



## **Esboço de Plano de Reconfiguração da Costa Oeste entre Espinho e a Nazaré**

Mário Teles, Andreia B. Martinho

Engenheiro Hidrógrafo; Licenciada em Ciências Geofísicas (Oceanografia)

[msteles@orthodrome.pt](mailto:msteles@orthodrome.pt); [amogobarata@gmail.com](mailto:amogobarata@gmail.com)

### **Fundamentos**

O balanço entre o afluxo das areias dos trânsitos fluviais à orla costeira Oeste a Norte da Nazaré e a resultante da capacidade de transporte das ondas permanece negativo com a configuração que a linha da costa apresenta actualmente em vários trechos, LNEC (2012). Nesta condição, a areia é um bem escasso.

Admitir a escassez de areia implica intervir com o objectivo de maximizar a sua retenção ao longo da costa. A presença do sumidoiro constituído pelo Canhão da Nazaré GTL (2014), no extremo de sotamar (a Sul) do trecho fisiográfico arenoso de escala regional definido entre Espinho e a Nazaré fornece coerência acrescida a esta estratégia. O paralelismo com a necessidade de reter a água nas regiões onde escasseia é evidente.

A retenção da areia disponível só por si não evita que a linha de costa tenda a recuar em alguns sub-trechos dado o balanço negativo que está instalado. Esses sectores constituem fontes potenciais de areia, que não pode ser desperdiçada. A eles juntam-se dois sectores, capazes de disponibilizar grandes quantidades de areia: os adjacentes por barlamar (pelo Norte) aos molhes exteriores das barras dos portos de Aveiro e da Figueira da Foz, i.e., nas praias de S. Jacinto e da Figueira da Foz-Buarcos, onde a retenção tem sido expressiva. Estima-se que no conjunto dessas fontes actuais e potenciais é possível dispor de volumes suficientes de areia para acorrer à costa durante décadas, desde que se assumam alterações – planeadas – à sua configuração actual. Como está patente, na ocorrência de défice de alimentação de areia os trechos dunares extensos tenderão sempre a assumir a forma de linhas quebradas.

O objectivo de maximizar a retenção da areia do trânsito litoral mantém-se válido nas hipóteses de ser necessário fazer alimentação artificial da costa a partir das albufeiras onde a areia fica retida ou a partir de bancos de areia situados ao largo da costa, GTL (2015).

A alteração climática em curso constitui um factor de decisão a reter na medida em que a escala temporal em que se processa se sobrepõe à escala temporal dos processos costeiros resultantes da intervenção de retenção das areias que se preconiza. De acordo com o mais recente relatório do IPCC, o 6<sup>o</sup>, de Agosto de 2021, assiste-se à aceleração da subida do nível do mar a partir de, pelo menos, 1971. Os ritmos, em mm por ano, têm sido os seguintes: 1,3 entre 1901 e 1971; 1,9 entre 1971 e 2006; 3,7 entre 2006 e 2018; sendo a média 2.0. Estes resultados são classificados como tendo grau elevado de certeza. O fenómeno está associado à subida da temperatura do planeta, estando estabelecido também com grau elevado de certeza naquele relatório que a derivada da subida da temperatura nas últimas 4 décadas é considerada sem paralelo nos, pelo menos, últimos 2 mil anos. As temperaturas na última década excedem as do período mais quente mais recente, que ocorreu há cerca de 6500 anos e são semelhantes aos do período mais quente anterior, há cerca de 125 mil anos, deduções a que é atribuída confiança moderada.

O processo de máxima retenção das areias é uma componente da estratégia de adaptação da orla costeira às consequências daqueles factores, a qual pode vir a ter que equacionar retirada de populações da linha de costa actual perante elevação do nível do mar mais acelerada do que a prevista. A máxima retenção das areias constitui não só um processo de mitigação em si mesmo, mas também porque contribuirá para alargar o prazo de uma retirada envolvendo decisões difíceis do âmbito do ordenamento do território. Desse modo, os custos envolvidos na maximização da retenção de areias na actualidade são assimilados em médio ou longo prazos.

