

Modelação da evolução da linha de costa no litoral arenoso do arco Caparica-Espichel

Sancho, F. (1)

(1) Dep. de Hidráulica e Ambiente, LNEC, Av. Do Brasil, 101, Lisboa. fsancho@lneec.pt

Resumo: Sancho *et al.* (2019) obtiveram resultados do transporte longilitoral ao longo do arco Caparica-Cabo Espichel, a partir da retro-simulação de 65 anos de agitação marítima (Sancho *et al.*, 2018). O presente artigo dá continuidade a estes trabalhos implementando-se o modelo de simulação da evolução da linha de costa LITMOD, para o período compreendido entre 1979 e 2004. Descrevem-se os dados e as metodologias de análise e das simulações. Discutem-se os resultados, estimados e modelados de taxas de evolução da linha de costa, volumes transportados e fluxos de transporte sedimentar. Obteve-se uma calibração satisfatória do modelo (simulação de 1979 a 2004), com melhorias na simulação de validação (de 2004 a 2018). Conclui-se ainda que existe um ponto de inversão da direção do transporte longitudinal médio, localizado entre a Praia da Saúde e a Praia da Rainha.

Palavras-chave: Caparica, erosão costeira, modelação da linha de costa, modelo 1-linha, transporte longilitoral.

1. INTRODUÇÃO

A Agência Portuguesa do Ambiente (APA) solicitou ao LNEC a realização de estudos sobre a morfodinâmica das praias da Costa da Caparica que suportem e otimizem a tomada de decisão futura sobre intervenções na zona. O presente trabalho resume o estudo de modelação da evolução da linha de costa efetuado para a APA, onde se procedeu ao estabelecimento do modelo LITMOD no arco litoral arenoso entre a Cova do Vapor e a Praia das Bicas.

Apresenta-se uma caracterização geral da zona de estudo, com ênfase na evolução da linha de costa na segunda metade do século XX. Descrevem-se os dados e as metodologias de análise daqueles e das simulações. Obtêm-se e discutem-se os resultados, estimados e modelados naquele período temporal, de taxas de evolução da linha de costa, volumes transportados, e fluxos de transporte sedimentar ao longo do arco litoral e nas suas extremidades.

2. CARACTERIZAÇÃO DA ZONA DE ESTUDO

O conhecimento das causas do episódio de erosão generalizada das praias da Costa da Caparica após o segundo quartel do século XX é ainda insuficiente. Os dados analisados em Sancho (2020) evidenciam uma relativa estabilidade das praias após a construção dos esporões de contenção nas décadas de 1960 e 1970, que durou até final da década de 1980. Após 1989, com maior relevo após 1995, retomou-se o processo de erosão costeira na Praia de São João da Caparica, também por razões incertas.

Neste trabalho, reuniram-se vários elementos topohidrográficos e fotográficos de 1979 a 2018 (Sancho, 2020). Identificaram-se, recorrendo ao software QGIS, nos vários conjuntos de fotografias aéreas e

ortofotomapas as “linhas de água”, sendo esta definida como a linha de separação da água com a praia, sem o efeito do espraio. A marcação daquela linha foi efetuada subjetivamente sempre pelo mesmo operador, seguindo o mesmo critério. Posteriormente à digitalização das linhas de costa, procedeu-se à sua correção para a cota +2 m (ZH). A título exemplificativo, apresenta-se na Figura 1 a evolução no trecho da Praia de São João da Caparica, que foi o troço com maiores variações.



Fig. 1. Evolução da posição da linha de água na Praia de São João da Caparica (imagem de fundo: ortofoto de 2014)

Em todo o trecho arenoso, verificou-se não ter ocorrido nenhuma alteração significativa da orientação média da linha de costa entre 1979 e 2004 (cujos rumos foram, respetivamente, $161,2^\circ$ e $160,8^\circ$).

