

ALIMENTAÇÃO ARTIFICIAL DE PRAIAS EM AMBIENTES ENERGÉTICOS INTERMÉDIOS Beach Nourishments in Moderately Energetic Environments

HUGO MARTINS ⁽¹⁾ e FERNANDO VELOSO-GOMES ⁽²⁾

⁽¹⁾ Mestre em Engenharia Civil, FEUP,
Rua do Dr. Roberto Frias, s/n, 4200-465 Porto, Portugal, hugo.sousa.martins@gmail.com

⁽²⁾ Professor Catedrático, FEUP,
Rua do Dr. Roberto Frias, s/n, 4200-465 Porto, Portugal, vgomes@fe.up.pt

Resumo

O aumento progressivo da concentração de população junto ao litoral, e a sua conseqüente urbanização e exploração económica, criaram uma situação em que estas faixas de interacção, naturalmente sujeitas a grandes dinâmicas, têm que estar espartilhadas a certos limites estáticos sob pena de inviabilizarem quase completamente as edificações, infraestruturas e modelos de exploração turística, que se têm vindo a implementar nas últimas décadas. Assim sendo, tendo como base a problemática da erosão litoral e como instrumento a engenharia costeira, este artigo aborda uma análise das tecnologias actuais de alimentação artificial de praias, onde se inclui um levantamento e caracterização de experiências concretas de aplicação em ambientes sujeitos a condições marítimas de intensidade moderada (tanto a nível internacional como nacional), as suas metodologias de projecto e finalmente possíveis soluções de alimentação para três casos concretos a realizar em praias da costa Algarvia, nomeadamente: a Praia dos 3 Castelos, a Praia dos Careanos e a Praia do Amado, todas localizadas no município de Portimão.

Palavras-chave: Dragagens, erosão costeira, protecção costeira, transposição de areias.

Abstract

The steady increase of population concentration near the shore, with the consequential rise in urbanization and economic exploration, created a situation where these stripes of land, traditionally subjected to a great dynamics, are now squeezed between certain static boundaries. If it failed to be so, relatively recent structures, infrastructures and even coastal economic models would be seriously threatened as the coastal limits were pushed inland. Therefore, with the problem of coastal erosion as a background and with coastal engineering as a tool, this article approaches the most usual beach nourishment techniques and project methodologies. Finally, it ends by applying the presented concepts to three possible nourishments expected to be created in the region of Algarve, south of Portugal, namely: "3 Castelos" beach, "Careanos" beach and "Amado" beach.

Keywords: Coastal erosion,; coastal protection, dredging, sand bypass.

1. Introdução

Desde que o recuo da "linha de costa" passou a representar um problema sério para a estrutura económica e logística do litoral, especialmente nos casos em que as taxas de recuo começaram a ser alarmantes, os países afectados têm tentado travar de alguma forma esse processo.

Tradicionalmente, a resposta a este fenómeno consiste em "proteger" o perfil que ainda subsiste, recorrendo à dita "engenharia pesada", ou seja, à utilização de estruturas rígidas de grande capacidade resistente que promovem uma acumulação local de sedimentos, como por exemplo esporões e quebra-mares destacados, ou estruturas que impeçam inundações e/ou minimizem os galgamentos, como o caso das obras longitudinais aderentes.

No entanto, nas últimas décadas do séc. XX, começou a ganhar expressão e popularidade, uma técnica bastante distinta, que se tornou numa ferramenta fundamental de protecção costeira em muito países: a alimentação artificial de praias.

Uma alimentação artificial de praias pode ser definida como uma "colocação, por meios artificiais, de materiais arenosos em locais imersos ou emersos adequados à obtenção de um determinado perfil de praia (ou mesmo de duna) favorável à dissipação de energia das ondas e a uso balnear, simulando situações naturais" (Velooso Gomes, 1991).

No entanto, as acções a que esta solução está sujeita obrigam a que seja bem equacionada e, acima de tudo, acompanhada por outras operações e decisões estruturantes que ajudem a minimizar os problemas antrópicos que, em muitos casos, estão na origem do aumento das taxas de erosão, bem como definir uma estratégia coerente de monitorização e manutenção dos novos perfis.

2. A Alimentação Artificial de Praias Enquanto Alternativa de Protecção Costeira

A introdução de sedimentos no sistema reduz significativamente o declive do perfil transversal e, conseqüentemente, a energia que incide directamente sobre a zona emersa podendo ter um efeito positivo na taxa de recuo (apesar de, em projecto, ser despezado).

Para além deste facto, visto tratarem-se de fundos móveis, a forma do perfil modifica-se por efeito das acções que lhe são impostas e, por isso, não originam (geralmente) difracções importantes que podem terminar por ter efeitos negativos a sotamar e, caso sejam realizadas na zona do cordão dunar (caso exista), permite que este conserve o seu estatuto de “última linha de defesa” e que acabe por inserir sedimentos no sistema em casos pontuais de tempestades severas, aumentando a resiliência de curto prazo.

Para além dos benefícios “técnicos”, as alimentações artificiais apresentam benefícios económicos claros, nomeadamente uma protecção “imediate” dos bens ao longo da linha da costa (ao contrário de muitas estruturas de defesa costeira dita “pesada”) e, ao aumentar a largura emersa do perfil transversal, aumenta também o potencial de ocupação da praia e, conseqüentemente, o seu potencial de exploração turística/rentabilização económica, Figura 1.



Figura 1. Alimentação artificial da Praia de *Indian Shores* (Flórida, EUA) em 1992, com 5km de extensão e 0,9 Mm³, representando um custo total cerca de USD 10M (Morelock, acedido em 2012).

Assim sendo, inserir sedimentos no sistema é uma forma de minorar o desequilíbrio existente, acabando, quase sempre, por ter efeitos positivos (mesmo quando mal aplicado). No entanto, é importante referir também que, apesar de funcional, esta técnica não é a solução final para o problema da erosão costeira. O seu elevado custo por metro linear é, para muitos investidores (públicos e/ou privados), impeditivo de tentativas “falhadas” aos olhos da opinião pública, podem introduzir acreções indesejadas em canais ou barras próximas do local alimentado e têm também efeitos ambientais indesejados (como por exemplo o soterramento/esmagamento dos invertebrados que se encontram nas camadas inferiores do perfil).

Quadro 1. Taxas de alimentações artificiais realizadas na Europa até ao ano de 2002. Apesar de uma história recente, o volume anual médio de alimentações ao longo da Europa já ascendia aos 28 Milhões de m³ (adaptado de Hanson *et al.*, 2002).

País (ano da primeira AAP)	Volume total (milhões de m ³)	Número de intervenções	Número de locais intervencionados	Volume médio/int. (milhares de m ³)	Volume médio/local (milhões de m ³)	Int./local
França (1962)	12	115	26	104	0.5	4.4
Itália (1969)	15	36	36	420	0.4	1
Alemanha (1951)	50	130	60	385	0.8	2.1
Holanda (1970)	110	150	30	733	3.7	5
Espanha (1985)	110	60	400	183	0.3	1.5
Reino Unido (1954)	20	35	32	570	0.6	1.1
Dinamarca (1974)	31	118	13	263	2.4	9.1

Esta técnica foi aplicada pela primeira vez na Europa em território Português, mais precisamente no Estoril, em 1950, numa pequena empreitada de apenas 15 000 m³, seguida pela Alemanha em 1951, na Ilha de *Nordeney* (Hamm *et al.*, 2002). No entanto, os primeiros relatos da sua utilização a nível mundial apontam para finais do século XIX e princípios do séc. XX na zona de *New Jersey* (EUA) para minorar os efeitos de tempestades severas (Hillyer, 1996). Desde essa altura, em ambos os continentes, foram já realizados inúmeros projectos deste tipo, totalizando, no caso Europeu, mais de 650 intervenções e mais de 350 Mm³ de sedimentos colocados (Quadro 1).

