



Principais métodos de proteção costeira

Pedro Pereira

Objetivo

O presente documento é um texto de cariz didático, elaborado com base em bibliografia atualizada sobre a temática em questão — *Principais métodos de proteção costeira* —, sendo parte integrante dos materiais de estudo do tópico Processos Costeiros, da Unidade Curricular de Riscos Naturais, da Licenciatura em Ciências do Ambiente, da Universidade Aberta.

Foto da capa: Vista aérea da zona costeira de Cova do Vapor/Costa de Caparica. Fonte: APA (2017).



Índice

| | |
|-------------------------------------|----|
| 1. Introdução..... | 1 |
| 2. Estabilização rígida | 2 |
| 2.1. Estruturas transversais..... | 2 |
| 2.1.1. Esporões..... | 2 |
| 2.1.2. Molhes..... | 3 |
| 2.2. Estruturas longitudinais | 5 |
| 2.2.1. Quebra-mares | 5 |
| 2.2.2. Paredões..... | 6 |
| 2.2.3. Revestimentos..... | 8 |
| 2.2.4. Diques | 9 |
| 3. Estabilização suave | 10 |
| Referências..... | 13 |

1. Introdução

Há milénios que as comunidades humanas sentem particular atração por colonizar zonas costeiras devido às suas diversas características vantajosas (e.g. fácil abastecimento alimentar; clima mais ameno; acesso ao mar, permitindo o estabelecimento de trocas comerciais com outras comunidades).

Apesar de todas as vantagens obtidas, as comunidades costeiras enfrentam também um conjunto único de perigos que podem ameaçar/destruir vidas e propriedades humanas. As catástrofes naturais (tempestades e tsunamis), que provocam galgamento do mar e inundações nas zonas costeiras, e a erosão costeira, que se expressa pelo recuo da linha de costa, são duas das principais ameaças que as comunidades costeiras enfrentam.

A principal resposta a estas ameaças (perigos costeiros) tem sido a construção de estruturas de proteção costeira. Estas estruturas têm como função estabilizar, ou mesmo avançar, a linha de costa por meios artificiais, contudo, não eliminam as causas do processo erosivo em si, apenas mitigam temporariamente as consequências da erosão.

Seguidamente, enumeram-se e caracterizam-se sucintamente os métodos mais comumente utilizados na proteção/estabilização de zonas costeiras em risco e na proteção de áreas portuárias e respetivos canais de aproximação e navegação, os quais, consoante a abordagem técnica, podem ser divididos em métodos de estabilização pesada ou rígida e métodos de estabilização suave.

2. Estabilização rígida

A estabilização rígida envolve a construção de estruturas de engenharia para reduzir a ação de ondas e correntes e proteger a costa da erosão. Estas estruturas podem ser: (i) transversais, construídas perpendicular ou obliquamente à linha de costa, interrompendo a deriva litoral (esporões e molhes), ou (ii) longitudinais ou paralelas à linha de costa, bloqueando a força das ondas (quebra-mares, paredões, diques e revestimentos).

2.1. Estruturas transversais

2.1.1. Esporões

Os esporões são estruturas rígidas, longas e estreitas, perpendiculares ou ligeiramente oblíquas à linha de costa, que se estendem até à zona de rebentação (geralmente, ligeiramente para lá da linha de baixa-mar). Normalmente, são retilíneos, mas também podem ser curvos ou terem a extremidade virada para o mar em forma de T ou Y. A sua função é reter, pelo menos parcialmente, a deriva litoral, minimizando os problemas de erosão costeira a barlar da estrutura. Podem ser permeáveis (permitindo a passagem de água e algum sedimento) ou impermeáveis (reforçando a deflexão dos fluxos). A escolha dos materiais utilizados na sua construção (enrocamentos, blocos de betão pré-fabricados¹, gabiões, sacos com areia ou pedras, madeira, metal) depende da permeabilidade pretendida. A sua parte superior pode estar emersa ou submersa (Burcharth & Hughes, 2006; Dias, 2007a; van Rijn, 2011).