A partir das linhas de água determinaram-se as diferenças sequenciais entre as mesmas (Figura 2). Observa-se que entre 1979 e 1989 ocorreu um ganho generalizado da praia, com avanço da linha de água entre 20 a 100 m nos setores sul (à esquerda) e norte (à direita), e alternância entre avanço e recuo no setor

central ($8000 < x < 15000$ m). Entre 1989 e 1995, a variação da linha de água foi muito menor, com avanços ou recuos máximos de 50 m, destacando-se uma zona de erosão no extremo norte, antecedida imediatamente a sul por zona de acreção. No global, nesse período ocorreu ainda um ganho generalizado da praia, embora com muito menor expressão que o do período anterior. Finalmente, entre 1995 e 2004 verificou-se uma redução generalizada e acentuada do areal, com elevada expressão no setor norte (com recuos até quase 200 m) e média expressão (até 50 m) no setor sul; no troço intermédio ($9000 < x < 17000$ m), mais uma vez, ocorreu alternância entre avanço e recuo da linha de água.

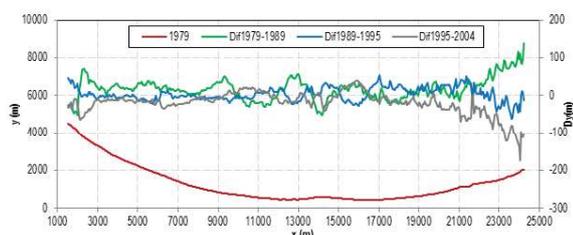


Fig. 2. Diferenças de posição entre linhas de água sucessivas (Dy) e linha de água em 1979 referida à linha base (y), entre a praia das Bicas ($x=1500$ m) e o esporão EV1 ($x=24500$ m)

No seu todo e no período entre 1979 e 2004, o trecho arenoso do arco litoral Caparica-Espichel pode considerar-se muito estável, estimando-se a partir das evoluções da linha de costa que até possa ter tido uma acumulação da ordem de meio milhão de metros cúbicos Sancho (2020). No entanto, ocorreu significativa erosão em todo o trecho intervencionado das praias da Costa da Caparica e São João (Fig. 2, abcissa $x > 20000$ m). Mais precisamente, nos 3 km a sul do esporão EV1 o recuo médio neste período de 25 anos somou -21 m, com valores máximos no limite norte da praia de São João da ordem de -100 m.

As perdas e ganhos volumétricos sedimentares médios permitem concluir que, nesta célula litoral, a norte poderá ocorrer entrada ou saída de sedimentos, a sul poderá ocorrer saída de sedimentos, na fronteira marítima poderão ocorrer entradas ou saídas do sistema por correntes não associadas à agitação marítima e na fronteira terrestre existe fornecimento de sedimentos por erosão de arribas e drenagem de bacias de pequena dimensão com valores da ordem de 10^4 m³/ano.

A agitação marítima ao longo do arco litoral Cova do Vapor – Cabo Espichel foi estimada recorrendo ao modelo SWAN, para propagar as condições de agitação marítima do largo para a costa (Sancho *et al.*, 2018).

Analisou-se a estacionaridade ou invariabilidade do clima de agitação entre 1979 e 2004, em períodos da ordem de 5 a 10 anos. A título de exemplo, apresenta-se na Figura 3 os histogramas da altura de onda significativa (H_s) e direção média (Dir), em frente à Praia de S. João da Caparica, para 3 períodos

temporais: 1979-1989, 1989-1995, 1995-2004. Observa-se uma elevada semelhança dos diferentes histogramas, podendo concluir-se não ter havido variabilidade assinalável de H_s e Dir .