3. Técnicas de Alimentação Artificial de Praias

Como já foi referido anteriormente, o perfil pode ser construído na zona superior da praia (zona emersa e cordão dunar) deixando que o espraçamento das ondas faça o reperfilamento ou pode definir-se directamente o perfil médio esperado, sendo a primeira técnica a mais comum. Outra solução é a colocação de sedimentos somente na zona submersa (barras submersas), no entanto, apesar de ter alguns aspectos positivos, esta técnica não potencia o valor turístico das praias envolvidas e não tem resultados tão “visíveis”, pelo que quando o objetivo é melhorar significativamente as condições de determinada praia este método não é habitualmente utilizado.

Como é fácil de imaginar, a granulometria dos inertes colocados terá um impacto directo nas taxas de recuo posteriores à alimentação e, conseqüentemente, nos custos de manutenção, pois quanto maior a granulometria maior será a tensão de arrastamento necessária para iniciar o movimento do material e logo, menores recuos.

Estima-se que 95% dos volumes utilizados na alimentação artificial de praias são precedentes de dragagens, o que se deve ao facto de, na maioria dos casos, o material de empréstimo estar disponível a uma distância até 20km do local a alimentar e aos “baixos” custos que se conseguem em operações de dragagem com alguma escala (Dean, 2002). Apesar de existirem variadíssimos sistemas de dragagem, os esquemas tradicionais de dragagem para alimentações artificiais são apenas dois: dragagens directas a *pipeline* (com recurso a dragas do tipo *cutterhead*), Figura 2, ou um sistema composto por uma draga de sucção (também designadas de dragas *hopper*), associada a um sistema de bombagem flutuante.



Figura 2. Dragagem ao largo de *Captiva Key*, no Sudoeste da Flórida, e transporte através de um *pipeline* (Encyclopedia of Coastal Science, adaptado).

Os sedimentos são bombeados para a praia numa mistura de areia e água, em que o conteúdo sólido é normalmente inferior a 20%, o que significa que existem grandes probabilidades da fração mais fina do material ser arrastada para sotamar da zona de alimentação.

Assim sendo, o uso de sedimentos finos, apesar de ser turisticamente interessante, é desaconselhado pois resulta normalmente em lavagem do material, perdas excessivas e muita manutenção.

No entanto, este arrastamento acontece em todos os casos mesmo que a fração fina seja uma percentagem baixa do total, pelo que será sempre necessário a médio-longo prazo um bom plano de manutenção.

Outra técnica bastante utilizada é a transposição de areias, ou *sand-bypass*. Esta técnica é um meio de transportar sedimentos, contornando obstáculos à corrente de deriva litoral, numa tentativa de manter (ou reinstalar) o fluxo de sedimentos nestas correntes, ou seja, é um transporte curto entre locais próximos com um intervalo de ocorrência bastante mais curto que as dragagens. Como a ocorrência é mais frequente, os custos de funcionamento têm um peso mais relevante no tipo de solução final.

Uma hipótese para este tipo de técnica é a implantação de um sistema de bombagem dentro de uma estrutura localizada perto da zona em acreção, em função das condições locais. Um exemplo é a estação de *Palm Beach*, Florida, localizada sobre o molhe Norte, onde a tubagem de sucção está suspensa de um braço articulado que se posiciona convenientemente numa “fossa” ou “trincheira” (Figura 3) que é cheia com sedimentos pela acção da agitação dominante permitindo uma bombagem relativamente constante.

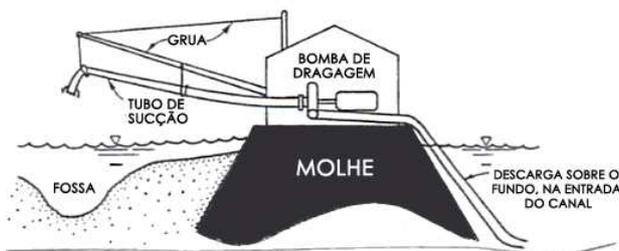


Figura 3. Esquema da estação de transposição de areias de *Palm Beach*, Florida (Dean, 2002).

Para além deste tipo de sistemas que recorrem a bombas de dragagem “convencionais”, a transposição de areias pode ser realizada também com recurso a bombas de jacto (ou *jet pumps*).

Outras técnicas foram já testadas, embora em muito menor escala. Alguns exemplos são o transporte terrestre, a colocação de areias com recurso a um tapete transportador (caso da Figura 1) ou a repulsão por jacto (*rainbow method*) directamente do batelão (Figura 4). Estas técnicas alternativas são utilizadas em situações pontuais onde a dragagem a *pipeline* não é uma solução competitiva.



Figura 4. Repulsão por jacto directamente do batelão para a praia (Linham, M., Dredging International).

4. Metodologias de Projeto

4.1. Enquadramento

O nível de planeamento em projectos desta natureza varia bastante, indo desde os mais elementares, onde o material é simplesmente o subproduto de alguma dragagem isolada e que, pela “qualidade” do material dragado, este é utilizado para alimentar uma praia pouco distante, até aos mais complexos, onde se aplicam modelos numéricos para prever a evolução dos perfis, tanto transversal como longitudinalmente.

O mesmo também se aplica à escala do empreendimento, que pode oscilar desde os poucos milhares de m³ até às dezenas de milhões.

Segundo o *National Research Council* (2005) dos EUA, a “alimentação artificial de praias pode ser usada com eficácia (...) e à escala humana (décadas e não séculos)”:

- Quando os projectos são levados a cabo em locais onde os mecanismos de erosão são conhecidos;
- Quando as incertezas no desenho e na previsão são encaradas realisticamente;
- Quando é aplicado o estado-da-arte, tanto em projecto como no planeamento.

Uma vez validado o recurso a um projecto desta natureza, devem preconizar-se os seguintes objetivos técnicos (sempre que possível):

- Aumentar as dimensões das bermas e dunas;
- Avançar a linha de costa em direção ao mar;
- Reduzir os danos provocados por tempestades, tanto ao nível de inundações como de agitação;
- Alargar o uso recreacional da praia.

As melhores práticas de forma a cumprir estes objetivos estão bem sintetizadas em várias publicações e mesmo em “manuais” e/ou “notas técnicas” desenvolvidos por entidades reguladoras de vários países, entre eles a Alemanha, a Holanda, o Reino Unido ou os EUA.

Ainda assim, Hamm *et al.* (2002) advertem para o facto de “a experiência ensinar que, apesar de os aspectos económicos e ecológicos serem importantes, a combinação entre efectividade e percepção pública dessa efectividade são, na maioria dos casos, os pontos mais importantes” deste tipo de empreendimento.

4.2. Notas em relação ao estudo prévio

Numa fase inicial é essencial realizar um estudo exaustivo e um levantamento geral de todos os factores que podem influenciar ou serão influenciados pelo projecto. Como cada projecto é um caso particular, é impossível realizar uma *check-list* universal de itens necessários, pelo que não se fará nenhuma referência neste artigo aos elementos requeridos para um estudo prévio de qualidade. Ainda assim, podem definir-se três procedimentos que são transversais a todos os projectos desta natureza e que devem ser bem enquadrados, nomeadamente no que diz respeito à objectividade e qualidade das medições, aos períodos de estudo e às fontes e materiais utilizados. São eles:

- Avaliação de campo;
- Avaliação histórica;
- Balanço de sedimentos.

A primeira tem como objetivo conhecer as condições locais no momento do dimensionamento, para identificar áreas de erosão e para recolher dados que permitam calibrar os modelos de previsão existentes e dar ao projectista o conhecimento real do local para que este possa tomar decisões mais informadas acerca do que terá prioridade de protecção. Para evitar incorrecções, deve ser realizada em secções da costa que apresentem uma erosão relativamente “uniforme” e não nos designados *hot spots* (pontos de elevada erosão localizada). A segunda é vital para compreender o comportamento estrutural da costa e tem como objetivo analisar e identificar quais os mecanismos de erosão presentes no local do projecto e as suas causas. Os balanços de sedimentos tabelam os ganhos e as perdas de volumes de sedimentos, podendo servir para avaliar a taxa efectiva de transporte longitudinal e transversal. Este balanço deve ter o máximo de anos possível (para que se possa identificar claramente os padrões de erosão) e a metodologia para a sua definição passa por identificar as principais fontes de entrada de sedimentos (*input*) bem como as principais fontes de perdas (*output*).