Apesar de fomentarem a deposição de sedimentos a barlar das estruturas, os esporões aumentam a erosão a sotamar (Fig. 1). Para contrariar esta situação, estão muitas vezes associados a estruturas longitudinais aderentes, construídas a sotamar ou, para proteger uma secção da costa contra a erosão, são normalmente construídas séries de esporões similares (campo de esporões – Fig. 2) (Bush *et al.*, 2001; Burcharth & Hughes, 2006; Dias, 2007a; van Rijn, 2011).

¹ Estes blocos artificiais apresentam formas muito diversas, consoante o efeito pretendido (tetrápodes, dolos, blocos cúbicos, hexápodes, tetraedros, paralelepípedos, entre muitos outros).

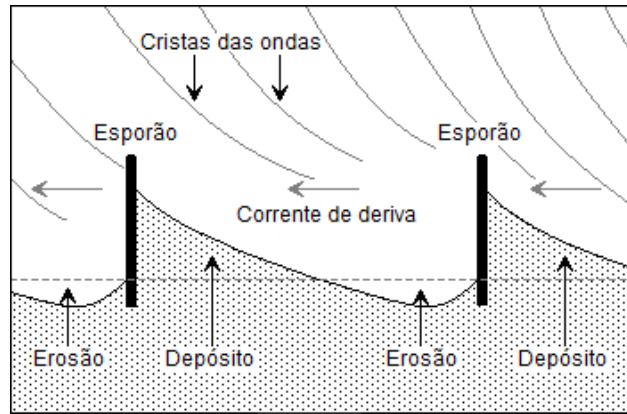


Figura 1 – Diagrama esquemático ilustrando os efeitos, na linha de costa, da construção de esporões (Adaptado de Keller & Blodgett, 2007).

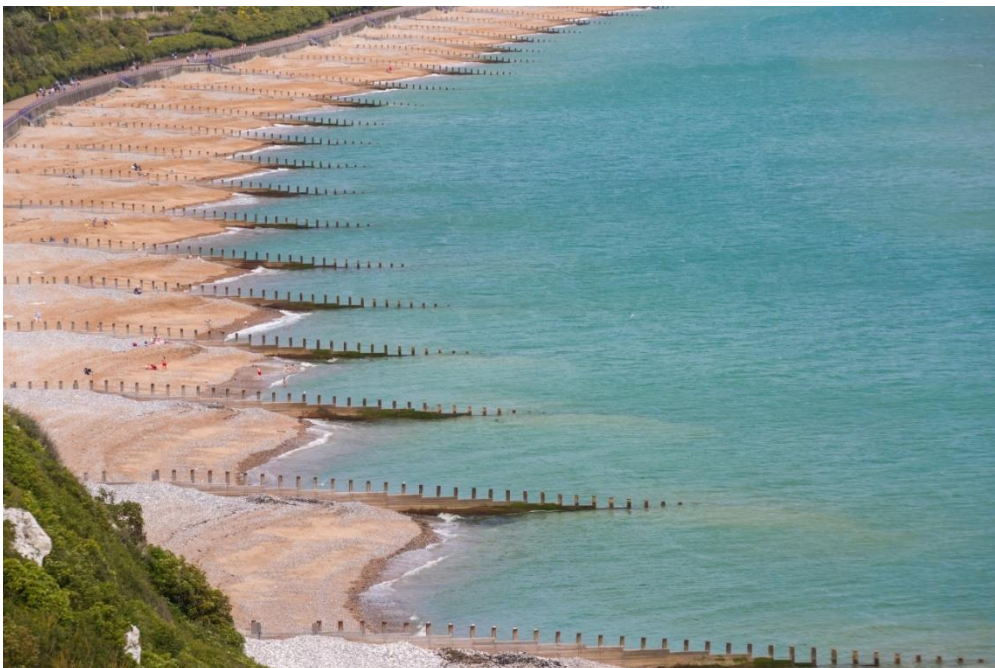


Figura 2 – Campo de esporões da praia de Eastbourne (Sussex, Inglaterra). Frequentemente, a retenção de areia a barlar e a erosão a sotamar de cada esporão conferem às praias um padrão em “dentes de serra”. Fonte: Petr Kratochvil – CC0 – <https://www.publicdomainpictures.net/pt/view-image.php?image=250667&picture=praia-eastbourne>.

