulo de aproximação das ondas no momento da rebentação. O ângulo de aproximação é um parâmetro muito importante, pois afecta o transporte de sedimentos ao longo da linha de costa. A topografia do fundo do mar é normalmente complexa e, em muitos casos, as ondas sofrem o fenómeno da refração devido à influência de contornos do fundo não rectilíneos.

Outras duas importantes características topográficas do fundo são os bancos de areia e os vales submarinos. A refração das ondas sobre um banco de areia e sobre um vale submarino é demonstrada na figura 3.9.

A frente da onda de comprimento inicial  $A$  em águas profundas, refracta sobre os bancos de areia e concentra a sua energia num comprimento muito mais pequeno  $A$  próximo da linha de costa, resultando num aumento da altura da onda. Por outro lado, a frente da onda de comprimento inicial  $B$  em águas profundas refracta sobre

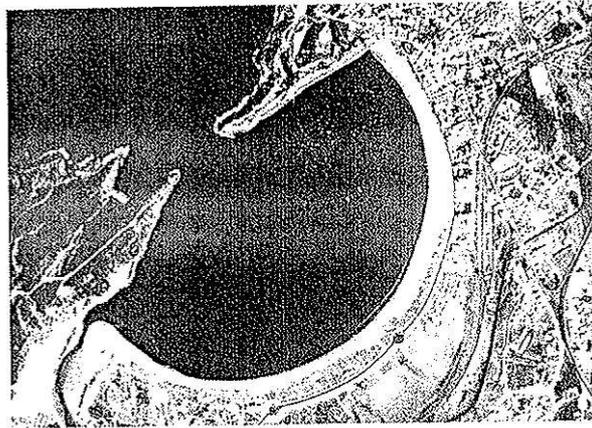
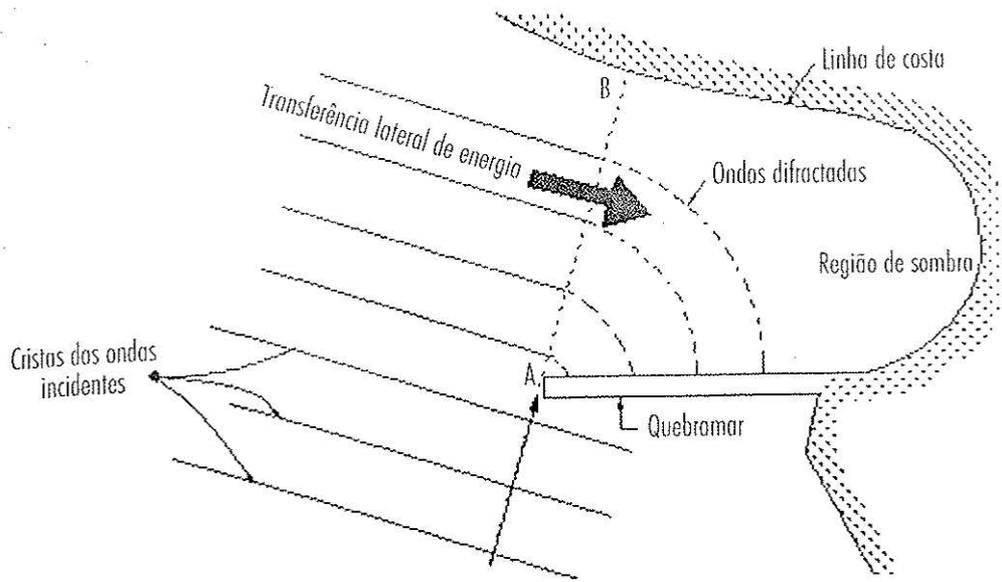


Figura 3.10: Esboço esquemático descritivo da difracção da agitação e exemplo das ondas difractadas (linhas curvas) na baía de S. Martinho do Porto, Portugal.

o vale submarino e dispersa a sua energia num maior comprimento  $B$  próximo da linha de costa. Devido à dispersão de energia, a altura da onda nestes locais pode ser significativamente reduzida.