4.3. Abordagens de projeto em alimentações artificiais de praias

Como já foi referido anteriormente o nível de detalhe num projecto desta natureza é bastante variável. Ainda assim, sempre que se preveja um investimento avultado, deve ser exigido um grau de rigor compatível com esse investimento, o que implica uma correcta definição dos volumes de sedimentos a colocar, locais a alimentar, forma e posição dos perfis transversais, modos de transporte e colocação, granulometrias, locais de empréstimo bem como os custos e impactos associados.

Para definir correctamente estas variáveis é necessário prever, o mais concretamente possível, a evolução futura da alimentação.

Isto pode ser realizado com recurso a modelos físicos, matemáticos ou com observações reais. O primeiro tipo não é (na maioria dos casos) adequado a este tipo de projectos, devido aos seus elevados custos e efeitos de escala, restando apenas a abordagem matemática (analítica e/ou numérica) e a empírica, Verhagen (1992).

4.3.1. Abordagem empírica

A utilização de modelos matemáticos para a previsão da evolução de uma alimentação (e consequentemente do volume necessário) está sujeita a várias restrições, simplificações e a uma correcta calibração (esta última dependente de medições de elevada qualidade). Em muitos casos, a junção de todos estes factores não é possível, originando uma utilização incorrecta de modelos numéricos e/ou analíticos o que, a nível de projecto, resulta em “falsas” precisões e projecções sem qualquer validade real. É portanto fundamental compreender que o conhecimento nesta área é maioritariamente empírico e que a formulação teórica subjacente é altamente complexa e de difícil aplicação real e é apenas aplicada em locais e condições particulares, não podendo ser extrapolada livremente para todo o globo sem as devidas reservas e/ou correcções.

Desta forma, uma abordagem simples e directa, baseada unicamente em medições reais, pode colmatar a inexistência de modelos complexos realizados especificamente para determinado local de projecto ou então pode servir como base para a calibração de novos modelos. Para além disso, as condicionantes de ordem técnica (local a alimentar, locais de empréstimo, financiamento, equipamento disponível, ...) têm demasiado impacto no dimensionamento, acabando por tornar desinteressante o uso de formulações teóricas complexas que acabariam por não ser concretizáveis. Assim sendo, o recurso a medições reais de qualidade e a um bom sistema de monitorização, traz conhecimento empírico de qualidade suficiente para dimensionar um projecto deste tipo e prever a sua evolução, sem as preocupações inerentes aos modelos matemáticos.

O método proposto por Verhagen (1992), Figura 5, é fruto da política assumida pelos Países-Baixos de “fixar” a linha de costa na sua posição de 1990 e dos grandes investimentos que realizam para o efeito, oferecendo muitos anos de recolha de dados para que seja possível realizar um tratamento estatístico adequado. É um método bastante expedito, baseado em 5 passos gerais que a experiência regional tem demonstrado serem válidos, desde que existam medições de perfis transversais regulares e de elevada qualidade:

1. Realizar medições costeiras de perfis transversais durante, pelo menos, 10 anos;
2. Calcular as perdas de sedimentos em m³/ano para cada célula da costa;
3. Adicionar 40% de perdas;
4. Multiplicar esta quantidade pelo horizonte de projecto (por exemplo, 5 anos);
5. Colocar esta quantidade ao longo da zona a alimentar, entre o sopé da duna e 1 m de profundidade a partir da baixa-mar.

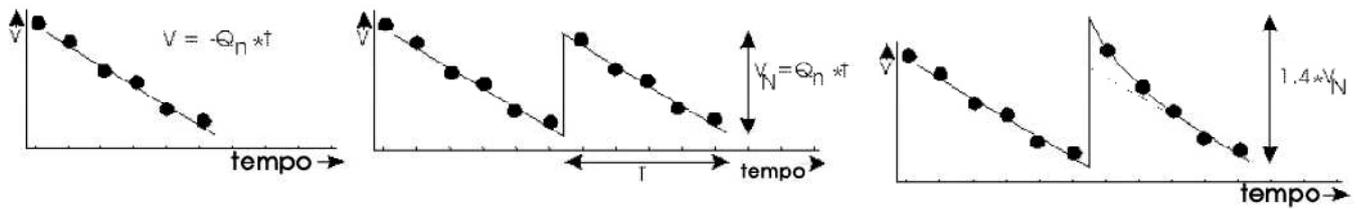


Figura 5. Princípio de dimensionamento de uma alimentação artificial através do método utilizado nos Países-Baixos (adaptado de Verhagen, 1992).

O autor aconselha que as medições dos perfis transversais sejam realizadas dentro de uma zona muito bem definida, em que a fronteira interior esteja num local onde não se verifique qualquer tipo de erosão (pelo menos para um período igual ao da análise e de extrapolação dos dados) e a fronteira exterior localizada a uma profundidade tal que não exista transporte transversal (profundidade de fecho).

Os 40% extra é uma forma simples de tentar compensar as variáveis não controláveis, como por exemplo: maior ação da agitação, perdas por dispersão longitudinal ou lavagem de finos.

Embora seja um método com provas dadas, a filosofia que está na sua génese revela claramente a política que o país assumiu, investindo em alimentações experimentais (que podem ter uma duração muito curta) e num bom plano de monitorização para que seja possível obter medições de qualidade.

O carácter particular da situação geográfica dos Países Baixos justifica plenamente o uso desta metodologia, no entanto, tal nem sempre é compatível com o orçamento existente ou com o tipo de projecto pretendido.

Outro dos problemas para que alerta o autor é a relativa “facilidade” com que se “erra” na definição do valor da taxa de regressão, dando aso a alimentações com durabilidades menores. No entanto, também reitera que este método de dimensionamento é uma aprendizagem contínua e que estes “erros” devem ser encarados de forma construtiva, como base para novos projectos, seja sob a forma de uma durabilidade expectável menor ou sob a forma de maiores volumes de alimentação.

Ainda assim, Verhagen (1992) sugere que (devido ao elevado peso que a opinião pública tem nestes projectos) a areia não seja deixada totalmente na zona emersa (o que traria menores custos). Isto porque após a alimentação existiria um perfil de praia bastante extenso e esteticamente atraente mas, no final da primeira tempestade, este teria já “desaparecido”, o que para a opinião pública seria o equivalente a um fracasso muito embora toda a areia ainda esteja no sistema (o que equivale a uma erosão nula).

4.3.2. Abordagem analítica/semi-empírica

Baseado em algumas simplificações, Pelnard-Considère (1956) apresentou uma formulação analítica que permite obter a forma em planta de uma costa sedimentar, para vários instantes de tempo, quando esta está sujeita a uma determinada agitação (caracterizada pela sua direção e altura na rebentação), que foi adaptada à previsão da evolução de alimentações artificiais.

No entanto, devido à imprevisibilidade inerente a este tipo de empreendimentos e à complexidade na aplicação das formulações teóricas conhecidas a zonas costeiras altamente turbulentas, a utilização de uma abordagem totalmente analítica ou semi-empírica, deve ser considerada com bastantes reservas.

Desta forma, o grande objetivo desta equação não é tanto a previsão com exactidão da evolução de uma alimentação artificial, mas sim obter algumas soluções “analíticas” para efeitos de pré-dimensionamento e fornecer algum tipo de fundamentação teórica que sirva de base ao tratamento destes temas.

Uma vez obtida uma forma que obtenha bons resultados teóricos, é possível basear-se nesse *layout* e aplicar o método proposto por Verhagen ou introduzir os dados num modelo numérico actual mais complexo.