2.1.2. Molhes

Os molhes são estruturas (semelhantes a esporões) impermeáveis e normalmente muito longas (para lá da zona de rebentação), construídas com o objetivo de evitar o assoreamento e a meanderização da barra ou dos canais de navegação ou de aproximação ao porto. Tal como ocorre com os esporões, a sua existência provoca deposição de sedimentos a barlar e erosão a sotamar da barra (Figs. 3A e 4) (Bush *et al.*, 2001; Dias, 2007b; van Rijn, 2013).

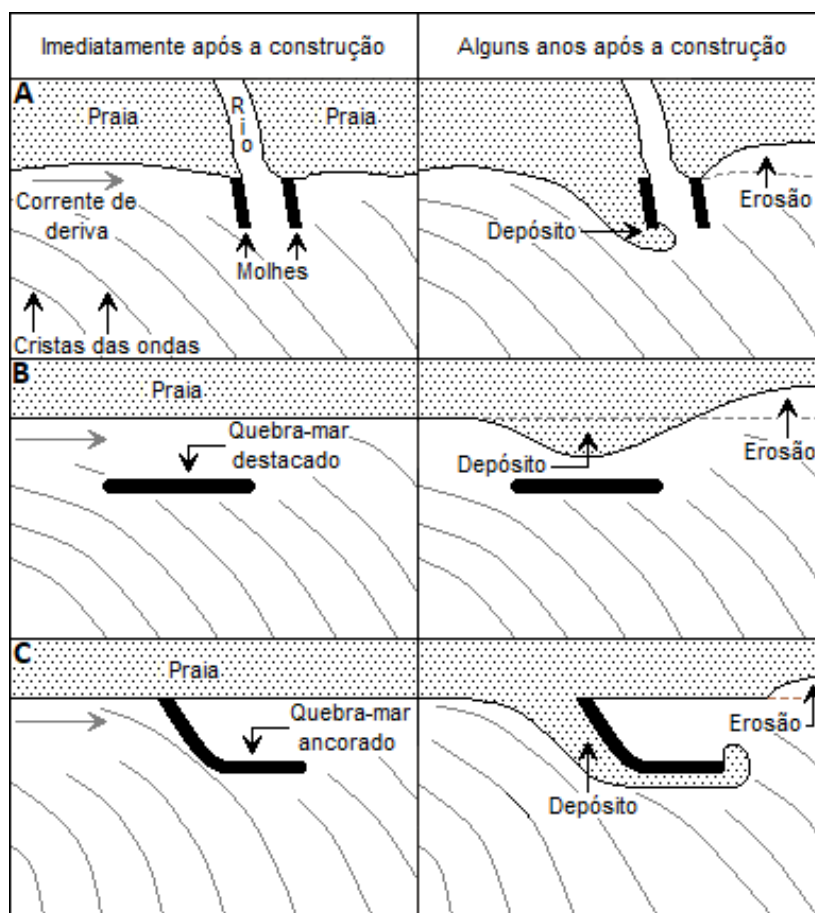


Figura 3 – Diagramas esquemáticos ilustrando os efeitos, na linha de costa, da construção de molhes (A), quebra-mares destacados (B) e quebra-mares com uma extremidade ancorada em terra (C) (adaptado de Keller & Blodgett, 2007).