No esboço de plano que se apresenta são identificados os sectores a fixar para efeito de rotação da linha de costa e os que são deixados erodir a sotamar dos anteriores. A base técnica é constituída pelos estudos já desenvolvidos pela Engenharia Costeira portuguesa. A análise aprofundada da eficácia com que os molhes das duas barras atrás referidas têm intersectado o



trânsito litoral, LNEC (2015), permitirá reduzir a margem de erro no dimensionamento das estruturas de retenção – campos de esporões – e da sua alimentação inicial.

**Nota:** a implantação de campos de esporões não constitui um entrave às práticas balneares; pelo contrário, a sua presença proporciona sectores abrigados para aquela prática, que estão patententes em vários locais da costa.

### **Método.**

A retenção de areia é obtida à custa da diminuição da taxa de transporte litoral ao longo do trecho, cuja resultante, no caso vertente, tem o sentido Norte-Sul. É sabido que a o transporte longilitoral é mínimo quando a linha de costa oferece uma orientação próxima da normal à direcção das ondas representativas do transporte litoral.

A diminuição do transporte de areias é aplicada em troços seleccionados através da implantação de campos de esporões saturados ou parcialmente saturados em extensões ao longo da costa entre 4 e 5 quilómetros. As células de intervenção para efeito de Projecto são prolongadas para sotamar (para Sul) do esporão Sul de cada campo em extensões idênticas àquelas, de forma a incluir-se a previsão dos efeitos erosivos.

### **Seleção de sítios preferenciais. Critérios**

Os locais seleccionados para se proceder à retenção das areias do trânsito litoral são os três seguintes, assinalados nas Figuras 1a e 1b:

- Furadouro
- Mira - sul
- Leirosa

Estas localizações obedecem a um compromisso entre os seguintes critérios:

- Associação a uma zona onde a erosão da costa está identificada como crítica, i.e., que tenha sido ou estando a ser objecto de intervenções de protecção recentes, caso dos troços seguintes: do Furadouro; entre a Vagueira e Mira; entre a Costa de Lavos e a Leirosa;
- Existência a sotamar de território onde as consequências de fenómenos de erosão controlada são susceptíveis de ser minimizadas, designadamente escassas habitação e urbanização, casos dos troços seguintes: entre o Furadouro e a Torreira; entre Mira - sul e a Tocha; entre a Leirosa e a Praia de Pedrógão.

O campo de esporões do Furadouro fica estabelecido a partir da malha urbana para Sul. Nos dois outros casos estão igualmente estabelecidos por sotamar (a Sul) de malhas urbanas em situação de risco, porém, a manutenção da estabilidade dos emissários submarinos da empresa AQUINOVA e do emissário submarino da empresa CELBI requer que lhes seja dado resguardo por sotamar (pelo Sul).

### **Configuração de base dos campos de esporões**

Em cada campo, o comprimento dos esporões cresce em direcção a barlar (ao Norte). O comprimento do esporão Norte é estimado entre 500 e 600 metros, por forma a interceptar a parte principal do transporte litoral, a qual ocorre entre a linha de costa e a batimétrica de 6 metros, cf. os estudos em modelo matemático apresentados em Teles, Barata, e Vieira (1996). A este propósito refira-se a necessidade recorrente de prolongar o molhe Norte da barra de Aveiro para continuar a sustentar a transposição natural.