O principal fundamento de toda esta metodologia é a consideração de que existe uma conservação dos sedimentos ao longo do perfil transversal. Assim sendo, qualquer acção de uma taxa de transporte longitudinal de sedimentos ao longo dum comprimento infinitesimal, corresponde à mesma variação negativa do volume do perfil ao longo do período de tempo de actuação dessa taxa, o que se traduz na seguinte equação:

$$\frac{\partial q_L}{\partial x} + \frac{\partial V}{\partial t} = 0 \quad [1]$$

em que q_L representa a taxa de transporte longitudinal segundo uma formulação válida, por exemplo a CERC, Kamphuis (1991) ou Bayram *et al.* (2007), V o volume do perfil transversal, x a largura do perfil e t o tempo. As unidades devem ser coerentes entre si.

Quando a granulometria dos sedimentos é compatível com a do material nativo, é razoável assumir que a forma do perfil permanece constante, ou seja, o perfil transladar-se-á ao invés de modificar a sua forma (Figura 6).

Em termos de modelo, pode dizer-se que esta translação acontecerá ao nível da altura de berma - B - e da profundidade de fecho - h_c . Isto significa que qualquer alteração na largura da zona emersa - Δy_0 - pode ser dada pela equação:

$$\Delta y_0 = \frac{V}{h_c + B} \quad [2]$$

Desta forma, se os perfis respondem por simples translação, então, substituindo a equação [2] na [1], obtém-se:

$$\frac{\partial q_L}{\partial x} + (h_c + B) \cdot \frac{\partial y}{\partial t} = 0 \quad [3]$$

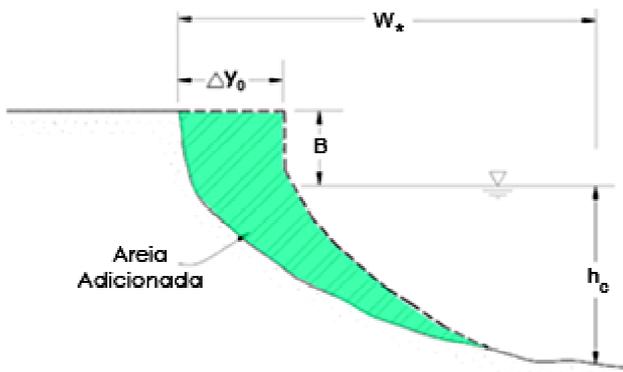


Figura 6. Modelo de translação do perfil transversal, (Dean, 2002).

A equação fundamental do modelo de Pelnard-Considère consiste assim na junção das expressões anteriores, associando o conceito de perfil de equilíbrio ao da conservação de sedimentos, permitindo definir qual a “velocidade” de variação da linha de costa, tal como reflectido na seguinte expressão:

$$\frac{\partial y}{\partial t} = G_{PC} \cdot \frac{d^2 y}{dx^2} \quad [4]$$

em que G_{PC} representa um parâmetro apelidado de “difusão litoral” (*longshore diffusivity*), cujas dimensões são L^2T^{-1} . Aplicando a formulação do CERC para o transporte longitudinal, obtém-se que:

$$G_{PC} = \frac{K \cdot H_B^{5/2} \sqrt{g/\gamma_B}}{8 \cdot (G-1) \cdot (1-P) \cdot (h_c+B)} \quad [5]$$

em que K representa um coeficiente referente ao transporte de sedimentos (Figura 7), H_B é a altura de onda na rebentação, podendo considerar-se a altura de onda significativa, g é a aceleração da gravidade, G é a densidade das partículas sólidas, P é a porosidade do perfil, normalmente tomada como um valor entre 0.35 e 0.4 (Dean, 2002) e, finalmente, γ_B é um parâmetro adimensional dado pela relação:

$$\gamma_B = \frac{H_B}{d_B} \quad [6]$$

em que H_B tem o mesmo significado que anteriormente e d_B é a profundidade na rebentação.

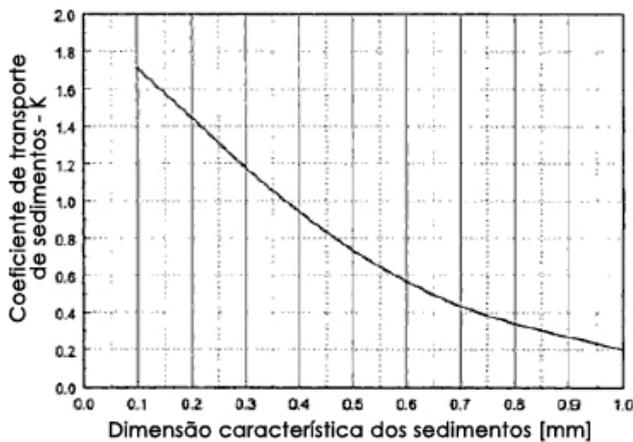


Figura 7. Relação entre o coeficiente de transporte de sedimentos (K) e o seu diâmetro característico (adaptado de Dean, 2002).

O facto de existirem várias soluções para várias condições iniciais e de fronteira é a grande mais-valia desta formulação, pois torna-a bastante versátil, já que pode ser utilizada para modelar uma multiplicidade de situações, como se poderá ver mais adiante. Muitas destas soluções são descritas por Larson *et al.* (1987, 1997), tais como alimentações em planta rectangular finita e infinita, triangulares, semicirculares, com o fecho de esporões, quebramares entre outras. O resultado da evolução ao longo do tempo t para uma alimentação rectangular finita (de semi-comprimento a), segundo esta metodologia é apresentado na Figura 8.

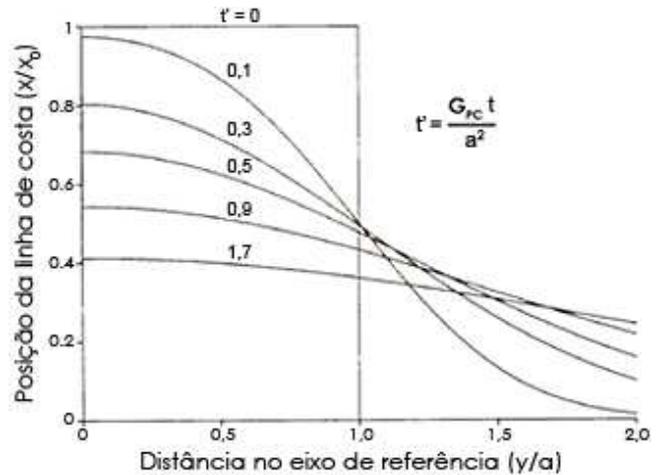


Figura 8. Evolução em planta da semi-seção de uma alimentação rectangular finita segundo o método de Pelnard-Considère (adaptado de Larson, 1987).

4.3.3. Abordagem numérica

Dean (2002) sugere que “a melhor base para o desenvolvimento de um conhecimento geral acerca de um esquema particular é obtida através da combinação de modelos simples com outros mais detalhados”, pois os modelos anteriores oferecem uma perspectiva geral sobre o projecto, podendo servir como base de comparação para os resultados obtidos com modelos mais complexos, que devem ser utilizados (sempre que disponíveis) para modelar zonas particulares com a precisão desejada pelo utilizador. Existem inúmeros modelos numéricos para modelar a evolução da costa, desde modelos genéricos até modelos criados especificamente para zonas particulares, pelo que este tema não será tratado em profundidade neste artigo. Ainda assim é importante reiterar que a utilização de modelos numéricos, quando disponíveis, pode e deve ser uma alternativa utilizada e ponderada com cuidado, tendo sempre em mente as limitações do modelo em causa, a sua correcta calibração e, acima de tudo, a qualidade dos dados de entrada, sob pena de se apresentarem falsas precisões que depois podem ser desfavoráveis ao projectista, caso o projecto não evolua como esperado.

5. Aplicação da Metodologia Apresentada a Casos Reais na Costa Algarvia

5.1. Enquadramento

Estes casos reais são referentes a alimentações previstas em praias do Concelho de Portimão (Figura 9), na região do Algarve. Estas praias são: Careanos, Amado e Três Castelos.



Figura 9. Localização do local em estudo (Google Earth, adaptado).