### 3.3.5.3. Difracção da agitação

O processo de difracção da agitação é semelhante ao que acontece com outro tipo de ondas como as de luz ou as do som. É um processo no qual a energia da onda é transferida lateralmente (por exemplo, perpendicularmente à direcção da propagação da onda) para uma área de águas calmas. Na difracção da agitação (fig. 3.10), verifica-se que a agitação incidente não pode mover-se directamente para a «região de sombra».

No entanto, o movimento da onda é transmitido à região sombra por meio da transferência lateral de energia através do plano A-B. Assim, as ondas criadas na região de sombra são chamadas de ondas de difracção.

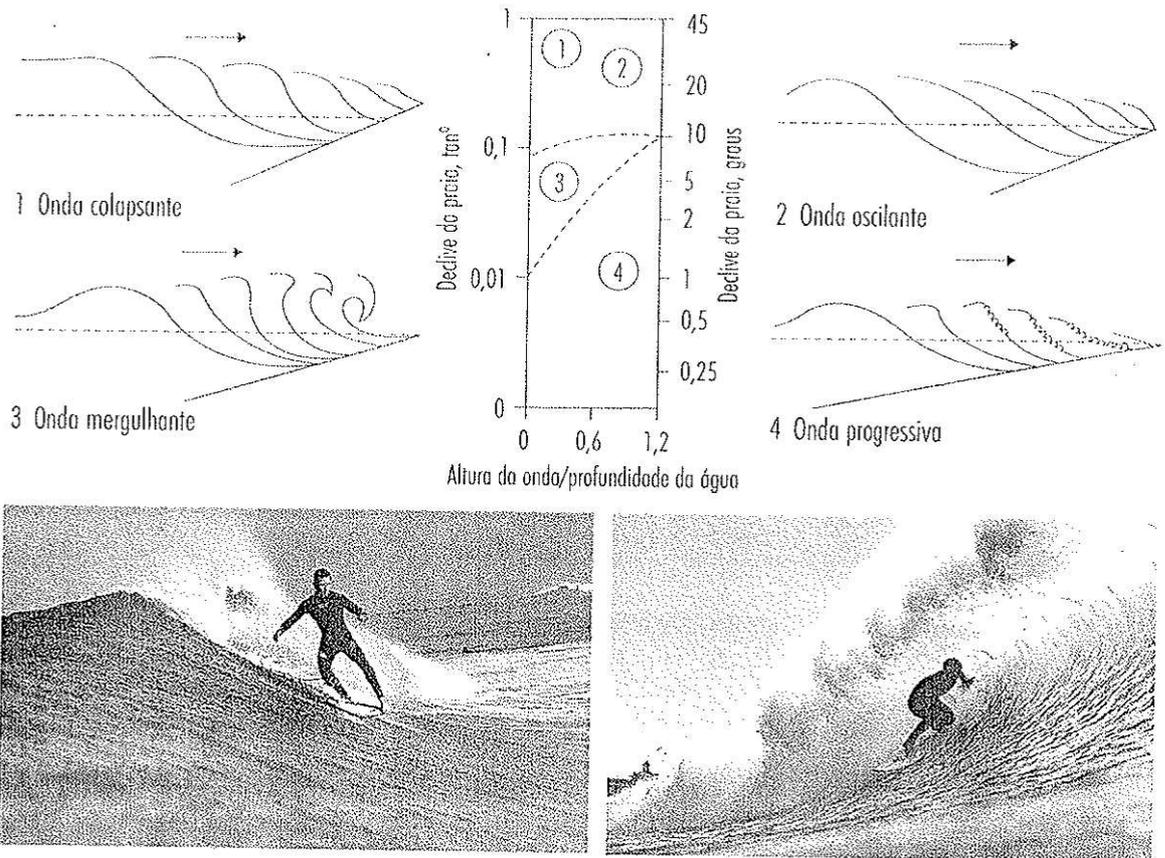


Figura 3.11: Tipos de rebentação e exemplos.

