

AVALIAÇÃO DOS NÍVEIS DE EROÇÃO COSTEIRA NA REGIÃO NORTE. ENQUADRAMENTO PARA O POC-CE. Evaluation of Coastal Erosion Levels in the Northern Region. Framework for the POC-CE.

FRANCISCO TAVEIRA-PINTO ⁽¹⁾, RENATO HENRIQUES ⁽²⁾ e VILMA SILVA ⁽³⁾

⁽¹⁾ Professor Catedrático, FEUP,
Rua do Dr. Roberto Frias, s/n, 4200-465 Porto, fpinto@fe.up.pt

⁽²⁾ Professor Auxiliar, Universidade do Minho
Campus de Gualtar, 4710-057 Braga, rhenriques@dct.uminho.pt

⁽³⁾ Território XXI – Gestão Integrada do Território e do Ambiente, Lda
Rua D. João I, 298, 4450-162 Matosinhos, vilmasilva@territorioxxi.pt

Resumo

A costa portuguesa tem aproximadamente 650 km de comprimento, na sua maior parte arenosa, com formações dunares, vários estuários, embocaduras de ribeiras. Desde 1970, os municípios costeiros tiveram um crescimento económico acelerado que se refletiu num desenvolvimento significativo. Cerca de 70% da população portuguesa vive na zona costeira sendo este número crescente devido à migração do interior, o que tem provocado impactos importantes nas águas estuarinas e costeiras. Esta zona está incluída em vários planos de ordenamento da zona costeira nos quais as águas costeiras são um componente importante. Estes planos nem sempre foram eficazes para controlar os impactos das diversas atividades e para pôr em prática medidas para a proteção, preservação e melhoria da qualidade dessas águas costeiras, de acordo com a Diretiva-Quadro da Água. Há um interesse crescente das autoridades nacionais e locais em proteger áreas costeiras das atividades humanas, especialmente perto de praias e áreas urbanas, controlando os impactos negativos. Neste contexto, as alterações climáticas são um tópico importante a ter em conta no futuro, especialmente porque os eventos extremos relacionados (tempestades mais frequentes, maiores profundidades de água, maiores alturas e períodos de onda, mudanças na direção das ondas, aumento do nível médio da água do mar, mudanças de direção do vento, etc.) terão impactos importantes nas águas costeiras e nos aquíferos costeiros, provocando um aumento da erosão, intrusão de água salgada e degradação da qualidade da água. Devido a estes eventos extremos, a segurança das zonas costeiras está em risco em vários trechos devido a eventos de galgamento, erosão rápida, inundações e outros eventos relacionados. Assim, o ordenamento das áreas costeiras precisa de ajustes rápidos, a fim de aumentar os seus níveis de resiliência e segurança. Recentemente, no âmbito da revisão do plano de ordenamento da orla costeira de Caminha-Espinho, foi efetuada uma avaliação das taxas de erosão, atendendo aos dados históricos relacionados com a evolução da linha de costa e com áreas sensíveis ao galgamento e às inundações.

Palavras-chave: Águas costeiras, programa de ordenamento, alterações climáticas, impactos costeiros.

Abstract

The Portuguese coastline is approximately 650 km long, mostly sandy with sand dune formations, several estuaries, small river discharges and coastal aquifers. Since 1970, coastal municipalities experienced rapid economic growth reflected in significant developments. About 70% of the Portuguese population lives in the coastal zone and this number is growing because of migration from the interior, leading to important impacts in estuarine and coastal waters. This area is included in several coastal management plans in which the coastal waters are an important component. These plans were not always effective in controlling the various impacts of the several activities and to put into practice measures to protect, preserve and improve the quality of those coastal waters, according to the Water Framework Directive. There is an increased interest of national and local authorities in protecting coastal areas and waters from human activities, especially close to beaches and urban areas, by controlling the negative impacts. In this context, climate change is an important topic to be taken in consideration in the future, especially because related extreme events (more frequent storms, higher water depths, higher wave heights and periods, changes in wave direction, increased mean water level, wind direction changes, etc) will have important impacts on coastal waters and coastal aquifers with increased erosion, salt water intrusion and water quality. Due to these extreme events, the safety of coastal areas is at risk in several stretches due to overtopping events, rapid erosion, flooding and other related events. For these reasons, the management of coastal areas need to change rapidly in order to increase the resilience and safety levels. Recently within the revision of the Caminha-Espinho coastal zone management plan an evaluation of erosion rates was performed taking into account historic data related with coastline evolution as well as areas that are prone to be overtopped and flooded.