À data deste estudo, os planos para a sua alimentação encontram-se em fase de estudo pelo INAG embora tudo indique que, por restrições orçamentais, não se venham a realizar no prazo previsto. Estas intervenções inserem-se no Plano de Ação para o Litoral 2007-2013, aprovado em 2007 pelo Ministério do Ambiente, que visou identificar as ações que assumiam um carácter prioritário a nível nacional (designadas por “Prioridades de intervenção”), bem como “Outras medidas” de suporte às intervenções principais que teriam um interesse somente regional.

As praias da cidade de Portimão situam-se num acidente geomorfológico importante do Barlavento Algarvio: a Baía de Lagos, Figura 9. Esta ampla baía é limitada a Poente pelo promontório natural da Ponta da Piedade (em Lagos) e a Nascente pela Ponta do Altar e foz do Rio Arade (actualmente a entrada da barra de Portimão que dá acesso à marina local).

O regime de marés é idêntico à totalidade da costa Portuguesa, nomeadamente semi-diurno e mesotidal, com uma amplitude média de maré de aproximadamente 2.0m podendo atingir os 3.4m em marés vivas. O clima de agitação ao largo é dominado pela direção de Oés-sudoeste (OSO) (71% das ocorrências), seguida da direção de Sudeste (SE) (23% das ocorrências). A altura de onda significativa média anual é de aproximadamente 1.0m e está associada a um período de 8.2s.

5.2. Justificação para o recurso a alimentação artificial

Em termos balneares, a ARH - Algarve define como faixa de risco (área passível de ser ocupada pelo cone de detritos resultante de um desmoronamento das arribas) uma largura igual a 1.5 vezes a altura da arriba, para arribas rochosas e uma vez esta altura para arribas arenosas e sugere também que os utentes não se coloquem junto a leixões isolados.

Dado que, à data deste estudo, a relação altura da arriba/largura destas praias se encontrava perto da unidade, verifica-se que a faixa de risco ocupa grande parte da área efectivamente disponível de areal, cerca de 30% na Praia dos Três Castelos e 50% na Praia do Amado e Careanos (Quadro 2). Desta forma, se os utilizadores se cingissem somente a estas faixas permitidas, verificar-se-ia uma diminuição significativa do uso balnear nestes locais, algo que não é favorável ao modelo económico marcadamente turístico definido pela região.

No entanto como, na maioria dos casos, tal não se verifica, preferindo os utilizadores estar em áreas de risco do que não usufruir desses locais, pode dizer-se que o risco de exposição é elevadíssimo na altura estival, dado que uma diminuição da largura da berma terá uma implicação direta na estabilidade das arribas.

Tanto a colocação de sinalização como o isolamento reduzem apenas o risco associado a pessoas, ficando os bens existentes expostos igualmente à ação marítima, como é este caso.

O desmonte da arriba apesar de bastante funcional é uma medida de proteção insustentável pois implica um recuo substancial do topo da mesma, obrigando dentro de algumas dezenas de anos a possíveis demolições de edificações e indemnizações (com todos os custos que lhe estão associados); já a contenção das arribas apresenta custos globais relativamente semelhantes aos da alimentação e reduz bastante a perigosidade, não impedindo, no entanto, a exposição.

5.3. Definição da solução

5.3.1. Metodologia aplicada

Dado que não existe um estudo detalhado das condições hidrodinâmicas que dão origem ao transporte sedimentar na região, a proximidade a várias fontes de input/output de sedimentos (Ria de Alvor, Rio Arade, possíveis dragagens, outras ribeiras) e ainda a existência de várias obstruções naturais e antrópicas (molhes, leixões e promontórios naturais), a aplicação de um modelo analítico a este local em particular, provavelmente terá uma fraca capacidade de previsão, especialmente se não tiver em conta a batimetria real.

O conhecimento de algumas características relevantes dos perfis transversais bem como de dados de alimentações anteriores, fazem com que o método de Verhagen seja o método mais lógico para esta situação, apesar da sua pouca precisão.

Quadro 2. Dados dos perfis transversais recolhidos pela ARH - Algarve nas praias em estudo.

Praia	Nº de perfis recolhidos	Gama de inclinação (°)	Declive médio (nº de observações)	Granulometria
Praia dos Careanos	6	4.2 - 6.9	5.4° (21)	0.125 - 0.50mm
Praia do Amado	7	3.8 - 6.8	5.1° (21)	0.125 - 0.50mm
Praia dos 3 Castelos	7	3.8 - 6.8	4.9° (23)	0.125 - 0.50mm

Ainda assim, apesar de não ter validade como método de dimensionamento para este caso em particular, procurou-se realizar um modelo analítico unidimensional, segundo os pressupostos apresentados anteriormente, apenas para avaliar a qualidade dos resultados obtidos, face ao conhecimento existente relativo à evolução da largura das praias em estudo, desde 1996 até 2008.

Em relação a modelos numéricos, não existe nenhum modelo disponível que represente adequadamente este troço da costa.

5.3.2. Definição dos perfis transversais

À falta de dados reais, procurou-se aplicar o conceito de perfil de equilíbrio de Bruun (1957) e Dean (1977).

Cada um dos perfis do modelo é então composto por dois elementos: uma berma de inclinação constante, “ancorada” na origem do referencial, e uma face de inclinação variável, definida segundo o perfil de equilíbrio referido.

Como simplificação, considerou-se também que a face se inicia sempre à mesma cota, implicando que uma redução da largura da berma será sempre acompanhada por uma variação da sua inclinação.

Este facto foi tido em conta, sendo a gama de inclinações (bem como a inclinação média) compatíveis com as apresentadas no Quadro 2 (ARH - Algarve), medidas no perfil real com recurso a um clinómetro, e a largura da berma é compatível com o apresentado na figura 10.

O limite inferior do modelo correspondente à profundidade de fecho, assumida aproximadamente como 1,45 vezes a altura de onda significativa, o que corresponde a 1,45m.

A granulometria seleccionada constitui o valor médio entre 0,125mm e 0,50mm, nomeadamente 0,30mm.



Figura 10. Evolução da largura da Praia da Rocha e das praias entre o Vau e os 3 Castelos, entre Setembro de 1996 e Maio de 2008, resultante de 4 perfis transversais periódicos (ARH-Algarve).

Um exemplo dos resultados obtidos é apresentado na Figura 11, para a Praia dos Careanos.

Nesta figura é possível observar a “rotação” da berma em torno de um ponto fixo, situado na coordenada fictícia (0;0), associado ao respetivo recuo da face, que mantém a forma constante referente ao perfil de equilíbrio anteriormente referido.

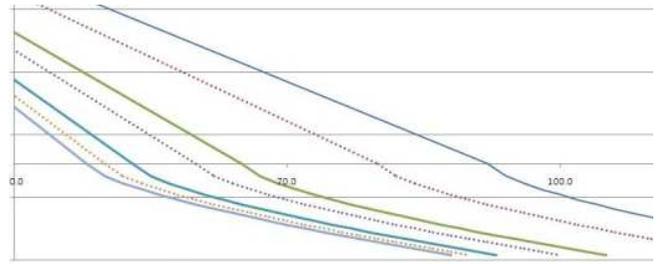


Figura 11. Extracto do resultado gráfico do modelo de evolução do perfil transversal para a praia dos Careanos entre 1999 e 2008.

5.3.3. Definição do volume da alimentação

As taxas de recuo médias obtidas segundo o modelo anterior foram:

- Careanos (cerca de 430 m): 8 798 m³/ano
- Amado (cerca de 470 m): 9 237 m³/ano
- Três Castelos (cerca de 450 m): 8 668 m³/ano

Com base nestes valores, é possível definir os volumes da alimentação em função do majorante seleccionado e do horizonte de projecto. Dado que não existem dados suficientes, não foi possível definir com grande rigor um majorante para cada local, adoptando-se por defeito o proposto por Verhagen, ou seja, um acréscimo de 40% ou 1,4 mm³. Em relação ao horizonte de projecto, dadas as relativamente baixas taxas de recuo, adoptou-se um horizonte de 10 anos. Estes resultados conduzem a um volume adoptado da ordem dos 0,4 Mm³, menos 20% do que o colocado na alimentação de 1996.