#### 3.3.5.4. *Rebentação da onda*

A separação das partículas da água da onda devido à acção da gravidade é designada por rebentação da onda. O processo de rebentação causa a dissipação da energia através da turbulência gerada. A velocidade da partícula da crista é proporcional à altura da onda num dado instante, logo, com o aumento da altura da onda esta velocidade irá, eventualmente, tornar-se igual à celeridade da onda. Neste momento a onda torna-se instável e rebenta. Também a altura da onda máxima é limitada pela declividade máxima em águas profundas ( $H_0/L_0 = 1/7$ ) e pela profundidade da água em águas menos profundas.

Obviamente, quando a onda rebenta, a sua altura diminui e alguma da energia é dissipada na turbulência e na fricção com o fundo: alguma da energia retorna para águas profundas e a restante gera outras ondas, calor e correntes. Estas últimas, as correntes dentro da zona de rebentação, desempenham um importante papel nas alterações morfológicas que ocorrem ao longo da costa.

A rebentação das ondas em águas intermédias e pouco profundas é ditada pela altura da onda, período, profundidade e pelo declive do fundo ( $m = \tan\alpha$ ). A determinação das características da rebentação em águas pouco profundas é muito importante e um dos mais difíceis objectos de estudo da engenharia.

Este assunto tem sido estudado extensivamente mas o mecanismo da rebentação das ondas numa praia com declive ainda não é muito claro. Assim sendo, são utilizados diagramas (SPM, 1984), para a estimativa da profundidade da água da rebentação,  $d_b$ , e a altura de onda na rebentação,  $H_b$ , que têm sido compilados usando dados obtidos em campo e em laboratório. A rebentação das ondas numa praia com um determinado declive é geralmente categorizada em quatro tipos: progressiva, mergulhante, colapsante e oscilante (fig. 3.11).

A rebentação progressiva ocorre normalmente em praias de pequena inclinação. Ondas com declividade relativamente baixa começam a rebentar a uma distância relativamente grande da costa e vão rebentando muito gradualmente à medida que se aproximam de águas pouco profundas. Uma linha de espuma desenvolve-se na crista durante a rebentação e deixa uma fina camada de espuma numa distância considerável. Na rebentação mergulhante forma-se frequentemente na crista da onda um encaracolado característico. Aquando da rebentação é dissipada muita energia na turbulência sendo pouca devolvida ao mar. A rebentação colapsante situa-se entre os tipos mergulhante e oscilante.

A rebentação oscilante ocorre ao longo de costas bastante inclinadas, tais como as encontradas ao longo de costas rochosas. A zona de rebentação é estreita e muita da energia da onda (normalmente mais de metade) é devolvida às águas profundas. Esta rebentação é semelhante à mergulhante, com a diferença de que a cava atinge a praia antes que a crista espraie e sofra o refluxo.

### 3.3.5.5. Reflexão da onda

Quando as ondas encontram uma barreira, ocorre uma reflexão da onda (fig. 3.12). As barreiras podem ser naturais, tais como os penhascos adjacentes às costas ou a própria inclinação do leito do mar. Os engenheiros costeiros no entanto estão mais preocupados com a reflexão de estruturas costeiras feitas pelo Homem tais como quebramares, muros-cais, etc., que se caracterizam por possuírem um determinado coeficiente de reflexão.