Keywords: Coastal waters, management program, climate change, coastal impacts.

1. Introdução

A zona costeira é o interface entre a terra e o mar, assumindo uma particular importância local, devido aos seus aspetos dinâmicos, à elevada produtividade, diversidade, sensibilidade e fragilidades biológicas, à importância generalizada dos recursos naturais, humanos, paisagísticos e climáticos, o que proporciona uma elevada ocupação, uso e transformação. De facto, na zona costeira do Noroeste Português:

- as praias possuem um importante valor recreativo e de proteção da zona costeira;
- existem praias e zonas dunares bem preservadas;
- existe uma forte pressão urbana para construção perto da linha de costa;
- existe um processo generalizado de erosão costeira.

Na costa Noroeste Portuguesa, o regime de ondas é acentuado com tempestades muito energéticas registadas no porto de Leixões, com alturas de onda máximas superiores a 14 m e direções das ondas que variam entre oeste e noroeste.

As tempestades locais podem produzir ondas de sudoeste até 4 m, mas o regime de ondas dominante é de oeste / noroeste (Veloso-Gomes *et al.*, 2006).

Os fenómenos de transporte de sedimentos na costa noroeste portuguesa estão predominantemente associados às correntes de deriva litorais, originadas pela propagação das ondas com um certo ângulo em relação à linha da costa.

Estes fenómenos ocorrem predominantemente de norte para sul sendo exceção a zona a sul da foz dos estuários, onde a direção do transporte pode ser alterada ou revertida por refração e difração, devido à existência de obras de fixação da embocadura. No entanto, o balanço médio anual é marcadamente de norte para sul, como pode ser comprovado pela acumulação a norte das estruturas costeiras existentes (espórões, quebramares) e erosão nas zonas a sul.

Os ventos locais originam correntes marítimas e ondulação (ondas pequenas) com intensidades e direções relacionadas com a velocidade, persistência e direção desses ventos. Apesar da grande importância dessas correntes esta perde dimensão quando comparada com as correntes associadas à ação das ondas. A ação do vento é significativa nas zonas emergentes da praia e nos sistemas de dunas.

Na costa noroeste, a erosão resulta principalmente do enfraquecimento das fontes de sedimentos dos rios ao longo das últimas décadas.

Devido à construção de barragens nos rios de Portugal e Espanha, às dragagens para apoio à navegação, à indústria da construção civil e às alterações no uso do solo, um menor volume de sedimentos é fornecidos para a zona costeira.

A costa arenosa sofre erosão porque a capacidade potencial de transporte de sedimentos das ondas (entre 1 e 2 Mm³/ano) é superior ao volume anual de sedimentos fornecido pelos rios (agora entre 0 e 0,2 Mm³/ano) (Veloso Gomes *et al.*, 2006).

O aumento do nível médio de água do mar devido aos efeitos globais associados à mudança climática, a uma taxa média de cerca de 1,5 mm/ano, observada durante o século XX, contribui também para a diminuição da contribuição sedimentar dos rios para a costa, através de mudança induzida ao seu perfil de equilíbrio.

Os efeitos locais, relacionados com as alterações climáticas e com subsidência costeira, são também aceites como causas da erosão (Bruun, 1962).

A construção de vários quebramares portuários e a dragagem de canais de navegação suficientemente longos para interceptar o transporte litoral, causou também problemas de erosão nas costas adjacentes, devido à falta de alimentação natural de sedimentos.

2. Efeitos Antropogénicos na Linha de Costa e Resposta Costeira

Para uma gestão adequada da zona costeira, é necessário compreender os processos físicos relevantes e os efeitos antropogénicos, com o intuito de preparar cenários de curto e longo prazo para as alterações na linha de costa e para a análise do risco (Dean, 2008).

Os impactos antropogénicos na zona costeira portuguesa agravaram-se ao longo das últimas décadas e as escalas espaciais e temporais desses impactos tendem a aumentar.

Não restam dúvidas de que as taxas de erosão têm aumentado ao longo das últimas décadas (até um recuo médio de 8 m/ano em alguns trechos, com exceção das zonas imediatamente a norte dos esporões) e o fenómeno alcançou novas áreas costeiras onde não havia registos de problemas anteriores.