Note-se que estes resultados, especialmente no que se refere ao perfil transversal foram obtidos a partir do quadro 2 e da figura 11, pelo que não possuem uma validade real. Para o efeito seria necessária uma avaliação correcta da batimetria actual bem como perfis transversais completos.

5.3.4. Modelo de previsão do comportamento da alimentação

Tal como já foi referido, a previsão de comportamento desta alimentação realizou-se com recurso ao método de Pelnard-Considère. Os dados de entrada no modelo são de fraca qualidade e o próprio também não responde às variações pontuais na batimetria que se encontram nestas praias (devido aos afloramentos rochosos) que, nalguns casos, originam até um pouco de retenção (exemplo do leixão que separa os Careanos do Amado). Ainda assim, mesmo com estas limitações, procurou-se aplicar o modelo o mais realisticamente possível para que os resultados fossem minimamente coerentes.

O fundamento da construção deste modelo foi o princípio da sobreposição de efeitos, ou seja, a largura pontual de uma alimentação de geometria irregular, num instante de tempo, pode ser dada pela soma das larguras pontuais dos seus vários elementos regulares constituintes. É importante referir que não foi encontrada nenhuma referência bibliográfica que corroborasse a validade da aplicação deste princípio a este tipo de problemas, no entanto, os pressupostos teóricos não invalidam esta possibilidade e a realidade demonstra que existe algum tipo de sobreposição, embora não seja claramente linear tal como considerado neste caso.

Por opção limitou-se o recuo a 50m de largura a contar da origem o que, em termos práticos, resulta na existência de uma assíntota nesse valor.

Esta decisão baseia-se em duas razões fundamentais: a primeira é a condição de não existência de erosão de fundo e a segunda é considerar o efeito benéfico da praia adjacente - Praia do Vau - ao receber os sedimentos que se espalham para Oeste.

A geometria em plana da alimentação, incluindo as figuras elementares constituintes são apresentadas, na figura 12. No caso do esporão foi necessário "inverter" o procedimento usual de cálculo.

Num caso usual a evolução é dependente da deriva litoral (G_{PC}), permitindo modelar a evolução das areias retidas pela estrutura, ao passo que neste modelo, o esporão irá reter as areias da alimentação.

Dado que esta quantidade é bastante superior àquela que reteria em condições "normais", não é válido considerar a taxa de G_{PC} para condições naturais.

O processo consistiu então em calcular (por integração numérica) a área referente ao trapézio 1 e 2 que sai fora da fronteira intransponível e definir uma G_{PC} tal que a área acumulada no esporão seja igual à área que sairia fora da fronteira (Figura 13).

Assim sendo, a evolução total da linha de costa será dada pela evolução conjunta de três formas trapezoidais e um esporão, tal como representado na Figura 12. O trapézio 3 é um caso especial em que uma das larguras é nula, formando portanto um triângulo. No entanto a formulação é idêntica aos restantes elementos.

A questão mais importante foi sim a definição da G_{PC} a utilizar nestes casos. Para o efeito foram estudados dois casos: um primeiro em que o G_{PC} é calculado com base na formulação do CERC e outro, em que o G_{PC} é introduzindo iterativamente até que os resultados sejam de alguma forma semelhantes aos observados em campo, nomeadamente até que o recuo da largura média das praias em estudo, Figura 10, coincida aproximadamente com os resultados teóricos.

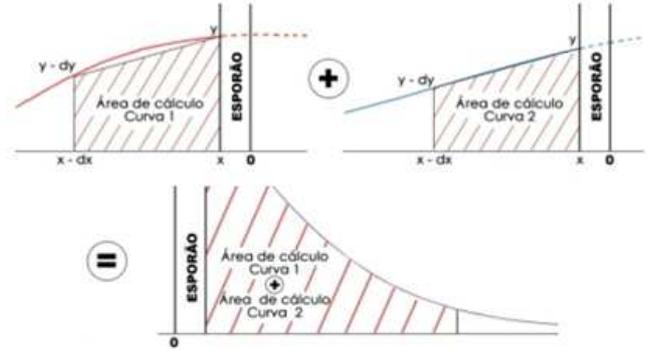


Figura 13. Método de cálculo da área retida pelo esporão.

5.3.5. Resultados

Como se referiu, a primeira hipótese de cálculo utiliza um G_{PC} baseado na formulação do CERC e calculado com base na Equação 5, para os valores do Quadro 3. O resultado é bastante elevado, aproximadamente $2,535 \times 10^6$ m²/ano, devido ao elevado valor de K proposto por Dean (2002), obtido pela Figura 8 com base no diâmetro médio dos sedimentos.

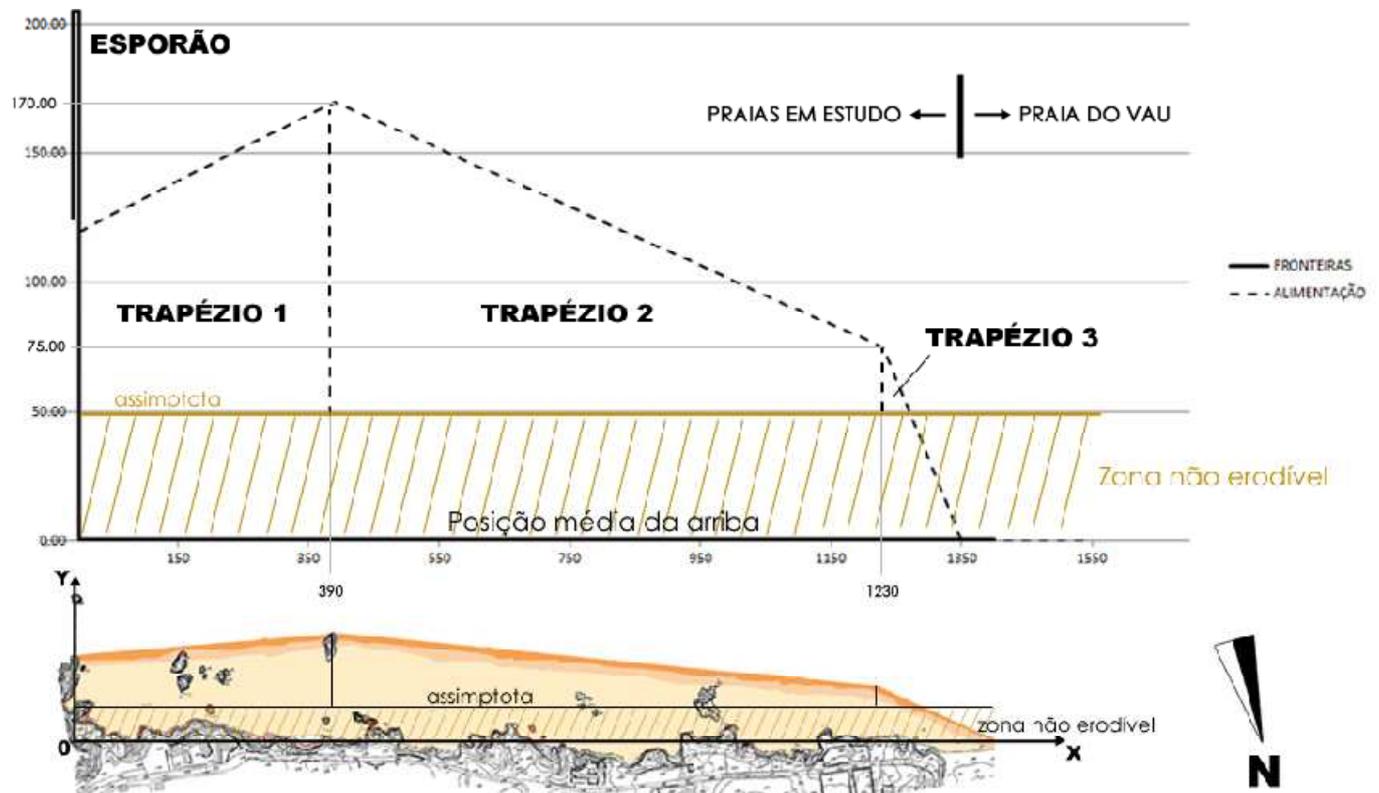


Figura 12. Geometria e características do modelo unidimensional utilizado.