Os afastamentos entre os esporões estão pré-definidos em duas vezes o comprimento do esporão a barlar, conforme os critérios enunciados em Abbott e Price (1994) e USACE (2006). A optimização dos afastamentos, bem como da orientação e da configuração dos esporões ao

nível de projecto terá de ser obtida com recurso a modelo físico, de que existe experiência em Portugal, ver Sousa (2012), em função da ondulação representativa do transporte litoral em cada caso cf. o estudo de Barata, Teles e Vieira (1996). (A relação óptima entre o afastamento entre esporões e o seu comprimento é a que conduz à continuidade e permanência da acumulação na presença dos modos de transporte longitudinal e transversal (*onshore-offshore*) e da inversão sazonal do sentido do transporte litoral, ver em Abbott e Price (1994). São retidas quer as condições mais frequentes quer os eventos extremos do clima de agitação marítima.



1a



1b

Figura 1a– Localização dos campos de esporões do Furadouro e de Mira-sul  
Figuras 1b – Localização do campo de esporões de Leirosa

## Operação

A implantação de cada campo de esporões inicia-se pelo esporão a sotamar (esporão Sul) e é faseada em função dos ritmos de enchimento, artificiais e naturais. O enchimento artificial é feito a partir dos sectores de acumulação histórica de areias, a praia de S. Jacinto e a praia da Figueira da Foz-Buarcos, ver as Figuras 1a e 1b atrás referidas. O ritmo anual de enchimento artificial de cada campo de esporões é estimado em 500.000 metros cúbicos. Equivale a acrescentar anualmente em cada campo uma faixa de 25 metros de largura por 4 metros de altura.

Os carregamentos das areias para navio (draga), ou para batelão ou barcaça são feitos no tardo das dessas praias em locais abrigados da ondulação com recurso a meios terrestres: no interior da Ria de Aveiro e no anteporto do Porto da Figueira da Foz, em ambos os casos nas proximidades das raízes dos respectivos molhes Norte, locais assinalados nas Figuras 2 e 3.

O enchimento dos campos de esporões de Mira - sul e da Leirosa é feito preferencialmente por via marítima. Para o enchimento do campo de esporões do Furadouro está disponível a via lagunar além da via marítima. Na alternativa lagunar a areia é transportada até ao Carregal e daí bombada ou transportada para a faixa costeira. Um eventual aprofundamento do canal do Carregal constituirá uma continuidade das intervenções de dragagem de que foi objecto nas últimas duas décadas (recorda-se que o enrocamento dos troços iniciais do molhe Norte da barra do Porto de Aveiro foi transportado pela Ria desde Ovar – o chamado «canal da pedra»). A via lagunar não está sujeita aos constrangimentos da via marítima adiante referidos.

O esforço e os métodos enunciados são compatíveis com o recurso a meios mecânicos nacionais existentes e a meios cuja construção está ao alcance da indústria naval nacional em tempo útil como mais adiante se deduz. Os objectivos estratégicos da intervenção implicam conexão estreita com a indústria de construção naval nacional.