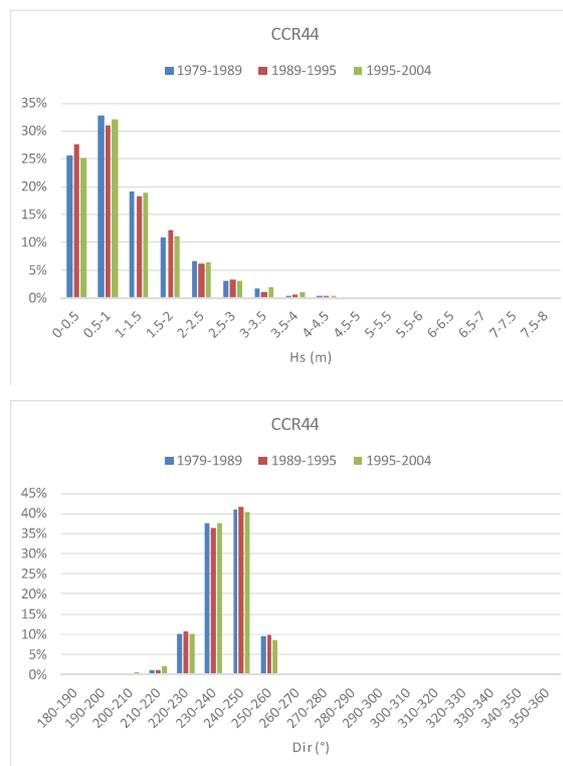


Fig. 3. Histogramas de H_s e de Dir , em frente à Praia de São João da Caparica (ponto 44, Fig. 4)

3. MODELO DE SIMULAÇÃO DA EVOLUÇÃO DA LINHA DE COSTA

Neste trabalho utilizou-se o modelo de evolução de linhas de costa, LITMOD, desenvolvido no LNEC e anteriormente aplicado a um apreciável número de estudos (p. ex., Vicente e Clímaco, 2003). Trata-se de um modelo numérico unidimensional em que a evolução da costa é representada pelas variações de posição da linha de água. O seu funcionamento baseia-se no cálculo do transporte litoral, efetuado a partir das características das ondas na rebentação, e na aplicação da equação da continuidade aos volumes de areia movimentados.

A primeira fase da aplicação do modelo LITMOD consistiu em adequá-lo às condições particulares do caso presente. Face à existência de dados fotográficos e hidrográficos de 1979, optou-se por se iniciar a simulação da evolução da linha de costa neste ano. Para termo das simulações de análise e calibração considera-se o ano de 2004, anterior ao início das obras de reconfiguração e reforço dos esporões. Procedeu-se assim ao estabelecimento e calibração do modelo no arco litoral arenoso entre a Cova do Vapor e a Praia das Bicas, para o período compreendido entre 1979 e 2004. Na fase de calibração do modelo, utilizam-se adicionalmente as linhas de água obtidas em 1989 e 1995.

De acordo com os dados da granulometria, admitiu-se um valor do diâmetro mediano (D50) constante e uniforme ao longo de todo o trecho, e igual a 0,32 mm. Contudo, aplicou-se posteriormente, e por zonas, uma correção nos coeficientes de calibração da fórmula do transporte longilitoral (Kamphuis, 1991) de forma a traduzir aproximadamente o efeito da variação do D50 na capacidade de transporte.

Relativamente ao perfil de praia, utilizou-se o “perfil teórico de equilíbrio de Dean”, que se verificou ajustar-se bem a vários perfis extraídos do levantamento topo-hidrográfico de 1980. A expressão de cálculo é $h = Ay^{2/3}$, com $A = 0,21 D_{50}^{0,48}$; em que h é a profundidade e y é a distância horizontal à origem (na linha de água). Deste ajuste, obtiveram-se valores de $0,115 < A < 0,150 \text{ m}^{1/3}$, equivalentes a considerar-se $0,28 < D50 < 0,50 \text{ mm}$, compatível com os dados sedimentológicos existentes.

Os dados de levantamentos batimétricos analisados em Freire *et al.* (2019) indicam que, em frente às praias urbanas da Costa da Caparica e de São João, existem poucas movimentações de fundo abaixo da cota -10 m (ZH). Cálculos realizados em Sancho (2020) permitiram determinar o valor aproximado da profundidade de fecho igual a 12 m (NMM).

Para a implementação do modelo, foi definida uma linha de referência (ou linha base), orientada a N-20°-W e com origem próxima do limite sul da Praia das Bicas (Figura 4), de modo a cobrir todo o litoral arenoso, com cerca de 24 km de extensão. A agitação marítima foi definida ao longo de 29 localizações (entre as posições 9 a 45, identificadas na Figura 4), com profundidades próximas de 12 m (ZH).

A calibração do modelo LITMOD foi conseguida através da rotação da direção de onda incidente, de um valor constante em toda a série de dados em determinado local de aproximação, relativamente aos valores determinados originalmente pelo modelo de propagação de ondas.