Quadro 3. Dados de entrada para o cálculo da G_{PC} da zona dos Três Castelos – Careanos, segundo a Equação 5.

$H_B \approx H_S$	1,00	h_c	1,45
G	2,65	B_{MED}	4,00
P	0,35	γ_B	1,00
K (Fig. 8)	1,20		

A altura de onda significativa também tem uma influência bastante importante, por exemplo, uma diminuição de apenas 0,1m neste parâmetro faz variar o valor de G_{PC} em quase $5,9 \times 10^5 \text{ m}^2/\text{ano}$, uma variação demasiado importante para a qualidade dos dados de entrada.

Como se pode observar pelas Figuras 14a e 14b, o valor de G_{PC} é de tal forma elevado que a erosão de toda a alimentação acontece quase instantaneamente (70% do volume fora da área de controlo em apenas 6 meses), estando o esporão a controlar o troço que lhe está adjacente, mas deixando a restante linha de costa recuada até ao limite da assíntota definida artificialmente. Desta forma, se não se tivesse definido este limite, o recuo assumiria um valor absurdo, terminando quase na arriba.

Quando comparado com os valores de controlo reais, obtidos a partir da Figura 10, verifica-se que o recuo total é quase o dobro do medido na realidade para o mesmo intervalo de tempo. Este facto deve-se essencialmente à elevadíssima variação inicial do modelo, pois como se pode verificar no Quadro 4, para os restantes anos as taxas de recuo médias são menores do que as reais.

Ainda assim, é possível retirar uma de duas conclusões:

- Ou a aplicação direta da Equação 5, apesar de ter funcionado relativamente bem noutro caso estudado (nomeadamente Vale do Lobo, uma praia linear e exposta) não é válida para estas zonas relativamente protegidas, influenciadas por promontórios, leixões e esporões;
- Ou os dados de entrada introduzidos no modelo não representam adequadamente a realidade local, nomeadamente no que diz respeito à altura de onda na rebentação (e conseqüente profundidade de fecho) e às características dos sedimentos.

O segundo caso procurou então corrigir este problema, adotando um valor de G_{PC} tal que os resultados fossem minimamente comparáveis à realidade.

Iterativamente, para este modelo e nestas condições, propõe-se um G_{PC} de $1,0 \times 10^5 \text{ m}^2/\text{ano}$, um valor 25 vezes inferior ao previsto inicialmente. Apesar de não ser o valor que oferece o melhor coeficiente de correlação, esse facto foi relegado para segundo plano, dando-se preferência ao recuo médio total.

Como se pode observar nas Figuras 14 e 15, o recuo é bastante menor que no primeiro caso (68% do volume ainda dentro da área de controlo ao fim de 6 meses). É de salientar também o funcionamento do esporão que não é representado da forma mais conveniente, um facto que se deve às limitações do modelo neste aspeto. Quanto maior for a área das curvas dentro dos limites de controlo, maior será a área que terá que ser comportada pelo esporão. Desta forma, no início, a área das curvas dentro do limite de controlo é superior, acentuando o efeito do esporão, algo que se vai esbatendo com o aumento do “espalhamento” que se verificaria caso não existisse aquela fronteira.

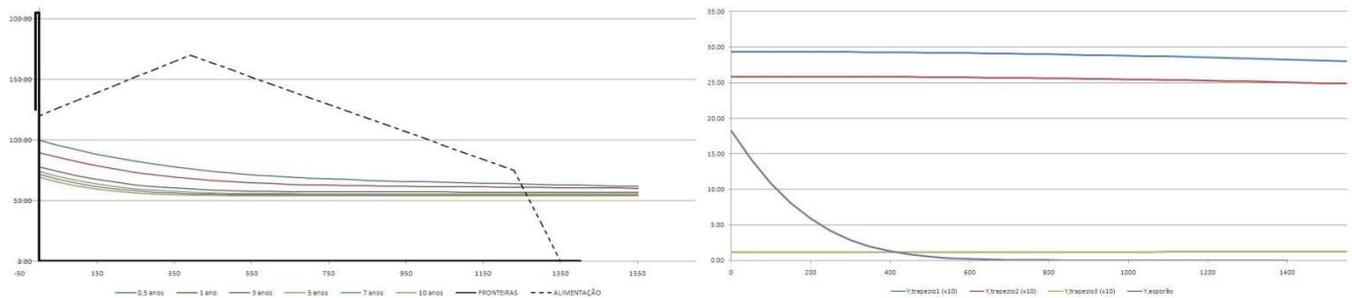


Figura 14. a) Resultados do modelo de evolução da alimentação para vários anos e uma G_{PC} de $2,535 \times 10^6 \text{ m}^2/\text{ano}$. b) Resultados unitários do modelo de evolução da alimentação, por cada componente, e para $t = 5$ anos e $G_{PC} = 2,535 \times 10^6 \text{ m}^2/\text{ano}$.

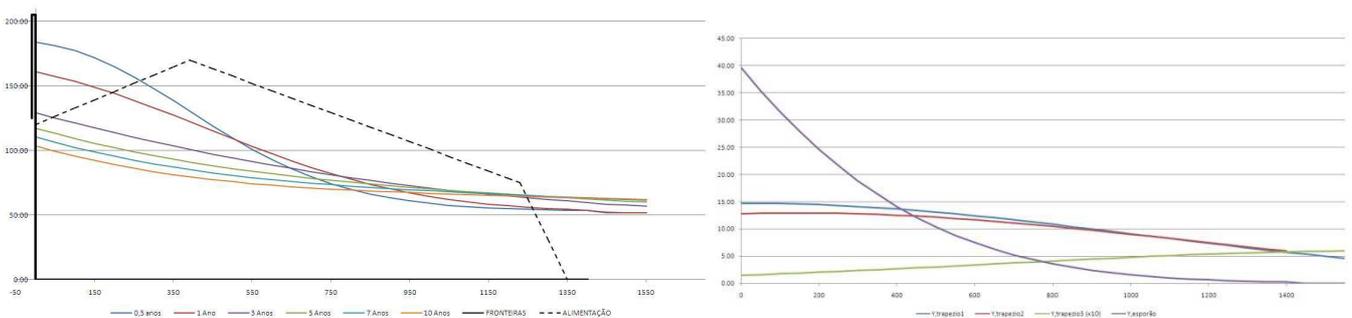


Figura 15. a) Resultados do modelo de evolução da alimentação para vários anos e uma G_{PC} de $1,0 \times 10^5 \text{ m}^2/\text{ano}$. b) Resultados unitários do modelo de evolução da alimentação, por cada componente, e para $t = 5$ anos e $G_{PC} = 1,0 \times 10^5 \text{ m}^2/\text{ano}$.

Quadro 4. Comparação dos resultados do modelo com os dados reais da ARH-Algarve.

		1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	Δy_{MED} [m/ano]	Δy_{TOTAL} [m]	R ²
ARH-Algarve (fig. 6.5)	Y_{MED} [m]	90	75	66	63	57	60	60	57	55	53	4.1	37.0	
	Δy [m]	15.0		3.0		-3.0		3.0		2.0				
G _{PC} 2 500 000 m ² /ano	Y_{MED} [m]	119.1	67.0	62.4	60.2	58.9	58.0	57.3	56.8	56.4	56.0	7.0	63.1	0.65
	Δy [m]	52.1		2.2		0.9		0.5		0.4				
G _{PC} 100 000 m ² /ano	Y_{MED} [m]	119.1	95.9	91.1	87.5	84.7	82.4	80.5	78.9	77.5	76.3	4.8	42.8	0.68
	Δy [m]	23.2		3.6		2.3		1.6		1.2				

Dado que o limite de controlo da área a sotamar do esporão é relativamente curto (0 a -600m), o esporão não origina “acrecção”, servindo apenas como retenção para retardar o recuo total da alimentação.