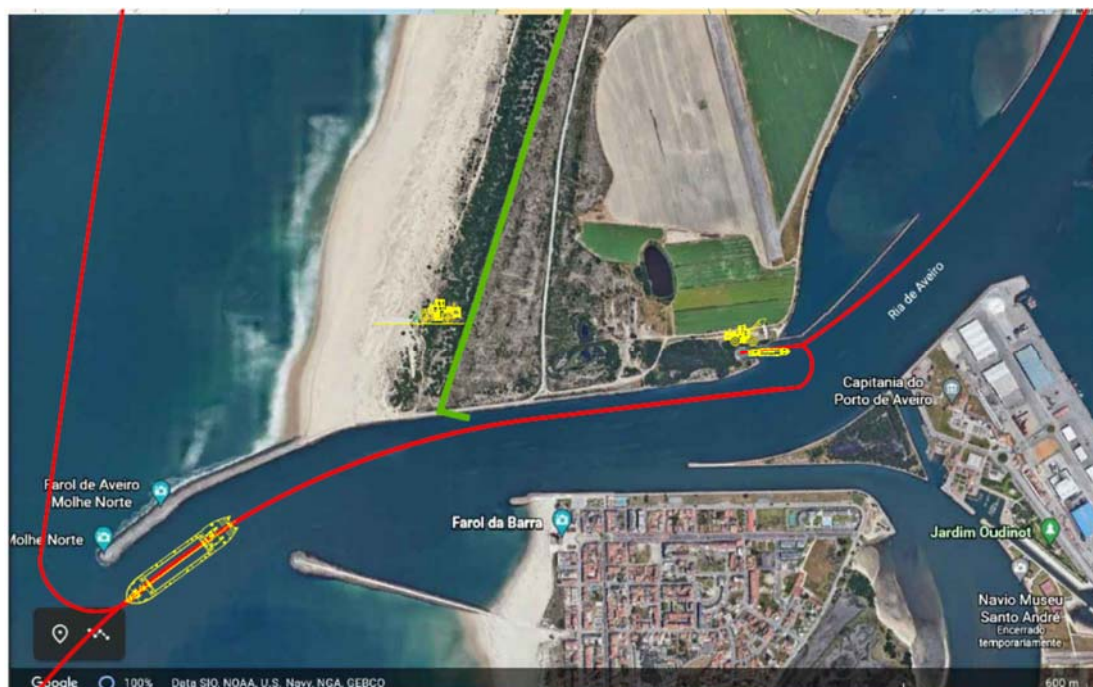


Figura 2 – Localização da extração e carregamento de areias na praia de S. Jacinto

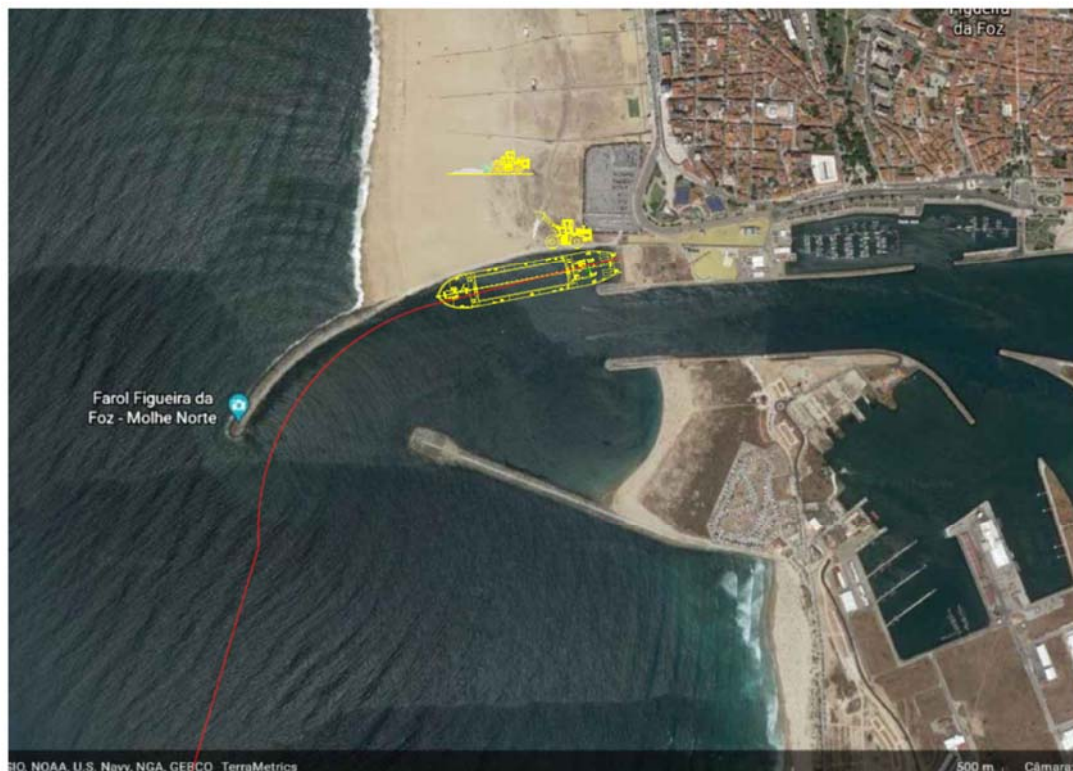


Figura 3 – Localização da extração e carregamento de areias na praia da Figueira da Foz