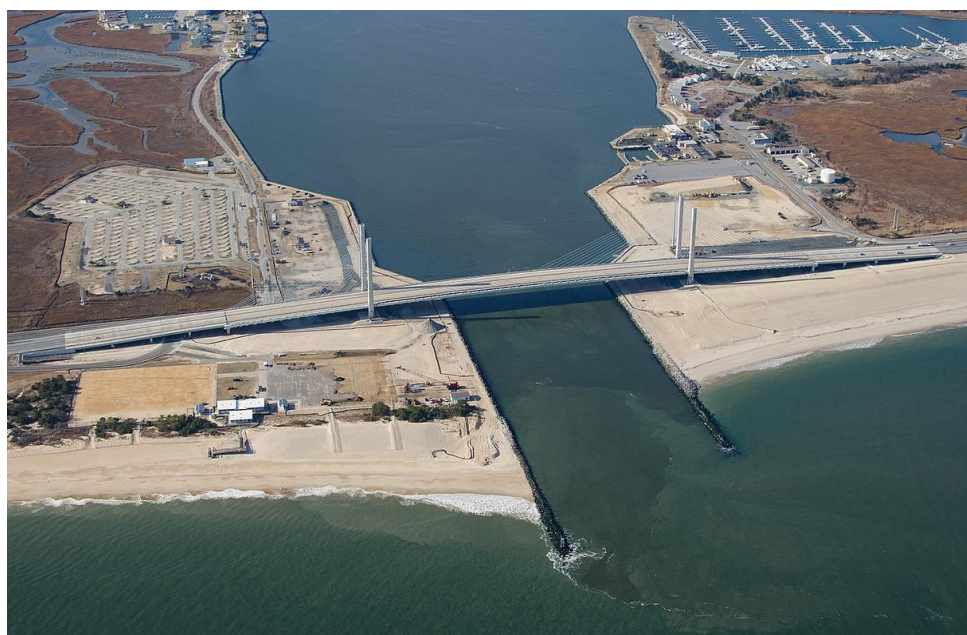


Figura 4 – Molhes de proteção da entrada da Indian River Bay (Delaware, EUA). Fonte: Jameson Harrington – CC-BY-SA/3.0 – <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=30123798>.

2.2. Estruturas longitudinais

2.2.1. Quebra-mares

Os quebra-mares são estruturas impermeáveis, construídas com o mesmo tipo de materiais utilizado nas estruturas transversais. Consoante o objetivo pretendido, podem ser aderentes à costa (correspondendo a paredões – ver abaixo), destacados da costa (Figs. 3B e 5), ou ter uma extremidade ancorada em terra (Figs. 3C e 6).

Os quebra-mares destacados, emersos ou submersos, são construídos, *grosso modo*, paralelamente à linha de costa, tipicamente, para lá da zona de rebentação, com o objetivo de proteger uma secção da costa, resguardando-a da incidência direta da agitação marítima. A difração das ondas nas extremidades da estrutura gera transporte sedimentar convergente na zona protegida, originando uma praia saliente. No limite, esta a acumulação de sedimentos pode mesmo originar um tómbolo (Bush *et al.*, 2001; Dias, 2007c; van Rijn, 2011).

À semelhança do que ocorre com as estruturas transversais de proteção costeira, a retenção de areia atrás dos quebra-mares subtrai sedimentos à deriva litoral, acelerando o recuo da linha de costa a sotamar das estruturas. Para minimizar este efeito erosivo (Bush *et al.*, 2001) (Figs. 3B) são normalmente construídos campos de quebra-mares (Fig. 5).



Figura 5 – Campo de quebra-mares destacados em El Palo (Málaga, Espanha) (Fortunato *et al.*, 2008).

Os quebra-mares ancorados, usualmente arqueados ou em forma de L, têm como objetivo principal criar condições de abrigo (agitação marítima reduzida) em portos e marinas e/ou evitar o assoreamento da entrada do canal de acesso a um porto (Fig. 6) (Dias, 2007c). Tal como todas as outras estruturas de proteção costeira acima referidas, os quebra-mares ancorados também geram acumulação de sedimentos a barlamar e erosão a sotamar da estrutura (Fig. 3C).



Figura 6 – Quebra-mar ancorado do Porto da Ericeira (Lisboa, Portugal) (APA, 2017).

2.2.2. Paredões

Os paredões são estruturas aderentes usadas, normalmente, como última linha de defesa contra as ondas, servindo frequentemente para proteger património edificado ao longo da costa (Bush *et al.*, 2001). Podem ser construídos com diferentes materiais, tais como madeira, enrocamentos (Fig. 7), gabiões, betão armado, blocos de betão de formas diversas (Fig. 8), ou metal. A sua forma pode ser muito variada: alguns são simples paredes verticais, outros são inclinados ou apresentam degraus para dissipar a energia das ondas, e outros apresentam perfil transversal côncavo (Fig. 9) de modo a refletir a energia da onda incidente na direção do mar (Dias, 2007d).