Uma forma de corrigir este facto poderia ser aumentar a largura de controlo a sotamar até que os efeitos das curvas fossem quase nulos, provavelmente até uma distância de cerca de 2 km.

5.3.6. Monitorização e realimentações

A Praia da Rocha, pelo seu sucesso, tem sido exaustivamente monitorizada, pelo que o seu plano de monitorização poderia estender-se sem grandes consequências a estas praias adjacentes. Como opinião pessoal, os custos associados a um plano deste tipo, por mais elevados que fossem, representariam apenas uma pequena porção do investimento total para um projeto deste tipo. Recorrendo aos resultados do modelo analítico unidimensional, mesmo considerando alguma reserva e aumentando o recuo para estar do lado da segurança, o volume de areia dentro do perímetro de controlo ao fim de 5 anos rondará os 40% o que significa que uma realimentação poderia ser realizada entre 5 a 7 anos após a obra em causa, com o mesmo volume e estendendo a linha de costa para além do previsto neste trabalho, ou com menor volume procurando fixar a linha de costa na posição já referida.

6. Conclusões

As alimentações artificiais de praias evoluem muito rapidamente através do espalhamento dos sedimentos por uma área bastante superior à estipulada inicialmente (excepto em locais bastante confinados como o caso da Praia da Rocha) e esta questão tem que ser correctamente explicada aos interessados para evitar a descredibilização desta técnica junto da opinião pública – um factor muito condicionante quando se trata de protecção costeira.

No entanto, tal como sugeriu Verhagen (1992) um investimento nesta área nunca é injustificado nem “perdido”, pois os sedimentos colocados num local servirão para alimentar locais a sotamar e barlamar do ponto da zona de intervenção, bem como diminuirão a inclinação submersa do perfil, diminuindo consequentemente a energia que incide directamente na praia, aumentando a sua durabilidade.

O que tem realmente que ser compreendido como “natural” neste tipo de projectos é o elevado recuo inicial que será tanto maior, quanto maior for a energia incidente. Desta forma, as técnicas de engenharia suave, utilizadas isoladamente, quase nunca conseguirão cumprir os objetivos pré-estabelecidos para este tipo de projectos em locais altamente energéticos.

Já quando se trata de ambientes energéticos intermédios ou baixos, verifica-se que esta técnica consegue apresentar, ao mesmo tempo, resultados igualmente muito bons e muito fracos, estando esta questão (como já se disse várias vezes) intimamente ligada ao conhecimento prévio da dinâmica litoral da região.

Assim sendo, é fundamental referir que as alimentações artificiais são uma técnica válida, passível de originar bons resultados e que, ao contrário das obras de defesa costeira ditas “pesadas”, não tem uma influência significativa sobre a deriva litoral, oferecendo benefícios a todas as regiões envolvidas, excepto no que diz respeito ao investimento inicial.

No entanto, existem várias outras técnicas que podem (ou não) ser válidas e interessantes em determinado local e que não devem ser postas de parte. Estas técnicas podem envolver tanto a engenharia “pesada”, que apesar de todos os problemas reconhecidos da sua utilização apresenta resultados positivos em muitos locais. O litoral é um recurso importantíssimo para as economias actuais, especialmente para aquelas que recebem grande parte do seu orçamento de actividades turísticas balneares.

Caso se opte, em consciência, pela protecção destes locais e pela manutenção da linha de costa, devem prever-se fundos para o estudo, manutenção e monitorização do litoral em parceria com as entidades gestoras e científicas locais, sejam elas públicas ou privadas.

Caso esta alocação de recursos não se verifique, as obras de protecção costeira “pesada” não resolverão o problema a médio/longo prazo, estando essas faixas de litoral expostas a recuos médios, maiores ou menores, consoante o caso, aumentando significativamente os custos caso se deseje posteriormente repor a linha de costa.

A injeção periódica de sedimentos no sistema, em qualquer das suas formas, é uma técnica válida, prática e de mérito reconhecido (tanto nacional como internacionalmente) que permite minorar os problemas inerentes ao recuo da linha de costa, mas é somente isso: uma técnica. Subjacente à sua utilização está toda uma cultura estratégica e social que, se não sofrer qualquer modificação, fará com que os problemas do litoral continuem a subsistir e, possivelmente, até a aumentar com o passar do tempo.

Referências

- Bayram, A., Larson, A., Hanson, H. (2007). *A new formula for the total longshore transport sediment transport rate*. Coastal Engineering, 54, Pp. 700-710.
- Brunn, P. (1954). *Coast erosion and the development of beach profiles*. Technical Memorandum No.44. Beach Erosion Board, EUA.
- Dean, R. G. (1977). *Equilibrium Beach Profiles: U.S. Atlantic and Gulf Coasts*. Ocean Engineering Technical Report No.12. Department of Civil Engineering and College of Marine Studies. Universidade de Delaware, EUA.
- Dean, R. G. (2002). *Beach Nourishment – Theory and practice*. Advanced series on Ocean Engineering (Volume 18). World Scientific, Singapura. 397 páginas. ISBN: 9810215479.
- Hanson, H., Brampton, A., Capobianco, M., Dette, H. H., Hamm, L., Lastrup, C., Lechuga, A., Spanhoff, R. (2002). *Beach Nourishment projects, practices and objectives – A European overview*. Coastal Engineering, vol. 47, 81-111.
- Hillyer, T. M. (1996). *Shoreline Protection and Beach Erosion Control Study. Final Report: An Analysis of the U.S. Army Corps of Engineers Shore Protection Program*. Relatório 96-PS-1. 389 Páginas. U.S. Army Corps of Engineers, Mississipi (EUA).
- Kamphuis, J. W. (1991). *Alongshore Sediment Transport Rate*. Journal of Waterway, port, coastal and ocean engineering, vol. 117, no. 6, pp. 624-640. American Society of Civil Engineers. Reston (Virginia), Estados Unidos.
- Larson, M., Hanson, H., Kraus, N.C. (1987). *Analytical Solutions of the one-line model of shoreline change*. CERC technical report CERC-87-15. US Army Engineer Waterways Experiment Station, USACE, Vicksburg (Mississippi), Estados Unidos.
- Larson, M., Hanson, H., Kraus, N.C. (1997). *Analytical Solutions of the One-Line Model of Shoreline Change Near Coastal Structures*. Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering, vol. 123, no. 4, pp. 180-191. American Society of Civil Engineers, Reston (Virginia), Estados Unidos.
- L. Hamm, M. Capobianco, H. H. Dette, A. Lechuga, R. Spanhoff, M. J. F. Stive (2002). *A summary of European experience with shore nourishment*. Coastal Engineering, vol. 47, Pp. 237-264.
- Linham, M., Nicholls, R. *Beach Nourishment*. Climate Tech Wiki. Referencia web: <http://climatetechwiki.org/content/beach-nourishment>. Acedida em Julho 2012
- Morelock, J. *Man and the Coastal System*. Universidad de Puerto Rico. web (acedida em Julho de 2012): <http://geology.uprm.edu/Morelock/mancst.htm>.
- National Research Council (1995). *Beach Nourishment and Protection*. Committee on Beach Nourishment and Protection. National Academic Press, Washington, DC, USA.
- Pelnaud-Considère, R. (1956). *Essai de Theorie de l'Evolution des Forms de Rivages en Plage de Sable et de Galets*. 4th Journees de l'Hydraulique, les Energies de la Mer, Question III, Rapport No.1. Pp 289-298.
- Schwartz, M. (2005). *Encyclopedia of Coastal Science*. Encyclopedia of Earth Sciences Series (Vol. XXXV). Springer, New York. 1211 páginas. ISBN: 9781402048715
- Veloso-Gomes, F. (1991). *Algumas reflexões sobre a problemática das obras de protecção costeira*. 2º Simpósio sobre a protecção e revalorização da faixa costeira do Minho ao Liz, Porto. Pp. 128-142.
- Verhagen, H.J. (1992). *Method for artificial beach nourishment*. International Conference on Coastal Engineering. Veneza, Technical University of Delft.