### Factores da programação anual associados à agitação marítima

No programa de trabalhos no mar são retidos os dias com altura significativa,  $H_s$ , até 1,5 metros, descontados os dias isolados, atendendo a que os trânsitos a partir dos dois portos podem absorver meio dia. A respectiva estatística está indicada no Quadro I em termos de dias disponíveis e está representada nas Figuras 4a e 4b em termos da probabilidade empírica de ocorrência de dias consecutivos com  $H_s$  inferior ou igual a 1,5 metro e da distribuição de probabilidade GAMMA ajustada pelo método de mínimos quadrados através da aplicação SOLVER. Faz-se a subdivisão pelas épocas de Primavera-Verão e de Outono Inverno.

Quadro I - Dias disponíveis e períodos de dias consecutivos disponíveis – média anual

Hs < = que 1,5m	Dias disponíveis no semestre		Dias isolados			Períodos de dias consecutivos (nº)			Dias consecutivos disponíveis	
	Nº	% no semestre	1 dia	2 dias	>2 dias	Nº	% no semestre	Nº	% no semestre	
Primavera-Verão	109	61%	8	6	14	101	56%			
Outono-Inverno	38	21%	7	4	4	31	17%			
<b>Ano</b>	<b>147</b>	<b>40%</b>	<b>15</b>	<b>10</b>	<b>18</b>	<b>132</b>	<b>36%</b>			

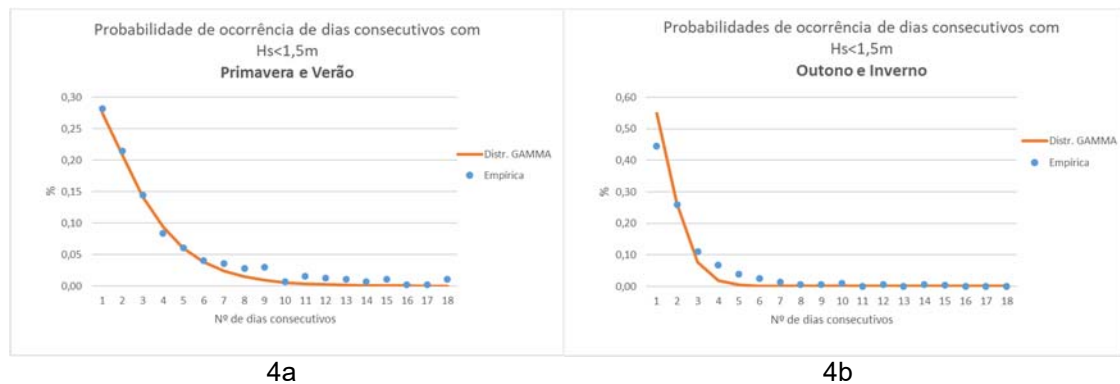


Figura 4a – Probabilidades de ocorrência de dias consecutivos com  $H_s \leq 1,5m$ , 2<sup>o</sup> e 3<sup>o</sup> Trim.  
Figura 4b – Probabilidades de ocorrência de dias consecutivos com  $H_s \leq 1,5m$ , 4<sup>o</sup> e 1<sup>o</sup> Trim.

Os resultados desta análise estatística mostram que o número anual de dias consecutivos disponíveis para trabalhos no mar não excede 132 e caracterizam a diferenciação acentuada entre as épocas Primavera-Verão e Outono-Inverno no sector de costa em análise.

A referida análise assentou no tratamento estatístico dos dados de uma série temporal longa de  $H_s$ , de hindcast, obtida junto do ECMWF- *European Centre for Medium Wave Forecast* para um ponto localizado no sector de Mira. A duração da série é 20 anos e 8 meses, de Janeiro de 1999 a Agosto de 2019.