A extrapolação de dados históricos de erosão para prever a perda de território nas próximas décadas ou séculos deve ser analisada com cautela, devido à complexidade e à não-linearidade dos fenómenos físicos envolvidos.

Durante os invernos mais rigorosos a linha de costa do noroeste português enfrenta vários problemas, principalmente nos trechos onde não existe proteção natural por afloramentos rochosos. Alguns desses problemas são:

- as praias, em geral, são de largura reduzida e as dunas apresentam perfis erosivos;
- um grande número de praias a sotamar dos esporões perderam areia e os problemas de erosão aumentaram;
- um elevado número de esporões e obras associadas foram danificados;
- várias construções, protegidas por esporões e obras aderentes, viram a vulnerabilidade à erosão e à ação direta das ondas ser aumentada.

O desenvolvimento habitacional ao longo da zona costeira durante as últimas três décadas, construindo-se, por vezes, sobre praias e dunas (edifícios, arruamentos), também contribuiu, pelo menos localmente, para a alteração das condições morfológicas e aumento do risco de danos.

Existem 45 km de frentes urbanas ao longo dos 110 km da costa e cerca de 30 praias importantes e, após situações de emergência, foram construídos esporões e paredões para proteger essas construções à beira-mar. Essas intervenções induziram outros problemas de erosão a sul.

A expansão urbana na zona litoral da costa noroeste portuguesa causou outros tipos de problemas que devem ser controlados para evitar novos problemas ambientais. Em várias situações, essa expansão introduziu mudanças na paisagem sem atender a critérios de qualidade. A construção nas dunas e, por vezes, nas praias assumiu proporções significativas em alguns dos municípios costeiros. Os esforços recentes para lidar com novas situações através do planeamento são encorajadores, mas o nível de ocupação em áreas de risco e zonas ecológicas requer intervenção urgente.

As zonas costeiras naturais muito dinâmicas, que no passado não necessitavam de nenhuma intervenção sofrem agora pressão do lado de terra. São disso exemplo o desenvolvimento urbano em zonas instáveis ou ambientalmente sensíveis.

3. Taxas de Erosão Costeira e Alterações Climáticas

Os planos de ordenamento devem ser criados e revistos tendo por base uma adequada compreensão da dinâmica costeira, previsões da posição da linha de costa para vários cenários e escalas temporais de variabilidade climática e influência humana direta, vulnerabilidade de praias, dunas e estruturas costeiras, a tempestades e outros eventos extremos, impacto de estruturas costeiras e mudanças ecológicas (Taveira-Pinto, 2004).

No geral, a instabilidade causada pela crescente procura e ocupação do litoral requer uma nova gestão na conservação e uso do solo e no mapeamento costeiro, de modo a evitar a repetição de erros e evitar intervenções sem qualidade que esgotam os recursos naturais.

Tal como foi mencionado, há fortes evidências de que em grandes extensões da zona costeira noroeste de Portugal, há um recuo generalizado da linha de costa, o que, em algumas zonas, é motivo de grande preocupação. Por este motivo essas áreas são consideradas como estando sujeitas a elevados riscos naturais, Figura 1.



Figura 1. Evolução da linha de costa (linha de vegetação) na praia da Bonança entre 1965 e 2017.

As ações antropogénicas determinam, em maior ou menor grau, os padrões de erosão ao longo da costa noroeste portuguesa. Uma redução de tais ações no sistema costeiro é tecnicamente possível em alguns casos bem identificados. Essas ações são locais o que as distingue do que pode ser feito através de plano de gestão do uso do solo.

A ocorrência de fenómenos que constituem um fator de risco para a zona costeira resulta da sua natureza dinâmica e da ocorrência de processos físicos que promovem mudanças morfológicas relevantes, especialmente num litoral arenoso. Os processos habitualmente considerados, dependendo da informação disponível, são: a erosão a longo prazo (neste caso para horizontes de 2050 e 2100), a erosão provocada pela ocorrência de tempestades extremas, a erosão causada pelo aumento do nível médio da água do mar e a ocorrência de inundações de alguma forma associadas às alterações climáticas (Coelho *et al.*, 2009). Neste artigo apenas são analisadas as tendências de erosão.