Figura 7 – Paredão construído com blocos de rocha (enrocamento) em Cape May (Nova Jérсия, EUA) (Bush *et al.*, 2001).



Figura 8 – Paredão construído com tetrápodes de betão em Mumbai, Índia. Fonte: Kelisi – CC-BY-SA/3.0 – <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=19742084>.

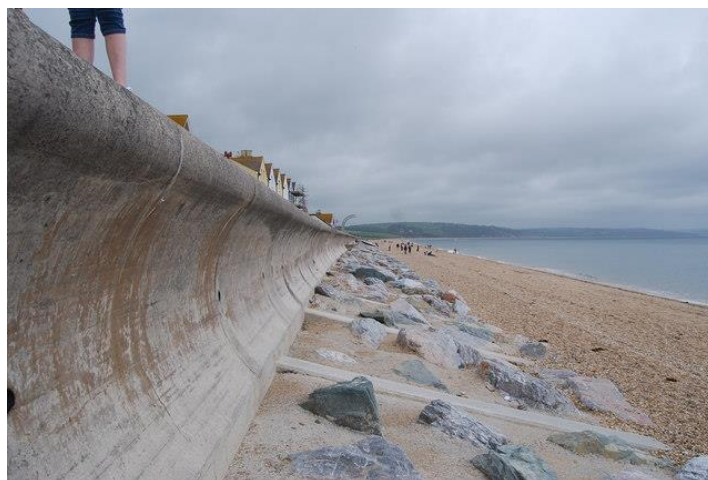


Figura 9 – Paredão (de betão armado) de perfil transversal côncavo em Torcross (Devon, Inglaterra). Fonte: N. Chadwick – CC-BY-SA/2.0 – geograph.org.uk/p/3301406.

Contudo, o aumento da reflexão das ondas provocado pela construção de um paredão resulta, na maioria dos casos, no aumento da erosão do fundo marinho/praias imediatamente à frente da estrutura. Esta erosão resulta num maior declive do fundo marinho, facto que, conseqüentemente, permite que ondas maiores atinjam a estrutura. Por esta razão, os paredões são frequentemente utilizados em conjunto com outros tipos de sistemas de proteção costeira, tais como, esporões e alimentação artificial de praias (Burcharth & Hughes, 2011).

2.2.3. Revestimentos

Os revestimentos são constituídos, no interior, por camadas de materiais permeáveis, como geotêxteis e materiais granulares, e, no exterior, por uma cobertura protetora, quase impermeável, de madeira (Fig. 10), betão projetado, blocos de rocha, blocos de betão pré-fabricados, asfalto, gabiões, etc., têm como função sustentar, evitando a ocorrência de movimentos de vertente, e estabilizar, prevenindo ou reduzindo a erosão da base de arribas, afloramentos rochosos, dunas, diques ou paredões (van Rijn, 2016).

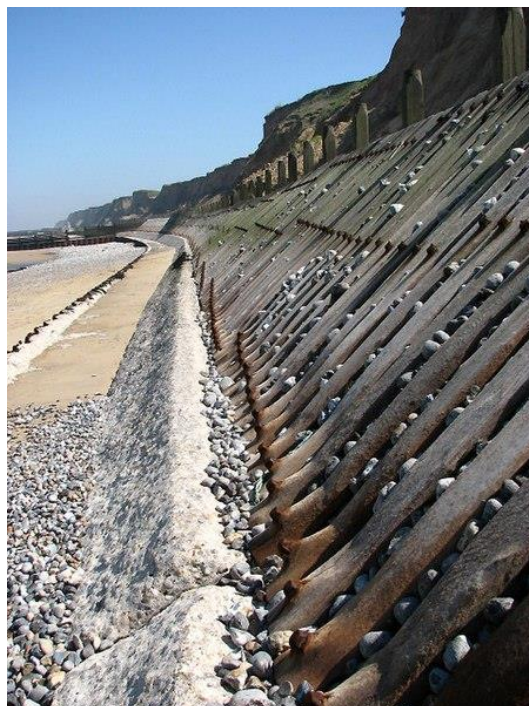


Figura 10 – Revestimento em madeira, assente em base de betão, na praia de Sheringham (Norfolk, Inglaterra). Fonte: Evelyn Simak – CC-BY-SA/2.0 – geograph.org.uk/p/792830.