4. RESULTADOS DA MODELAÇÃO MATEMÁTICA DE CALIBRAÇÃO

Os resultados da simulação de calibração mostraram ocorrer um bom ajuste global da linha de costa simulada com a observada, exceto no extremo sul do trecho, com desvios significativos (Figura 5). Na Praia de S. João o desajuste foi elevado (da ordem de 30 m) e nas praias confinadas entre a Nova Praia e a Praia do Norte o ajuste foi muito bom (da ordem de 6 m). Nos trechos a sul da Lagoa de Albufeira o modelo prevê maior erosão que a ocorrida, talvez por calcular excessiva perda de sedimentos pela fronteira sul.

Estimou-se, na fronteira sul, um saldo médio do fluxo sedimentar dirigido para sul de aproximadamente $160 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{ano}$. Na fronteira norte, o fluxo é negativo (dirigido para norte), no valor de $-50 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{ano}$. O balanço deste saldo traduz-se numa perda global de $210 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{ano}$, que contrasta com o ganho

médio medido (através dos dados de linha de costa) de $17 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{ano}$. Apesar desta discrepância, os valores dos caudais médios simulados são plausíveis face ao conhecimento atual da dinâmica sedimentar neste litoral.



Fig. 4. Linha de referência (a amarelo) de estabelecimento do modelo, com indicação da linha de costa de 1979 (a verde) e das localizações dos pontos de agitação marítima (a vermelho)

Posteriormente à calibração do modelo, procedeu-se à sua validação para o período temporal entre 2004 e 2018. Algumas discrepâncias encontradas levaram à recalibração do mesmo, passando a obter-se resultados de evolução da linha de costa muito satisfatórios em todo o trecho das praias da Costa da Caparica e a norte. Nesta simulação resultou um caudal médio no limite sul do modelo (Praia das Bicas) igual a $200 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{ano}$, dirigido para sul, e no extremo norte o valor de $-116 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{ano}$, dirigido para norte. Pese embora o valor do caudal médio a norte seja superior ao obtido no período de calibração, o novo valor está dentro do intervalo de variação do caudal médio anual estimado a partir dos dados.

Estimou-se que nas praias da Costa da Caparica e de São João a taxa de transporte longilitoral média é dirigida para norte (negativa), embora, devido ao pequeno saldo negativo, ocorram períodos em que a direção do transporte é contrária. Conclui-se ainda que existe um ponto de inversão da direção do transporte longilitoral médio localizado entre a Praia da Saúde e a Praia da Rainha. Nesse trecho, contudo, em alguns anos, as direções médias do transporte longitudinal podem ser todas dirigidas para norte ou para sul, com magnitudes inferiores a $\pm 200 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{ano}$.

5. CONCLUSÕES

Na análise de dados aqui efetuada, complementar às elaboradas por outros autores (p. ex., Silveira *et al.*, 2013, Freire *et al.*, 2019), conclui-se que o

morfodinamismo das praias da Costa da Caparica é extremamente complexo e difícil de caracterizar integralmente.