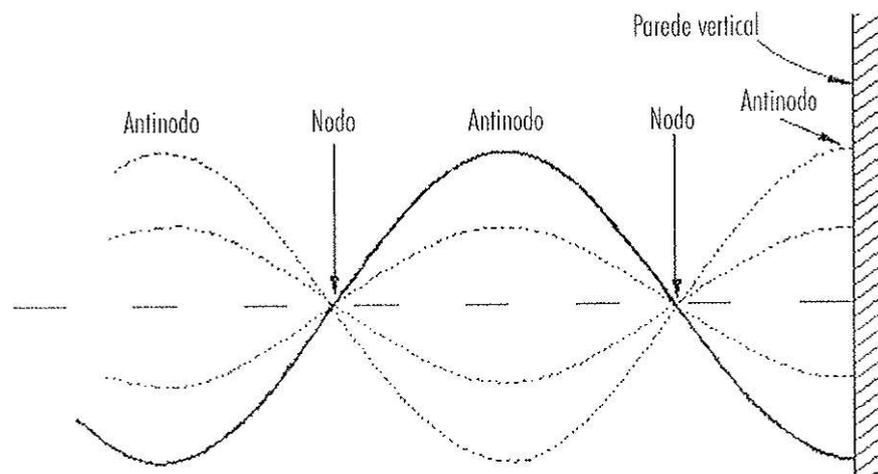


Figura 3.12: Reflexão da onda numa parede vertical.

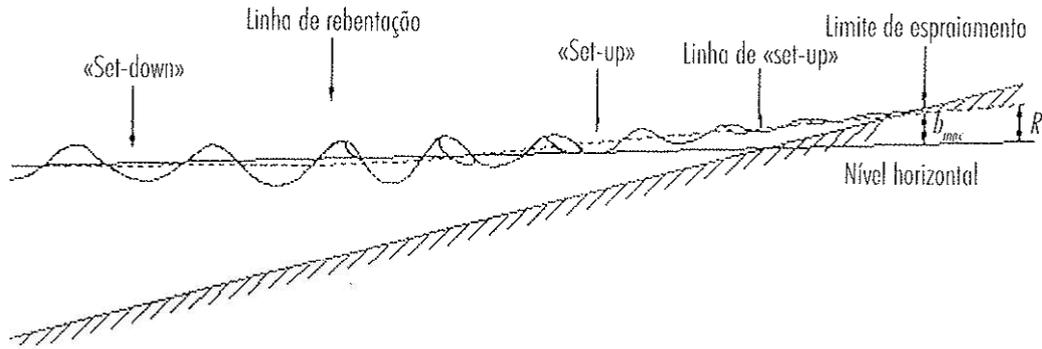


Figura 3.13: *Set down*, *set-up* ( $b_{mxc}$ ) e *run-up* ( $R$ ) da onda (espraçamento).

Dependendo das características da dissipação da energia na barreira, assim como a direcção das ondas incidentes relativamente ao alinhamento da barreira, três diferentes tipos de ondas se podem formar: ondas estacionárias, ondas parcialmente reflectidas e ondas de crista. A sobreposição de uma onda incidente com uma onda reflectida origina nodos e antinodos.

### 3.3.5.6. Fenómeno do *set-up*

À medida que as ondas se propagam sobre um fundo ligeiramente inclinado, em águas pouco profundas, observa-se que, fora da zona de rebentação, há uma ligeira depressão do nível médio da água e uma depressão máxima na zona de rebentação (*set-down*). Assim sendo, para cá da zona de rebentação, a superfície média da água fica acima do nível médio da água. Esta sobre-elevação, causada pela acção das ondas, é designada de «*set-up*». O máximo «*set-up*» ( $b_{max}$ ) é medido a partir do nível médio da água (fig. 3.13). O valor de  $b_{max}$  varia entre 30 a 50% da altura da onda na rebentação  $H_b$ . Estas variações no nível médio da água, ocorrem para equilibrar a componente transversal das forças associadas à agitação incidente, nomeadamente a pressão.