2.2.4. Diques

Os diques são estruturas impermeáveis, constituídas por um corpo central de materiais finos, como areia ou argila, e uma cobertura protetora (revestimento – ver abaixo), com suave inclinação para o mar, para reduzir o efeito da agitação marítima (Fig. 11). Têm como objetivo a proteção contra inundações, ao longo de secções costeiras, onde não existam defesas naturais, como dunas, falésias ou formações rochosas (van Rijn, 2016).



Figura 11 – Pormenor do dique de Hondsbossche e Pettemer (Países Baixos). Fonte: Door Ceinturion – CC-BY-SA/3.0 – <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=1809305>.

3. Estabilização suave

A estabilização suave de zonas costeiras recorre a métodos “naturais”, ambientalmente menos agressivos, para contrariar a erosão: alimentação artificial de praias, transposição de molhes, (re)construção de dunas ou plantação de vegetação para fixar sedimentos.

O método mais frequentemente utilizado é a alimentação artificial de praias, que consiste na colocação de grandes quantidades de areia: na berma da praia emersa (Fig. 12), alargando-a no sentido do mar; na duna adjacente, robustecendo-a em volume e altura; ou na praia submarina, na zona de rebentação, para dissipação da energia das ondas antes de atingir a praia emersa (Pinto *et al.*, 2018).



Figura 12 – Trabalhos de alimentação artificial de praia em Ocean Beach (San Francisco, Califórnia, EUA). Fonte: U.S. Army Corps of Engineers, San Francisco District Website – Public Domain – <https://www.spn.usace.army.mil/Missions/Projects-and-Programs/Ocean-Beach-Beach-Nourishment/igphoto/2002848334/>.

A alimentação artificial de praias pode ser uma alternativa ou um complemento a estruturas de proteção rígidas, tais como esporões, quebra-mares e estruturas aderentes, sendo utilizado, principalmente, para compensar a erosão local em zonas de dunas relativamente estreitas e baixas (regiões de segurança costeira crítica) ou para aumentar as áreas recreativa de praias (van Rijn, 2011).

As características dos depósitos de sedimentos (manchas de empréstimo) identificados para serem dragados e transportados para as áreas do enchimento

condicionam frequentemente a logística e a operacionalidade dos projetos de alimentação artificial de praias. Idealmente, as manchas de empréstimo situam-se na proximidade dos locais de enchimento, apresentam características sedimentares e granulométricas semelhantes às das areias do local de deposição e não estão poluídas. Geralmente, as manchas de empréstimo provêm de dragagens de manutenção/aprofundamento (associadas à atividade portuária) de barras de maré e canais de navegação, da exploração em terra (nas áreas portuárias) de depósitos provenientes de dragagens anteriores, e de dragagens na plataforma continental vizinha (Pinto *et al.*, 2018).

Em alguns casos, recorre-se à transposição de areias de locais onde existe acumulação para áreas deficitárias/em erosão (*bypass*) (Pinto *et al.*, 2018). Um exemplo desta situação, é a transposição de esporões ou molhes, que consiste na transferência, por dragagem e posterior bombeamento, das areias retidas por estas estruturas a barlamar para sotamar, reconstituindo assim a deriva litoral e, conseqüentemente, minimizando os impactos negativos induzidos pela presença das estruturas.

A (re)construção de dunas pode ser efetuada por simples alimentação artificial de areia e revegetação ou, numa abordagem menos “natural”, mas mais eficaz, por alimentação artificial (ou utilização de areia local) com aplicação de mantas de material geotêxtil, envolvendo grandes volumes de areia (geocontentores – Fig. 13), ou utilizando enormes sacos de material geotêxtil, de forma tubular (geotubos – Fig. 14), cheios de areia (Antunes do Carmo *et al.*, 2010; Antunes do Carmo, 2013).