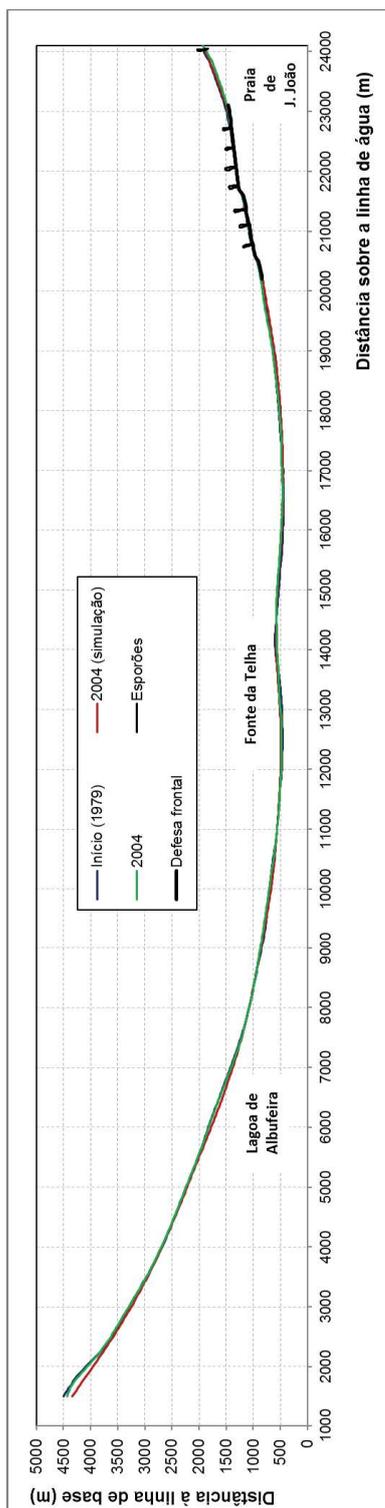


Fig. 5. Evolução da linha de costa entre 1979 e 2004 após calibração

Os dados tratados evidenciam uma relativa estabilidade das praias após a construção dos esporões de contenção nas décadas de 1960 e 1970, que durou até final da década de 1980. Após 1989, com maior relevo após 1995, retomou-se o processo

de erosão costeira na Praia de São João da Caparica. No entanto, no seu todo e no período de 25 anos entre 1979 e 2004 o trecho arenoso do arco litoral Caparica-Espichel pode considerar-se muito estável.

Em síntese, considera-se que face aos erros associados à manipulação de dados (da linha de costa e da agitação marítima) e às simplificações da modelação, a evolução da linha de costa em todo o arco litoral foi eficazmente simulada após a calibração e validação efetuadas. O modelo, com os parâmetros resultantes da simulação de validação, considera-se assim apto a ser utilizado como ferramenta de apoio à gestão de intervenções costeiras neste troço.

Agradecimentos

O autor agradece à Agência Portuguesa do Ambiente a autorização para publicar este estudo e à Direção Geral do Território a informação fornecida sobre fotografias aéreas e ortofotomapas utilizados neste trabalho. Neste trabalho colaborou o Técnico Superior Vítor Pisco.

REFERÊNCIAS

- Freire, P., Fortunato, A., Oliveira, F.S.B.F. (2019). Modelação para apoio às intervenções nas praias da Costa da Caparica – Almada. Estudo IV – Avaliação do comportamento e longevidade das alimentações artificiais. Efeito do forçamento. Relatório 223/2019 – DHA/NEC.
- Kamphuis, J.W. (1991). Alongshore Sediment Transport Rate. *Journal of Waterways Coastal Ports and Ocean Engineering*, 117: 624-640, ASCE.
- Sancho, F., Banha, M.J., Neves, M.G. (2018). Variabilidade espacial e sazonal da agitação marítima na proximidade da zona de rebentação no arco litoral Caparica-Espichel. 5.^{as} Jornadas de Engenharia Hidrográfica, Lisboa, 19 a 21 de junho de 2018, pp. 186-189.
- Sancho, F., Banha, M.J., Neves, M.G. (2019). Transporte longilitoral no arco Caparica-Espichel. IX Congresso sobre Planeamento e Gestão das Zonas dos Países de Expressão Portuguesa, Instituto Superior Técnico, 14 a 16 de maio.
- Sancho, F. (2020). Modelação para apoio às intervenções nas praias da Costa da Caparica – Almada: Estudo II – Modelação da evolução morfológica para diferentes cenários de intervenção. Aplicação do modelo. Relatório 111/2020 – DHA/NEC.
- Silveira, T.M., Sousa, H., Carapuço, A.M., Diogo, Z.S., Silva, A.N., Taborda, R., Andrade, C. (2013). Estudo de caso da Costa da Caparica; Caracterização das evoluções morfológicas e volumétricas da praia de S. João da Caparica – Entregável 2.3.b. FCUL, Junho 2013, 24pp.
- Vicente, C., Clímaco, M. (2003). Evolução de Linhas de Costa. Desenvolvimento e Aplicação de Um Modelo Numérico. ICT-ITH 42. LNEC, Lisboa.