Na recente atualização do Plano de Ordenamento da Orla Costeira de Caminha-Espinho foram determinadas faixas de salvaguarda relativas à vulnerabilidade resultante da ocorrência e evolução de cada um dos referidos processos. Devido à grande incerteza que caracteriza os dados de base e os modelos para análise e simulação numérica, a definição das faixas de salvaguarda associadas a cada processo deve ter em conta algum senso comum e precaução, uma vez que a vulnerabilidade associada a estas faixas inclui a possibilidade de sobreposição de efeitos. Essas faixas preventivas impõem restrições ao uso e ocupação do solo, visando proteger o trecho costeiro da ocorrência de diferentes cenários de risco projetados para o futuro, sendo o resultado da extrapolação para 2050 e 2100, equivalente às tendências evolutivas observadas nos últimos anos.

O troço litoral Caminha-Espinho, na costa noroeste de Portugal, foi analisado através da comparação histórica de linhas de costa correspondentes a vários anos, através de fotografias aéreas, considerando as taxas de recuo ou acreção de cada perfil, calculadas a partir da mobilidade histórica das linhas de costa. Assim, foi definida a taxa de evolução da linha de costa ($T_{ELC50/100}$). Este indicador corresponde à extrapolação linear da taxa anual de erosão calculada para cada perfil entendida como uma projeção da evolução da linha de costa para os horizontes temporais de 2050 e 2100. Nesta projeção, foi utilizada a taxa de migração média anual da linha de costa obtida a partir das linhas de costa disponíveis para este trecho.

Para definir a posição do indicador bidimensional das linhas de costa, que é objeto de comparação para os diferentes momentos temporais proporcionados pela fotografia aérea, foi considerada a duna frontal como indicador morfológico, representado no campo pela mudança de inclinação, e, na sua ausência, pelo limite da vegetação. Em geral, a base frontal da duna é caracterizada pela sua natureza conservadora relativamente ao limite da duna, constituindo uma vantagem sobre outros indicadores (como o limite de espraiamento e coroamento da berma) que são fortemente influenciados por variações sazonais e interanuais da morfologia da praia relacionadas com os agentes físicos (por exemplo, as ondas e as correntes).

A linha de vegetação está geralmente bem definida nas fotografias aéreas, proporcionando um limite facilmente reconhecível. Para além disso, é um limite que funciona como um excelente indicador do limite de espraiamento, uma vez que a vegetação geralmente desaparece nas áreas inundadas. No caso da presença de falésias de erosão com inclinação significativa, o limite considerado foi o topo da mesma. Em locais onde foram construídas estruturas fixas, como obras de defesa, o limite assumido foi a base dessas estruturas, considerado como o limite máximo de potencial inundação pelo espraiamento das ondas (Henriques, 2006).

O uso de indicadores de migração bidimensionais na forma de linhas é uma metodologia prática com resultados interessantes uma vez que, ao contrário do que acontece com os indicadores derivados da aplicação de modelos matemáticos, essas linhas materializam efetivamente a taxa de migração observada. No entanto, é uma metodologia que não permite determinar balanços sedimentares, cujo cálculo é fundamentalmente tridimensional. Assim, com a aplicação desta metodologia, é possível existirem áreas em que não se observasse um recuo significativo, mas em que pode ter havido perda de grandes quantidades de sedimentos na área da praia, com diminuição da sua extensão ou profundidade.

Como vantagem desta metodologia, é de referir o facto de que estes indicadores já incorporam intrinsecamente a influência de todos os fatores envolvidos na dinâmica costeira, tais como a elevação do nível médio da água do mar, as tempestades, a escassez sedimentar, etc. No entanto, apesar da vantagem de poder agregar a soma do desempenho de todos os fatores de migração, esta técnica não permite distinguir a intensidade da ação de cada um deles.