### Requisitos de capacidade em meios navais

No Quadro II indicam-se alternativas de referência para realizar num ano o transporte de 500.000 metros cúbicos de areia pela via marítima referidas a 130 dias de operação.

Quadro II – Alternativas de realização do esforço anual do transporte de areias (500.000 m<sup>3</sup>)

Capacidade unitária (m <sup>3</sup> )	Nº de saídas anuais	Nº de saídas diárias
2000	250	2
1000	500	4
400	1250	10

No caso do campo de esporões do Furadouro, o recurso à via lagunar permite diminuir a capacidade dos meios de transporte

### Intervenções complementares e suplementares

Em complemento destas intervenções preconiza-se a duplicação do comprimento de pelo menos alguns dos esporões instalados nos seguintes troços:

- Torreira
- Costa Nova – sul
- Vagueira a Mira
- Costa de Lavos a Leirosa

Nas pontas de terra de S. Pedro de Muel, de Povoeiro e de Vale Furado preconiza-se a instalação de esporões destinados a reter o remanescente das areias que venham a ser libertadas a Norte desses sectores, visando reduzir a sua imersão no canhão da Nazaré.

### Estimativa de custos

O custo global arredondado das intervenções preconizadas no termo de 5 anos é €500x10<sup>6</sup> (quinhentos milhões de euros). Esse montante resulta do somatório das seguintes parcelas principais:

- Construção de esporões: €300x10<sup>6</sup>
- Enchimento artificial com areia: €120x10<sup>6</sup>
- Intervenções complementares: €80x10<sup>6</sup>

No Quadro III dá-se nota das quantidades e dos custos unitários adoptados

Quadro III- Apuramento expedito do custo de cada campo de esporões em 5 anos

Componente	Un	Quantidade	P.U. (€)	Custo (x10 <sup>6</sup> €)
Esporões	m	2000	50 000	100
Enchimento	m <sup>3</sup>	2.500.000	16	40
Soma -->				<b>140</b>

Observações:

- O custo dos esporões foi estimado com base nas secções transversais standard sobre as batimétricas de 5 e de 3 metros, representadas na Figura 5, cf. CIRIA (2007).
- Os custos de enchimento são estabelecidos com base em valores de mercado praticados.

As estimativas apresentadas referem-se às condições mais desfavoráveis de operacionalidade.