### 3.3.5.7. Espraçamento e refluxo

A altura máxima de espraçamento (*run-up*,  $R$ ) é definida pela altura máxima atingida pela superfície da água na linha de costa (ou na estrutura costeira). Para zonas de rebentação extensas —ondas com declividade elevada ou praias planas— o *set-up* constitui a maior parte do espraçamento. Após a onda atingir a sua elevação máxima de espraçamento, a acção da gravidade obriga a massa de água a retroceder até encontrar a próxima onda. O máximo retrocesso da elevação da frente da onda ao longo do talude é denominado de refluxo.

### 3.3.6. Correntes

As correntes são geradas por diversos processos costeiros, criando um complexo campo de flutuações/correntes. As correntes correspondem sempre a um balanço entre

forças motrizes, que aceleram o fluxo de água, e forças que reduzem o fluxo da água. São possíveis forças motrizes:

- Movimento das marés, causando diferenças do nível médio da água.
- Fricção do vento.
- Acção das ondas e dissipação da sua energia.
- Diferenças na densidade da água (causadas por diferentes temperaturas, salinidade, etc.).
- Diferenças na pressão atmosférica.

A fricção é a mais importante força de abrandamento das correntes. As forças de fricção estão sempre relacionadas com as forças motrizes; sem forças motrizes não há fricção. Devido à rotação da terra, as correntes são também sujeitas a forças de rotação. No hemisfério sul, as correntes curvam para a esquerda e no Hemisfério Norte para a direita (efeito de Coriolis).

### 3.3.7. *Morfologia costeira*

Os depósitos de sedimentos costeiros são moldados pelas ondas e pelas correntes que, por sua vez, variam no tempo. A forma do fundo e do relevo da costa é uma resposta aos materiais disponíveis. A geomorfologia costeira relaciona-se com a forma como o fundo e o relevo da costa se alteram com o tempo. A evolução costeira é o estudo de como e porquê as características e o posicionamento da linha de costa e do leito se alteram através do tempo. Os gestores de zonas costeiras enfrentam frequentemente problemas resultantes das alterações da morfologia, como a erosão costeira ou o bloqueio de uma entrada de um canal. As alterações na morfologia costeira resultam de gradientes temporais no transporte de sedimentos.

Este facto pode ser melhor entendido quando considerado como um balanço de sedimentos para uma dada área. Quando chegam mais sedimentos à área do que aqueles que saem, a costa progride, caso contrário causa erosão. A troca de sedimentos pode ser longitudinal à linha da costa (transporte de *longshore*) ou perpendicular (transporte de *crosshore*).

O transporte de sedimentos pode ser definido como o movimento de partículas de sedimentos sob a acção das ondas e correntes, durante um determinado período de tempo.

O movimento da água é a força motriz do transporte de sedimentos, enquanto que as propriedades dos sedimentos, tais como tamanho e peso, determinam se o sedimento pode resistir ao movimento. O início do movimento pode ser descrito pela velocidade crítica; quando esta velocidade é ultrapassada ocorre o transporte de sedimentos.

Os processos morfológicos estão grandemente relacionados com a topografia do fundo, correntes e ondas, influenciando-se mutuamente. A troca de sedimentos tem lu-

gar entre as diferentes características da costa formando um ciclo de sedimentação em diferentes escalas de tempo e espaço. As características da morfologia tornam difícil a previsão das alterações morfológicas e, frequentemente, requerem modelos computacionais complexos.

### 3.3.8. *Alterações de clima e aumento do nível médio da água do mar*

As alterações globais do clima afectaram sempre a distribuição dos organismos assim como a sua interacção. Presentemente, não resta qualquer dúvida científica que as concentrações atmosféricas de *gases do efeito de estufa* são capazes de aumentar o aquecimento global. O balanço entre a energia vinda do Sol sob a forma de radiação visível (luz do sol) e a energia que é constantemente emitida pela superfície da terra para o espaço, determina a temperatura da superfície terrestre.