As linhas costeiras utilizadas foram sempre delineadas obedecendo aos mesmos critérios acima descritos. Para o ano de 1958, a linha costeira utilizada foi fornecida pela Agência Portuguesa do Ambiente. Esta apresenta a limitação de não cobrir totalmente todo o trecho em análise por falta de qualidade na fotografia aérea de 1958 em alguns dos setores. Uma vez que esta é a linha de costa com cobertura mais extensa, este fato tem implicações significativas no cálculo das taxas de migração uma vez que nos setores em que não houve registo fotográfico o intervalo de tempo em análise é reduzido. O mesmo se aplica às restantes linhas disponíveis. As linhas costeiras utilizadas têm, em alguns casos, cobertura total de todo o trecho, como é o caso das linhas de costa de 2012 e 2006, obtidas a partir de levantamentos fotográficos aeroespaciais para estes anos. Outras linhas de costa, com cobertura limitada em alguns setores, também foram utilizadas. Nestas condições estão as linhas costeiras dos anos de 1948 (somente para a praia de Aguçadoura Norte), 1965, 1973, 1983, 1987, 1994 e 1995. Estas fotografias foram georreferenciadas utilizando pontos conhecidos de controlo de coordenadas, perfeitamente visíveis nas fotografias e materializados em campo.

As tendências evolutivas do litoral foram estudadas através da quantificação da mobilidade da linha de costa, extraída da fotografia aérea de diferentes datas, com a aplicação do Digital Shoreline Analysis System (DSAS) desenvolvido pelo USGS (Danforth *et al.*, 1992; Thieler *et al.*, 2009).

As diferenças na posição da linha de costa foram medidas relativamente a uma linha de base comum e usando uma sequência de transeptos equidistantes de 50 m, Figura 2.

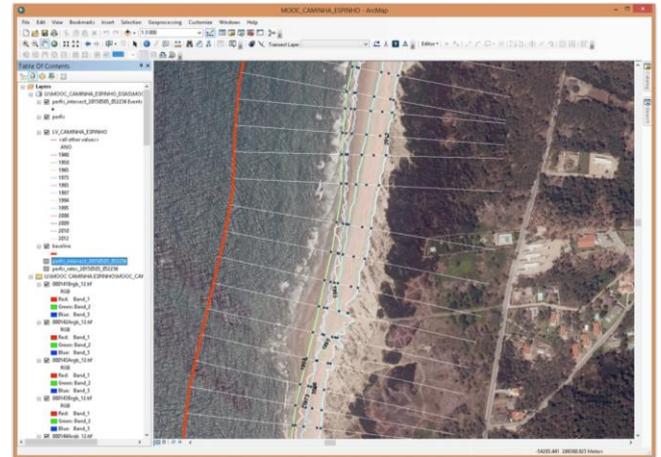


Figura 2. Exemplo de aplicação do GIS para calcular as taxas de migração com base na variação das linhas de costa, mostrando a interseção dos transeptos com as várias linhas disponíveis, o que permitirá o cálculo das taxas de migração costeira.

A metodologia utilizada para o traçado da linha de base, a partir da qual foram definidos os transeptos que cruzam as várias linhas costeiras, consistia em fazer, na medida do possível, o traçado sub-paralelo às linhas costeiras em análise. Assim, como os transeptos são perpendiculares a essa linha, assegura-se que a interseção destes com a linha de costa é feita com um ângulo próximo de 90°, reduzindo a possibilidade de subestimar ou superestimar a taxa de migração. Assim, foi definido um "buffer" de 200 m para todas as linhas de costa disponíveis, tendo o limite offshore sido escolhido para a evolução da linha de base dos transeptos. Este limite foi considerado tendo em conta a tendência atual de migração, maioritariamente erosiva. Desta forma, assegura-se que num trabalho futuro, com o propósito de atualizar esses dados, não será necessário modificar a linha de base, o que significaria, necessariamente, alguma interferência nas taxas calculadas.

O DSAS calcula automaticamente a interseção dos transeptos com as várias linhas de costa disponíveis, resultando no cálculo de um conjunto de parâmetros estatísticos. Para este trabalho, foi considerada a média obtida pelo método dos mínimos quadrados (LMS). Uma taxa limite foi usada nos casos em que apenas estavam disponíveis duas linhas costeiras. Neste cálculo, os valores da taxa foram obtidos utilizando a melhor linha de regressão ajustada para os valores de mobilidade determinados, eliminando o efeito dos valores extremos ou residuais.

As taxas de evolução calculadas são expressas em distância de variação por ano (m/ano). Os valores positivos representam acreção e os valores negativos representam erosão. Considerando a limitação do número de linhas de costa disponíveis, este foi o método escolhido para a definição das faixas de salvaguarda à erosão costeira. Este valor permite ter uma noção da migração total observada em relação ao intervalo em análise. Para que seja possível uma interpretação correta, deve sempre verificar-se quais os instantes temporais que foram usados em cada ponto para este cálculo, analisando as linhas de costa intercetadas.