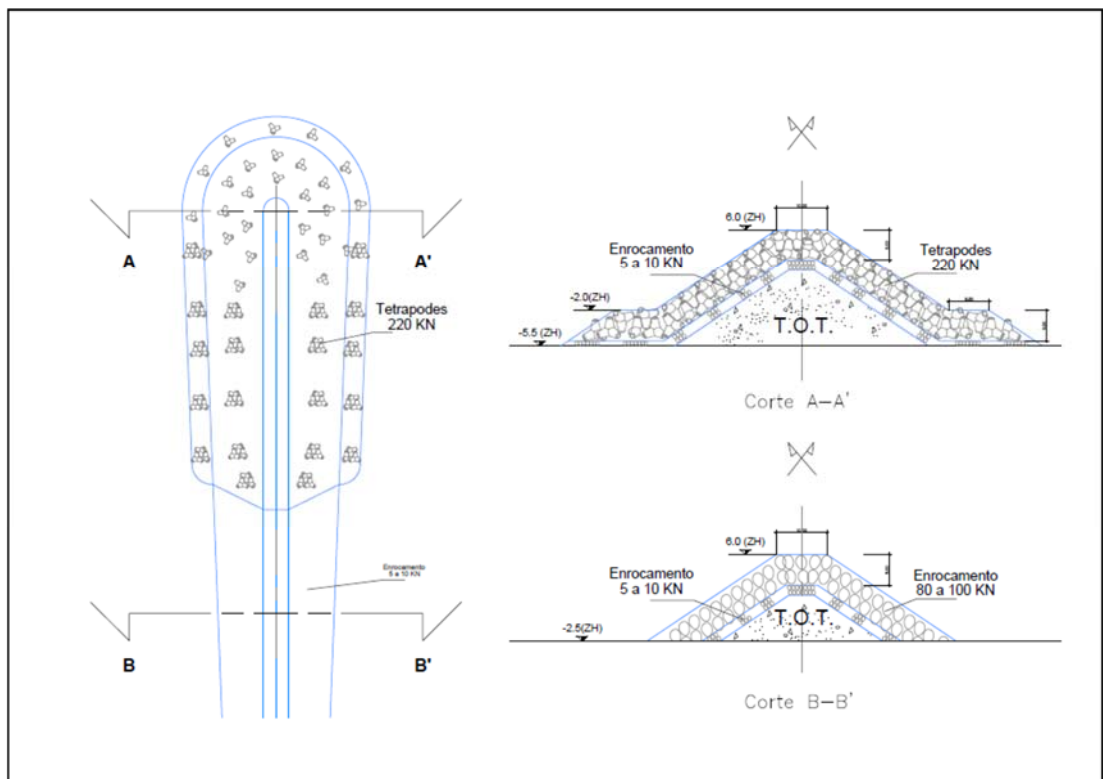


Figura 5 – Secções-tipo de um esporão



### Notas Finais

- O princípio da precaução (que determina que intervenções da magnitude das que são preconizadas sejam conduzidas «passo a passo») é satisfeito ao estabelecer-se que a instalação de um campo de esporões é conduzida de sotamar (do Sul) para barlamar (para Norte) em função do respectivo ritmo de enchimento.
- A condução do processo em cada caso não pode ficar desligada da gestão centralizada ao nível do trecho fisiográfico em questão de forma a poder usufruir-se continuamente da experiência, entretanto adquirida.
- A implantação do campo de esporões do Furadouro revela-se a prioritária em face dos repetidos eventos de galgamento das ondas sobre a própria malha urbana.

**Colaboração:** a elaboração desta comunicação teve a colaboração estreita e permanente do Técnico Especialista (LNEC) João Geadas Cabaço.

### Referências Bibliográficas

- Abbott, M.B. e Price W.A. (1994). "Coastal, Estuarial and Harbour Engineers' Reference Book". E. & FN SPON, 736pp.
- Barata, A., Teles, M. e Vieira J. (1996) – "Seleção de Ondas Representativas da Agitação Marítima para efeito da Avaliação do Transporte Litoral na Costa de Aveiro", Revista Recursos Hídricos da APRH, Vol. 17, N°1.
- CIRIA -Construction Industry, Research and Information Association (2007). "The Rock Manual".
- GTL-Grupo de Trabalho do Litoral (2014) – "Relatório Final", SEA-Secretaria de Estado do Ambiente.
- GTL-Grupo de Trabalho para os Sedimentos (2015) – "Relatório Final", SEA-Secretaria de Estado do Ambiente.
- LNEC-Departamento de Hidráulica e Ambiente (Claudino Martins Vicente, Manuel Clímaco). (2012) – "Trecho de Costa do Douro ao Cabo Mondego - Caracterização geral do processo erosivo".
- LNEC-Departamento de Hidráulica e Ambiente (Claudino Martins Vicente, Manuel Clímaco, colaboração Vítor Pisco) (2015) – "Evolução Costeira do Douro ao Cabo Mondego - Proposta de uma metodologia de estudo".
- Sousa, Francisco B. P. de (2012) – "Estudo de Soluções de Enraizamento de Esporões", FEUP
- Teles, M., Barata, A. e Vieira J. (1996) – "Morfodinâmica da Região da Barra der Aveiro", 5ª Conferência Nacional sobre Qualidade do Ambiente, Aveiro.
- U. S. Army Corps of Engineers (2006). "Coastal Engineering Manual (CEM)". Washington, D.C. (6 volumes).