A energia vinda do Sol pode passar através da atmosfera quase inalterada e aquecer a terra mas, a radiação infravermelha emanada pela superfície da terra é parcialmente absorvida por alguns gases na atmosfera e parte é reenviada para baixo. Este facto aquece a superfície da terra e a baixa atmosfera. Os gases que proporcionam este fenómeno são, principalmente, o vapor de água e o dióxido de carbono.

O aumento do efeito de estufa é resultado da actividade humana, principalmente da utilização da energia que resulta da utilização de combustíveis fósseis como o carvão, o petróleo e o gás. No entanto, a rápida devastação da floresta tropical está também a contribuir para o aumento do dióxido de carbono lançado para a atmosfera.

Apesar do nível médio global do mar ter sempre apresentado níveis oscilantes, no último século verificou-se um aumento maior do que o esperado pela análise histórica. Analisando os dados, descobriu-se que a taxa de aumento do nível médio do mar ao longo dos últimos 17 500 anos se situou entre os 0,05 e os 0,15 cm/ano. Nos últimos 100 anos, o nível global do mar aumentou entre 10 a 25 cm (0,1-0,25 cm/ano) e pode aumentar cerca de 1 m durante o próximo século (1 cm/ano). Este aumento do nível global médio do mar é provavelmente causado pelas alterações climáticas, embora outros processos influenciem as variações do nível local do mar.

A expansão termal devida ao aquecimento da atmosfera contribui para o aumento de 2 a 7 cm do nível global médio do mar, enquanto o recuo dos glaciares pode contribuir com 2 a 5 cm. O assentamento, a compactação e as alterações na circulação oceânica podem também contribuir para o aumento local do nível do mar relativamente à terra, mas são, contudo, difíceis de quantificar. O nível do mar futuro é difícil de quantificar com exactidão devido aos complexos processos envolvidos. Assim sendo podem ser desenvolvidos diferentes cenários.

Para a gestão da zona costeira, é necessária a existência de uma estratégia para salvar a população aí residente, especialmente as que se localizam nas terras baixas,

como sejam os deltas e os estuários, e os seus ecossistemas vulneráveis. Normalmente assume-se que o aumento do nível médio da água do mar do último século, está a conduzir a uma tendência global de retirada da zona costeira, o que coloca mais pressão na disponibilidade de terreno.

O aumento do nível médio da água do mar pode provocar também a rápida degradação dos ecossistemas inter-tidais. Devido a este aumento, a frequência e a sensibilidade das tempestades, poderá aumentar ameaçando a vida de milhões de pessoas e causando graves prejuízos económicos. Para além disto, um nível médio da água do mar mais elevado irá conduzir a uma maior intrusão da água salgada, o que prejudicará as reservas de água, os ecossistemas e a agricultura.

### 3.4. Geração de ondas de vento

#### 3.4.1. Introdução

Em geral, as ondas no mar são causadas pela acção do vento. O mecanismo inicial do movimento das ondas pelo vento é, ainda hoje, objecto de estudo. Quando o vento sopra sobre uma determinada área de mar, uma alteração na pressão atmosférica na superfície pode causar as primeiras marcas de ondulação que, uma vez formadas, são impulsionadas para a frente e para a trás pela força horizontal do vento que lhes transmite assim energia.

Esta acção pode ser anexada ao efeito de continua alteração da pressão atmosférica que o vento causa. Desde que a alteração da pressão do vento aja sobre a superfície do mar, mais ondas já criadas continuarão a aumentar em altura e período até um determinado limite em que a velocidade da onda atinja a velocidade do vento.

#### 3.4.2. Processo de geração

Os mecanismos reais através dos quais são geradas as ondas de vento não estão ainda completamente compreendidos. Foram propostas, por vários investigadores, diferentes teorias, mas até ao momento nenhuma consegue explicar a totalidade do fenómeno. As variáveis mais importantes na geração das ondas são a velocidade do vento ( $U$ ), o comprimento do fetch ( $F$ ), a duração da tempestade ( $t$ ), a profundidade da água ( $d$ ) e a largura do fetch ( $W$ ). O crescimento das ondas depende essencialmente da velocidade do vento. A altura e o período tendem a aumentar com o aumento da velocidade do vento. É possível relacionar, empiricamente, a velocidade do vento com o estado do mar (Massie, 1986).