Em alguns casos, pode verificar-se uma elevada mobilidade por se tratar de um intervalo de análise longo, possivelmente resultante de baixas taxas de migração, enquanto noutros casos em que essa mobilidade apresenta valores igualmente altos, mas obtidos num curto intervalo de análise, resultante de elevadas taxas de migração. Todos os dados estatísticos obtidos para cada transepto são expressos numérica e graficamente. A análise das taxas de migração depende em grande parte do intervalo de tempo de análise. Por vezes, um longo intervalo esconde tendências recorrentes de curto prazo que são mais importantes e se foram mantendo ao longo dos últimos anos. Este caso é particularmente relevante, por exemplo, em situações em que as linhas de costa mais antigas eram interiores. A recuperação da linha de costa ocorreu durante um determinado período, de forma natural ou devido à ação de uma defesa costeira, observando-se uma tendência decrescente.

A análise de todo o período temporal levará à acreção quando, de fato, o setor progressivamente se deteriora ao longo dos últimos anos. O mesmo acontece no caso oposto, em que os setores em erosão podem, ao longo dos últimos anos, ter-se alterado para uma situação de acreção resultante, por exemplo, de obras de defesa costeira. Para permitir uma análise mais precisa dessa influência, as taxas de erosão foram calculadas para todo o intervalo de tempo em análise, ou seja, entre 1958 e 2012, sempre que essas linhas de costa estão presentes. Ao mesmo tempo, no entanto, o cálculo foi feito apenas para o intervalo de tempo entre 1994 e 2012, representando apenas a tendência evolutiva dos últimos 20 anos. Assim, as diferenças podem ser comparadas e melhor interpretadas. Em alguns casos, este último período, de 1994 a 2012, apresenta uma inversão de tendências evolutivas em relação ao considerado durante o período disponível, de 1958 a 2012.

Dado o contexto de elevada incerteza resultante da extrapolação linear para o futuro de recentes evoluções passadas, e assumindo que o planeamento a longo prazo deve ser baseado numa abordagem preventiva, foi considerada para efeitos de definição das faixas de salvaguarda a taxa média anual de erosão dos últimos 52/56 anos no cálculo do TELC50/100, Figura 3.

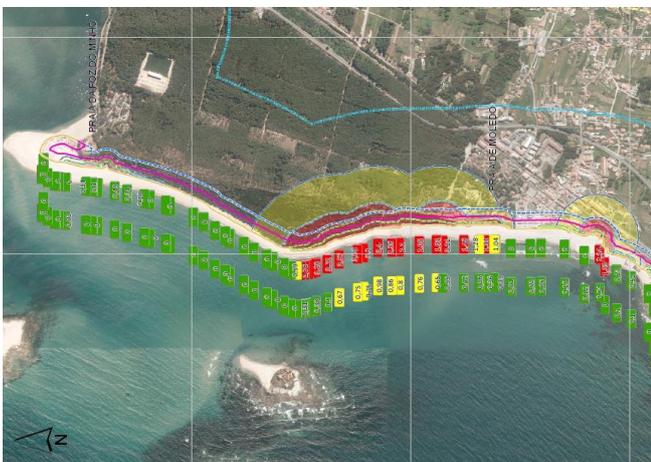


Figura 3. Análise da Praia de Moledo (retângulos inferiores - taxas de erosão 1958-2012; retângulos superiores - taxas de erosão 1994-2012; a verde - inferiores a 0,6 m/ano; a amarelo - entre 0,6 e 1,3 m/ano; a vermelho - superior a 1,3 m/ano; área vermelha - projeção para 2050; área amarela - projeção para 2100).

No entanto, esta definição foi também, paralelamente, apoiada pelo TELC50/100 apenas tendo em conta a tendência migratória dos últimos 20 anos. As faixas finais resultarão da interseção das faixas desses dois períodos. Portanto, é possível, com precaução, e dada a incerteza associada a um longo intervalo de previsão, analisar a definição dessas faixas tendo em consideração uma abordagem de "piores cenários possíveis".