Após a aplicação dos geocontentores ou geotubos, toda a estrutura protetora é coberta por uma camada de areia com cerca de 1 m de espessura, seguindo-se um processo de revegetação com espécies autóctones, para fixação da duna (Fig. 15) (Antunes do Carmo *et al.*, 2010; Antunes do Carmo, 2013).



Figura 13 - Instalação de geocontentores na praia de Leirosa (Figueira da Foz, Portugal) em 2005 (Antunes do Carmo, 2013).



Figura 14 - Instalação de geotubos na praia de Leirosa (Figueira da Foz, Portugal) em 2008 (Antunes do Carmo, 2013).



Figura 15 - Aspeto geral de duna reconstruída, após revegetação, em Leirosa (Figueira da Foz, Portugal) (Antunes do Carmo, 2013).

Referências

- Antunes do Carmo, J. (2013). Experiência de recuperação de um sistema dunar e proposta de instrumentos complementares de proteção, atração e valorização ambiental. *Journal of Integrated Coastal Zone Management*, 13(3), 317-328.
- Antunes do Carmo, J., Reis, C. S., & Freitas, H. (2010). Working with nature by protecting sand dunes: lessons learned. *Journal of Coastal Research*, 26(6), 1068-1078.
- APA (2017). *Plano de Ação Litoral XXI* (atualização a 15 de novembro de 2019). Agência Portuguesa do Ambiente. Disponível em <https://apambiente.pt/agua/plano-de-acao-litoral-xxi>.
- Burcharth, H. F., & Hughes, S. A. (2011). Types and Functions of Coastal Structures. In USACE (Eds.). *Coastal Engineering Manual* (pp. VI-2-1-VI-2-56). U.S. Army Corps of Engineers.
- Bush, D. M., Pilkey, O. H., & Neal, W. J. (2001). Coastal topography, human impact on. *Encyclopedia of Ocean Sciences*, Vol. 1, 1st edition, (pp 480–489). Elsevier.
- Dias, J. A. (2007a). Esporão. In *Glossário sobre as Zonas Costeiras*. Disponível em <http://www.aprh.pt/rgci/glossario/espobao.html>.
- Dias, J. A. (2007b). Molhe, In *Glossário sobre as Zonas Costeiras*. Disponível em <http://www.aprh.pt/rgci/glossario/molhe.html>.
- Dias, J. A. (2007c). Quebra-mar, In *Glossário sobre as Zonas Costeiras*. Disponível em <https://www.aprh.pt/rgci/glossario/quebra-mar.html>.
- Dias, J. A. (2007d). Paredão, In *Glossário sobre as Zonas Costeiras*. Disponível em <http://www.aprh.pt/rgci/glossario/paredao.html>.
- Fortunato, A. B., Clímaco, M., Oliveira, F., Oliveira, A., Sancho, F., & Freire, P. (2008) Dinâmica fisiográfica da orla costeira: estudos de reabilitação e protecção. *Revista da Gestão Costeira Integrada*, 8(1), 45-63.

- Keller, E., & Blodgett, R. (2007). *Riesgos naturales. Procesos de la Tierra como riesgos, desastres y catástrofes*. Pearson.
- Pinto, C., Silveira, T., & Teixeira, S. (2018). Alimentação artificial de praias na faixa costeira de Portugal continental. Enquadramento e retrospectiva das intervenções realizadas (1950-2017). *Relatório Técnico*. Agência Portuguesa do Ambiente. Disponível em <https://dados.gov.pt/pt/datasets/alimentacao-artificial-de-praias-na-faixa-costeira-de-portugal-continental-enquadramento-e-retrospectiva/>.
- van Rijn, L. C. (2011). Coastal erosion and control. *Ocean & Coastal Management*, 54(12), 867-887.
- van Rijn, L. C. (2013). *Design of hard coastal structures against erosion*. Disponível em <https://www.leovanrijn-sediment.com/papers/Coastalstructures2013.pdf>.
- van Rijn, L. C. (2016). *Stability design of coastal structures (seadikes, revetments, breakwaters and groins)*. Disponível em <https://www.leovanrijn-sediment.com/papers/Stabilitystructures2015.pdf>.