A área do mar sobre a qual o vento sopra é chamada de fetch. O comprimento do fetch é um importante factor que dita as características das ondas geradas. Para fetchs curtos, as ondas propagam-se para fora da zona de geração antes de atingirem a sua dimensão máxima e assim têm alturas e períodos mais pequenos.

À medida que o comprimento do fetch aumenta, a onda aumenta de altura também. As ondas apresentam pequenas alturas e períodos no início do fetch e aumentam com a distância ao longo do fetch. O período de tempo durante ao qual o vento sopra (duração da tempestade) é também um importante factor de controlo do crescimento das ondas. Para o mesmo comprimento de fetch e para a mesma velocidade do vento, as alturas e os períodos das ondas aumentam proporcionalmente com o aumento da duração da atracção do vento.

O comprimento do fetch limita a altura das ondas geradas nas baías, lagos e outras áreas restritas. No alto mar, no entanto, o fetch é, normalmente, suficientemente grande para não afectar a geração das ondas. À medida que a velocidade do vento, o comprimento do fetch e a duração da tempestade aumenta, a altura e o período das ondas geradas pelo vento aumenta também mas, dentro de certos limites (fig. 3.14).

Para uma dada velocidade do vento e um ilimitado fetch de comprimento e duração ilimitada, há um limite fixo até onde a altura e período das ondas crescerá. Neste limite, a quantidade de energia transmitida pelo vento às ondas é compensada pela quantidade de energia dissipada devido à rebentação e à turbulência. Este estado de equilíbrio de ondas é conhecido como estado de completo desenvolvimento.

Se o comprimento real do fetch e a duração real da acção do vento é menor que o comprimento mínimo do fetch e a duração mínima do vento, que são simultaneamente necessários para o estabelecimento do equilíbrio do estado do mar para uma determinada velocidade do vento, então as ondas não poderão atingir as alturas máximas possíveis. Tal estado do mar é chamado de estado de desenvolvimento (fig. 3.14).

A profundidade da água no fetch afecta a altura das ondas geradas através do efeito do fundo do mar (por exemplo, o processo de fricção do fundo). As ondas são normalmente geradas em áreas que podem ser consideradas de águas profundas. Assim,

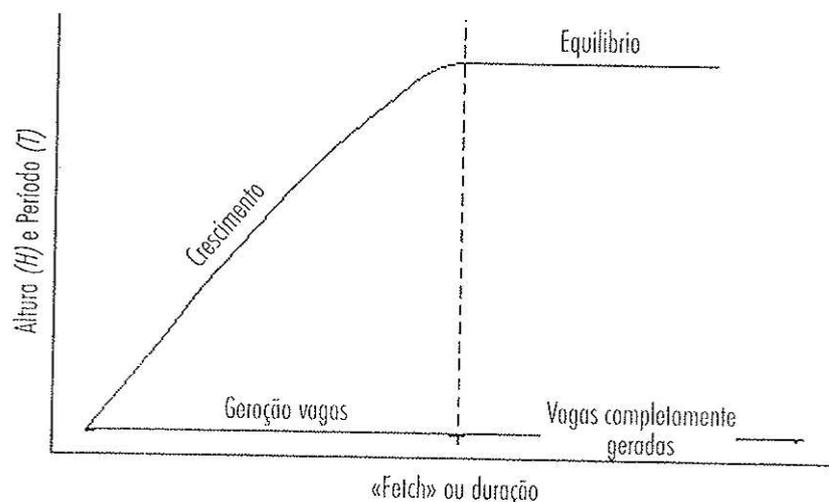


Figura 3.14: Geração e crescimento das ondas.

os métodos conhecidos que têm sido desenvolvidos para a informatização das características das ondas, não consideram o efeito da profundidade da água.