As limitações importantes deste tipo de cenários de projeção de longo prazo são aqui destacadas, dado o intervalo limitado de dados em análise. A projeção das tendências de 2050 e 2100 com base num período que, no melhor dos casos, representa 56 anos de observações está obviamente sujeita a uma grande incerteza resultante do próprio procedimento matemático e associada à manutenção ou variação dos fatores envolvidos na migração costeira.

Em alguns perfis, a análise integrada das tendências evolutivas de curto e longo prazo revelou que a média das mudanças de curto prazo foi menor do que o recuo de longo prazo (1958-2012 vs. 1994-2012). Para outros casos, verificou-se o oposto.

4. Conclusões

Os principais efeitos naturais e antropogénicos sobre a linha de costa do Noroeste Português foram identificados, sendo contudo necessário aumentar o conhecimento relativo a vários aspetos da dinâmica costeira, a fim de melhorar as previsões a longo prazo das mudanças na linha de costa.

O planeamento da gestão da zona costeira, incluindo a regulamentação consistente do desenvolvimento e da conservação costeira, é necessário para uma perspetiva futura. Para isso, as taxas de erosão são uma questão fundamental que precisa de ser bem definida e avaliada.

Foi apresentada a metodologia utilizada para avaliar as taxas para a costa noroeste de Portugal, no âmbito da revisão do plano de ordenamento da orla costeira de Caminha-Espinho. No entanto, outros fenómenos importantes que não puderam ser descritos também foram considerados no plano, a saber, o efeito de tempestades extremas, a elevação do nível médio da água do mar e os fenómenos de galgamento.

Todos os eventos extremos, de alguma forma relacionados com as alterações climáticas, precisam de ser objeto de uma análise mais profunda, uma vez que têm implicações importantes para os usos da zona costeira ou das águas costeiras. Sem esses estudos e análises detalhados, os planos de ordenamento da orla costeira estarão sempre desprovidos de informações e dados técnicos e científicos que permitem ajudar os decisores a tomar melhores decisões para controlar os níveis de erosão e outros eventos extremos relacionados com as alterações climáticas.

Referências

Bruun, P. (1962). *Sea-level rise as a cause of shore erosion*. Journal of Waterways and Harb. Div. 88, 117-130.

- Coelho, C., Silva, R. Veloso-Gomes, F., Taveira-Pinto, F. (2009). *Potential Effects of Climate Change on Northwest Portuguese Coastal Zones*, ICES (International Council for the Exploration of the Sea), Journal of Marine Sciences, 66(7), Oxford Journals (Oxford University Press): 1497-1507 (Effects of Climate Change on the World's Oceans), ISSN 1054-3139 (doi:10.1093/icesjms/fsp132);
- Dean, R.G., Kriebel, D. e Walton, T. (2008). *Cross-shore sediment processes*. In: Walton e King (editors). Coastal Engineering Manual. Part III - Coastal sediment processes. Chapter 111-3.1110-2- 1100 USACE. Washington, DC.
- Danforth, W. W., and Thieler, E. R. (1992). *Digital Shoreline Analysis System (DSAS) User's Guide*, Version 1.0: U.S. Geological Survey Open-File Report 92-355.
- Henriques, R., (2006). *Monitorização da zona costeira tendo em vista a sua vulnerabilidade*. Aplicação à zona noroeste de Portugal. Ph.D. Thesis, Universidade do Minho, Braga, 486p.
- Taveira-Pinto F. (2004). *The Practice of Coastal Zone Management in Portugal*. Journal of Coastal Conservation, Volume 10: 1-2, December, OpulusPress, ISSN 1400-0350, pp.147-157.
- Thieler, E.R., Himmelstoss, E.A., Zichichi, J.L., and Ergul, Ayhan. (2009). *Digital Shoreline Analysis System (DSAS) version 4.0 – An ArcGIS extension for calculating shoreline change*: U.S. Geological Survey Open-File Report 2008-1278.
- Veloso-Gomes, F., Taveira-Pinto, F., Neves, L., Pais-Barbosa, J. (2006). *EUrosion. A European Initiative for Sustainable Coastal Erosion Management. Pilot Site of River Douro – Cape Mondego and Case Studies of Estela, Aveiro, Caparica, Vale do Lobo and Azores*, Instituto de Hidráulica e Recursos Hídricos (IHRH), Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP), 340 pp., ISBN 972-752-074-X.