### 3.4.3. Previsão da agitação

Em várias actividades costeiras e marítimas é necessária informação detalhada sobre as características das ondas, tais como, o dimensionamento e a execução de projectos de desenvolvimento costeiro e oceânico; a gestão e planeamento da zona costeira; o planeamento e dimensionamento de portos; o controlo da erosão costeira; o desenvolvimento das pescas e operações de pesca; o turismo e o lazer; a protecção de áreas costeiras e marítimas especiais; a previsão da ondulação; a navegação; construção de navios; desenvolvimento de projectos de aproveitamento da energia das ondas e estratégias e operações de defesa nacional.

Esta informação requerida pelas actividades acima mencionadas são de natureza estatística, derivam da análise de dados obtidos durante um período suficientemente longo de tempo (por exemplo, o regime das ondas), ou de previsões diárias, obtidas através da rotineira previsão da ondulação. O primeiro tipo de dados é necessário o planeamento e dimensionamento, já o segundo é essencial para operações costeiras e marítimas diárias/frequentes, tais como, a navegação e a execução de construções costeiras.

A medição das ondas é um processo difícil e dispendioso. Assim sendo, muitas vezes antes da execução de trabalhos de estruturação da linha de costa, os engenheiros costeiros têm de estimar as características da onda através de dados relativos ao vento.

A estimativa das características da agitação através de dados antigos relativos ao vento é chamada de *hindcasting*. Se os ventos que se espera que possam ocorrer no futuro forem antecipadamente previstos, e estes dados forem usados para obter possíveis características da agitação, então o procedimento é chamado de previsão do clima de agitação (*forecasting*). Os métodos de previsão das ondas disponíveis (*hindcasting* ou *forecasting*) podem ser classificados em métodos numéricos e empíricos.

### 3.5. Considerações finais

A gestão da zona costeira requer a análise quer da parte terrestre quer da parte marítima submersa, havendo, em alguns casos uma notória falta de conhecimentos e de análise dos aspectos físicos e dos fenómenos que ocorrem nessa mesma zona.

Com a breve descrição de alguns aspectos físicos e definições mais importantes relacionados com a Engenharia Costeira, efectuada neste artigo, pretendeu-se alertar para algumas das suas características e com isso fazer ver que é importante incluir estes elementos numa abordagem de gestão costeira.

Quase todos estes aspectos não podem ser desprezáveis porque interferem de forma significativa com a linha de costa e por isso têm que ser analisados, estudados e incorporados.

#### AGRADECIMIENTOS

Agradeço ao projecto ELANCAM: *European and Latin America Network on Coastal Area Management*. Projecto UE ALFA, Number EU Grant: AML/19.0902/97/0666(II0419-FA-FCD-FI).

#### REFERÊNCIAS

- CARTER (1988). *Coastal environments: An Introduction to the physical, ecological, and cultural systems of coastlines*, Academic Press, London.
- CICIN-SAIN B., R.W. KNECHT (1998). *Integrated Coastal and Ocean Management, Concepts and Practices*, Island Press, Washington D.C., USA, 517 pp.
- MASSIE W.W. (ed.) (1986). *Coastal Engineering*, Delft University of Technology, The Netherlands. Vol. 1.
- SHORE PROTECTION MANUAL (1984). Department of Army Coastal Engineering Research Center, Washington, D.C., 20402.
- SVENDSON I.A., JONSSON I.G. (1976). *Hydrodynamics of Coastal Regions*, Technical University of Denmark.
- UNITED NATIONS CONFERENCE ON ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT (1992). *Agenda 21 – Paragraph 17.8*, United Nations conference on environment and development: outcomes of the conference, Rio de Janeiro, Brazil, 3-14 June 1992.